Instructional Module

(Reinforced Concrete Design)

ชุดบทเรียนโมดูลการเรียนรู้

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557

สาขาวิชางานก่อสร้าง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม กระทรวงศึกษาธิการ

กัมปนาท บุญกัน

M.Eng. Civil Engineering & M.Eng. Mining Engineering

คำนำ

ชุดบทเรียนโมดูลการเรียนรู้ รายวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 สาขาวิชางานก่อสร้าง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม กระทรวงศึกษาธิการ มีลักษณะรายวิชาในกลุ่มกลุ่มทักษะวิชาชีพเฉพาะ ผู้จัดทำได้เรียบเรียงขึ้นเป็นชุดโมดูล ครอบคลุมเนื้อหาวิชาและจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยชุดบทเรียนโมดูลการเรียนรู้โดยเนื้อหาสาระในชุดโมดูล ผู้เรียนสามารถศึกษาเรียนรู้ด้วยตนเองล่วงหน้าได้ ทำให้เกิดบรรยากาศในการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งผู้เรียนสามารถเรียนรู้และทำความเข้าใจด้วยตนเองได้ง่าย โดยครูผู้สอนที่ปฏิบัติการสอนควรต้องมีการศึกษารายละเอียดสาระการเรียนรู้ในแต่ละโมดูล ที่จะสอนจากคู่มือหนังสือ เอกสาร ตำราประกอบหรือสื่ออื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพิ่มเติมเพื่อให้การจัดการเรียนรู้ มีความสมบูรณ์มีองค์ประกอบที่ถูกต้องครบถ้วนซึ่งจะเกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้เรียนโดยตรง สำหรับเนื้อหาในชุดบทเรียนโมดูลการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102 ในเล่มนี้ ได้แบ่งเนื้อหาครอบคลุมในการจัดการเรียนการสอนไว้ 18 สัปดาห์ มีจำนวน 7 บเรียนโมดูล และจำนวน 1 กิจกรรมการบูรณการความรู้ การคำนวณและออกแบบอาคารโครงสร้าง อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังต่อไปนี้

โมดูลการเรียนรู้ที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลการเรียนรู้ที่ 2 การออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก
โมดูลการเรียนรู้ที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลการเรียนรู้ที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลการเรียนรู้ที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลการเรียนรู้ที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลการเรียนรู้ที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
กิจกรรมการบูรณการความรู้ การคำนวณและออกแบบอาคารโครงสร้าง
อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งตัวอาคาร

ผู้จัดทำมีความคาดหวังว่าชุดการเรียนรู้นี้คงจะประโยชน์ และช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้จัดเรียนรู้แก่ผู้เรียนได้ตามสมควร ถ้าหากครูผู้สอนได้นำชุดโมดูลการเรียนรู้ไปใช้แล้วและถ้าหากมีข้อเสนอแนะข้อสงสัยในด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ผู้จัดทำยินดีรับฟังข้อคิดเห็นต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อนำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์สูงสุด ต่อการจัดการเรียนการสอนต่อไป

กัมปนาท บุญกัน
12 มีนาคม 2563

สารบัญ

ปกใน ก
คำนำ ข
สารบัญ ค
สารบัญรูป ฑ
สารบัญตาราง ถ
จุดประสงค์รายวิชา/มาตรฐานรายวิชา/คำอธิบายรายวิชา ฐ
คู่มือการใช้โมดูลการเรียนรู้ด้วยตนเอง วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ฑ
รายละเอียดโมดูลการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ฒ
การแบ่งเนื้อหาวิชาที่เรียนในชุดโมดูลการเรียนรู้ด้วยตนเอง ด
ตารางการวิเคราะห์เนื้อหาในจุดประสงค์การเรียนรู้ สำหรับใช้ชุดโมดูลการเรียนรู้ด้วยตนเอง ท
การวิเคราะห์คำอธิบายรายวิชาและจุดประสงค์การเรียนรู้ ฝ
ผลการวิเคราะห์ชุดและหัวข้อการเรียนรู้ พ
ผลการวิเคราะห์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม ภ

โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
ผังมโนทัศน์ 1
บทนำ 2
คำแนะนำขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูลที่ 1 3
องค์ประกอบบทเรียนโมดูลที่ 1 4
คู่มือผู้เรียนโมดูลที่ 1 5
ขอบเขตเนื้อหาโมดูลที่ 1 6
การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน โมดูลที่ 1 7
ผลการวิเคราะห์หลักสูตรจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม โมดูลที่ 1 8
องค์ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โมดูลที่ 1
แบบทดสอบก่อนเรียน โมดูลที่ 1 10
แผนการจัดการเรียนรู้ โมดูลที่ 1 12
เนื้อหาสาระบทเรียนโมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 14
1.1 พื้นฐานความรู้ด้านคอนกรีต 16
1.2 คุณสมบัติทางกลของคอนกรีต 18
1.2.1 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f_c') 19

สารบัญ (ต่อ)

1.2.2 กำลังดึงของคอนกรีต (Tensile Strength : f_{ct}) 20

1.2.3 กำลังเฉือนของคอนกรีต (Shear Strength ; V_C) 22

1.2.4 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (Modulus of Concrete ; *Ec*) 22

1.2.5 แรงยึดเหนี่ยวต่อเหล็กเสริม (Bond Strength; *u*) 24

1.3 เหล็กเสริมในงานคอนกรีต 25

1.3.1 ชนิดของเหล็กเสริม 25

1.3.2 ขนาดของเหล็กเสริม 25

1.3.3 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริม 26

1.4 มาตรฐานการออกแบบ 28

1.5 กฎหมายควบคุมอาคาร 28

1.6 น้ำหนักบรรทุกต่อโครงสร้าง (Loads) 28

1.6.1 น้ำหนักวัสดุก่อสร้างโครงสร้าง 30

1.6.2 น้ำหนักบรรทุกจรกระทำต่อโครงสร้าง 30

1.6.3 แรงลม (Wind loads) 32

1.6.4 แรงกระแทก (Impact loads) 32

1.6.5 แรงแผ่นดินไหว (Earthquake loads) 33

1.7 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง 33

1.7.1 ทฤษฎีอีลาสติก (Elastic Design) 33

1.7.2 ทฤษฎีกำลังประลัย (Ultimate Strength Design 34

1.7.3 สาเหตุที่วิธีกำลังได้ถูกพัฒนาขึ้นมาแทนที่วิธีหน่วยแรงใช้งาน 34

1.7.4 การตรวจสอบที่สภาวะการใช้งานของโครงสร้าง 35

1.7.5 ข้อกำหนดเพิ่มเติมของ กฎกระทรวงฯ พ.ศ. 2522 35

1.8 สรุป พื้นฐานโครงสร้างของคอนกรีต และเหล็กเสริม 36

แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 39

ใบงานที่ 1.1 แบบฝึกหัด 41

ใบงานที่ 1.2 กิจกรรมกลุ่ม 43

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 45

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 46

สารบัญ (ต่อ)

โมดูลที่ 2 พื้นฐานทฤษฎีอีลาสติก 47
ผังมโนทัศน์ 47
บทนำ 48
คำแนะนำขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูลที่ 2 49
องค์ประกอบบทเรียนโมดูลที่ 2 50
คู่มือผู้เรียนโมดูลที่ 2 51
ขอบเขตเนื้อหาโมดูลที่ 2 52
การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน โมดูลที่ 2 53
ผลการวิเคราะห์หลักสูตรจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม โมดูลที่ 2 54
องค์ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โมดูลที่ 2 55
แบบทดสอบก่อนเรียน โมดูลที่ 2 56
แผนการจัดการเรียนรู้ โมดูลที่ 2 57
เนื้อหาสาระบทเรียนโมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก 59
2.1 ทฤษฎีอีลาสติก (Elastic Design) หรือ ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน 60
2.2. หน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Working Stress) 61
2.2.1 หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต (f_c') 61
2.2.2 หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม (f_s) 62
2.2.3 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ (u_a) 62
2.2.4 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (V_S) 63
2.2.5 สมมติฐานในการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน 63
2.3 วิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีทฤษฎีอีลาสติก 64
2.4 การวิเคราะห์แบบจำลองทางโครงสร้าง 67
2.5 การจัดวางน้ำหนักบรรทุก 69
บทสรุป 71
แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 72
ใบงานที่ 2.1 แบบฝึกหัด 73
ใบงานที่ 2.2 กิจกรรมกลุ่ม 75
แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 76
แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 77

สารบัญ (ต่อ)

โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก **78**
ผังมโนทัศน์ 78
บทนำ 79
คำแนะนำขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูลที่ 3 80
องค์ประกอบบทเรียนโมดูลที่ 3 81
คู่มือและคำแนะนำการใช้บทเรียนโมดูลที่ 3 82
ขอบเขตเนื้อหาการเรียนรู้โมดูลที่ 3 83
การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน โมดูลที่ 3 84
ผลการวิเคราะห์หลักสูตรด้านจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม โมดูลที่ 3 85
องค์ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โมดูลที่ 3 86
แบบทดสอบก่อนเรียน โมดูลที่ 3 87
แผนการจัดการเรียนรู้ โมดูลที่ 3 88
เนื้อหาสาระบทเรียนโมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก 90
เนื้อหาสาระ 91
3.1 พื้นวางบนดิน (Slab on ground) 91
3.2 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว (One–way slabs) 97
3.3 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง (Two–way slabs) 109
3.4 พื้นสำเร็จรูป (Plank slab) 118
3.5 พื้นระบบตง (Ribbed Slab) 122
3.6 พื้นไร้คาน (Flat Slab) 126
3.7 การออกแบบพื้นยื่น (Cantilever Slab) 143
3.8 ตัวอย่างระคน การออกแบบพื้นเสริมเหล็ก 146
สรุป การออกแบบคอนกรีตเหล็กเสริม 153
แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 154
ใบงานที่ 3.1 แบบฝึกหัด 155
ใบงานที่ 3.2 แบบปฏิบัติการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก 160
ใบงานที่ 3.3 กิจกรรมกลุ่ม 162
แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 164
แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 165

สารบัญ (ต่อ)

โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก 166
ผังมโนทัศน์ 166
บทนำ 167
คำแนะนำขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูลที่ 4 168
องค์ประกอบบทเรียนโมดูลที่ 4 169
คู่มือและคำแนะนำการใช้บทเรียนโมดูลที่ 4 170
ขอบเขตเนื้อหาการเรียนรู้โมดูลที่ 4 171
การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน โมดูลที่ 4 172
ผลการวิเคราะห์หลักสูตรด้านจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม โมดูลที่ 4 173
องค์ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โมดูลที่ 4 174
แบบทดสอบก่อนเรียน โมดูลที่ 4 175
แผนการจัดการเรียนรู้ โมดูลที่ 4 176
เนื้อหาสาระบทเรียนโมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก 178
4.1 ชนิดของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก 179
4.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของบันได 181
4.3 การคำนวณหาจำนวณขั้นบันได 182
4.4 การเสริมเหล็กบันได 183
4.5 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบบันได 183
4.6 การคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก และการจัดเหล็กเสริม 185
4.6.1 ขั้นตอนการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก (เหมือนพื้นทางเดียว) 189
4.6.2 รายละเอียดการคิดน้ำหนักบันไดจากสภาพจริง 190
4.7 การคำนวณและออกแบบบันได 192
4.7.1 บันไดพาดช่วงกว้างระหว่างคานแม่บันได 192
4.7.2 บันไดพาดช่วงยาว 198
4.7.3 บันไดแบบมีชานพักระหว่างขั้น 202
4.7.4 บันไดแบบยื่น 205
สรุป การออกแบบบันไดคอนกรีตเหล็กเสริม 209
แบบทดสอบหลังเรียน วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 210
ใบงานที่ 4.1 แบบฝึกหัด 219
ใบงานที่ 4.2 กิจกรรมกลุ่ม 223

สารบัญ (ต่อ)

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 225
แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 226
โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 227
ผังมโนทัศน์ 227
บทนำ 228
คำแนะนำขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูลที่ 5 229
องค์ประกอบบทเรียนโมดูลที่ 5 230
คู่มือและคำแนะนำการใช้บทเรียนโมดูลที่ 5 231
ขอบเขตเนื้อหาการเรียนรู้โมดูลที่ 5 232
การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน โมดูลที่ 5 233
ผลการวิเคราะห์หลักสูตรด้านจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม โมดูลที่ 5 234
องค์ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โมดูลที่ 5 235
แบบทดสอบก่อนเรียน โมดูลที่ 5 236
แผนการจัดการเรียนรู้ โมดูลที่ 5 237
เนื้อหาสาระบทเรียนโมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 239
5.1 ชนิดของโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 240
5.1.1 คานช่วงเดียว (Simple beam) 240
5.1.2 คานยื่น (Cantilever beam) 244
5.1.3 คานช่วงเดียวปลายยื่น (Overhanging beams) 245
5.1.4 คานต่อเนื่อง (Continuous beam) 246
5.1.5 คานยึดแน่น (Fixed-ended beam) 248
5.2 ลักษณะการถ่ายน้ำหนักลงคาน 249
5.3 พฤติกรรมของคานเมื่อรับน้ำหนัก 252
5.4 ตำแหน่งและระยะการเสริมเหล็กจากพฤติกรรมของคาน 254
5.5 ข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบคาน 256
5.6 คำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 257
5.7 คำนวณออกแบบระยะฝังของเสริมเหล็กในคานยื่น 260
5.8 ขั้นตอนในการคำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด 262
5.9 การตรวจสอบความสามารถในการต้านทานโมเมนต์ดัดของคาน 270
5.10 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงเฉือน 273

สารบัญ (ต่อ)

5.10.1 แรงเฉือนและแรงดึงทแยงในคาน 274
5.10.2 เหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือน 275
5.10.3 ข้อกำหนดมาตรฐาน ว.ส.ท. การคำนวณออกแบบเหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือน 277
5.10.4 หน้าตัดวิกฤตสาหรับออกแบบรับแรงเฉือน 278
5.10.5 แรงเฉือนที่กลางช่วงของคานรับน้ำหนักแผ่ 279
5.10.6 การแตกร้าวของคานที่ไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือน 280
5.10.7 กำลังรับแรงเฉือนของคานไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือน 281
5.10.8 ขีดจำกัดของปริมาณเหล็กรับแรงเฉือน 282
5.10.9 ระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุด 282
5.10.10 เหล็กรับแรงเฉือนมากที่สุด 283
5.11 แรงยึดหน่วง (Bond) 286
5.12 แรงบิด (Torsion) 291
5.12.1 ขั้นตอนในการตรวจสอบแรงบิดสูงสุด 293
5.12.2 ปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุด 294
5.12.3 การตรวจสอบหน้าตัดมีกำลังรับโมเมนต์ดัด 295
5.13 สรุปข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบคาน 298
5.13.1 ขนาดของคาน 298
5.13.2 การจัดเหล็กเสริมในคาน 299
5.13.3 คำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 299
5.14 ตัวอย่างโจทย์ระคน โมดูลที่ 5 การคำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 300
สรุป การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 310
แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 311
ใบงานที่ 5.1 แบบฝึกหัด 316
ใบงานที่ 5.2 กิจกรรมกลุ่ม 319
แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 322
แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 323

สารบัญ (ต่อ)

โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	**324**
ผังมโนทัศน์	324
บทนำ	325
คำแนะนำขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูลที่ 5	326
องค์ประกอบบทเรียนโมดูลที่ 5	327
คู่มือและคำแนะนำการใช้บทเรียนโมดูลที่ 5	328
ขอบเขตเนื้อหาการเรียนรู้โมดูลที่ 5	329
การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน โมดูลที่ 5	330
ผลการวิเคราะห์หลักสูตรด้านจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม โมดูลที่ 5	331
องค์ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โมดูลที่ 5	332
แบบทดสอบก่อนเรียน โมดูลที่ 5	333
แผนการจัดการเรียนรู้ โมดูลที่ 5	334
เนื้อหาสาระบทเรียนโมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	336
6.1 ชนิดของเสา	337
6.2 ข้อกำหนดน้ำหนักปลอดภัย (มาตรฐาน ว.ส.ท. 6602 – 6606)	338
6.3 ข้อกำหนดประกอบรายการคำนวณ เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	341
6.4 การรับน้ำหนักของเสาแต่ละประเภท	342
6.5 เสาสั้นรับแรงอัดตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน	350
6.6 การออกแบบเสายาว (Long Colum)	359
6.7 ตัวอย่างระคน การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	366
สรุปการออกแบบเสา	373
แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	375
ใบงานที่ 6.1 แบบฝึกหัด	376
ใบงานที่ 6.2 กิจกรรมกลุ่ม	379
แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์	383
แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์	384

สารบัญ (ต่อ)

โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก 385
ผังมโนทัศน์ 385
บทนำ 386
คำแนะนำขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูลที่ 7 387
องค์ประกอบบทเรียนโมดูลที่ 7 388
คู่มือและคำแนะนำการใช้บทเรียนโมดูลที่ 7 389
ขอบเขตเนื้อหาการเรียนรู้โมดูลที่ 7 390
การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน โมดูลที่ 7 391
ผลการวิเคราะห์หลักสูตรด้านจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม โมดูลที่ 7 392
องค์ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โมดูลที่ 7 393
แบบทดสอบก่อนเรียน โมดูลที่ 7 394
แผนการจัดการเรียนรู้ โมดูลที่ 7 395
เนื้อหาสาระบทเรียนโมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก 397
เนื้อหาสาระ 397
7.1 ประเภทของฐานราก 399
7.2 ข้อกำหนดการออกแบบฐานราก ตามมาตรฐาน 401
7.3 การคำนวณออกแบบฐานรากแผ่ 402
7.3.1 พฤติกรรมในการรับน้ำหนักและการวิบัติของฐานรากแผ่วางบนดิน 403
7.3.2 แรงเฉือนและแรงยึดหน่วง มาตรฐาน ว.ส.ท. 7305 406
7.3.3 ความหนาต่ำสุดของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก 406
7.3.4 การถ่ายหน่วยแรงที่ฐานของเสา 407
7.4 การตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว 407
7.4.1 วิเคราะห์พฤติกรรมฐานรากเดี่ยว 407
7.4.2 การตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว 411
7.5 การคำนวณออกแบบฐานรากเสาเข็ม 421
7.5.1 วิเคราะห์พฤติกรรมฐานรากเสาเข็ม 424
7.5.2 การเสริมเหล็กฐานรากแผ่วางบนเสาเข็ม 423
7.5.3 การคำนวณออกแบบฐานรากแผ่วางบนเสาเข็ม 423

สารบัญ (ต่อ)

7.6 ฐานรากวางบนเสาเข็มต้นเดียว 436

7.6 1 หลักการออกแบบฐานรากวางบนเสาเข็มต้นเดียว 436

7.6.2 การออกแบบฐานรากรั้วบ้านพักอาศัย 440

7.7 ตัวอย่างระคนการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก 444

สรุปการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก 445

แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 466

แบบฝึกหัดหลังเรียน 467

ใบงานที่ 7.1 แบบฝึกหัด 471

ใบงานที่ 7.2 กิจกรรมกลุ่ม 477

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 481

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 482

กิจกรรมการบูรณการความรู้สู่การคำนวณและออกแบบอาคารโครงสร้าง

อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งตัวอาคาร 483

เนื้อหาสาระกิจกรรมการบูรณการความรู้

จุดประสงค์กิจกรรมการบูรณการความรู้

หัวข้อเนื้อหาสาระ 484

แนวทางการการปฏิบัติงาน 484

8.1 สาระสำคัญ 485

8.2 ข้อกำหนดพื้นฐานในการคำนวณออกแบบ 486

8.3 การถ่ายน้ำหนักของโครงสร้าง 486

8.3.1 การถ่ายน้ำหนักจากพื้น คสล. สู่คาน คสล. 487

8.3.2 การถ่ายน้ำหนักลงสู่เสา 488

8.3.3 การถ่ายน้ำหนักลงสู่ฐานรากและชั้นดิน 490

8.4 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งตัวอาคาร 492

8.5 ตัวอย่างการบรูณการจากบทเรียนโมดูลที่ 1-7 สู่การออกแบบคำนวณโครงสร้าง 493

8.5.1 ออกแบบโครงหลังคา (โครงสร้างเหล็ก) 493

8.5.2 การออกแบบพื้น (Floor & Slab) 499

8.5.3 ออกแบบบันได

8.5.4. ออกแบบคาน

สารบัญ (ต่อ)

8.5.5 ออกแบบเสา 535

8.5.6. ออกแบบฐานราก (FOOTING) 549

แบบประกอบการคำนวณ แบบก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย 2 ชั้น 560

ใบงาน กิจกรรมกลุ่มเสริมบทเรียน 588

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 590

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 591

เอกสารอ้างอิง 587

ภาคผนวก 590

- ชุดเฉลย แบบทดสอบ แบบฝึกหัดหรือใบงาน 590
- แบบทดสอบโจทย์ระคนก่อนและหลังเรียน 647
- ชุดเฉลยแบบทดสอบโจทย์ระคนก่อนและหลังเรียน 666
- แบบกระดาษคำตอบ 667
- ข้อมูลอ้างอิงประกอบการคำนวณ 668

จุดประสงค์รายวิชา/มาตรฐานรายวิชา/คำอธิบายรายวิชา

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก **จำนวน 3 (3 - 3 – 3) หน่วยกิต**

รหัสวิชา 3121-2102 **คาบการสอน 54 ชั่วโมง**

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1.เพื่อให้เข้าในพฤติกรรมของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อถูกแรงกระทำ

2.เพื่อให้สามารถคำนวณออกแบบชิ้นส่วนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีอีลาสติค

3.เพื่อให้มีคุณธรรมและจริยธรรมในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

มาตรฐานรายวิชา

1.เข้าใจหลักการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.คำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแต่ล่ะชิ้นส่วน

3.คำนวณออกแบบโครงสร้างอาคานคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งตัวอาคาร

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาหลักการในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก น้ำหนักที่กระต่อชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก การคำนวณออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีต คาน เสา พื้น บันได ฐานราก โดยวิธีอีลาสติก การคำนวณออกแบบทั้งตัวอาคาร

หมายเหตุ

จุดประสงค์รายวิชา มาตรฐานรายวิชา และคำอธิบายรายวิชา
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557
สาขาวิชางานก่อสร้าง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม กระทรวงศึกษาธิการ

คู่มือการใช้โมดูลการเรียนรู้ด้วยตนเอง การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
รหัสวิชา 3121-2102
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557
ประเภทวิชาช่างอุตสาหกรรม สาขาวิชางานก่อสร้าง

ชุดโมดูลการเรียนรู้ด้วยตนเอง วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102 เป็นกลุ่มทักษะวิชาชีพเลือก ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชางานก่อสร้าง ซึ่งเป็นเอกสารสำหรับครูชุดนี้ใช้ในการประกอบการสอนกับผู้เรียนทั้งห้องกิจกรรม และใช้สื่อการเรียนการสอนในการเรียนรู้ระหว่างครูผู้สอนกับผู้เรียน โดยเนื้อหาวิชาจะประกอบด้วยการจัดการเรียนรู้ 7+1 คือ การเรียนโดยใช้บทเรียนโมดูล 7 โมดูลการ + 1 กิจกรรมบูรณาการการออกแบบโครงคร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยรูปแบบการจัดการเรียนการสอน ได้คำนึงถึงลักษณะการสอน ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนเข้าใจนำไปใช้งานได้จริงและการบูรณการเรียนการสอน โดยในแต่ละชุดของโมดูลการเรียนรู้ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

โมดูลการเรียนรู้ที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลการเรียนรู้ที่ 2 การออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก
โมดูลการเรียนรู้ที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลการเรียนรู้ที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลการเรียนรู้ที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลการเรียนรู้ที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลการเรียนรู้ที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

เทคนิควิธีการสอนรูปแบบบูรณาการประสบการณ์ของผู้เรียน

การจัดการเรียนการสอนในปัจจุบัน ในระบบทวิภาค ซึ่งเป็นการการจัดการอาชีวศึกษาระบบทวิภาคีหมายถึง การจัดการศึกษาวิชาชีพที่เกิดจากข้อตกลงระหว่าง สถานศึกษากับสถานประกอบการในเรื่องการจัดหลักสูตร การจัดการเรียนการสอน การจัดการฝึกอาชีพ การวัดและการประเมินผล ซึ่งตั้งแต่ ปีการศึกษา 2558 เป็นต้นไป สาขาวิชาช่างก่อสร้างของวิทยาลัยเทคนิคดอนเมืองมีการ จัดการเรียนการสอนระบบทวิภาคี 50:50 คือ เรียนในสถานศึกษา 1 ปีการศึกษา (ภาคเรียนที่ 1 และ 4) และ เรียนสถานประกอบการ 1 ปีการศึกษา (ภาคเรียนที่ 2 และ 3)

ซึ่งการจัดการเรียนการสอนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นรายวิชาที่มีการจัดการเรียนการสอนในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ซึ่งนักศึกษาส่วนมากจะอยู่ในระดับ ชั้น ปวส. 2 ผ่านการเรียนวิชาพื้นฐานสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับรายวิชาการออกแบบมาครบถ้วน และผ่านการฝึกงานในประสบการณ์ในการประกอบวิชาชีพ ด้านการควบคุมงานและเป็นผู้ช่วยงานนายช่างในหน่วยงาน หรือวิศวกรในสถานประกอบการหรือในหน่วยงานก่อสร้าง ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนมีประสบการณ์จากการทำงานหรือการฝึกประสบการณ์โดยตรง อาทิ การตรวจและควบคุมงาน การประมาณราคา หรือความรู้พื้นฐาน การเรียนรู้เทคนิคการออกแบบและทำรายการคำนวณ การทำหน้างานปฏิบัติงานจริงตามคำแนะนำของ สถาปนิกและวิศวกร สามารถนำมาเข้ามาประยุกต์ จัดเป็นรูปแบบวงจรการเรียนรู้ บูรณาการเข้ากับการมีประสบการณ์ ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการจัดการเรียนการสอน ถือเป็นการถอดบทเรียนจากสิ่ง ที่เรียนรู้ในประสบการณ์เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด เป็นขั้นตอนแรกสุดที่จะนำไปสู่การถอดบทเรียนเข้าไปสัมผัสกับประสบการณ์ ‘บริสุทธิ์’ ที่ลบล้างวิธีคิดเก่า หรือเมื่อได้เผชิญกับสิ่งที่เหนือความคาดหมายเดิม ที่คิดว่าเรียนวิชาดังกล่าวเป็นสิ่งน่าเบื่อ ยุ่งยาก เพื่อผู้เรียนได้พบเห็นประสบการณ์ ทำให้เกิดความใฝ่รู้ มีความคาดหวัง เป้าหมายมุ่งไปสู่ความก้าวในวิชาชีพ ถ้าสามารถคิดได้ ทำเป็น จะนำไปสู่การพัฒนาตนเองสู่สภาวะผู้นำหรือหัวหน้าการทำงานในอนาคตได้

เมื่อนักศึกษาออกฝึกงานหรือประการณ์โดยส่วนมากจะจัดในภาคเรียนที่ 2 ถึงภาคเรียนที่ 3 ครูนิเทศก์การฝึกงานจะต้อง กำกับติดตามการฝึกงานของผู้เรียนให้ได้รับความรู้ประสบการณ์ด้านระบบงานการก่อสร้างอย่างครบถ้วนทังภาคทฤษฎี และปฏิบัติหน้างาน จะทำให้ผู้เรียนมีความรู้ประสบการณ์ครบถ้วน เมื่อผู้เรียนกับเข้ามาศึกษาในระบบปกติในภาคเรียนที่ 4 ก่อนสำเร็จหลักสูตรในภาคการศึกษานี้ควรจัดรายวิชาดังกล่าวให้อยู่ในภาคเรียนนี้ จำให้ทำให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ประสบการณ์ของตนมาปรับเข้ากับการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพครบถ้วนในการบูรณการองค์ความรู้ จากประสบการณ์ของผู้เรียนที่ได้จากการปฏิบัติงานจริงจากหน้างาน มาปรับปฏิรูปความรู้ให้เข้าการจัดการเรียนการสอนในรายวิชากา รออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเฉพาะการใช้รูปแบบบทเรียนโมดูลการเรียน จะทำให้ผู้เรียน มีความรู้ความเข้าใจและเติมเต็มความรู้จากประการณ์ได้อย่างครบถ้วน

รายละเอียดชุดโมดูลการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557
ประเภทวิชาช่างอุตสาหกรรม สาขาวิชางานก่อสร้าง

ชุดโมดูลการเรียนรู้ การเรียนรู้ด้วยตนเอง วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102 มีรายละเอียดของส่วนประกอบ

วิชาดังต่อไปนี้

- คำชี้แจงสำหรับครูผู้สอน
- จุดประสงค์รายวิชา/มาตรฐานรายวิชา/คำอธิบายรายวิชา
- หน่วยการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน
- ตารางวิเคราะห์คำอธิบายรายวิชา
- ตารางวิเคราะห์จุดประสงค์การเรียนรู้
- แผนผังมโนทัศน์ประจำหน่วยการเรียน
- แผนการจัดการเรียนรู้
- จุดประสงค์หน่วยการเรียน
- สาระสำคัญการเรียนรู้
- แบบทดสอบก่อนเรียน
- เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
- ใบความรู้
- แบบฝึกหัด
- เฉลยแบบฝึกหัด
- ใบมอบหมาย
- แบบทดสอบหลังเรียน
- เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน
- แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอังพึงประสงค์
- แบบประเมินพฤติกรรมรายบุคคล

คำชี้แจงสำหรับผู้สอน

1. ผู้สอนต้องศึกษาเนื้อหาวิชาและแผนการจัดการเรียนรู้ให้เข้าใจก่อนทำการสอน และต้องเตรียมสื่อการเรียนการสอน อุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเรียนการสอนตามที่ระบุไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ แต่ละโมดูลการเรียน

2. ผู้สอนต้องดำเนินการสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้ครบทุกหน่วยการเรียนซึ่งอาจสอดแทรกความรู้และประสบการณ์เพิ่มเติมแก่ผู้เรียน โดยเริ่มให้แบบทดสอบก่อนเรียน เพื่อประเมินผลก่อนเรียน

3. ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 นำเข้าสู่บทเรียน

ขั้นที่ 2 ขั้นการเรียนรู้

ขั้นที่ 3 สรุปผล

ขั้นที่ 4 การวัดผลประเมินผล

4. การจัดกิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน ผู้สอนจะต้องมีการพัฒนาและสร้างทักษะและความชำนาญในการอภิปรายให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. การสรุปบทเรียน ผู้สอนจะจัดเป็นกิจกรรมร่วมระหว่างผู้สอนกับผู้เรียนหรือจะเป็นกิจกรรมผู้เรียนทั้งหมดก็ได้ โดยการมีส่วนร่วมของผู้เรียน อาทิ การแบ่งกลุ่มสรุปอภิบายผล นำเสนอผลงาน

6. ภายหลังการเรียนครบหัวข้อเรื่องในแต่ละหน่วยการเรียนแล้วให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด และมอบหมายงานกิจกรรมเสริมทักษะทั้งมีทั้งกิจกรรมงานเดี่ยวและงานกลุ่ม

7. ทำแบบทดสอบหลังเรียนในแต่ละหน่วยการเรียน

8. การพัฒนาการจัดการเรียนการสอนภายหลังจากผู้เรียน เรียนจนครบทุกหน่วยเรียนแล้ว ผู้สอนจะต้องเก็บข้อมูลผลการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและความก้าวหน้าของผู้เรียนนำมาพัฒนาการจัดการเรียนการสอนในครั้งต่อไป

9. การบูรณการเรียนรู้ในชั้นเรียนของผู้เรียน มีดังนี้การบูรณการการเรียนรู้ภายในวิทยาลัย โดยการบูรณการเรียนรู้ภายในสถานประกอบการหรือในหน่วยงานก่อสร้าง และการสอบวัดผลปลายภาค

บทบาทผู้เรียน

เนื่องจากแผนการจัดการเรียนรู้วิชานี้ เป็นแผนการจัดการเรียนรู้สำหรับครูผู้สอน เป็นผู้ดำเนินการโดยให้นักเรียนปฏิบัติกิจกรรมตามบทบาทผู้เรียน ดังนี้

1. ผู้เรียนต้องปฏิบัติกิจกรรมคำแนะนำของผู้สอนหากมีข้อสงสัยให้สอบถามผู้สอน

2. ผู้เรียนจะต้องทำแบบฝึกหัดอย่างเต็มความสามารถ และกิจกรรมเสริมทักษะในใบมอบหมายงานในแต่ละหน่วยการเรียนสอน

การจัดชั้นเรียน

การจัดชั้นเรียนตามปกติ สำหรับการสอนภาคทฤษฎี สำหรับการจัดการเรียนการสอนแบบบรรยายหรือถามตอบ โดยให้มีสภาพการจัดชั้นเรียนต้องจัดให้เหมาะสม สามารถจัดกิจกรรมการเรียนการสอนแก่นักเรียนอย่างทั่วถึง เพื่อให้ผ่านเกณฑ์ตามใบประเมินผล และจัดแสดงมุมตัวอย่างและมุมสืบค้นตัวอย่างวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่เกี่ยวข้องกับหน่วยการเรียน

การจัดการเรียนรู้และแผนการจัดการเรียนรู้

ผู้สอนสามารถจัดอยู่ในชุดโมดูลการเรียนรู้ การเรียนรู้ด้วยตนเอง วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102 ซึ่งจัดแบ่งเป็นการจัดการเรียนรู้รายวิชา ประกอบด้วยแผนการเรียนรู้แต่ละชุดการเรียนรู้ ประกอบอยู่ด้วยทุกการจัดการเรียนรู้ สาระสำคัญ การเรียนรู้แบบทดสอบก่อนเรียนประกอบด้วย ใบความรู้ แบบฝึกหัด ใบมอบหมาย แบบทดสอบหลังเรียน แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม และแบบประเมินพฤติกรรมรายบุคคล

การประเมินผล

ประเมินผลการเรียนรู้ ประเมินได้จากผลการทำแบบทดสอบหลังเรียน แบบฝึกหัดหรือกิจกรรมงานกลุ่มหรืองานเดี่ยวที่มอบหมายให้กับผู้เรียน การทำแบบทดสอบ ซึ่งจะมีคำตอบเฉลยแบทดสอบและแบบฝึกหัดจะอยู่ส่วนท้ายชุดการเรียนรู้ด้วยตนเอง นั้นๆ

เกณฑ์การวัดและประเมินผล

การวัดและประเมินผล ได้กำหนดให้ใช้สัดส่วนของคะแนน ระหว่างภาคต่อคะแนนสอบปลายภาค เท่ากับ 80 : 20 ซึ่งมี รายละเอียดดังนี้

1. คะแนนระหว่างภาค	80 คะแนน
1.1 คะแนนจิตพิสัย	20 คะแนน
1.2 คะแบบแบบทดสอบหลังเรียน	40 คะแนน
1.3 คะแนนแบบฝึกหัด	10 คะแนน
1.4 คะแนนกิจกรรมงานที่มอบหมายให้ค้นคว้า	10 คะแนน
2. คะแนนสอบปลายภาค	20 คะแนน

3. เกณฑ์การประเมินผล

ใช้เกณฑ์การประเมินแบบอิงเกณฑ์ มีระดับดังนี้

80-100	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	4
75-79	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	3.5
70-75	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	3
65-69	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	2.5
60-64	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	2
55-59	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	1.5
50-54	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	1
0-49	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	0

การแบ่งเนื้อหาวิชาที่เรียนในชุดโมดูลการเรียนรู้ด้วยตนเอง
วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102

สัปดาห์	เนื้อหาวิชาที่เรียน	คาบเรียน	
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ
1-4	**1.แนะนำวิชา** เกณฑ์การวัดประเมินผล บทนำของวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก **2. คุณสมบัติของคอนกรีต** **3. คุณสมบัติของเหล็กเสริม** **4. ทฤษฎีอิลาสติก**	12	
5-8	**พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก** - พื้นทางเดียว	6	
	พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก - พื้นสองทาง	6	
9-10	**บันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก** - ข้อกำหนดบันได - ชนิดของบันได - ลักษณะการรับแรงของบันได	3	
	บันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก - บันไดท้องเรียบ - บันไดพับผ้า	2	
	สอบกลางภาคเรียน	1	
11-14	**คานคอนกรีตเสริมเหล็ก** - คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึง	3	
	คานคอนกรีตเสริมเหล็ก - คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและอัด	3	
	คานต่อเนื่องคอนกรีตเสริมเหล็ก - คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและอัด	3	
	คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงเฉือน และการตรวจสอบแรงยึดหน่วง สำหรับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	3	
15-16	**เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก** - เสาสั้น	3	

การแบ่งเนื้อหาวิชาที่เรียนในชุดโมดูลการเรียนรู้ด้วยตนเอง

สัปดาห์	เนื้อหาวิชาที่เรียน	คาบเรียน	
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ
15-16	**เสาคอนกรีตเสริมเหล็กยาว** - เสายาว	3	
17	**ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก** - ฐานรากแผ่	1	
	ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก - ฐานรากแผ่สี่เหลี่ยมผืนผ้าและจัตุรัส	1	
	ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก - ฐานรากแผ่บนเข็มกลุ่ม	0.5	
	ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก - ฐานรากบนเสาเข็ม	0.5	
18	**ประเมินผลกิจกรรมบูรณา** - การการออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก	1.5	
	สอบปลายภาค	1.5	

ตารางการวิเคราะห์เนื้อหาในจุดประสงค์การเรียนรู้ สำหรับใช้ชุดโมดูลการเรียนรู้
วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102

สัปดาห์	หัวข้อเรื่อง	จุดประสงค์การเรียนรู้	สื่อ/วิธีการ
1	**1. แนะนำวิชาและความรู้ทั่วไป** **2. คุณสมบัติของคอนกรีต** **3. คุณสมบัติของเหล็กเสริม**	1. เพื่อให้นักศึกษารู้หัวข้อต่างๆ ที่จะศึกษาอย่างคร่าวๆ 2. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจถึงคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตได้อย่างถูกต้อง 3. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจถึงคุณสมบัติของเหล็กชนิดต่างๆ ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อแผ่นใส Over Head Projector (OHP) -การจดบันทึกจากผู้สอน
2	**การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก** **-พื้นทางเดียว**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบพื้นคอนกรีตทางเดียวได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT -เอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำแบบฝึกหัดการออกแบบโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว - ซักถามปัญหา
3	**การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก** **-พื้นสองทาง**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบพื้นคอนกรีตสองทางได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT -เอกสารประกอบการเรียนและจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับมอบหมายการออกแบบโครงสร้างพื้น คอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง -ซักถามปัญหา

ตารางการวิเคราะห์เนื้อหาในจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

สัปดาห์	หัวข้อเรื่อง	จุดประสงค์การเรียนรู้	สื่อ/วิธีการ
4	**การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก** **– ข้อกำหนดบันได** **- ชนิดของบันได** **- ลักษณะการรับแรงของบันได**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้ POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน -จดบันทึกจากผู้สอนทำแบบฝึกหัด -ซักถามปัญหา
5	**การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก** **- แบบท้องเรียบ** **- แบบพับผ้า**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบท้องเรียบและแบบพับผ้า 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมแบบท้องเรียบ และแบบพับผ้าได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับหมอบหมายในการออกแบบโครงสร้างบันได - ซักถามปัญหา
6	**การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึง**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมรับแรงดึง 2. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจถึงข้อกำหนดต่างๆ ในการออกแบบคานรับแรงดึงและสามารถออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับมอบหมายการออกแบบโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึง -ซักถามปัญหา

ตารางการวิเคราะห์เนื้อหาในจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

สัปดาห์	หัวข้อเรื่อง	จุดประสงค์การเรียนรู้	สื่อ/วิธีการ
8	**การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับรงอันและแรงดึง**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงดึง 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับหมอบหมายในการออกแบบโครงสร้างบันได - ซักถามปัญหา
9	**สอบกลางภาค**	1. เพื่อวัดผลความเข้าใจและการประยุกต์ของนักศึกษา และนำไปปรับปรุงการสอบให้ดีขึ้น 2. เพื่อวัดความสามารถในการออกแบบโครงสร้าง พื้น บันได คาน คอนกรีตเสริมเหล็ก	ข้อสอบวัดความเข้าใจและความสนมารถในการออกแบบ พื้น บันไดและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
10	**การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึง และตรวจสอบแรงยึดหน่วงสำหรับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมรับแรงเฉือนและการตรวจสอบแรงยึดหน่วงสำหรับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงเฉือนและสามารถตรวจสอบแรงยึดหน่วงสำหรับคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับมอบหมายการออกแบบโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมรับแรงเฉือน และการตรวจสอบแรงหน่วงสำหรับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก -ซักถามปัญหา

ตารางการวิเคราะห์เนื้อหาในจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

สัปดาห์	หัวข้อเรื่อง	จุดประสงค์การเรียนรู้	สื่อ/วิธีการ
11	**การออกแบบเสาสั้น**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับหมอบหมายในการออกแบบโครงสร้างเสาสั้น คอนกรีตเสริมเหล็ก - ซักถามปัญหา
12	**การออกแบบเสายาว**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจลักษณะการโก่งตังชิงเสาคอนกรีเสริมเหล็ก 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบเสายาวได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับหมอบหมายในการออกแบบโครงสร้างเสาอาคาร - ซักถามปัญหา
13	**การออกแบบฐานรากแผ่**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบฐานรากแผ่ คอนกรีตเสริมเหล็ก 2. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจถึงรูปแบบพฤตอกรรม ขั้นตอนการออกแบบฐานรากแผ่ได้อย่างถูกต้อง 3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบฐานรากแผ่ได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับมอบหมายการออกแบบโครงสร้างฐานรากอาคาร คอนกรีตเสริมเหล็ก

ตารางการวิเคราะห์เนื้อหาในจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

สัปดาห์	หัวข้อเรื่อง	จุดประสงค์การเรียนรู้	สื่อ/วิธีการ
14	**การออกแบบฐานรากแผ่ แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และสี่เหลี่ยมจัตุรัส**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบฐานรากแผ่แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และสี่เหลี่ยมจัตุรัส คอนกรีตเสริมเหล็ก 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบฐานรากแผ่แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และสี่เหลี่ยมจัตุรัสอย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับหมอบหมายในการออกแบบโครงสร้างฐานรากอาคานคอนกรีตเสริมเหล็ก - ซักถามปัญหา
15	**การออกแบบฐานรากแผ่บนเข็มกลุ่ม**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจในหลักการในการออกแบบฐานรากแผ่บนเข็มกลุ่มคอนกรีตเสริมเหล็ก 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบฐานรากแผ่บนเข็มกลุ่มได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับหมอบหมายในการออกแบบโครงสร้างฐานรากแผ่บนเข็มกลุ่ม - ซักถามปัญหา
16	**การออกแบบฐานรากเสาเข็ม**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบฐานเสาเข็ม 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบฐานรากบนเสาเข็มได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับมอบหมายการออกแบบ

ตารางการวิเคราะห์เนื้อหาในจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

สัปดาห์	หัวข้อเรื่อง	จุดประสงค์การเรียนรู้	สื่อ/วิธีการ
17	**การออกแบบฐานรากเสาเข็ม และทบทวน**	1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบฐานราก รูปแบบพิเศษอื่น ๆ ได้อย่างถูกต้อง 2. เพื่อให้นักศึกษาได้ทบทวนขั้นตอนการ ออกแบบองค์อาคาร และ ถามตอบในส่วนที่ ไม่เข้าใจ	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสาร ประกอบการเรียน และจด บันทึกจากผู้สอน
18	**ประเมิน ผลการออกแบบโครงสร้าง อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก** **สอบปลายภาค**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจในหลักการ ประยุกต์ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร คอนกรีตเสริมเหล็ก ได้อย่างถูกต้อง 2. เพื่อวัดความสามารถของนักศึกษาในการ ออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริม เหล็ก ได้ทั้งองค์อาคารอย่างถูกต้องสมบูรณ์	ข้อสอบวัดความเข้าใจ และความสามารถในการ ออกแบบโครงสร้างอาคาร คอนกรีตทั้งองค์อาคาร

การวิเคราะห์คำอธิบายรายวิชาและจุดประสงค์การเรียนรู้

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102

จำนวน 3 หน่วยกิต 3 ชั่วโมง/สัปดาห์

โมดูลที่	จุดประสงค์การเรียนรู้	เวลาเรียน		จำนวนคาบ
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ	(ชม.)
1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	1.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานโครงสร้าง คอนกรีต และเหล็กเสริม 1.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณพื้นฐาน โครงสร้างคอนกรีต และเหล็กเสริม 1.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม	3	-	3
2 การออกแบบโดยทฤษฎีอีลสติก	2.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก 2.2 เพื่อให้มีทักษะในการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก 2.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม	9	-	9
3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	3.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก 3.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก 3.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม	12	-	12
4 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	4.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก 4.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก 4.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม	6	-	6
5. การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	5.1 เพื่อให้มีความรู้ความใจเกี่ยวกับการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 5.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 5.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม	12	-	12
6. การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	6.1 เพื่อให้มีความความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 6.2 เพื่อให้มีทักษะในดารคำนวณเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 6.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม	6	-	6
7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก	7.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก 7.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก 7.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม	3	-	3
8 สอบปลายภาค	8. สอบปลายภาค 8.1 สอบทฤษฎี 8.2 สอบปฏิบัติการคำนวณออกแบบ	3	-	3
รวม				54

ผลการวิเคราะห์ชุดและหัวข้อการเรียนรู้

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จำนวน 3 หน่วยกิต 3ชั่วโมง/สัปดาห์

โมดูลที่	ชื่อโมดูลและหัวข้อการเรียนรู้	ระดับพฤติกรรมที่ต้องการ								จำนวนคาบ (ชม.)
		พุทธิพิสัย				จิตพิสัย		ทักษะพิสัย		
		1	2	3	4	1	2	1	2	
1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	1.1 องค์ประกอบของคอนกรีต	/	/	/	/	/	/	/	/	3
	1.2 คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตได้	/	/	/		/	/			
	1.3 เหล็กเสริมในงานคอนกรีต	/	/	/		/		/	/	
	1.4 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริม	/	/				/	/		
	1.5 ออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบ	/			/	/				
	1.6 ออกแบบตามกฎหมายควบคุมอาคาร	/		/		/	/		/	
	1.7 คำนวณน้ำหนักบรรทุกต่อโครงสร้าง	/				/		/	/	
	1.8 เลือกใช้ทฤษฎีในการออกแบบ	/	/	/	/	/	/	/	/	
2 การออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก	2.1 ชนิดของหน่วยแรงที่ยอมให้	/	/	/	/	/	/	/	/	9
	2.2 ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต	/	/	/		/	/			
	2.3 ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม	/	/	/	/	/		/	/	
	2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทฤษฎีอีลาสติก	/	/	/	/		/	/		
	2.5 โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว	/	/	/	/	/		/	/	
	2.6 ตำแหน่งแนวแกนสะเทิน	/		/		/	/	/	/	
	2.7 ทฤษฎีในการออกแบบ	/	/	/	/	/		/	/	
	2.8 โครงสร้างคอนกรีตมีเหล็กเสริมทั้งแรงดึงและแรงอัด	/	/		/		/		/	
3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	3.1. ชนิดของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/	/	/	/	/	/	12
	3.2 มาตรฐานในการออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักทางเดียว	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.3 น้ำหนักกระทำภายนอกต่อโครงสร้างพื้นได้	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.4 พฤติกรรมการเกิดแรงภายในโครงสร้างพื้น	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.5 เหล็กในแผ่นพื้น	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.6 ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กวางบนดิน	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.7 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหลักทางเดียว	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.8 พื้นยื่นคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.9 พื้นสำเร็จรูปท้องเรียบ	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.10 ออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักสองทาง	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.11 เขียนรูปหน้าตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/	/	/	/	/	/	

ตารางวิเคราะห์โมดูลและหัวข้อการเรียนรู้(ต่อ)

โมดูลที่	ชื่อโมดูลและหัวข้อการเรียนรู้	ระดับพฤติกรรมที่ต้องการ								จำนวนคาบ (ชม.)
		พุทธิพิสัย				จิตพิสัย		ทักษะพิสัย		
		1	2	3	4	1	2	1	2	
4. การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก	4.1 ชนิดของบันได	/	/	/	/	/	/	/	/	6
	4.2 ข้อบัญญัติทั่วไปของบันได	/	/	/	/	/	/	/	/	
	4.3 ออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/		/		/		
5. การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก	5.1 ชนิดของคาน	/	/	/	/	/	/		/	12
	5.2 การถ่ายน้ำหนักลงคาน	/	/	/		/	/	/		
	5.3 พฤติกรรมของคานเมื่อน้ำหนักกระทำ		/	/	/	/	/	/	/	
	5.4 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กตามข้อกำหนด	/	/	/	/	/	/	/	/	
	5.5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กต้านทานโมเมนต์ดัดกระทำในคาน	/	/	/		/	/	/	/	
	5.6 การออกแบบคานต้านแรงเฉือนกระทำในคาน	/	/	/	/	/	/	/	/	
	5.7การออกแบบระยะฝังของเหล็กในคานยื่น		/	/	/	/	/	/		
	5.8 เขียนแบบหน้าตัดคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/				/	/	
6. การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	6.1 จำแนกชนิดของเสา	/		/	/	/			/	6
	6.2 การรับน้ำหนักของเสา	/	/			/	/	/		
	6.3 พฤติกรรมของเสาเมื่อน้ำหนักกระทำได้		/	/	/	/		/	/	
	6.4 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/	/	/	/	/		
	6.5 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบสั้น	/		/		/	/	/	/	
	6.6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยาว									
	6.7 การเขียนแบบหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/	/	/	/	/	/	
7. การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก	7.1 ชนิดของฐานราก	/	/	/	/	/	/	/	/	3
	7.2 การรับน้ำหนักของฐานราก		/	/	/	/	/	/	/	
	7.2 พฤติกรรมของฐานรากเมื่อน้ำหนักกระทำ	/	/	/	/	/	/	/	/	
	7.4 การออกแบบฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็ก	/		/	/	/	/		/	
	7.5 การออกแบบฐานรากเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก		/		/	/	/		/	
8 ประเมินผล	8.1 ประเมินผล การออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/	/	/	/	/	/	3
	8.2 สอบปลายภาคเรียน									

พุทธิพิสัย 1 = ความจำ 2 = ความเข้าใจ
3 = การนำไปใช้ 4 = การวิเคราะห์ สังเคราะห์

จิตพิสัย 1 = การประเมินคุณค่า 2 = การจัดระบบ

ทักษะพิสัย 1 = การทำตามแบบ 2 = การทำอย่างถูกต้องแม่นยำ

ผลการวิเคราะห์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จำนวน 3 หน่วยกิต 3ชั่วโมง/สัปดาห์

โมดูลที่	ชื่อโมดูลและหัวข้อการเรียนรู้	ระดับพฤติกรรมที่พึงประสงค์									
		พุทธิพิสัย							ทักษะพิสัย	จิตพิสัย	เวลา (ชม.)
		ความรู้	ความเข้าใจ	นำไปใช้	วิเคราะห์	สังเคราะห์	ประเมินค่า	รวม			
1.	**พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก**	10	10	5	5	-	5	35	50	50	3
	1. บอกองค์ประกอบของคอนกรีตได้	1	1					2	10	10	1
	2. อธิบายคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตได้	1	1	1				3	10	10	
	3. เลือกใช้เหล็กเสริมในงานคอนกรีตได้	1	1					2	10	10	
	4. อธิบายคุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริมได้	1	1					2	10	10	1
	5. ออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบได้	1	1	1				3	10	10	
	6. ออกแบบตามกฎหมายควบคุมอาคารได้	1	1	1				3	10	10	1
	7. คำนวณน้ำหนักบรรทุกต่อโครงสร้างได้	2	2	1	2		2	9	10	10	
	8. เลือกใช้ทฤษฎีในการออกแบบได้	2	2	1	3		3	11	20	20	
2.	**การออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก**	10	10	5	5	-	5	35	60	40	9
	1. บอกชนิดของหน่วยแรงที่ยอมให้ได้	1	1					2	10	5	1
	2. คำนวณหาค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีตได้	1	1	1				3	10	5	1
	3. คำนวณหาค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมได้	1	1					2	10	5	1
	4. วิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทฤษฎีอีลาสติกได้	1	1					2	10	5	1
	5. คำนวณโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวได้	1	1	1			1	4	5	5	1
	6. คำนวณหาตำแหน่งแนวแกนสะเทินได้	1	1	1				3	5	5	1
	7. เลือกใช้ทฤษฎีในการออกแบบได้	2	2	1	2		1	8	5	5	1
	8. คำนวณโครงสร้างคอนกรีตมีเหล็กเสริมทั้งแรงดึงและแรงอัดได้	2	2	1	3		3	11	5	5	2
3	**การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก**	10	10	5	5	-	5	3.5	60	40	12
	1. จำแนกชนิดของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้	1	1					2	5	5	
	2. บอกข้อมาตรฐานออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักทางเดียวได้	0.5	0.5					1	5	5	
	3. คำนวณน้ำหนักกระทำภายนอกต่อโครงสร้างพื้นได้	0.5	0.5					1	5	5	
	4. วิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแรงภายในโครงสร้างพื้นได้	1	1					2	5	5	
	5. บอกตำแหน่งการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นได้	1	1					2	5	5	
	6. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กวางบนดินได้	1	1	0.5	0.5		0.5	3.5	5	5	
	7. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหลักทางเดียวได้	1	1	1	1		1	5	5	2	
	8. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นยื่นคอนกรีตเสริมเหล็กได้	1	1	1	1		1	5	5	2	
	9. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นสำเร็จรูปท้องเรียบได้	1	1	1	1		1	5	5	2	
	10. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักสองทางได้	1	1	1	1		1	5	5	2	
	11. เขียนรูปหน้าตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้	1	1	0.5	0.5		0.5	3.5	10	2	

ตารางวิเคราะห์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (ต่อ)

โมดูลที่	ชื่อโมดูลและหัวข้อการเรียนรู้	ระดับพฤติกรรมที่พึงประสงค์									
		พุทธิพิสัย							ทักษะพิสัย	จิตพิสัย	เวลา (ชม.)
		ความรู้	ความเข้าใจ	นำไปใช้	วิเคราะห์	สังเคราะห์	ประเมินค่า	รวม			
4	**การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก**	10	10	5	5	-	5	35	40	60	6
	1. จำแนกชนิดของบันไดได้	3	3					6	10	10	2
	2. บอกข้อบัญญัติทั่วไปของบันไดได้	3	2	2	1		1	9	10	20	2
	3. คำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กได้	4	5	3	4		4	20	20	30	2
5	**การออกแบบฐานราคาน คอนกรีตเสริมเหล็ก**	10	10	5	5	-	5	35	60	40	12
	1. จำแนกชนิดของคานได้	1	1					2	10	5	1
	2. อธิบายลักษณะการถ่ายน้ำหนักลงคานได้	1	1	1				3	10	5	1
	3. อธิบายพฤติกรรมของคานเมื่อน้ำหนักกระทำได้	1	1					2	10	5	1
	4. คำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กตามข้อกำหนดได้	1	1					2	10	5	1
	5. คำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กต้านทานโมเมนต์ดัดกระทำในคานได้	1	1	1			1	3	5	5	1
	6. คำนวณออกแบบคานต้านแรงเฉือนกระทำในคานได้	1	1	1				3	5	5	1
	7.คำนวณออกแบบระยะฝังของเหล็กในคานยื่นได้	2	2	1	2		1	8	5	5	1
	8. เขียนแบบรูปขยายหน้าตัดคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้	2	2	1	3		3	11	5	5	2
6	**การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก**	10	10	5	5	-	5	35	60	40	6
	1. จำแนกชนิดของเสาได้	1	1					2	10	5	1
	2. อธิบายลักษณะการรับน้ำหนักของเสาได้	1	1	1				3	10	5	1
	3. อธิบายพฤติกรรมของเสาเมื่อน้ำหนักกระทำได้	1	1				1	3	101	5	1
	4. คำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กตามข้อกำหนดได้	1	1	1	1		1	5	10	5	1
	5. คำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยาวได้	2	2	1	1		1	7	10	5	1
	6. คำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยาวได้	2	2	1	1		1	7	5	5	1/2
	7. เขียนแบบรูปขยายหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็กได้	2	2	1	2		1	8	5	10	1/2
7	**การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก**	10	10	5	5	-	5	35	60	40	3
	1. จำแนกชนิดของฐานรากได้	0.5	0.5					1	10	5	1/2
	2. อธิบายลักษณะการรับน้ำหนักของฐานรากได้	0.5	0.5					1	10	5	1/2
	3. อธิบายพฤติกรรมของฐานรากเมื่อน้ำหนักกระทำได้	1	1				1	3	10	10	1/2
	4. คำนวณออกแบบฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็กได้	4	4	2.5	2.5		2	15	10	10	1/2
	5. คำนวณออกแบบฐานรากเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กได้	4	4	2.5	2.5		2	15	20	10	1
8	**1.ประเมินผล การออกแบโครงสร้างบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 2.สอบปลายภาคเรียน**										3

จุดประสงค์รายวิชา/มาตรฐานรายวิชา/คำอธิบายรายวิชา

ชื่อวิชา การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก **จำนวน 3 (3 - 3 – 3) หน่วยกิต**

รหัสวิชา 3121-2102 **คาบการสอน 54 ชั่วโมง**

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1.เพื่อให้เข้าในพฤติกรรมของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อถูกแรงกระทำ

2.เพื่อให้สามารถคำนวณออกแบบชิ้นส่วนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีอีลาสติค

3.เพื่อให้มีคุณธรรมและจริยธรรมในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

มาตรฐานรายวิชา

1.เข้าใจหลักการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.คำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแต่ละชิ้นส่วน

3.คำนวณออกแบบโครงสร้างอาคานคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งตัวอาคาร

คำอธิบายรายวิชา

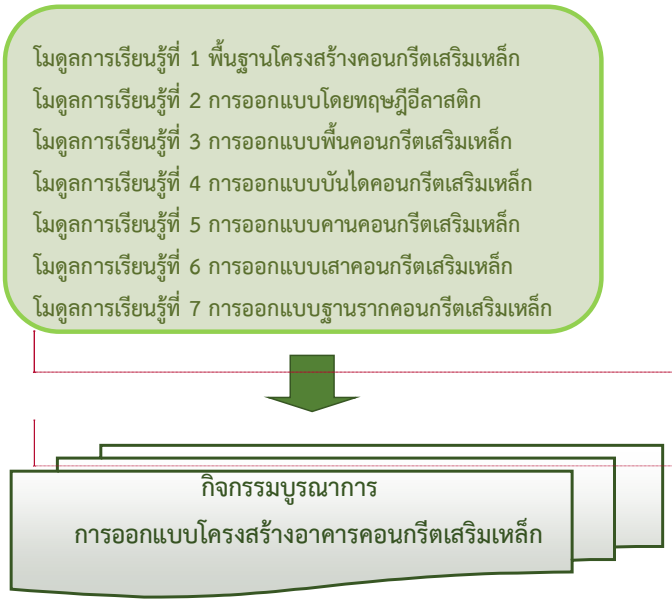
ศึกษาหลักการในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก น้ำหนักที่กระต่อชิ้นส่วน โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก การคำนวณออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีต คาน เสา พื้น บันได ฐานราก โดยวิธีอีลาสติก การคำนวณออกแบบทั้งตัวอาคาร

หมายเหตุ

จุดประสงค์รายวิชา มาตรฐานรายวิชา และคำอธิบายรายวิชา
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557
สาขาวิชางานก่อสร้าง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม กระทรวงศึกษาธิการ

คู่มือการใช้โมดูลการเรียนรู้ด้วยตนเอง การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
รหัสวิชา 3121-2102
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557
ประเภทวิชาช่างอุตสาหกรรม สาขาวิชางานก่อสร้าง

ชุดโมดูลการเรียนรู้ด้วยตนเอง วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102 เป็นกลุ่มทักษะวิชาชีพเลือก ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชางานก่อสร้าง ซึ่งเป็นเอกสารสำหรับครูชุดนี้ใช้ในการประกอบการสอนกับผู้เรียนทั้งห้องกิจกรรม และใช้สื่อการเรียนการสอนในการเรียนรู้ระหว่างครูผู้สอนกับผู้เรียน โดยเนื้อหาวิชาจะประกอบด้วยการจัดการเรียนรู้ 7+1 คือ การเรียนโดยใช้บทเรียนโมดูล 7 โมดูลการ + 1 กิจกรรมบูรณาการการออกแบบโครงคร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยรูปแบบการจัดการเรียนการสอน ได้คำนึงถึงลักษณะการสอน ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนเข้าใจนำไปใช้งานได้จริงและการบูรณการเรียนการสอน โดยในแต่ละชุดของโมดูลการเรียนรู้ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



Commented [A1]:
Commented [A2]:
Commented [A3]:

เทคนิควิธีการสอนรูปแบบบรูการประสบการณ์ของผู้เรียน

การจัดการเรียนการสอนในปัจจุบัน ในระบบทวิภาค ซึ่งเป็นการการจัดการอาชีวศึกษาระบบทวิภาคีหมายถึง การจัดการศึกษาวิชาชีพที่เกิดจากข้อตกลงระหว่าง สถานศึกษากับสถานประกอบการในเรื่องการจัดหลักสูตร การจัดการเรียนการสอน การจัดการฝึกอาชีพ การวัดและการประเมินผล ซึ่งตั้งแต่ปีการศึกษา 2558 เป็นต้นไป สาขาวิชาช่างก่อสร้างของวิทยาลัยเทคนิคดอนเมืองมีการ จัดการเรียนการสอนระบบทวิภาคี 50:50 คือ เรียนในสถานศึกษา 1 ปีการศึกษา (ภาคเรียนที่ 1 และ 4) และ เรียนสถานประกอบการ 1 ปีการศึกษา (ภาคเรียนที่ 2 และ 3)

ซึ่งการจัดการเรียนการสอนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นรายวิชาที่มีการจัดการเรียนการสอนในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ซึ่งนักศึกษาส่วนมากจะอยู่ในระดับ ชั้น ปวส. 2 ผ่านการเรียนวิชาพื้นฐานสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับรายวิชาการออกแบบมาครบถ้วน และผ่านการฝึกงานในประสบการณ์ในการประกอบวิชาชีพ ด้านการควบคุมงานและเป็นผู้ช่วยงานนายช่างในหน่วยงาน หรือวิศวกร ในสถานประกอบการหรือในหน่วยงานก่อสร้าง ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนมีประสบการณ์จากการทำงานหรือการฝึกประสบการณ์โดยตรง อาทิ การตรวจและควบคุมงาน การประมาณราคา หรือความรู้พื้นฐานการเรียนรู้เทคนิคการออกแบบและทำรายการคำนวณ การทำหน้างานปฏิบัติงานจริงตามคำแนะนำของสถาปนิกและวิศวกร สามารถนำมาเข้ามาประยุกต์ จัดเป็นรูปแบบวงจรการเรียนรู้ บรูณาการเข้ากับการมีประสบการณ์ ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการจัดการเรียนการสอน ถือเป็นการถอดบทเรียนจากสิ่งที่เรียนรู้ในประสบการณ์เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด เป็นขั้นตอนแรกสุดที่จะนำไปสู่การถอดบทเรียนเข้าไปสัมผัสกับประสบการณ์ ‘บริสุทธิ์’ ที่ลบล้างวิธีคิดเก่า หรือเมื่อได้เผชิญกับสิ่งที่เหนือความคาดหมายเดิม ที่คิดว่าเรียนวิชาดังกล่าวเป็นสิ่งน่าเบื่อ ยุ่งยาก เพื่อผู้เรียนได้พบเห็นประสบการณ์ ทำให้เกิดความใฝ่รู้ มีความคาดหวังเป้าหมายมุ่งไปสู่ความก้าวในวิชาชีพ ถ้าสามารถคิดได้ ทำเป็น จะนำไปสู่การพัฒนาตนเองสู่สภาวะผู้นำหรือหัวหน้าการทำงานในอนาคตได้

เมื่อนักศึกษาออกฝึกงานหรือประสการณ์โดยส่วนมากจะจัดในภาคเรียนที่ 2 ถึงภาคเรียนที่ 3 ครูนิเทศก์การฝึกงานจะต้อง กำกับติดตามการฝึกงานของผู้เรียนให้ได้รับความรู้ประสบการณ์ด้านระบบงานการก่อสร้างอย่างครบถ้วนทังภาคทฤษฎี และปฏิบัติหน้างาน จะทำให้ผู้เรียนมีความรู้ประสบการณ์ครบถ้วนเมื่อผู้เรียนกับเข้ามาศึกษาในระบบปกติในภาคเรียนที่ 4 ก่อนสำเร็จหลักสูตรในภาคการศึกษานี้ควรจัดรายวิชาดังกล่าวให้อยู่ในภาคเรียนนี้ จำให้ทำให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ประสบการณ์ของตนมาปรับเข้ากับการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพครบถ้วนในการบูรณการองค์ความรู้ จากประสบการณ์ของผู้เรียนที่ได้จากการปฏิบัติงานจริงจากหน้างาน มาปรับปฏิรูปความรู้ให้เข้าการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเฉพาะการใช้รูปแบบบทเรียนโมดูลการเรียน จะทำให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจและเติมเต็มความรู้จากประการณ์ได้อย่างครบถ้วน

รายละเอียดชุดโมดูลการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557
ประเภทวิชาช่างอุตสาหกรรม สาขาวิชางานก่อสร้าง

ชุดโมดูลการเรียนรู้ การเรียนรู้ด้วยตนเอง วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102 มีรายละเอียดของส่วนประกอบ

วิชาดังต่อไปนี้

- คำชี้แจงสำหรับครูผู้สอน
- จุดประสงค์รายวิชา/มาตรฐานรายวิชา/คำอธิบายรายวิชา
- หน่วยการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน
- ตารางวิเคราะห์คำอธิบายรายวิชา
- ตารางวิเคราะห์จุดประสงค์การเรียนรู้
- แผนผังมโนทัศน์ประจำหน่วยการเรียน
- แผนการจัดการเรียนรู้
- จุดประสงค์หน่วยการเรียน
- สาระสำคัญการเรียนรู้
- แบบทดสอบก่อนเรียน
- เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
- ใบความรู้
- แบบฝึกหัด
- เฉลยแบบฝึกหัด
- ใบมอบหมาย
- แบบทดสอบหลังเรียน
- เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน
- แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอังพึงประสงค์
- แบบประเมินพฤติกรรมรายบุคคล

คำชี้แจงสำหรับผู้สอน

1. ผู้สอนต้องศึกษาเนื้อหาวิชาและแผนการจัดการเรียนรู้ให้เข้าใจก่อนทำการสอน และต้องเตรียมสื่อการเรียนการสอน อุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเรียนการสอนตามที่ระบุไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้แต่ละโมดูลการเรียน

2. ผู้สอนต้องดำเนินการสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้ครบทุกหน่วยการเรียนซึ่งอาจสอดแทรก

ความรู้และประสบการณ์เพิ่มเติมแก่ผู้เรียน โดยเริ่มให้แบบทดสอบก่อนเรียน เพื่อประเมินผลก่อนเรียน

3. ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 นำเข้าสู่บทเรียน

ขั้นที่ 2 ขั้นการเรียนรู้

ขั้นที่ 3 สรุปผล

ขั้นที่ 4 การวัดผลประเมินผล

4. การจัดกิจกรรมระหว่างการเรียนการสอน ผู้สอนจะต้องมีการพัฒนาและสร้างทักษะและความชำนาญในการอภิปรายให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. การสรุปบทเรียน ผู้สอนจะจัดเป็นกิจกรรมร่วมระหว่างผู้สอนกับผู้เรียนหรือจะเป็นกิจกรรมผู้เรียนทั้งหมดก็ได้ โดยการมีส่วนร่วมของผู้เรียน อาทิ การแบ่งกลุ่มสรุปอภิบายผล นำเสนอผลงาน

6. ภายหลังการเรียนครบหัวข้อเรื่องในแต่ละหน่วยการเรียนแล้วให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัดและมอบหมายงานกิจกรรมเสริมทักษะทั้งมีทั้งกิจกรรมงานเดี่ยวและงานกลุ่ม

7. ทำแบบทดสอบหลังเรียนในแต่ละหน่วยการเรียน

8. การพัฒนาการจัดการเรียนการสอนภายหลังจากผู้เรียน เรียนจนครบทุกหน่วยเรียนแล้ว ผู้สอนจะต้องเก็บข้อมูลผลการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและความก้าวหน้าของผู้เรียนนำมาพัฒนาการจัดการเรียนการสอนในครั้งต่อไป

9. การบูรณการเรียนรู้ในชั้นเรียนของผู้เรียน มีดังนี้การบูรณการการเรียนรู้ภายในวิทยาลัย โดยการบูรณการเรียนรู้ภายในสถานประกอบการหรือในหน่วยงานก่อสร้าง และการสอบวัดผลปลายภาค

บทบาทผู้เรียน

เนื่องจากแผนการจัดการเรียนรู้วิชานี้ เป็นแผนการจัดการเรียนรู้สำหรับครูผู้สอน เป็นผู้ดำเนินการโดยให้นักเรียนปฏิบัติกิจกรรมตามบทบาทผู้เรียน ดังนี้

1. ผู้เรียนต้องปฏิบัติกิจกรรมคำแนะนำของผู้สอนหากมีข้อสงสัยให้สอบถามผู้สอน

2. ผู้เรียนจะต้องทำแบบฝึกหัดอย่างเต็มความสามารถ และกิจกรรมเสริมทักษะในใบมอบหมายงานในแต่ละหน่วยการเรียนสอน

การจัดชั้นเรียน

การจัดชั้นเรียนตามปกติ สำหรับการสอนภาคทฤษฎี สำหรับการจัดการเรียนการสอนแบบบรรยายหรือถามตอบ โดยให้มีสภาพการจัดชั้นเรียนต้องจัดให้เหมาะสม สามารถจัดกิจกรรมการเรียนการสอนแก่นักเรียนอย่างทั่วถึง เพื่อให้ผ่านเกณฑ์ตามใบประเมินผล และจัดแสดงมุมตัวอย่างและมุมสืบค้นตัวอย่างวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่เกี่ยวข้องกับหน่วยการเรียน

การจัดการเรียนรู้และแผนการจัดการเรียนรู้

ผู้สอนสามารถจัดอยู่ในชุดโมดูลการเรียนรู้ การเรียนรู้ด้วยตนเอง วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102 ซึ่งจัดแบ่งเป็นการจัดการเรียนรู้รายวิชา ประกอบด้วยแผนการเรียนรู้แต่ละชุดการเรียนรู้ ประกอบอยู่ด้วยทุกการจัดการเรียนรู้ สาระสำคัญ การเรียนรู้แบบทดสอบก่อนเรียนประกอบด้วย ใบความรู้ แบบฝึกหัด ใบมอบหมาย แบบทดสอบหลังเรียน แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม และแบบประเมินพฤติกรรมรายบุคคล

การประเมินผล

ประเมินผลการเรียนรู้ ประเมินได้จากผลการทำแบบทดสอบหลังเรียน แบบฝึกหัดหรือกิจกรรมงานกลุ่มหรืองานเดี่ยวที่มอบหมายให้กับผู้เรียน การทำแบบทดสอบ ซึ่งจะมีคำตอบเฉลยแบบทดสอบและแบบฝึกหัดจะอยู่ส่วนท้ายชุดการเรียนรู้ด้วยตนเอง นั้นๆ

เกณฑ์การวัดและประเมินผล

การวัดและประเมินผล ได้กำหนดให้ใช้สัดส่วนของคะแนน ระหว่างภาคต่อคะแนนสอบปลายภาค เท่ากับ 80 : 20 ซึ่งมี รายละเอียดดังนี้

1. คะแนนระหว่างภาค	80 คะแนน
1.1 คะแนนจิตพิสัย	20 คะแนน
1.2 คะแบบแบบทดสอบหลังเรียน	40 คะแนน
1.3 คะแนนแบบฝึกหัด	10 คะแนน
1.4 คะแนนกิจกรรมงานที่มอบหมายให้ค้นคว้า	10 คะแนน
2. คะแนนสอบปลายภาค	20 คะแนน

3. เกณฑ์การประเมินผล

ใช้เกณฑ์การประเมินแบบอิงเกณฑ์ มีระดับดังนี้

80-100	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	4
75-79	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	3.5
70-75	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	3
65-69	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	2.5
60-64	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	2
55-59	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	1.5
50-54	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	1
0-49	คะแนน	ได้ระดับคะแนน	0

การแบ่งเนื้อหาวิชาที่เรียนในชุดโมดูลการเรียนรู้ด้วยตนเอง
วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102

สัปดาห์	เนื้อหาวิชาที่เรียน	คาบเรียน	
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ
1-4	**1.แนะนำวิชา** เกณฑ์การวัดประเมินผล บทนำของวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก **2. คุณสมบัติของคอนกรีต** **3. คุณสมบัติของเหล็กเสริม** **4. ทฤษฎีอิลาสติก**	12	
5-8	**พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก** - พื้นทางเดียว	6	
	พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก - พื้นสองทาง	6	
9-10	**บันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก** - ข้อกำหนดบันได - ชนิดของบันได - ลักษณะการรับแรงของบันได	3	
	บันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก - บันไดท้องเรียบ - บันไดพับผ้า	2	
11-14	**สอบกลางภาคเรียน**	1	
	คานคอนกรีตเสริมเหล็ก - คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึง	3	
	คานคอนกรีตเสริมเหล็ก - คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและอัด	3	
	คานต่อเนื่องคอนกรีตเสริมเหล็ก - คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและอัด	3	
	คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงเฉือน และการตรวจสอบแรงยึดหน่วงสำหรับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	3	
15-16	**เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก** - เสาสั้น	3	

การแบ่งเนื้อหาวิชาที่เรียนในชุดโมดูลการเรียนรู้ด้วยตนเอง

สัปดาห์	เนื้อหาวิชาที่เรียน	คาบเรียน	
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ
15-16	**เสาคอนกรีตเสริมเหล็กยาว** - เสายาว	3	
17	**ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก** - ฐานรากแผ่	1	
	ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก - ฐานรากแผ่สี่เหลี่ยมผืนผ้าและจัตุรัส	1	
	ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก - ฐานรากแผ่บนเข็มกลุ่ม	0.5	
	ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก - ฐานรากบนเสาเข็ม	0.5	
18	**ประเมินผลกิจกรรมบูรณา** - การการออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก	1.5	
	สอบปลายภาค	1.5	

ตารางการวิเคราะห์เนื้อหาในจุดประสงค์การเรียนรู้ สำหรับใช้ชุดโมดูลการเรียนรู้
วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102

สัปดาห์	หัวข้อเรื่อง	จุดประสงค์การเรียนรู้	สื่อ/วิธีการ
1	**1. แนะนำวิชาและความรู้ทั่วไป** **2. คุณสมบัติของคอนกรีต** **3. คุณสมบัติของเหล็กเสริม**	1. เพื่อให้นักศึกษารู้หัวข้อต่างๆ ที่จะศึกษาอย่างคร่าวๆ 2. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจถึงคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตได้อย่างถูกต้อง 3. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจถึงคุณสมบัติของเหล็กชนิดต่างๆ ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อแผ่นใส Over Head Projector (OHP) -การจดบันทึกจากผู้สอน
2	**การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก** **-พื้นทางเดียว**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบพื้นคอนกรีตทางเดียวได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT -เอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำแบบฝึกหัดการออกแบบโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว - ซักถามปัญหา
3	**การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก** **-พื้นสองทาง**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบพื้นคอนกรีตสองทางได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT - เอกสารประกอบการเรียนและจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับมอบหมายการออกแบบโครงสร้างพื้น คอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง -ซักถามปัญหา

ตารางการวิเคราะห์เนื้อหาในจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

สัปดาห์	หัวข้อเรื่อง	จุดประสงค์การเรียนรู้	สื่อ/วิธีการ
4	**การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก** **– ข้อกำหนดบันได** **- ชนิดของบันได** **- ลักษณะการรับแรงของบันได**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้ POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน -จดบันทึกจากผู้สอนทำแบบฝึกหัด -ซักถามปัญหา
5	**การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก** **- แบบท้องเรียบ** **- แบบพับผ้า**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบท้องเรียบและแบบพับผ้า 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมแบบท้องเรียบ และแบบพับผ้าได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับหมอบหมายในการออกแบบโครงสร้างบันได - ซักถามปัญหา
6	**การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึง**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมรับแรงดึง 2. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจถึงข้อกำหนดต่างๆ ในการออกแบบคานรับแรงดึงและสามารถออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับมอบหมายการออกแบบโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึง -ซักถามปัญหา

ตารางการวิเคราะห์เนื้อหาในจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

สัปดาห์	หัวข้อเรื่อง	จุดประสงค์การเรียนรู้	สื่อ/วิธีการ
8	**การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับรงอันและแรงดึง**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงดึง 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับหมอบหมายในการออกแบบโครงสร้างบันได - ซักถามปัญหา
9	**สอบกลางภาค**	1. เพื่อวัดผลความเข้าใจและการประยุกต์ของนักศึกษา และนำไปปรับปรุงการสอบให้ดีขึ้น 2. เพื่อวัดความสามารถในการออกแบบโครงสร้าง พื้น บันได คาน คอนกรีตเสริมเหล็ก	ข้อสอบวัดความเข้าใจและความสนมารถในการออกแบบ พื้น บันไดและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
10	**การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึง และตรวจสอบแรงยึดหน่วงสำหรับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมรับแรงเฉือนและการตรวจสอบแรงยึดหน่วงสำหรับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงเฉือนและสามารถตรวจสอบแรงยึดหน่วงสำหรับคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับมอบหมายการออกแบบโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมรับแรงเฉือน และการตรวจสอบแรงหน่วงสำหรับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก -ซักถามปัญหา

ตารางการวิเคราะห์เนื้อหาในจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

สัปดาห์	หัวข้อเรื่อง	จุดประสงค์การเรียนรู้	สื่อ/วิธีการ
11	**การออกแบบเสาสั้น**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับหมอบหมายในการออกแบบโครงสร้างเสาสั้น คอนกรีตเสริมเหล็ก - ซักถามปัญหา
12	**การออกแบบเสายาว**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจลักษณะการโก่งตังขิงเสาคอนกรีเสริมเหล็ก 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบเสายาวได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับหมอบหมายในการออกแบบโครงสร้างเสาอาคาร - ซักถามปัญหา
13	**การออกแบบฐานรากแผ่**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบฐานรากแผ่ คอนกรีตเสริมเหล็ก 2. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจถึงรูปแบบพฤตอกรรม ขั้นตอนการออกแบบฐานรากแผ่ได้อย่างถูกต้อง 3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบฐานรากแผ่ได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับมอบหมายการออกแบบโครงสร้างฐานรากอาคาร คอนกรีตเสริมเหล็ก

ฟ

ตารางการวิเคราะห์เนื้อหาในจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

สัปดาห์	หัวข้อเรื่อง	จุดประสงค์การเรียนรู้	สื่อ/วิธีการ
14	**การออกแบบฐานรากแผ่ แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และสี่เหลี่ยมจัตุรัส**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบฐานรากแผ่แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และสี่เหลี่ยมจัตุรัส คอนกรีตเสริมเหล็ก 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบฐานรากแผ่แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และสี่เหลี่ยมจัตุรัสอย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับหมอบหมายในการออกแบบโครงสร้างฐานรากอาคานคอนกรีตเสริมเหล็ก - ซักถามปัญหา
15	**การออกแบบฐานรากแผ่บนเข็มกลุ่ม**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจในหลักการในการออกแบบฐานรากแผ่บนเข็มกลุ่มคอนกรีตเสริมเหล็ก 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบฐานรากแผ่บนเข็มกลุ่มได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับหมอบหมายในการออกแบบโครงสร้างฐานรากแผ่บนเข็มกลุ่ม - ซักถามปัญหา
16	**การออกแบบฐานรากเสาเข็ม**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการในการออกแบบฐานเสาเข็ม 2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบฐานรากบนเสาเข็มได้อย่างถูกต้อง	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสารประกอบการเรียน และจดบันทึกจากผู้สอน -ทำงานที่ได้รับมอบหมายการออกแบบ

ตารางการวิเคราะห์เนื้อหาในจุดประสงค์การเรียนรู้ (ต่อ)

สัปดาห์	หัวข้อเรื่อง	จุดประสงค์การเรียนรู้	สื่อ/วิธีการ
17	**การออกแบบฐานรากเสาเข็ม และทบทวน**	1. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบฐานราก รูปแบบพิเศษอื่น ๆ ได้อย่างถูกต้อง 2. เพื่อให้นักศึกษาได้ทบทวนขั้นตอนการ ออกแบบองค์อาคาร และ ถามตอบในส่วนที่ ไม่เข้าใจ	-บรรยายโดยใช้สื่อ OHP,POWER POINT และเอกสาร ประกอบการเรียน และจด บันทึกจากผู้สอน
18	**ประเมิน ผลการออกแบบโครงสร้าง อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก** **สอบปลายภาค**	1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจในหลักการ ประยุกต์ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร คอนกรีตเสริมเหล็ก ได้อย่างถูกต้อง 2. เพื่อวัดความสามารถของนักศึกษาในการ ออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริม เหล็ก ได้ทั้งองค์อาคารอย่างถูกต้องสมบูรณ์	ข้อสอบวัดความเข้าใจ และความสามารถในการ ออกแบบโครงสร้างอาคาร คอนกรีตทั้งองค์อาคาร

การวิเคราะห์คำอธิบายรายวิชาและจุดประสงค์การเรียนรู้

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102

จำนวน 3 หน่วยกิต 3 ชั่วโมง/สัปดาห์

โมดูลที่	จุดประสงค์การเรียนรู้	เวลาเรียน		จำนวนคาบ
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ	(ชม.)
1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	1.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐาน โครงสร้าง คอนกรีตและเหล็กเสริม 1.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณพื้นฐาน โครงสร้าง คอนกรีต และเหล็กเสริม 1.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม	3	-	3
2 การออกแบบโดยทฤษฎีอีลสติก	2.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก 2.2 เพื่อให้มีทักษะในการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก 2.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม	9	-	9
3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	3.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก 3.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก 3.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม	12	-	12
4 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	4.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก 4.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก 4.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม	6	-	6
5. การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	5.1 เพื่อให้มีความรู้ความใจเกี่ยวกับการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 5.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 5.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม	12	-	12
6. การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	6.1 เพื่อให้มีความความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 6.2 เพื่อให้มีทักษะในดารคำนวณเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 6.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม	6	-	6
7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก	7.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก 7.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก 7.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม	3	-	3
8 สอบปลายภาค	8. สอบปลายภาค 8.1 สอบทฤษฎี 8.2 สอบปฏิบัติการคำนวณออกแบบ	3	-	3
รวม				54

ผลการวิเคราะห์ชุดและหัวข้อการเรียนรู้

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จำนวน 3 หน่วยกิต 3ชั่วโมง/สัปดาห์

โมดูลที่	ชื่อโมดูลและหัวข้อการเรียนรู้	ระดับพฤติกรรมที่ต้องการ								จำนวนคาบ (ชม.)
		พุทธิพิสัย				จิตพิสัย		ทักษะพิสัย		
		1	2	3	4	1	2	1	2	
1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	1.1 องค์ประกอบของคอนกรีต	/	/	/	/	/	/	/	/	3
	1.2 คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตได้	/	/	/		/	/			
	1.3 เหล็กเสริมในงานคอนกรีต	/	/	/		/		/	/	
	1.4 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริม	/	/				/	/		
	1.5 ออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบ	/			/	/				
	1.6 ออกแบบตามกฎหมายควบคุมอาคาร	/		/		/	/		/	
	1.7 คำนวณน้ำหนักบรรทุกต่อโครงสร้าง	/				/		/	/	
	1.8 เลือกใช้ทฤษฎีในการออกแบบ	/	/	/	/	/	/	/	/	
2 การออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก	2.1 ชนิดของหน่วยแรงที่ยอมให้	/	/	/	/	/	/	/	/	9
	2.2 ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต	/	/	/		/	/			
	2.3 ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม	/	/	/	/	/		/	/	
	2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทฤษฎีอีลาสติก	/	/	/	/		/	/		
	2.5 โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว	/	/	/	/	/		/	/	
	2.6 ตำแหน่งแนวแกนสะเทิน	/		/		/	/	/	/	
	2.7 ทฤษฎีในการออกแบบ	/	/	/	/	/		/	/	
	2.8 โครงสร้างคอนกรีตมีเหล็กเสริมทั้งแรงดึงและแรงอัด	/	/		/		/		/	
3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	3.1. ชนิดของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/	/	/	/	/	/	12
	3.2 มาตรฐานในการออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักทางเดียว	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.3 น้ำหนักกระทำภายนอกต่อโครงสร้างพื้นได้	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.4 พฤติกรรมการเกิดแรงภายในโครงสร้างพื้น	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.5 เหล็กในแผ่นพื้น	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.6 ออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กวางบนดิน	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.7 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหลักทางเดียว	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.8 พื้นยื่นคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.9 พื้นสำเร็จรูปท้องเรียบ	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.10 ออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักสองทาง	/	/	/	/	/	/	/	/	
	3.11 เขียนรูปหน้าตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/	/	/	/	/	/	

ตารางวิเคราะห์โมดูลและหัวข้อการเรียนรู้(ต่อ)

โมดูลที่	ชื่อโมดูลและหัวข้อการเรียนรู้	ระดับพฤติกรรมที่ต้องการ								จำนวนคาบ (ชม.)
		พุทธิพิสัย				จิตพิสัย		ทักษะพิสัย		
		1	2	3	4	1	2	1	2	
4. การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก	4.1 ชนิดของบันได	/	/	/	/	/	/	/	/	6
	4.2 ข้อบัญญัติทั่วไปของบันได	/	/	/	/	/	/	/	/	
	4.3 ออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/		/		/		
5. การออกแบบฐานรากคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	5.1 ชนิดของคาน	/	/	/	/	/	/		/	12
	5.2 การถ่ายน้ำหนักลงคาน	/	/	/		/	/	/		
	5.3 พฤติกรรมของคานเมื่อน้ำหนักกระทำ		/	/	/	/	/	/	/	
	5.4 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กตามข้อกำหนด	/	/	/	/	/	/	/	/	
	5.5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กต้านทานโมเมนต์ดัดกระทำในคาน	/	/	/		/	/	/	/	
	5.6 การออกแบบคานต้านแรงเฉือนกระทำในคาน	/	/	/	/	/	/	/	/	
	5.7การออกแบบระยะฝังของเหล็กในคานยื่น		/	/	/	/	/	/		
	5.8 เขียนแบบหน้าตัดคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/				/	/	
6. การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	6.1 จำแนกชนิดของเสา	/		/	/	/			/	6
	6.2 การรับน้ำหนักของเสา	/	/			/	/	/		
	6.3 พฤติกรรมของเสาเมื่อน้ำหนักกระทำได้		/	/	/	/		/	/	
	6.4 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/	/	/	/	/		
	6.5 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบสั้น	/		/		/	/	/	/	
	6.6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยาว									
	6.7 การเขียนแบบหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/	/	/	/	/	/	
7. การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก	7.1 ชนิดของฐานราก	/	/	/	/	/	/	/	/	3
	7.2 การรับน้ำหนักของฐานราก		/	/	/	/	/	/	/	
	7.2 พฤติกรรมของฐานรากเมื่อน้ำหนักกระทำ	/	/	/	/	/	/	/	/	
	7.4 การออกแบบฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็ก	/		/	/	/	/		/	
	7.5 การออกแบบฐานรากเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก		/		/	/	/		/	
8 ประเมินผล	8.1 ประเมินผล การออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก	/	/	/	/	/	/	/	/	3
	8.2 สอบปลายภาคเรียน									

พุทธิพิสัย 1 = ความจำ 2 = ความเข้าใจ
3 = การนำไปใช้ 4 = การวิเคราะห์ สังเคราะห์
จิตพิสัย 1 = การประเมินคุณค่า 2 = การจัดระบบ
ทักษะพิสัย 1 = การทำตามแบบ 2 = การทำอย่างถูกต้องแม่นยำ

ผลการวิเคราะห์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จำนวน 3 หน่วยกิต 3ชั่วโมง/สัปดาห์

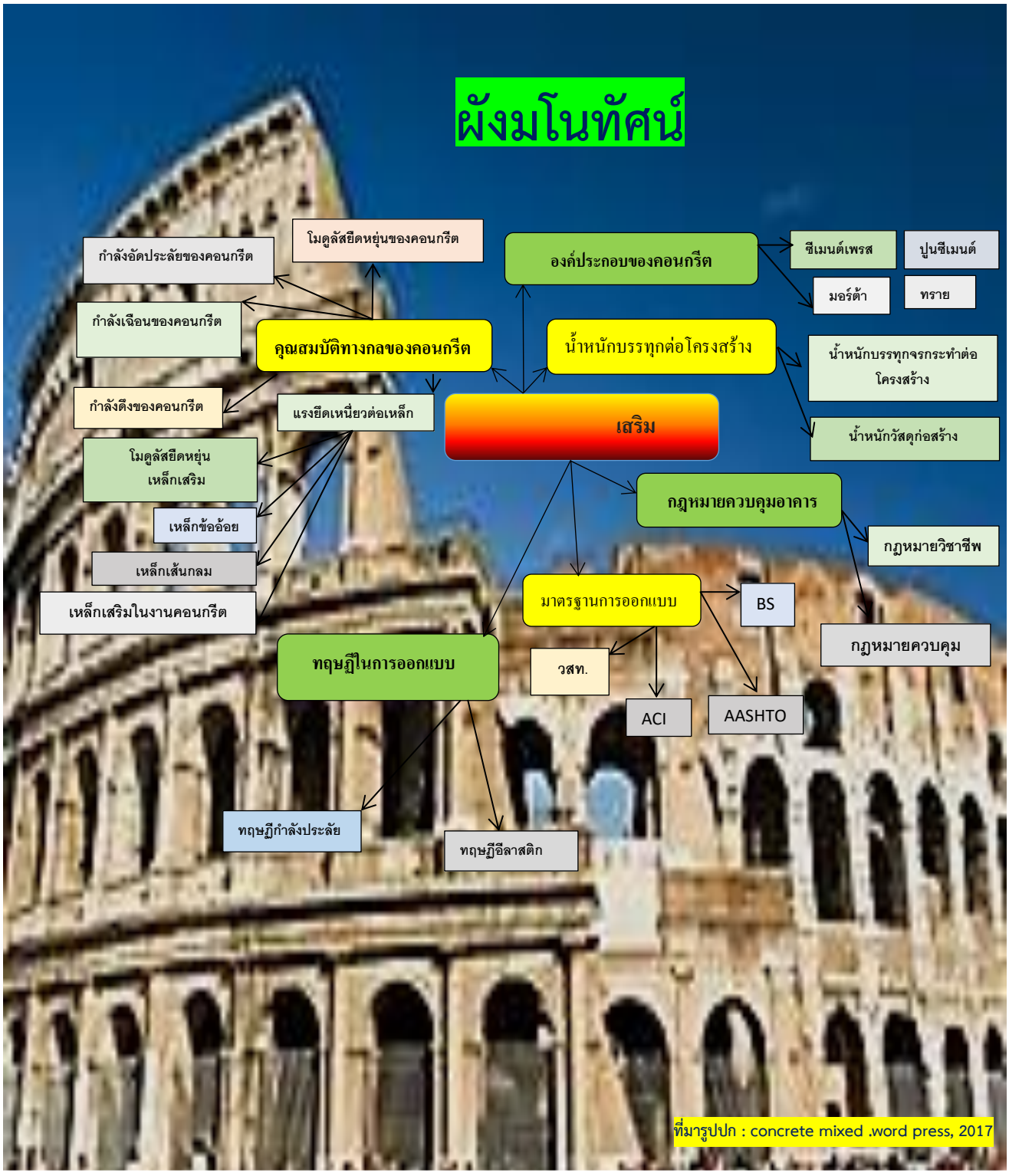
โมดูลที่	ชื่อโมดูลและหัวข้อการเรียนรู้	ระดับพฤติกรรมที่พึงประสงค์									
		พุทธิพิสัย							ทักษะพิสัย	จิตพิสัย	เวลา (ชม.)
		ความรู้	ความเข้าใจ	นำไปใช้	วิเคราะห์	สังเคราะห์	ประเมินค่า	รวม			
1.	**พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก**	10	10	5	5	-	5	35	50	50	3
	1. บอกองค์ประกอบของคอนกรีตได้	1	1					2	10	10	1
	2. อธิบายคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตได้	1	1	1				3	10	10	
	3. เลือกใช้เหล็กเสริมในงานคอนกรีตได้	1	1					2	10	10	
	4. อธิบายคุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริมได้	1	1					2	10	10	1
	5. ออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบได้	1	1	1				3	10	10	
	6. ออกแบบตามกฎหมายควบคุมอาคารได้	1	1	1				3	10	10	1
	7. คำนวณน้ำหนักบรรทุกต่อโครงสร้างได้	2	2	1	2		2	9	10	10	
	8. เลือกใช้ทฤษฎีในการออกแบบได้	2	2	1	3		3	11	20	20	
2.	**การออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก**	10	10	5	5	-	5	35	60	40	9
	1. บอกชนิดของหน่วยแรงที่ยอมให้ได้	1	1					2	10	5	1
	2. คำนวณหาค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีตได้	1	1	1				3	10	5	1
	3. คำนวณหาค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมได้	1	1					2	10	5	1
	4. วิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทฤษฎีอีลาสติกได้	1	1					2	10	5	1
	5. คำนวณโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวได้	1	1	1			1	4	5	5	1
	6. คำนวณหาตำแหน่งแนวแกนสะเทินได้	1	1	1				3	5	5	1
	7. เลือกใช้ทฤษฎีในการออกแบบได้	2	2	1	2		1	8	5	5	1
	8. คำนวณโครงสร้างคอนกรีตมีเหล็กเสริมทั้งแรงดึงและแรงอัดได้	2	2	1	3		3	11	5	5	2
3	**การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก**	10	10	5	5	-	5	3.5	60	40	12
	1. จำแนกชนิดของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้	1	1					2	5	5	
	2. บอกข้อมาตรฐานออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักทางเดียวได้	0.5	0.5					1	5	5	
	3. คำนวณน้ำหนักกระทำภายนอกต่อโครงสร้างพื้นได้	0.5	0.5					1	5	5	
	4. วิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแรงภายในโครงสร้างพื้นได้	1	1					2	5	5	
	5. บอกตำแหน่งการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นได้	1	1					2	5	5	
	6. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กวางบนดินได้	1	1	0.5	0.5		0.5	3.5	5	5	
	7. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหลักทางเดียวได้	1	1	1	1		1	5	5	2	
	8. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นยื่นคอนกรีตเสริมเหล็กได้	1	1	1	1		1	5	5	2	
	9. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นสำเร็จรูปท้องเรียบได้	1	1	1	1		1	5	5	2	
	10. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักสองทางได้	1	1	1	1		1	5	5	2	
	11. เขียนรูปหน้าตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้	1	1	0.5	0.5		0.5	3.5	10	2	

ตารางวิเคราะห์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (ต่อ)

โมดูลที่	ชื่อโมดูลและหัวข้อการเรียนรู้	ระดับพฤติกรรมที่พึงประสงค์ พุทธิพิสัย									
		ความรู้	ความเข้าใจ	นำไปใช้	วิเคราะห์	สังเคราะห์	ประเมินค่า	รวม	ทักษะพิสัย	จิตพิสัย	เวลา (ชม.)
4	**การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก**	10	10	5	5	-	5	35	40	60	6
	1. จำแนกชนิดของบันไดได้	3	3					6	10	10	2
	2. บอกข้อบัญญัติทั่วไปของบันไดได้	3	2	2	1		1	9	10	20	2
	3. คำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กได้	4	5	3	4		4	20	20	30	2
5	**การออกแบบฐานรากคาน คอนกรีตเสริมเหล็ก**	10	10	5	5	-	5	35	60	40	12
	1. จำแนกชนิดของคานได้	1	1					2	10	5	1
	2. อธิบายลักษณะการถ่ายน้ำหนักลงคานได้	1	1	1				3	10	5	1
	3. อธิบายพฤติกรรมของคานเมื่อน้ำหนักกระทำได้	1	1					2	10	5	1
	4. คำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กตามข้อกำหนดได้	1	1					2	10	5	1
	5. คำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กต้านทานโมเมนต์ดัดกระทำในคานได้	1	1	1			1	3	5	5	1
	6. คำนวณออกแบบคานต้านแรงเฉือนกระทำในคานได้	1	1	1				3	5	5	1
	7.คำนวณออกแบบระยะฝังของเหล็กในคานยื่นได้	2	2	1	2		1	8	5	5	1
	8. เขียนแบบรูปขยายหน้าตัดคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้	2	2	1	3		3	11	5	5	2
6	**การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก**	10	10	5	5	-	5	35	60	40	6
	1. จำแนกชนิดของเสาได้	1	1					2	10	5	1
	2. อธิบายลักษณะการรับน้ำหนักของเสาได้	1	1	1				3	10	5	1
	3. อธิบายพฤติกรรมของเสาเมื่อน้ำหนักกระทำได้	1	1				1	3	101	5	1
	4. คำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กตามข้อกำหนดได้	1	1	1	1		1	5	10	5	1
	5. คำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยาวได้	2	2	1	1		1	7	10	5	1
	6. คำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยาวได้	2	2	1	1		1	7	5	5	1/2
	7. เขียนแบบรูปขยายหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็กได้	2	2	1	2		1	8	5	10	1/2
7	**การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก**	10	10	5	5	-	5	35	60	40	3
	1. จำแนกชนิดของฐานรากได้	0.5	0.5					1	10	5	1/2
	2. อธิบายลักษณะการรับน้ำหนักของฐานรากได้	0.5	0.5					1	10	5	1/2
	3. อธิบายพฤติกรรมของฐานรากเมื่อน้ำหนักกระทำได้	1	1				1	3	10	10	1/2
	4. คำนวณออกแบบฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็กได้	4	4	2.5	2.5		2	15	10	10	1/2
	5. คำนวณออกแบบฐานรากเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กได้	4	4	2.5	2.5		2	15	20	10	1
8	**1.ประเมินผล การออกแบโครงสร้างบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก** **2.สอบปลายภาคเรียน**										3

โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced concrete structure of fundamental)



บทนำ

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ต้องผ่านการเรียนรู้วิชาพื้นฐานหลายแขนง เช่น คอนกรีตเทคโนโลยี ความแข็งแรงวัสดุ วัสดุวิศวกรรมและการทดสอบการวิเคราะห์โครงสร้าง ต้องรู้และเข้าใจระบบโครงสร้าง สมมติฐานต่างๆ พฤติกรรมขององค์อาคารหรือโครงสร้างเมื่อรับน้ำหนักและต้องทราบกลสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ประกอบเป็นองค์อาคาร อันได้แก่ วัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริม วัสดุเมื่อรับน้ำหนักจะเกิดพฤติกรรมอย่างไร ข้อกำหนดและมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ วิธีคำนวณออกแบบและการให้รายละเอียดตำแหน่งเหล็กเสริมในเนื้อคอนกรีต ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะใช้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์โครงสร้างผนวกกับกลสมบัติของวัสดุโดยมีหลักการว่าจะต้องออกแบบโดยคำนึงความมั่นคงแข็งแรง ความประหยัด สามารถก่อสร้างได้ และ ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ สำหรับวิชาที่เป็นพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

Study of design of reinforced concrete structures Must pass many basic courses such as concrete, technology Strength material Materials Engineering and Structure Analysis Testing Must know and understand the structural system Assumptions Behavior of buildings or structures when carrying weight and must know the mechanical properties of the materials used to make up the building, such as concrete and reinforced steel. Material when carrying weight, how will behave Requirements and standards used in the design Calculation method for design and detailed positioning of reinforcing steel in concrete Therefore, the design of reinforced concrete structures is based on the results of structural analysis combined with mechanical properties of the material, with the principle that design must be taken into account with stability, strength, economy, can be constructed and used as intended. For the basic subjects in the design of reinforced concrete structures

คำแนะนำขั้นตอนการใช้บทเรียน

โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

((Reinforced concrete structure of fundamental)

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล

↓

ศึกษาคำแนะนาการใช้บทเรียนโมดูล

↓

ศึกษาจุดประสงค์ของบทเรียนโมดูล

↓

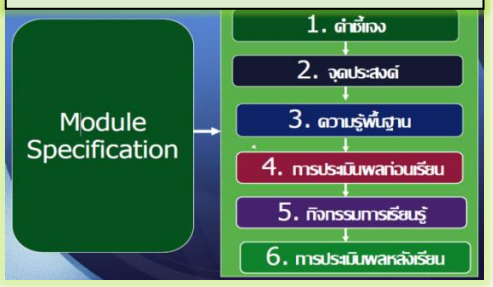
ทดสอบก่อนเรียน

↓

ศึกษาเนื้อหาในบทเรียนโมดูล ทำกิจกรรมการเรียน บังคับ บทเรียนโมดูล และทดสอบหลังเรียน

↓ ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75

เรียนบทเรียนโมดูลต่อไป



↓ ไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75

เรียนซ่อมเสริมโดยใช้โมดูลเดิม โดยนักเรียนเลือกปฏิบัติดังนี้

1. ปรึกษาครูผู้สอน
2. ให้เพื่อนช่วย
3. เพิ่มเวลาในการศึกษาบทเรียน

องค์ประกอบบทเรียน

โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced concrete structure of fundamental)

1. ผังมโนทัศน์
2. ผังคำแนะนำการใช้บทเรียนโมดูล
3. องค์ประกอบโมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. คู่มือนักเรียน ด้านคำนะนำการใช้บทเรียน
5. บทนำ โมดูลที่ 1 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

6. ขอบเขตของเนื้อหา โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
7. ความรู้พื้นฐานของผู้เรียน
8. จุดประสงค์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรมจากการวิเคราะห์หลักสูตร
9. การประเมินผลก่อนเรียน
10. กิจกรรมจัดการเรียนการสอน

11. แบบทดสอบก่อนเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
12. แผนการจัดการเรียนรู้
13. เนื้อหาสาระ
14. บทสรุป

15. แบบทดสอบหลังโมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
16. ใบงานที่ 1.1 แบบฝึกหัด
17. ใบงานที่ 1.2 กิจกรรมกลุ่ม
18. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

คู่มือผู้เรียน

โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced concrete structure of fundamental)

คู่มือผู้เรียน ด้านคำนะนำการใช้บทเรียนโมดูลที่ 1

คำชี้แจง: ผู้เรียนควรมีความรู้พื้นฐานด้านวิชาการก่อสร้าง อาทิ วัสดุก่อสร้าง กลศาสตร์เบื้องต้น ความแข็งแรงวัสดุ ทฤษฎีโครงสร้าง การอ่านและเขียนแบบงานก่อสร้าง และประสบการณ์การการฝึกงานในหน่วยงานก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและเขียนแบบหรือการตรวจควบคุมงานก่อสร้าง จะทำให้มีความรู้ความเข้าใจ บริบทพื้นฐานเริ่มต้นของการเรียนวิชาการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้ชุดโมดูลการเรียนรู้วิชาการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. ผู้เรียน ทำความเข้าใจศึกษาการเรียนการสอนด้วย บทเรียนโมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. ผู้เรียน ทำแบบทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนก่อนเรียน บทเรียนโมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จำนวน 10 ข้อ
3. ผู้เรียน ตรวจคำตอบจากแบบเฉลยการทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนก่อนเรียน โมดูลที่ 1 โดยครูผู้สอนมอบให้
4. ผู้เรียน ศึกษาจุดประสงค์การเรียนแต่ละตอนให้มีความรู้ ความเข้าใจ ในเนื้อหาสาระ
5. ผู้เรียน รับเอกสารเนื้อหาสาระประกอบการเรียน บทเรียนโมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจากครูผู้สอน
6. ผู้เรียน ต้องเข้าร่วมกิจกรรมการจัดการเรียนการสอน ตามเอกสารประกอบการเรียนในบทเรียน แต่ละในโมดูลการเรียนรู้
7. กิจกรรมเลือก คือกิจกรรมที่มีไว้สำหรับผู้เรียนที่สอบประเมินผลไม่ผ่านเกณฑ์ ร้อยละ 80 โดยให้นักเรียนทำกิจกรรมเลือกตามจุดประสงค์ที่ไม่ผ่าน
8. ผู้เรียน ศึกษาทำความเข้าใจอย่างถี่ถ้วนในใบความรู้ บทเรียนโมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
9. ผู้เรียน ทำแบบฝึกหัด กิจกรรมกลุ่ม บทเรียนโมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
10. ผู้เรียน ทำแบบทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนหลังเรียน บทเรียนโมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน
11. ผู้เรียนผ่านเกณฑ์ประเมินร้อยละ 75 สามารถเรียน บทเรียนโมดูลที่ 2 ต่อไปได้ แต่ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์ประเมินร้อยละ 75 ผู้เรียนต้องเรียนซ่อมเสริมใน บทเรียนโมดูลที่ 1 จนกว่าจะผ่าน
12. การเรียนซ่อมเสริม โดยผู้เรียนต้องศึกษาเนื้อหาสาระ ทำกิจกรรมการเรียน และทำแบบทดสอบหลังเรียน ซึ่งเป็นแบบทดสอบชุดเดียวกับแบบทดสอบก่อนเรียนอีกครั้งจนกว่าจะผ่าน เกณฑ์ร้อยละ 75
13. ผู้เรียนจัดเก็บเอกสารและสื่อการเรียน ตัวอย่างหุ่นจำลองโครงสร้าง ในทุก ๆ บทเรียนโมดูล ให้เรียบร้อยเป็นหมวดหมู่ตามที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้

ขอบเขตเนื้อหา

โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced concrete structure of fundamental)

ขอบเขตของเนื้อหา โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งประกอบด้วยเนื้อหา ต่อไปนี้

องค์ประกอบของคอนกรีต

คุณสมบัติทางกลของคอนกรีต

คุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริม

ออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบ

กฎหมายควบคุมอาคาร

คำนวณน้ำหนักบรรทุกต่อโครงสร้าง

ทฤษฎีในการออกแบบโครงสร้าง คสล.

แบบฝึกหัดพื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

•

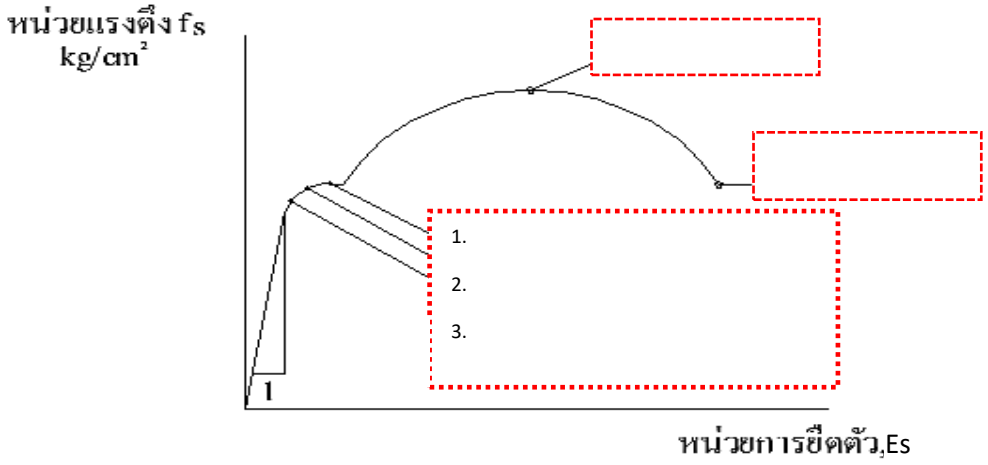
การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน

โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced concrete structure of fundamental)

คำชี้แจง : การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน ให้ผู้เรียนทดสอบพื้นฐานความรู้ของตนเองก่อนเรียน

1. ส่วนประกอบของคอนกรีต ซึ่งมีวัสดุผสม (Composite materials) และวัสดุประสาน ประกอบด้วยอะไรบ้าง
2. ค่ากำลังอัดของคอนกรีต (f_c') หมายถึง
3. ค่ากำลังดึงของเหล็กเสริม (f_s) หมายถึง
4. ค่า โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (Ec) หมายถึง
5. ข้อมูลคุณสมบัติที่สำคัญของเหล็กเสริม ในการนำมาใช้ประกอบการออกแบบ ประกอบด้วย
6. จงบอกข้อกำหนดการออกแบบทั่วไป ACI Building Code 318 และ ว.ส.ท. 6202 ที่ใช้ประกอบในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
7. จงเปรียบเทียบผลการใช้ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ ระหว่าง หน่วยแรงกับกำลังประลัย (วิธีการออกแบบ WSD และ SDM)
8. จงบอกหรือยกตัวอย่าง กฎหมายควบคุมอาคารและกฎหมายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบก่อสร้างและใช้งานอาคาร โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
9. จงบอกหรือยกตัวอย่าง น้ำหนักบรรทุกต่อโครงสร้าง (Load) ตมข้อกำหนด มาตรฐาน ว.ส.ท. ที่ใช้ประกอบในการ อาคาร โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
10. จงระบุพฤติกรรมตามตำแหน่งของผลการทดสอบวัสดุเหล็กเสริม ดังรูป



ผลการวิเคราะห์หลักสูตรจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced concrete structure of fundamental)

1. จุดประสงค์การเรียนรู้

1.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐาน โครงสร้าง คอนกรีต และเหล็กเสริม

1.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณพื้นฐาน โครงสร้าง คอนกรีต และเหล็กเสริม

1.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

2.1 บอกองค์ประกอบของคอนกรีต ได้ถูกต้อง

2.2 อธิบายคุณสมบัติทางกลของคอนกรี ได้ถูกต้อง

2.3 เลือกใช้เหล็กเสริมในงานคอนกรีต ได้ถูกต้อง

2.4 อธิบายคุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริม ได้ถูกต้อง

2.5 คำนวณน้ำหนักบรรทุกต่อโครงสร้าง ได้ถูกต้อง

2.6 ออกแบบตามกฎหมายควบคุมอาคาร ได้ถูกต้อง

2.7 ออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบ ได้ถูกต้อง

2.8 เลือกใช้ทฤษฎีในการออกแบบ ได้ถูกต้อง

องค์ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้
โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
(Reinforced concrete structure of fundamental)

องค์ประกอบ บทเรียนโมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. แนวคิด/จุดประสงค์หน่วยการเรียน/สมรรถนะ

- คำชี้แจงการใช้บทเรียนโมดูล
- แผนผังมโนทัศน์ประจำหน่วยการเรียน
- แผนการจัดการเรียนรู้
- แนวคิด/จุดประสงค์หน่วยการเรียน/สมรรถนะ
- เค้าโครงสาระสำคัญการเรียนรู้ โมดูลที่ 1

2. กิจกรรมการเรียนรู้/สื่อการประเมินผล

- แบบทดสอบก่อนเรียน
- เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
- ใบความรู้
- แบบฝึกหัด
- เฉลยแบบฝึกหัด
- ใบมอบหมาย
- แบบทดสอบหลังเรียน
- เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน
- แบบประเมินคุณธรรม /จริยธรรม/ ค่านิยม และคุณลักษณะอังพึงประสงค์
- แบบประเมินพฤติกรรมรายบุคคล
- เอกสารอ้างอิง

แบบทดสอบก่อนเรียน

โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced concrete structure of fundamental)

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

คำสั่ง: จงเติมคำตอบของคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง (คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลา 10 นาที)

1.ข้อใดให้ความหมายคอนกรีตได้ถูกต้องที่สุด

ก. วัสดุก่อสร้างที่ประกอบด้วยวัสดุเชื่อมประสาน

ข. วัสดุก่อสร้างที่มีส่วนประกอบของมวลรวมกับน้ำ

ค. ก่อสร้างที่มีส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ และทรายเท่านั้น

ง. วัสดุก่อสร้างที่มีส่วนประกอบของวัสดุเชื่อมประสานกับมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดวัสดุ

2. ส่วนประกอบของคอนกรีต คือข้อใด

ก. ปูนซีเมนต์+น้ำ+หิน+ทราย

ข. ปูนซีเมนต์+น้ำ+ทราย

ค. ปูนซีเมนต์+น้ำ+หิน

ง. ปูนซีเมนต์+น้ำ+หิน+ทราย+อากาศ

3. ซีเมนต์ (Cement Paste) หมายถึงข้อใด

ก. ปูนซีเมนต์ ผสมกับน้ำ

ข. ปูนซีเมนต์ ผสมกับหิน

ค. ปูนซีเมนต์ ผสมกับทราย

ง. ปูนซีเมนต์ ผสมกับทรายและน้ำ

4. ในคอนกรีตมีวัสดุผสมหรือมวลรวม ในหนึ่งปริมาตรประมาณเท่าใด

ก. 40-50%

ข. 55-60%

ค. 65-78%

ง. 70-80%

5. คอนกรีตโดยทั่วไปมีความหนาแน่น (กก./ลบ.ม) มีค่าเท่าใด

ก. 1800-1900 กก./ลบ.ม.

ข. 1900-2000 กก./ลบ.ม.

ค. 2000-22000 กก./ลบ.ม.

ง. 2300-2400 กก./ลบ.ม.

6. การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามาตรฐานอเมริกากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุกี่วัน

ก. 7 วัน

ข. 14 วัน

ค. 21 วัน

ง. 28 วัน

7. หน่วยที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต คือข้อใด

ก. ksc

ข. khc

ค. kfc

ง. ksc^2

8. ข้อใดกล่าว ผิด เกี่ยวกับคอนกรีต

ก. คอนกรีตมีคุณสมบัติแข็งแต่เปราะ

ข. คอนกรีตสามารถรับแรงดึงได้ดี

ค. ในเนื้อคอนกรีตมีปริมาตรอากาศอยู่ประมาณร้อยละ 6

ง. คอนกรีตเป็นวัสดุผสม (Composite Material)

9. เหล็กเสริมคอนกรีตใช้ชื่อสัญลักษณ์ RB หมายถึงข้อใด

ก. เหล็กรับแรงดึง

ข. เหล็กเส้นกลม

ค. เหล็กข้ออ้อย

ง. เหล็กรูปพรรณ

10.ออกแบบโดยใช้หน่วยแรงในช่วงความเค้นกับความเครียดเป็นปฏิภาคกัน คือทฤษฎีตามข้อใด

ก. ทฤษฎีกำลัง

ข. ทฤษฎีอีลาสติก

ค. ทฤษฎีกำลังประลัย

ง. ทฤษฎีพลาสติก

	แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	**โมดูลที่ 1**
	รหัสวิชา 3121-2102	**สอนครั้งที่ 1-2**
	โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	**จำนวน 6 ชั่วโมง**

1. หัวข้อเรื่อง

1.1 ปฐมนิเทศเกี่ยวกับขอบเขตเนื้อหา จุดประสงค์ วิธีการสอน กิจกรรมการสอน หลักเกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

1.2 ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนเมื่อเรียนจบสาระการเรียน

2. สาระการเรียนรู้

2.1 กำหนดขอบเขต เนื้อหาวิชา จุดประสงค์ วิธีการสอน กิจกรรมการสอน

2.2 กำหนดหลักเกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1.เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐาน โครงสร้าง คอนกรีต และเหล็กเสริม

3.2.เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณพื้นฐาน โครงสร้าง คอนกรีต และเหล็กเสริม

3.3.เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1.บอกองค์ประกอบของคอนกรีต ได้ถูกต้อง

4.2.อธิบายคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต ได้ถูกต้อง

4.3.เลือกใช้เหล็กเสริมในงานคอนกรีต ได้ถูกต้อง

4.4.อธิบายคุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริม ได้ถูกต้อง

4.5.คำนวณน้ำหนักบรรทุกต่อโครงสร้าง ได้ถูกต้อง

4.6.ออกแบบตามกฎหมายควบคุมอาคาร ได้ถูกต้อง

4.7.ออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบ ได้ถูกต้อง

4.8.เลือกใช้ทฤษฎีในการออกแบบ ได้ถูกต้อง

	แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	**โมดูลที่ 1**
	รหัสวิชา 3121-2102	**สอนครั้งที่ 1-2**
	โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้าง คอนกรีต เหล็กเสริม	**จำนวน 6 ชั่วโมง**

5. กิจกรรมการเรียนการสอน

ครู	นักเรียน
5.1 นำเข้าสู่บทเรียน	5.1 ฟังบรรยายเข้าสู่บทเรียน
5.2 ทดสอบความรู้ก่อนเรียน	5.2 ทำข้อสอบก่อนเรียน
5.3 มอบใบความรู้	5.3 อ่านทำความเข้าใจในใบความรู้
5.4 บรรยายพร้อมแสดงสื่อประกอบการยกตัวอย่างและสอดแทรกแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง	5.4 ตั้งใจฟังบรรยาย พร้อมซักถามข้อสงสัยและตอบคำถามของครูผู้สอน
5.5 ให้แบบฝึกหัด	5.5 ทำแบบฝึกหัด
5.6 ให้ใบมอบงาน	5.6 ทำงานตามมอบหมายงานโดยใช้กิจกรรมกลุ่ม
5.7 ทดสอบหลังเรียน	5.7 ทำข้อสอบหลังเรียน

6. งานที่มอบหมาย

6.1 ก่อนเรียนให้ใบความรู้

6.2 ขณะเรียนให้ศึกษาในใบความรู้ พร้อมแบ่งกลุ่มทำกิจกรรมพัฒนาองค์ความรู้และบุคลิกภาพ

6.3 หลังเรียนให้ค้นคว้าเขียนรายงานเกี่ยวกับพื้นฐานโครงสร้าง คอนกรีต เหล็กเสริม และนำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์

7. สื่อการสอน

7.1 สิ่งพิมพ์

7.2 โสต แผ่นใส และแผ่นสไลด์

7.3 ตัวอย่างผลงานพื้นฐานโครงสร้าง คอนกรีต เหล็กเสริม หรือหุ่นจำลองการนำไปใช้ในงานก่อสร้าง

8. การประเมินผล

8.1 ก่อนเรียน

ให้ทำข้อสอบก่อนเรียน

8.2 ระหว่างเรียน

ประเมินความสนใจ และความเข้าใจในการตอบข้อซักถาม

8.3 หลังเรียน

ใบมอบงาน

แบบฝึกหัด แบบทดสอบหลังเรียน และตรวจทานความถูกต้อง

เนื้อหาสาระบทเรียนโมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ต้องรู้และเข้าใจระบบโครงสร้าง วัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริม ซึ่งโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ประกอบด้วย วัสดุสองชนิดคือคอนกรีตและเหล็กเสริม ทำหน้าที่รับน้ำหนักหรือรับแรงที่กระทำต่อโครงสร้างร่วมกัน แต่คอนกรีตและเหล็กเสริมมีคุณสมบัติต่างกัน ดังนั้น เมื่อนำวัสดุทั้งสองชนิดมาใช้งานร่วมกัน สิ่งที่สำคัญคือความรู้ด้านคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งวิชาพื้นฐาน จะทำให้เข้าใจถึงกลสมบัติและกลไกในการรับแรงของวัสดุ โดยมีหลักการว่าจะต้องออกแบบโดยคำนึงถึงความมั่นคงแข็งแรง ความประหยัด สามารถก่อสร้างได้และใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์

จุดประสงค์การเรียนการสอน

จุดประสงค์ทั่วไป

1. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐาน โครงสร้าง คอนกรีต และเหล็กเสริม
2. เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณพื้นฐาน โครงสร้าง คอนกรีต และเหล็กเสริม
3. เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. บอกองค์ประกอบของคอนกรีต ได้ถูกต้อง
2. อธิบายคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต ได้ถูกต้อง
3. เลือกใช้เหล็กเสริมในงานคอนกรีต ได้ถูกต้อง
4. อธิบายคุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริม ได้ถูกต้อง
5. ออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบ ได้ถูกต้อง
6. ออกแบบตามกฎหมายควบคุมอาคาร ได้ถูกต้อง
7. คำนวณน้ำหนักบรรทุกต่อโครงสร้าง ได้ถูกต้อง
8. เลือกใช้ทฤษฎีในการออกแบบ ได้ถูกต้อง

หัวข้อเนื้อหาสาระ

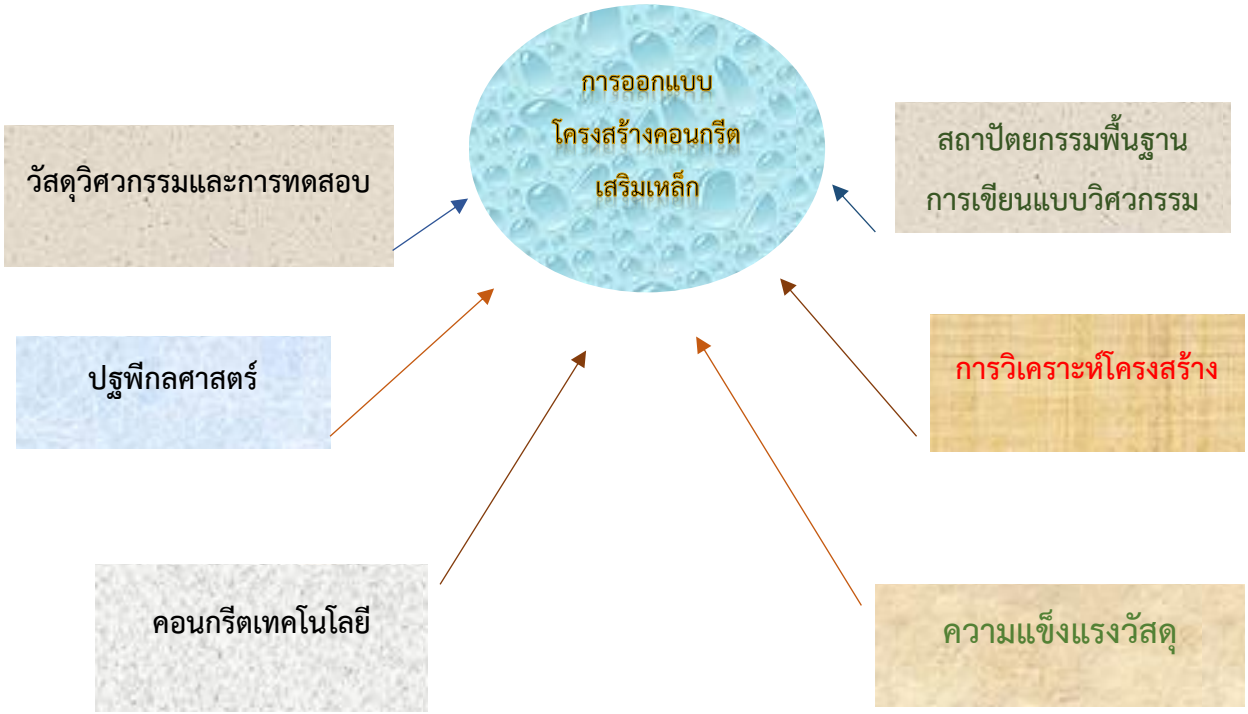
1. พื้นฐาน โครงสร้าง คอนกรีต และเหล็กเสริม
    - 1.1 คอนกรีต
    - 1.2 เหล็กเสริม
    - 1.3 มาตรฐานการออกแบบ
    - 1.4 กฎหมายควบคุมอาคาร
    - 1.5 น้ำหนักบรรทุกต่อโครงสร้าง
    - 1.6 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced concrete structure of fundamental)

1.1 พื้นฐานความรู้ด้านคอนกรีต

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ต้องผ่านการเรียนรู้วิชาพื้นฐานหลายแขนง เช่น คอนกรีตเทคโนโลยี ความแข็งแรงวัสดุ วัสดุวิศวกรรมและการทดสอบการวิเคราะห์โครงสร้าง ต้องรู้และเข้าใจระบบโครงสร้าง สมมติฐานต่างๆ พฤติกรรมขององค์อาคารหรือโครงสร้างเมื่อรับน้ำหนักและต้องทราบกลสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ประกอบเป็นองค์อาคาร อันได้แก่ วัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริม วัสดุเมื่อรับน้ำหนักจะเกิดพฤติกรรมอย่างไร ข้อกำหนดและมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ วิธีคำนวณออกแบบและการให้รายละเอียดตำแหน่งเหล็กเสริมในเนื้อคอนกรีต ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะใช้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์โครงสร้างผนวกกับกลสมบัติของวัสดุโดยมีหลักการว่าจะต้องออกแบบโดยคำนึงความมั่นคงแข็งแรง ความประหยัด สามารถก่อสร้างได้ และ ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ สำหรับวิชาที่เป็นพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 วิชาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

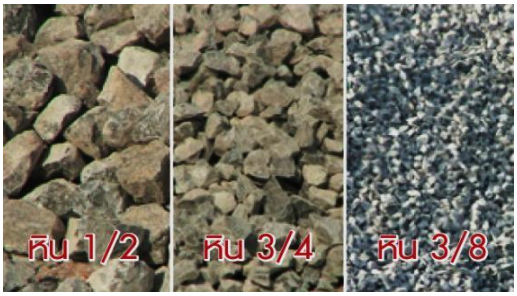
พื้นฐานของคอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ วัสดุประสานได้แก่ ปูนซีเมนต์กันน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต กับวัสดุผสมคละอันได้แก่ ทรายกับหินหรือกรวด เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง นำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการ หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็งที่มีความแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น ตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นคอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น สำหรับใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน เพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคา และคุณสมบัติต่าง ๆ ซึ่งองค์ประกอบของคอนกรีต ประกอบด้วย

1) ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) คือ ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำสะอาดและอากาศ ก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เริ่มก่อตัวอย่างรวดเร็วในระยะแรกจะ จับตัว เกาะกันแน่นต่อเนื่องกันไปอย่างยาวนาน หรือเรียกว่ามีอัตราส่วนของ นำต่อซีเมนต์ ที่เหมาะสม (water cement ratio; W/C) ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่กำลังอัดประลัย

อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก (W/C)		กำลังอัดประลัยของคอนกรีต
คอนกรีตธรรมดา	คอนกรีตมีฟองอากาศ	รูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน (กก./ซม.^{2})
0.65	0.54	170
0.60	0.49	200
0.50	0.39	250

ที่มา: มาตรฐาน วสท. 1007-34, 2550



รูปที่ 1.2 มวลรวมผสมคอนกรีต
ที่มา: ข้อมูล บริษัท ตรัง ซีย จำกัด, 2559

2) วัสดุผสมคละ เป็นการรวมวัสดุหยาบกับวัสดุละเอียดคละกันเพื่อลดช่องว่างให้น้อยที่สุด

2.1) วัสดุหยาบ ได้แก่ กรวดหรือหิน มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มม. ขึ้นไป หรือค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4

2.2) วัสดุผสมละเอียด ได้แก่ ทราย มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม. ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ต้องไม่เล็กกว่า 0.07 มม. หรือ ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200

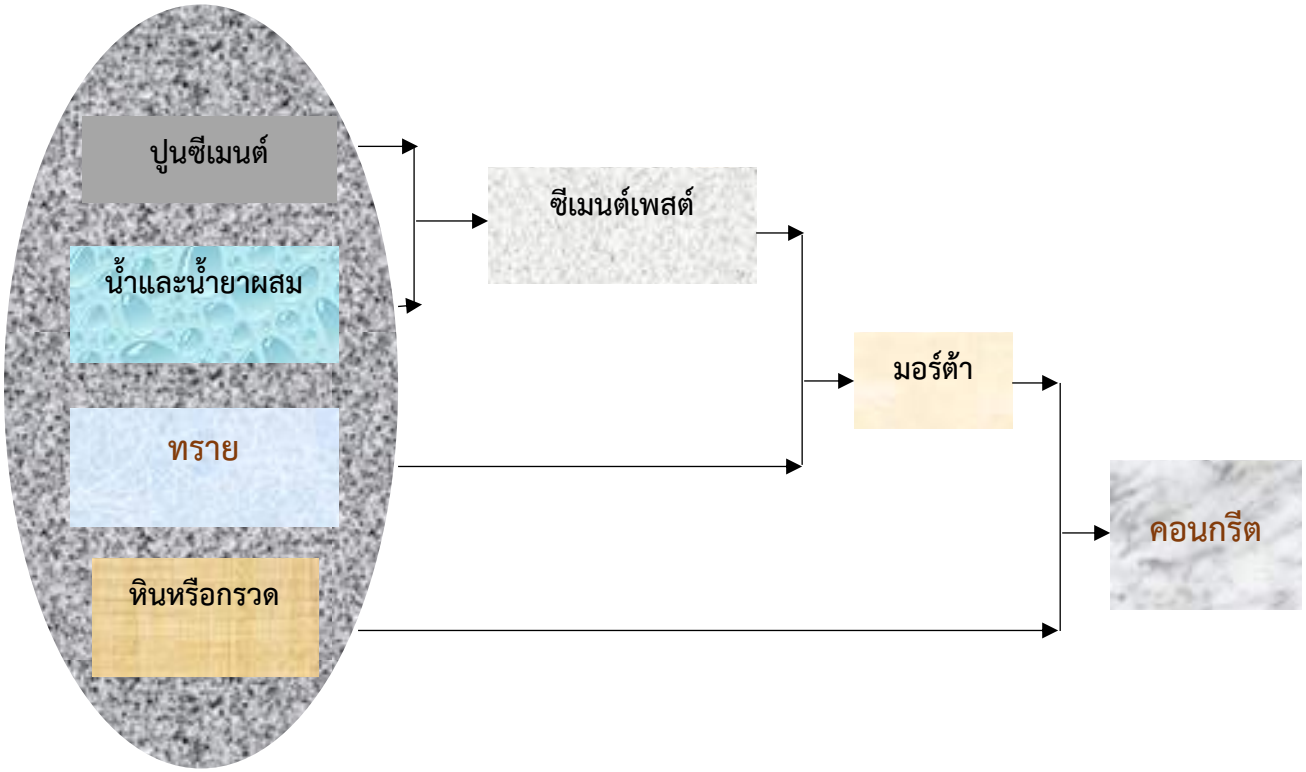
ปริมาตรของวัสดุผสมคละในเนื้อคอนกรีตจะมีประมาณร้อยละ 65 - 78 ทำให้คอนกรีตมีราคาถูก คอนกรีตที่ผสมใหม่ๆยังเหลวอยู่นั้น โดยในส่วนที่เป็นของแข็งรวมทั้งปูนซีเมนต์จะลอยตัวอยู่ในน้ำชั่วคราวเม็ดปูน

แต่ละเม็ดจะถูกแยกไว้ด้วยชั้นบางๆของน้ำในขณะเดียวกันจะเกิด แรงยึดเกาะขึ้นในระหว่างเม็ดปูนซีเมนต์เล็ก ๆ ทำให้ ส่วนผสมนี้เหลวพอเทได้ วัสดุผสมคละจะถูกห่อหุ้มด้วยซีเมนต์เพสต์ ปริมาตรของส่วนผสมในคอนกรีตสามารถแยกเป็นส่วนต่าง ๆได้โดยประมาณ ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ส่วนประกอบของคอนกรีต

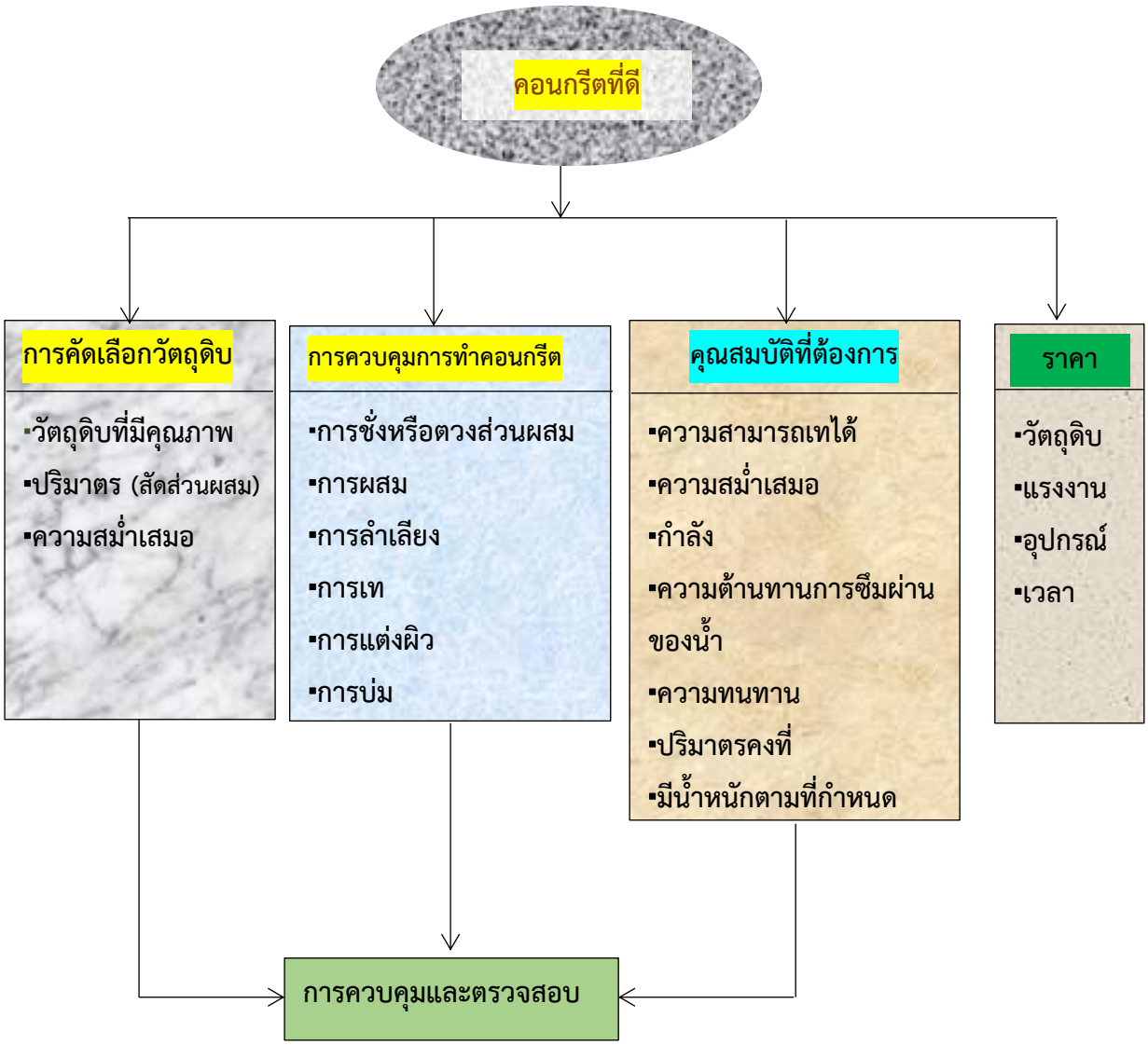
ซีเมนต์เพสต์			ของแข็งธาตุเฉื่อย
อากาศ	น้ำ	ปูนซีเมนต์	วัสดุผสมคละ
2 – 5%	10-20%	10-20%	65-78%

ที่มา: CPAC คอนกรีตโนโลยี, 2558



รูปที่ 1.3 องค์ประกอบต่าง ๆ ของคอนกรีต

ที่มา: กัมปนาท บุญกัน ปรับปรุง, 2559



รูปที่ 1.4 ขบวนการผลิตให้ได้คอนกรีตที่ดี

ที่มา: กัมปนาท บุญกัน ปรับปรุง, 2559

1.2 คุณสมบัติทางกลของคอนกรีต

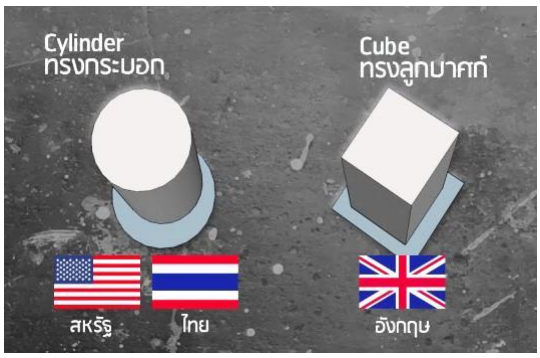
กลสมบัติของคอนกรีต หมายถึง คุณสมบัติที่เกี่ยวเนื่องกับการต้านทานแรงชนิดต่างๆ รวมถึงพฤติกรรมต่างๆภายใต้การกระทำของแรงได้แก่

- กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f_c')
- กำลังรับแรงดึง (ได้ ~10% f_c' ถือว่ารับไม่ได้)
- กำลังรับแรงเฉือน (ได้ ~15-25% ของ f_c')
- ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น – ความเครียด โมดูลัสยืดหยุ่น (Ec) (ได้ ~$15{,}210\sqrt{f_c'}$)

ดังนั้นการรับแรงอัดประลัย (fc') เป็นค่าสำคัญที่ใช้เป็นหลักในการออกแบบ และต้องกำหนดค่า กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (fc') ที่จะใช้สำหรับออกแบบโครงสร้าง

1.2.1 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f_c')

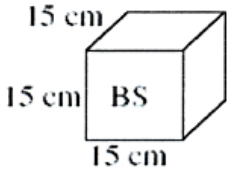
กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ได้ค่ามาจากการ ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ในปัจจุบันนิยมใช้ผลกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าอยู่ 2 มาตรฐาน มาตรฐานอเมริกาและมาตรฐานอังกฤษ ดังต่อไปนี้ดังแสดงในรูปการเปรียบเทียบต่อไปนี้



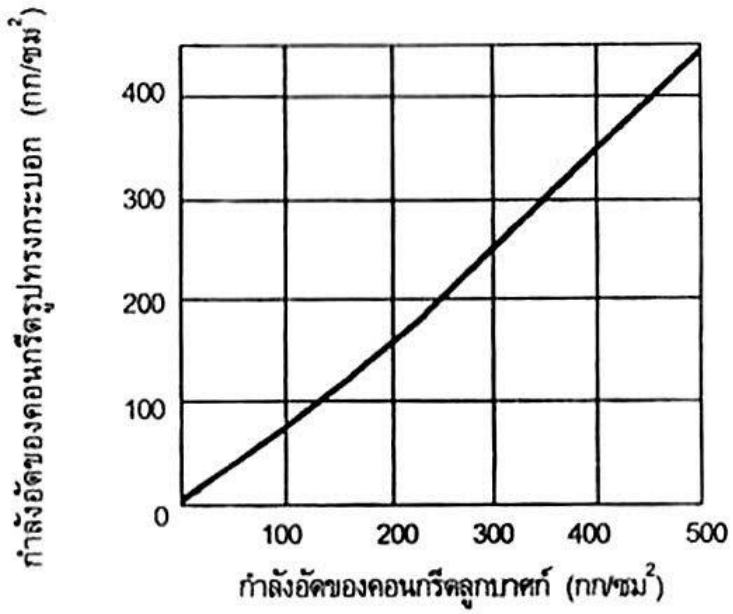
ที่มา: https://www.yotathai.com

มาตรฐาน ASTM – C 192 หล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาด Ø 15 x 30 ซม.

มาตรฐาน BS 1881 : PART 3 หล่อรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม.

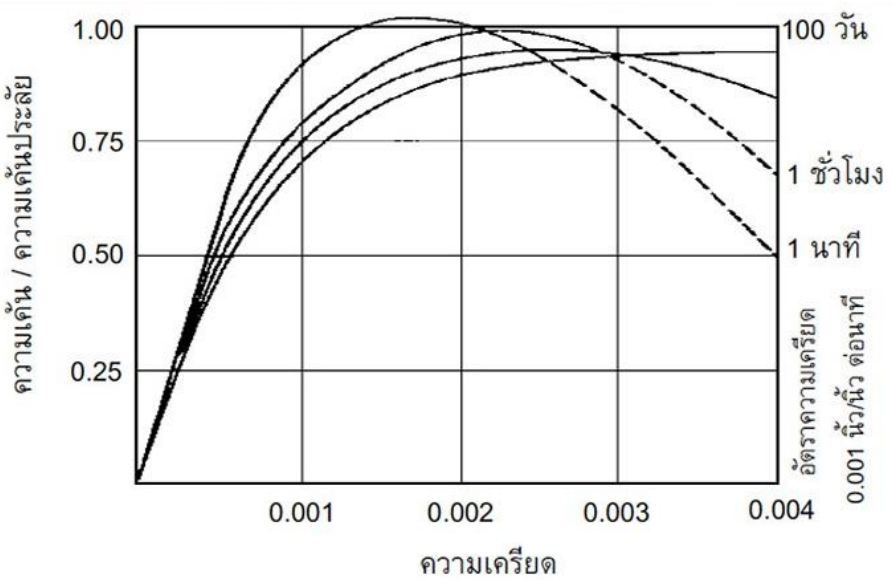


ซึ่งการทดสอบโดยกดเมื่อคอนกรีตมีอายุที่ 3, 7 วัน และ 28 วัน โดยทั่วไปค่าแรงอัดประลัยของรูปทรงลูกบาศก์จะได้สูง กว่ารูปทรงกระบอกประมาณร้อยละ 12-15 ซึ่งมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ได้จัดทำกราฟ เปรียบเทียบระหว่าง ค่ากำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์กับกำลัง อัดรูปทรงกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 1.5 และรูปที่ 1.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น-ความเครียดของคอนกรีตรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 1.5 เปรียบเทียบกำลังอัดระหว่างแท่งทดสอบรูปทรงลูกบาศก์กับรูปทรงกระบอก

ที่มา: ชาญชัย จารุจินดา, 2537



รูปที่ 1.6 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น-ความเครียดของคอนกรีตรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน

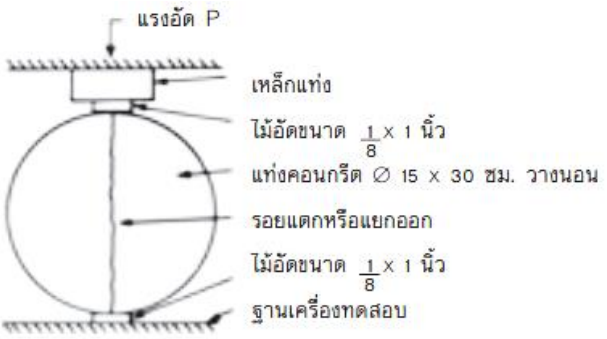
ที่มา: ชาญชัย จารุจินดา. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก, 2537

กำลังคอนกรีตขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยตั้งแต่คุณภาพของวัสดุที่น้ำมาผสมได้ซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มอื่นๆ สัดส่วนและวิธีการผสม การล้าเลียงขนส่ง การเทลงแบบ จนถึงการบ่มคอนกรีต

1.2.2 กำลังดึงของคอนกรีต (Tensile Strength : f_{ct} ,ASTM C496) เป็นความต้านทานในการรับแรงดึงของคอนกรีตมีค่าต่ำมาก คือ ประมาณร้อยละ 10 ของกำลังอัดประลัย ดังนั้นการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก กำหนดให้คอนกรีตรับแรงดึงไม่ได้ซึ่งการทำสอบวสามารถดำเนินการตามวิธีดังต่อไปนี้

1) การทดสอบแรงดึงโดยวิธี Splitting Test เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 496 ใช้ก้อนตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกมาตรฐาน วางตามยาวในแนวนอนบนเครื่องทดสอบกำลังอัด และใช้ไม้อัดหนา 3 มิลลิเมตร วางตามยาวของตัวอย่างทดสอบ เพื่อเป็นตัวส่งถ่ายแรง ให้แรงอัดจนกระทั่งตัวอย่างทดสอบแตกตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังแสดงในรูปที่ 1.7

ก) ลักษณะตัวอย่างการทดสอบแรงดึง



ข) พฤติกรรมของการรับแรงดึง

ค) การทดสอบแรงดึงแบบวิธีผ่าซีก

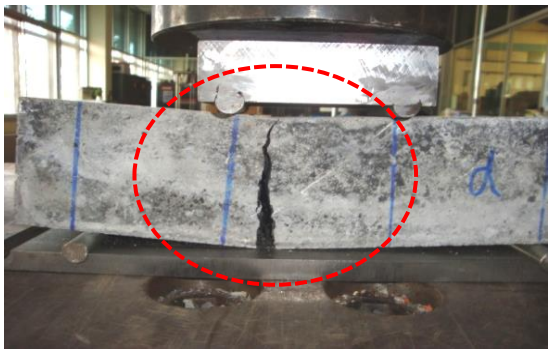
ง) ลักษณะตัวอย่างหลังทำสอบ

รูปที่ 1.7 การทดสอบแรงดึง

ที่มา: ก) แก้วตา ดียิ่ง, 2552 และ ข) วินิต ช่อวิเชียร คอนกรีตเทคโนโลยี, 2539

ค)-ง) สาโรจน์ ดำรงศีล, 2559

2) การทดสอบแรงดึงของคอนกรีตโดยวิธีการดัด (Flexural tensile test) เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 78 ใช้ตัวอย่างทดสอบในรูปของคานคอนกรีตขนาด 15x15x50 ซม. ให้แรงดัดตัวอย่างทดสอบจากการกดน้ำหนักแบบ 3 จุด (Third point loading) จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบแตกหัก ดังในรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 การทดสอบแรงดึงของคอนกรีตโดยวิธีการดัด

ที่มา: สาโรจน์ ดำรงศีล, 2559

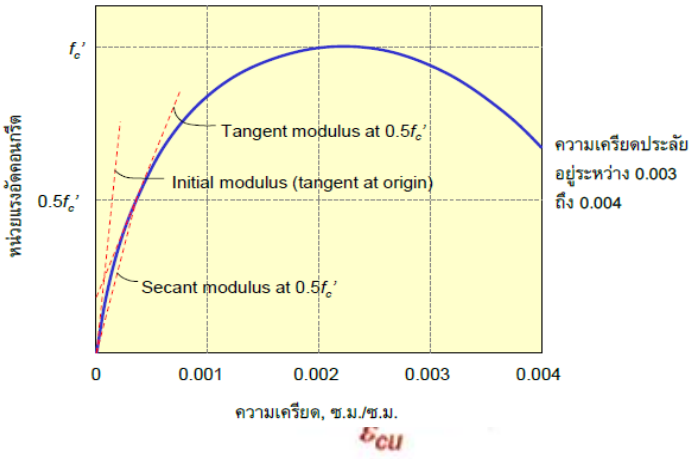
ผลคำนวณหาหน่วยแรงดึงซึ่งเกิดสูงสุดที่บริเวณท้องคาน คือค่าโมดูลัสการแตกร้าว (Modulus of rupture; *fr*) มาตรฐานอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ว.ส.ท. 1008 ซึ่งใช้คำนวณหาค่าแรงดึงในคอนกรีตดังสมการต่อไปนี้

$$fr = 2.0\sqrt{fc'} \quad \text{(มีหน่วยเป็น กก./ซม.}^2 \text{ หรือ ksc.)} \qquad (1.1)$$

1.2.3 กำลังเฉือนของคอนกรีต (Shear Strength ; V_C) แรงเฉือนมักจะเกิดขึ้นพร้อมกับแรงดึงและแรงดัดเสมอ การทดสอบหาความต้านทานต่อแรงเฉือนในคอนกรีต โดยปกติการทดสอบหาต้านทานแรงเฉือนกระทำโดยบิดแท่งทดสอบรูปทรงกระบอก พบว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนมีค่าประมาณ 15 – 25 % ของกำลังอัดประลัยของคอนกรีตดังต่อไปนี้

$$V_C = \mathbf{0.15 - 0.25\ (fc')} \text{ หรือ } (15 - 25\%\ fc') \qquad (1.2)$$

1.2.4 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (Modulus of Concrete ; Ec ; ACI Building Code 318 และ ว.ส.ท. 6202 ก.) คือความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของคอนกรีตรับแรงอัด เป็นอัตราส่วนของค่าหน่วยแรงอัดของคอนกรีตต่อค่าหน่วยแรงการหดตัวของคอนกรีต ดังในแสดงรูปที่ 1.9 ซึ่งมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ได้กำหนดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีต (Ec) จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้



$$Ec = 4{,}270\ w^{1.5}\sqrt{f_c'} \quad \text{กก./ซม.}^2$$

เมื่อกำหนดให้

W = น้ำหนักคอนกรีตประมาณ 2,400 กก./ซม.^{2}

ดังนั้น

(1.4)

ข)

เมื่อ fc' = กำลังอัดประลัยของทรงกระบอก ที่ 28 วัน

กำหนดให้ fc' = 145 กก./ซม.^{2}

ได้ Ec = 15,210 $\sqrt{145}$

Ec = 182,069 กก./ซม.^{2}

รูปที่ 1.9 ก)-ข) โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตและตัวอย่างการทดสอบ

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

และคู่มือการทดสอบหิน ทรายและคอนกรีต, 2552

สำหรับการออกแบบทั่วไป ACI Building Code 318 และ ว.ส.ท. 6202 ก.กำหนดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (*Ec*) คำนวณจาก $4{,}270w^{1.5}\sqrt{fc'}$ โดยที่ fc' มีหน่วย เป็น กก./ซม.^{2} และสำหรับคอนกรีตธรรมดาให้ใช้น้ำหนัก (*w*) เท่ากับ 2.323 ตัน/ม.^{3} ดังนั้น เมื่อแทนค่า (*w*) ลงในสูตรจะได้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต : $Ec = 15{,}100\sqrt{fc'}$

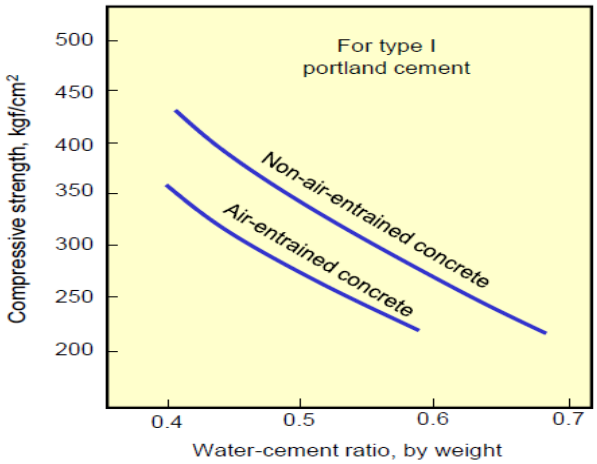
กำลังคอนกรีตขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยตั้งแต่คุณภาพของวัสดุที่นำมาผสมได้ซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และสารผสมเพิ่มอื่นๆ สัดส่วนและวิธีการผสม การลำเลียงขนส่ง การเทลงแบบ จนถึงการบ่มคอนกรีต อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผล สำคัญต่อกำลังคอนกรีต ปริมาณน้ำที่จำเป็นสำหรับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นซีเมนต์คืออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25 (โดยน้ำหนัก) อัตราส่วนอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ประมาณ 0.35 หรือสูงกว่าจะช่วยใช้คอนกรีตมีความข้นเหลวเพียงพอ ที่จะเทลงแบบได้โดยไม่ต้องใช้สารผสมเพิ่ม แต่ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังคอนกรีตตกลง ดังแสดงในรูปที่ 1.9 การใช้เครื่องผสมคอนกรีตและเวลาในการผสมที่เหมาะสมจะให้ผลดีต่อกำลังคอนกรีต หลังเทคอนกรีตแล้วใช้เครื่องสั่นหรือหัวจี้ จะทำให้คอนกรีตแน่นขึ้นหรือช่องว่างน้อยลง อัตราส่วน ช่องว่างถ้ามีมากถึงร้อยละ 5 อาจทำให้กำลังคอนกรีตลดลงถึงร้อยละ 30

สภาพการบ่มก็ส่งผลกระทบสำคัญต่อกำลังเช่นกัน ทั้งความชื้นและอุณหภูมิส่งผลโดยตรงต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ กำลังคอนกรีตจะพัฒนาขึ้นตามอายุของการบ่ม โดยกำลังที่ใช้เป็นมาตรฐานในการคำนวณออกแบบคือกำลังที่อายุ 28 วัน

ตารางที่ 1.3 อัตรากำลังอัดของคอนกรีตตามอายุการบ่ม

อายุ	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 เดือน	6 เดือน	1 ปี	2 ปี	5 ปี
อัตรากำลัง	0.67	0.86	1.0	1.17	1.23	1.27	1.31	1.35

เมื่อนำทรงกระบอกที่อายุ 28 วันมาทดสอบกำลังอัดแล้วบันทึกค่าหน่วยแรงอัดและ ความเครียด (Stress-strain curve) จะได้ดังรูปที่ 1.10 โดยในช่วงต้นจะค่อนข้างตรงเป็นแบบอิลาสติก หน่วยแรงอัดจะขึ้นถึงค่า fc' คือค่าหน่วยแรงอัดที่มากที่สุดที่ความเครียดประมาณ 0.002 แล้วตกลงจนแตกหักที่ความเครียดประลัย (Ultimate strain) ประมาณ 0.003 คอนกรีตที่มี กำลังสูงขึ้นจะมีความยืดหยุ่นน้อยลงคือความเครียดประลัยมีค่าน้อยลง



รูปที่ 1.10 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่มีต่อกำลังอัดและกำลังดึงคอนกรีต

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

สำหรับประเทศไทย เนื่องจากวิธีการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กยึดตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาคือ ACI-318 ดังนั้น กำลังอัด f_c' ที่ใช้จึงควรเป็นแบบทรงกระบอกจึงจะมีค่าต่ำกว่าแบบลูกบาศก์ที่บริษัทผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จระบุ ตามมาตรฐานคอนกรีตผสมเสร็จ มอก. 213-2552 ได้กำหนดชั้นคุณภาพของคอนกรีตไว้ดังนี้

ตารางที่ 1.4 ชั้นคุณภาพของคอนกรีต

ชั้นคุณภาพ	กำลังต้านแรงอัดที่อายุ 28 วัน (MPa) ไม่น้อยกว่า	
	แท่งทรงกระบอก	แท่งทรงลูกบาศก์
C17/21	17.0	21.0
C19.5/24	19.5	24.0
C23/28	23.0	28.0
C25/30	25.0	30.0
C27/32	27.0	32.0
C30/35	30.0	35.0
C33/38	33.0	38.0

ที่มา: มอก. 213-2552

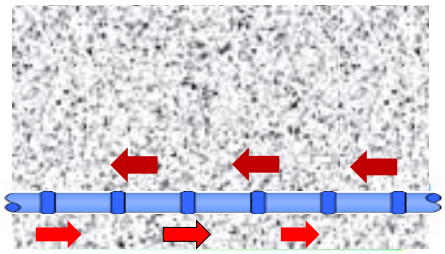
ตารางที่ 1.5 ชั้นคุณภาพของคอนกรีตตามตลาดในหน่วยเมตริก

ชั้นคุณภาพ	กำลังต้านแรงอัดที่อายุ 28 วัน (MPa) ไม่น้อยกว่า	
	แท่งทรงกระบอก	แท่งทรงลูกบาศก์
210CU	180	210
240CU	210	240
280CU	240	280
300CU	250	300
320CU	280	320

ที่มา: มอก. 213-2552

1.2.5 แรงยึดเหนี่ยวต่อเหล็กเสริม (Bond Strength; *u*)

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก คือความต้านทานต่อการลื่นไถลของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต แรงต้านทานนี้เกิดจากการยึดติดกันกับซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว จะเกิดจากความเสียดทานระหว่างผิวเหล็กกับเนื้อคอนกรีตและจากแรงกดที่ข้อในเหล็กข้ออ้อย ดังแสดงในรูปที่ 1.11



รูปที่ 1.11 การยึดเหนี่ยวเหล็กเสริมกับคอนกรีต

ที่มา: กัมปนาท บุญกัน, 2558

1.3 เหล็กเสริมในงานคอนกรีต

ในปัจจุบันเหล็กเสริมที่นิยมใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นเหล็กกล้าละมุม (Mild steel) เป็นโลหะผสมเหล็กกับคาร์บอนด์และมีส่วนผสมของธาตุอื่นบ้างพอประมาณ เช่น กำมะถัน แมงกานีส และฟอสฟอรัส แต่มีปริมาณคาร์บอนด์ต่ำประมาณร้อยละ 0.30 โดยน้ำหนัก จึงเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนด์ต่ำที่มีความอ่อน แต่มีความเหนียวและแกร่งมาก เหล็กผลิตขึ้นรูปแบบรีดร้อน (Hot–rolled process) โดยการหลอมแท่งเหล็กแล้วรีดด้วยลูกกลิ้งขึ้นรูปตามความต้องการ เหล็กเสริมคอนกรีตที่ใช้ในงานโครงสร้างมีทั้งลักษณะเส้นกลมผิวเรียบ (Round bars; RB) และเหล็กข้ออ้อย (Deformed bars; DB) โดยคุณสมบัติที่สำคัญของเหล็กเสริม และจะต้องมีกลสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง (Stress) กับหน่วยการยืดตัว (Strain) ของเหล็กเสริมซึ่งได้จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของเหล็กเสริม ดังมีหลายละเอียดที่สำคัญต่อไปนี้

1.3.1 ชนิดของเหล็กเสริม เนื่องจากที่คอนกรีตรับแรงดึงได้ประมาณร้อยละ 1 ของกำลังอัดประลัยเท่านั้น ดังนั้นกำหนดให้คอนกรีตไม่สามารถรับแรงดึงได้ จึงต้องนำเหล็กกล้ามาทำหน้าที่รับแรงดึงแทนในส่วนที่คอนกรีตต้องรับแรงดึง จึงเรียกโครงสร้างว่าคอนกรีตเสริมเหล็ก เหล็กที่ใช้เสริมแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

รูปที่ 1.12 เหล็กเส้นกลม (RB)

1) เหล็กเส้นกลม (Round Bars; RB , Ø)

เหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพที่ SR 24 (มอก.20-2527) หมายถึงเหล็กมีกำลังจุดคราก (*fy*) ไม่ต่ำกว่า 2,400 กก./ซม.^{2} มีขนาด Ø 6 มม.- Ø 25 มม. ยาวเส้นละ 10 ม. ดังแสดงใน รูปที่ 1.112

2). เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bars; DB) เหล็กข้ออ้อย มีชั้นคุณภาพหลายชั้น SD30, SD40, Sd50, SD60 เช่น ชั้นคุณภาพที่ SD30 (มอก.24-2536) หมายถึงเหล็กมีกำลังจุดคราก (*fy*) ไม่ต่ำกว่า 3,000 กก./ซม.^{2} มีขนาด Ø 10 มม. – Ø 40 มม. ยาวเส้นละ 10 ม. ลักษณะของผิวเป็นปล้องๆคล้ายอ้อย ดังแสดงใน รูปที่ 1.13

รูปที่ 1.13 เหล็กข้ออ้อย (DB)

1.3.2 ขนาดของเหล็กเสริม เหล็กเสริมทั้ง 2 ชนิด มีหลายขนาดที่นิยมใช้ในท้องตลาดกำหนดให้ในตารางที่ 1.3 ควรเลือกออกแบบเหล็กเสริมที่มีขายในท้องตลาดมิฉะนั้นจะไม่สามารถนำไปก่อสร้างจริงได้เพราะหาซื้อไม่ได้

ตารางที่ 1.6 ตารางเหล็กเสริม พื้นที่หน้าตัด น้ำหนักและเส้นรอบวง

ขนาด มม.	น้ำหนัก กก./ม.	∑A =ซม.^{2} ∑O =ซม.^{2}	จำนวนเส้นเหล็กเสริม									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RB 6	0.222	∑A	0.28	0.57	0.85	1.13	1.42	1.70	1.98	2.26	2.55	2.83
		∑O	1.89	3.77	5.66	7.54	9.43	11.32	13.20	15.09	16.97	18.86
RB 9	0.499	∑A	0.64	1.27	1.91	2.54	3.18	3.82	4.45	5.09	5.72	6.36
		∑O	2.83	5.66	8.49	11.32	14.14	16.97	19.80	22.63	25.45	28.29
RB12 DB12	0.888	∑A	1.13	2.26	3.29	4.52	5.65	6.78	7.91	9.04	10.17	11.30
		∑O	3.77	7.54	11.31	15.08	18.86	22.63	26.40	30.17	33.94	37.71
RB15	1.390	∑A	1.77	3.54	5.31	7.08	8.85	10.62	12.39	14.16	15.93	17.70
		∑O	4.71	9.43	14.14	18.86	23.57	28.28	33.00	37.71	42.43	47.14
DB16	1.580	∑A	2.01	4.02	6.03	8.04	10.05	12.06	14.07	16.08	18.09	20.10
		∑O	5.03	10.06	15.09	20.12	25.14	30.17	35.20	40.23	45.26	50.29
RB19 DB19	2.230	∑A	2.84	5.68	8.52	11.36	14.20	17.04	19.88	22.72	25.56	28.40
		∑O	5.97	11.94	17.91	23.88	29.86	35.83	41.80	47.77	53.74	59.71
DB20	2.470	∑A	3.14	6.28	9.42	12.56	15.70	18.84	21.98	25.12	28.26	31.40
		∑O	6.29	12.58	18.87	25.16	31.45	37.74	44.03	50.32	56.61	62.90
RB25 DB25	3.850	∑A	4.91	9.82	14.73	19.64	24.55	29.46	34.37	39.28	44.19	49.10
		∑O	7.86	15.71	23.57	31.43	39.28	47.14	55.00	62.86	70.71	78.57

ที่มา: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. 2550

หมายเหตุ RB,Ø = เหล็กเส้นกลม DB = เหล็กข้ออ้อย

∑A = พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด ∑O = เส้นรอบวงทั้งหมด

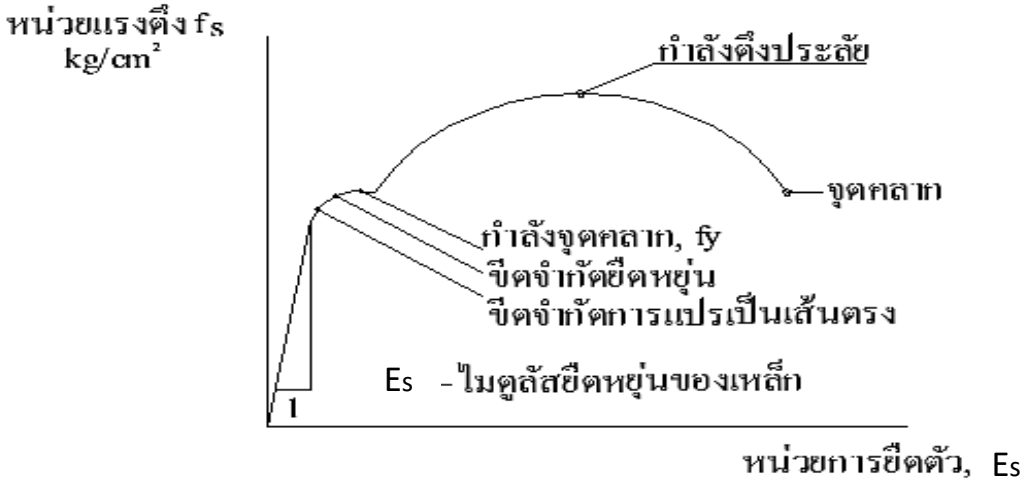
ขนาดเหล็กเส้นตามมาตรฐานอเมริกัน (U.S. Imperial sizes) จะแสดงเป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นจ้านวนเท่าของ 1/8 นิ้ว (หุน) เช่น #8 = 8/8 = 1 นิ้ว (8 หุน) และ พื้นที่ = (ขนาดเส้น/9)^2 เช่น พื้นที่ของเหล็ก #8 = (8/9)^2 = 0.79 นิ้ว^2 สูตรนี้ ใช้ได้กับเหล็กขนาดไม่เกิน #8 เหล็กเบอร์สูงกว่าจะมีขนาดใหญ่กว่าที่คำนวณตามสูตร 1/8 นิ้ว

1.3.3 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริม

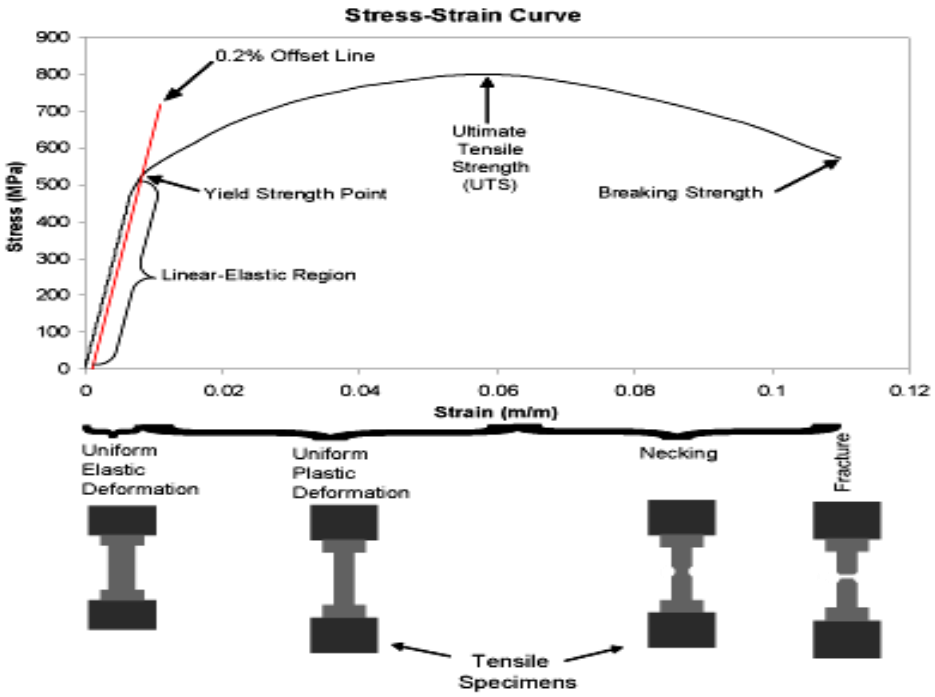
คุณสมบัติที่เกี่ยวเนื่องกับการต้านทานแรงชนิดต่าง ๆ ของเหล็กเสริมคอนกรีต เป็นเหล็กเหนียวกล้าที่มีกำลังดึงคราก (Yield Strength) *fy* ค่อนข้างสูงจะความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับการยืดตัว ดังแสดงในตารางที่ 1.7 รูปที่ 1.12 ส่วนที่สำคัญคือ ค่ากำลังจุดคราก (*fy*) และกำลังดึงประลัยของเหล็กเสริมชนิดต่างๆ

ตารางที่ 1.7 กลสมบัติของเหล็กเสริมตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

กลสมบัติ	ชนิดของเหล็กเสริม			
	เหล็กเส้นกลม	เหล็กข้ออ้อย		
ชั้นคุณภาพ	SR 24	SD 30	SD 40	SD 50
ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (*fy*) ไม่น้อยกว่า; กก./ซม.^{2}	2,400	3,000	4,000	5,000
ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (*fu*) ไม่น้อยกว่า; กก./ซม.^{2}	3,900	4,900	5,700	6,300
ความยืดในช่วง 5 *d* ไม่น้อยกว่า; ร้อยละ	21	17	15	13
ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (*Es*); กก./ซม.^{2}	**2,040,000**			



ก) ตำแหน่งของค่าต่างๆ จากผลการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม



ข) พฤติกรรมของตัวอย่างหลังการทดสอบ

รูปที่ 1.14 ก)- ข) ตัวอย่างผลความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง (Stress) กับหน่วยการยืดตัว (Strain) ของเหล็กเสริม
ที่มา: วินิต ช่อวิเชียร, 2539 และ www.nde-ed.org

1) โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม (Modulus of Elasticity; *Es*)

เป็นค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม เป็นค่าคงที่ของอัตราส่วนความเค้นต่อความเครียด เช่นเดียวกับคอนกรีต จากรูปที่ 1.14 จะเห็นว่าภายในช่วงยืดหยุ่นนั้นกราฟจะเป็นเส้นตรง ดังนั้นค่า Es จะคงที่ภายในช่วงยืดหยุ่น

2) กำลังจุดครากของเหล็กเสริม (Yield strength; *fy*)

เป็นค่าหน่วยแรงของเหล็ก ณ.จุดที่เหล็กถูกยืดออกมาใน ขณะที่ค่าหน่วยแรงดึงคงที่ รูปที่ 1.12 ค่าการรับกำลังของเหล็กในลักษณะของชั้นคุณภาพของเหล็ก เช่น SR24

3) กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม (Yield strength; *fs*)

เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบเพื่อต้านทานแรงกระทำชนิดแรงดึงที่ปลอดภัย โดยลดกำลังจุดครากของเหล็กลงประมาณร้อยละ 50

4) กำลังรับแรงเฉือนของเหล็กเสริม (Yield strength; *fs*)

เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบเพื่อต้านทานแรงกระทำชนิดแรงเฉือนที่ปลอดภัย จะมีค่าเท่ากับหน่วยแรงรับแรงดึงของเหล็ก

สำหรับเทคนิคการสุ่มและการเตรียมตัวอย่างมีดังนี้ เหล็กเสริมที่ใช้ในงานก่อสร้างจะต้องทีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ในทางปฏิบัติเพื่อให้แน่ใจว่าเหล็กเสริมมีขนาด มีคุณภาพตามที่กำหนดไว้ในแบบรูปรายการ และเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมหรือไม่ จำเป็นต้องทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเสริมก่อนนำมาใช้งาน มาตรฐานอุตสาหกรรมมีเกณฑ์การชักตัวอย่างสำหรับทดสอบโดยวิธีการสุ่มจากเหล็กเสริมมัดต่าง ๆ ในรุ่นเดียวกัน 5 ชุด ชุดละ 1 เส้น เพื่อทำการตรวจสอบความยาว เมื่อทำการตรวจสอบความยาวแล้วให้ตัดส่วนที่ตรงเป็นชิ้นตัวอย่าง เส้นละ 1 ชิ้นตัวอย่าง ความยาวประมาณ 1.50 เมตร เพื่อตรวจสอบลักษณะทั่วไปและหาเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสำหรับมวลต่อเมตร จากนั้นให้นำเหล็กไปทดสอบกลสมบัติในห้องปฏิบัติการที่ได้มีการรับรองมาตรฐานต่อไป

1.4 มาตรฐานการออกแบบ

มาตรฐานเป็นเพียงข้อแนะนำปฏิบัติ ให้วิศวกรผู้ออกแบบปฏิบัติอย่างเคร่งครัดดังเช่นกฎหมาย ดังนั้นวิศวกร จะต้องใช้ความรู้ ความสามารถ ความเชี่ยวชาญ ประสบการณ์ และวิจารณญาณประกอบอย่างละเอียดและรอบคอบ ซึ่งมีหนังสือมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน และข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต ซึ่งคณะกรรมการ *วิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์* ได้อธิบายคุณลักษณะมาตรฐานของวัสดุทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริมไว้โดยละเอียด จึงเหมาะสมกับการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อใช้อ้างอิงตลอดการศึกษาวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้เป็นคู่มือหรือเป็นมาตรฐานกลางในการทำงาน เพื่อให้ได้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ดี มีความมั่นคงแข็งแรง และปลอดภัยในการตลอดการใช้งาน สำหรับมาตรฐานสำหรับใช้ในการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก อาจออกโดยหน่วยงานของรัฐหรือองค์กร สถานบันต่าง ๆ โดยจะกำหนดคุณภาพและกลสมบัติของวัสดุ ส่วนปลอดภัย สมมติฐาน การวิเคราะห์โครงสร้าง วิธีการออกแบบองค์อาคารภายใต้แรงกระทำต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ประเทศไทยใช้

1) มาตรฐาน วสท. (สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์)

- ต่างประเทศใช้

1) ACI (American Concrete Institute)

2) AASHTO (American Association Standard of Highways and transport Official)

3) BS (British Standard)

1.5 กฎหมายควบคุมอาคาร

กฎหมายควบคุมอาคารและกฎหมายอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ก่อสร้างและใช้งานอาคาร มากมายแบ่งได้ 3 กลุ่มหลักดังนี้

1.5.1 กฎหมายวิชาชีพ เกี่ยวกับการประกอบวิชาชีพวิศวกร คือ พระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม (พ.ศ. 2505-2543) ซึ่งครอบคลุมผู้ประกอบอาชีพวิศวกรรมควบคุมแขนงๆ ลักษณะงานและประเภทงาน

1.5.2 กฎหมายควบคุมอาคาร เกี่ยวกับการควบคุมอาคาร คือ พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (พ.ศ. 2522-2543) ที่ว่าด้วยการควบคุมอาคาร พระราชบัญญัติฉบับนี้ ออกโดยองค์กรหรือพนักงานท้องถิ่น อาทิ

1) พ.ร.บ.ควบคุมอาคาร 2522

2) ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร

3) ข้อบัญญัติเทศบาล

1.5.3 กฎหมายมหาชน และ เอกชนอื่นๆ ได้แก่ กฎหมายอาญา แพ่ง ซึ่งวิศวกรอาจต้องรับผิดชอบอันเป็นผลเนื่องมาจากการกระทำที่เป็นความผิดและมีโทษตามกฎหมายดังกล่าว

1.6 น้ำหนักบรรทุกต่อโครงสร้าง, (Load)

น้ำหนักบรรทุกต่อโครงสร้าง ที่สำคัญที 2 ประเภทคือ น้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจร ในการออกแบบโครงสร้างนั้น จำเป็นที่จะต้องรู้น้ำหนักโดยประมาณของส่วนต่างๆเพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง ขนาดที่แน่นอนจะยังคงไม่ทราบจนกระทั่งทำการวิเคราะห์แล้วเลือกหน้าตัด น้ำหนักจริงที่ได้จากการออกแบบจะต้องถูกเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ประมาณไว้ในตอนต้น **ดังมีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้**

1.6.1 น้ำหนักวัสดุก่อสร้างโครงสร้าง

น้ำหนักวัสดุก่อสร้างโครงสร้าง หรือน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) คือน้ำหนักบรรทุกที่มีขนาดคงที่ซึ่งคงอยู่ประจำตำแหน่งหนึ่งๆ ประกอบด้วยน้ำหนักของตัวโครงสร้างเองและน้ำหนักอื่นที่ติดตั้งอย่างถาวรเข้ากับตัวอาคาร สำหรับอาคารเหล็ก น้ำหนักคงที่จะได้แก่ โครงเหล็ก ผนัง พื้น หลังคา ท่อประปา และ สุขภัณฑ์ ในการออกแบบโครงสร้างนั้น จำเป็นที่จะต้องรู้น้ำหนักคงที่โดยประมาณของส่วนต่างๆเพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง ขนาดที่แน่นอนจะยังคงไม่ทราบจนกระทั่งทำการวิเคราะห์แล้วเลือกหน้าตัด น้ำหนักจริงที่ได้จากการออกแบบจะต้องถูกเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ประมาณไว้ในตอนต้น ดังแสดงในตารางที่ 1.8

ตารางที่ 1.8 น้ำหนักวัสดุก่อสร้างโครงสร้าง

น้ำหนักวัสดุก่อสร้างทั่วไป	
วัสดุ	**น้ำหนัก(กก./ม.^{2})**
คอนกรีตเสริมเหล็ก	2400
คอนกรีตล้วน	2320
ไม้	500-1200
เหล็ก	7850
กระเบื้องลอนคู่	14
กระเบื้องซีแพคโมเนีย	50
เหล็กรีดลอน,สังกะสี	5
โครงหลังคา	10-30
แป้ไม้	5
ผนังก่ออิฐมอญ	180-360
ผนังก่ออิฐบล็อก	100-200

ที่มา: มาตรฐาน วสท. .2558

1.6.2 น้ำหนักบรรทุกจรกระทำต่อโครงสร้าง

น้ำหนักบรรทุกจรกระทำต่อโครงสร้างหรือ น้ำหนักบรรทุกจร คือน้ำหนักบรรทุกที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและตำแหน่ง หรือพูดง่ายๆก็คือเป็นน้ำหนักบรรทุกที่ไม่ใช่น้ำหนักบรรทุกคงที่นั่นเอง น้ำหนักจรที่สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยกำลังของตัวมันเองเรียกว่าน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่เช่นรถบรรทุก คน และเครน น้ำหนักจรอย่างอื่นรวมถึงที่เกิดระหว่างการก่อสร้าง ลม ฝน แผ่นดินไหว ระเบิด และการเปลี่ยนอุณหภูมิ น้ำหนักบรรทุกจรในอาคาร ค่าน้ำหนักบรรทุกจรน้อยที่สุดในส่วนต่างๆของอาคารนอกเหนือไปจากน้ำหนัก ของตัวอาคารหรือเครื่องจักรหรืออุปกรณ์อย่างอื่น โดยปกติค่าน้ำหนักเหล่านี้จะถูกกำหนดโดยข้อกำหนดควบคุมอาคารซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละท้องที่ สำหรับประเทศไทยจะใช้ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ข้อที่ 15 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ดังแสดงในตารางที่ 1.8

ตารางที่ 1.8 น้ำหนักบรรทุกจรกระทำต่อโครงสร้าง

ที่	ประเภทและส่วนต่างๆของอาคาร	หน่วยน้ำหนักจร (kg/m^2)
1	หลังคา	30
2	กันสาดหรือหลังคาคอนกรีต	100
3	ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
4	ห้องแถวตึกแถวที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรม และห้องคนไข้ พิเศษของโรงพยาบาล	200
5	สำนักงาน ธนาคาร	250
6	(ก) อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน และโรงพยาบาล (ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม สำนักงาน ธนาคาร	300
7	(ก) ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุดหรือหอสมุด ที่จอดหรือเก็บรถยนต์นั่ง หรือจักรยานยนต์ (ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน	400
8	(ก) คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑ์ อัฒจรรย์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสาร วัสดุ (ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด อาคารสรรพสินค้า ห้องประชุม หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องสมุดหรือหอสมุด	500
9	ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุดหรือหอสมุด	600
10	ที่จอดหรือเก็บรถบรรทุก	800

ที่มา: กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

ตารางที่ 1.9 น้ำหนักบรรทุกจรสำหรับอาคาร (ข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2522)

ลักษณะการใช้งานและประเภทของอาคาร	น้ำหนัก
หลังคา	50 กก./ม.^{2}
กันสาด	100 กก./ม.^{2}
ที่พักอาศัย ห้องน้ำ ห้องส้วม	150 กก./ม.^{2}
อาคารชุด หอพัก โรงแรม	200 กก./ม.^{2}
สำนักงาน ธนาคาร	250 กก./ม.^{2}
อาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย โรงเรียน	300 กก./ม.^{2}
ห้างสรรพสินค้า โรงมหรสพ หอประชุม ภัตตาคาร ที่จอดรถหรือที่เก็บรถยนต์นั่ง	400 กก./ม.^{2}
คลังสินค้า พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงานอุตสาหกรรม โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสาร	500 กก./ม.^{2}
ห้องเก็บหนังสือของหอสมุด	600 กก./ม.^{2}
ที่จอดหรือที่เก็บรถบรรทุกเปล่า และรถอื่นๆ	800 กก./ม.^{2}

1.6.3 แรงลม (Wind loads) เมื่อที่ตั้งของโครงสร้างมีทิศทางขวางทางลม พลังงานจลน์ของลม (Kinetic energy) จะเปลี่ยนเป็นพลังงานศักย์ (Potential energy) เกิดเป็นแรงลม (Wind loads) กระทำกับโครงสร้าง ขนาดของแรงลมจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น (Density) ความเร็วลม (Velocity) ซึ่งแปรเปลี่ยนตาม

สภาพพื้นที่ และความสูงเหนือพื้นดิน ตลอดจนมุมที่กระทำและรูปร่างของโครงสร้าง ในการออกแบบให้โครงสร้างรับแรงลมสามารถคำนวณค่าแรงลมโดยวิธีสถิต (Static) ซึ่งสมมติให้แรงลมกระทำอย่างสม่ำเสมอต่อโครงสร้างด้านรับแรงลม และแรงลมสามารถกระทำได้ทุกทิศทาง โดย American Society of Civil Engineers (ASCE) เสนอแรงลม (q) ที่กระทำกับพื้นที่โครงสร้างและตั้งฉากกับทิศทางความเร็วลม ดังนี้

$$q = \frac{1}{2}\rho v^2 \qquad (1.5)$$

เมื่อ p = ความหนาแน่นของอากาศ (1.2244 กก./ม.^{3})

V = ความเร็วลม (ไมล์/ชั่วโมง หรือ กิโลเมตร/ชั่วโมง)

หรือ $q(psf) = 0.00256[v(mph)]^2$

$q(kg/m^2) = 0.00481[v(km/h)]^2$

กรุงเทพมหานครได้ออกข้อบัญญัติ พ.ศ. 2522 สำหรับใช้คำนวณออกแบบโครงสร้างเนื่องจากแรงลมซึ่งขึ้นอยู่กับความสูงของอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 1.10

ตารางที่ 1.10 แรงลมสำหรับส่วนของอาคาร (ข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2522)

ความสูงอาคาร	น้ำหนัก
อาคารที่สูงไม่เกิน 10 เมตร	50 กก./ม.^{2}
อาคารที่สูงไม่เกิน 10 เมตรแต่ไม่เกิน 20 เมตร	80 กก./ม.^{2}
อาคารที่สูงไม่เกิน 20 เมตรแต่ไม่เกิน 40 เมตร	120 กก./ม.^{2}
อาคารที่สูงเกิน 40 เมตร	160 กก./ม.^{2}

1.6.4 แรงกระแทก (Impact loads) การออกแบบโครงสร้างสะพานหรืออาคารจอดรถต้องคำนึงถึงแรงกระแทก เนื่องจากความไม่ราบเรียบของพื้นผิวและมีรอยต่อระหว่างสะพานกับคอสะพาน หรือทางลาดเชื่อมรอยต่อระหว่างชั้นของอาคารจอดรถ เป็นต้น โดยพิจารณาเพิ่มค่าน้ำหนักบรรทุกจรของรถบรรทุกด้วยตัวคูณประกอบแรงกระแทก (Impact factor: I) ดังนี้

$$I = \frac{50}{L+125}x100 \quad \text{แต่ไม่เกินร้อยละ30} \qquad (1.6)$$

เมื่อ L = ความยาวของสะพาน มีหน่วยเป็นฟุต

1.6.5 แรงแผ่นดินไหว (Earthquake loads) แผ่นดินไหวทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนก่อให้เกิดแรงกระทำทางด้านข้างของโครงสร้างอาคาร โดยขนาดของแรงแผ่นดินไหวขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของความเร่งของพื้นดิน มวลน้ำหนัก และความแกร่ง (Stiffness) ของโครงสร้าง การวิเคราะห์หาแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวโดยวิธี

สถิต (Static) ซึ่งเป็นค่าโดยประมาณที่กระทำต่อโครงสร้างทางด้านข้าง หรือค่าแรงเฉือน (V) ที่เกิดขึ้นที่ฐานรากของโครงสร้าง คำนวณจากสมการดังนี้

$$V = ZIKCSW \tag{1.7}$$

เมื่อ Z = Seismic coefficient ขึ้นอยู่กับเขตแผ่นดินไหว (Earthquake zone)
I = ตัวคูณแสดงความสำคัญในการใช้งาน, K = ตัวคูณซึ่งขึ้นกับรูปร่างโครงสร้าง
C = ค่าสัมประสิทธิ์การแกว่งของโครงสร้าง, W = น้ำหนักของโครงสร้าง
S = ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นกับชนิดของชั้นดินที่รองรับโครงสร้าง

1.7 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีอยู่ 2 วิธี คือ

1.7.1 ทฤษฎีอีลาสติก (Elastic Design) หรือทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design)

เป็นการออกแบบโดยใช้หน่วยแรงในช่วงที่ความเค้นกับความเครียดเป็นปฏิภาคกัน หรือช่วงที่มีค่าความเค้นกับความเครียดไปเขียนกราฟแล้วเป็นเส้นตรง (ค่า Es คงที่) โดยยึดหลักที่ให้ หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริง น้อยกว่า หน่วยแรงที่ยอมให้เสมอ โครงสร้างที่ออกแบบจะปลอดภัยโดยทั่วไปค่าหน่วยแรงที่ยอมให้เป็นค่าที่กำหนดตามมาตรฐาน วสท ดังต่อไปนี้

หน่วยแรงในคอนกรีต. $f_c \leq a_c f_c'$ (1.8)

หน่วยแรงในเหล็กเสริม $f_s \leq a_s f_y'$ (1.9)

ซึ่งกำหนดให้ $a_c f_c'$ คือ หน่วยแรงในคอนกรีต. และ $a_s f_y'$ โดยค่า a_c และ a_s ได้จากในตารางที่ 1.11

ตารางที่ 1.11 ค่าตัวคูณสำหรับการจำกัดค่าหน่วยแรงในวัสดุคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตัวแปร	วสท.	กฎกระทรวงฯ
a_c	0.45	0.375
a_s	0.50	0.50

1.7.2 ทฤษฎีกำลังประลัย (Ultimate Strength Design) หรือทฤษฎีกำลัง (Strength Design Method) เป็นการออกแบบโดยใช้หน่วยแรงในช่วงที่เกินพิกัดความยืดหยุ่นของความเค้นกับความเครียด แต่ไม่เกินจุดหน่วยแรงประลัย ทำให้ความสามารถรับกำลังของวัสดุมากขึ้นทำให้ประหยัดแต่ต้องควบคุมคุณภาพของวัสดุให้ได้ตามกำหนด

วิธีกำลังในอดีตตามมาตรฐาน วสท. และยังคงใช้ตามกฎกระทรวงฯ เรียกว่า **“วิธีกำลัง ประลัย (Ultimate Strength Design, USD)”** เนื่องจากพิจารณากำลังของโครงสร้าง ณ ภาวะประลัย (ultimate stage) ซึ่งจะกำหนดให้ “กำลังระบุขององค์อาคาร (nominal strength, R_n)” ซึ่งลดค่าแล้วมีค่ามากกว่า “น้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มค่าแล้ว (overload, Q_u)”

$$\emptyset R_n > Q_u \qquad (1.10)$$

เมื่อ $\emptyset$ คือ ตัวคูณลดค่าเนื่องจากความไม่แน่นอน ซึ่งมาจากความไม่แน่นอนของวัสดุและการก่อสร้าง (มีค่าน้อยกว่า 1.0) เนื่องจากวิธีนี้เป็นการวิเคราะห์ในภาวะประลัยดังนั้นน้ำหนักที่ใช้ออกแบบจึงเป็นน้ำหนักประลัย (ultimate load, W_u) ซึ่งคำนวณจากการเพิ่มค่า (overload) ให้กับน้ำหนักบรรทุกในช่วงปรกติ

$$W_u = \gamma_{DL} \times W_{DL} + \gamma_{LL} + W_{LL} \qquad (1.11)$$

เมื่อ γ_{DL} คือ ตัวคูณเพิ่มค่ากรณีน้ำหนักบรรทุกคงที่ และ γ_{LL} คือ ตัวคูณเพิ่มค่ากรณีน้ำหนักบรรทุกจร ทั้งนี้ค่า γ_{DL} และ γ_{LL} เป็นไปตามตารางที่ 1.12

ตารางที่ 1.12 ค่าตัวคูณเพิ่มค่าน้ำหนักบรรทุก

ข้อกำหนด	γ_{DL}	γ_{LL}
วสท.	1.4	1.7
กฎกระทรวง ฯ	1.7	2.0
ACI318-14	1.2	1.6

ที่มา: อมร พิมานมาศ และ ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด, 2544

ตารางที่ 1.13 ข้อเปรียบเทียบสำหรับวิธีการออกแบบ WSD และ SDM

WSD	SDM
1. 2. ควบคุมไม่ให้หน่วยแรงที่เกิดขึ้นเกินกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ 3. ทำให้ไม่สามารถคำนวณกำลังที่แท้จริงของโครงสร้างได้	สามารถคำนวณกำลังที่แท้จริงของโครงสร้างทำให้สามารถกำหนดสัดส่วนความปลอดภัย (F.S.) รวมถึงสามารถวางแนวทางการเสริมกำลังโครงสร้างได้อย่างถูกต้อง

ที่มา: อมร พิมานมาศ และ ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด, 2544

1.7.3 สาเหตุที่วิธีกำลังได้ถูกพัฒนาขึ้นมาแทนที่วิธีหน่วยแรงใช้งาน (อมร พิมานมาศ และ ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด, ,2544) มีดังต่อไปนี้

1) วิธีหน่วยแรงใช้งาน ไม่สามารถระบุถึงกำลังที่แท้จริงของโครงสร้างได้เนื่องจากใน WSD ผู้ออกแบบสนใจที่จะควบคุมไม่ให้หน่วยแรงที่เกิดขึ้นเกินกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้เท่านั้น ในขณะที่ SDM สามารถคำนวณกำลังที่แท้จริงของโครงสร้าง ทำให้ทราบถึงหนักบรรทุกสูงสุดที่โครงสร้างจะรับได้

2) ความปลอดภัยของวิธีกำลัง:กำหนดความปลอดภัยไว้แล้วถึงสองขั้น โดยผ่านทาง 1. ตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก (γ) และ 2. ตัวคูณลดกำลัง ($\emptyset$)ตัวคูณทั้งสองสร้างมาจากการวิจัยและวิธีทางสถิติที่มีความ สมเหตุสมผลกว่าวิธีหน่วยแรงใช้งาน (เปลี่ยนแปลงได้แล้วแต่ดุลยพินิจของผู้ออกแบบ) เห็นได้จาก γ_{LL} มีค่ามากกว่า γ_{DL} เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรมีความไม่แน่นอนมากกว่าน้ำหนักบรรทุกคงที่

3) วิธีหน่วยแรงใช้งานไม่ได้พิจารณาอิทธิพลจากการคืบ (creep) และการหดตัว(shrinkage) ของคอนกรีต ในภาวะที่โครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน คอนกรีตจะเกิดการคืบและการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำ ทำให้ค่าสติฟเนสของคอนกรีตลดลง เป็นผลให้หน่วยแรงในเหล็กเสริมมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งานจึงมีความไม่แม่นยำแต่ในขณะที่การออกแบบด้วยวิธีกำ ลังจะพิจารณาหน้าตัดที่ภาวะวิบัติซึ่งไม่มีอิทธิพลของการคืบและการหดตัวของคอนกรีตแต่อย่างใด

4) วิธีกำลังสามารถคำนวณความเหนียวของหน้าตัด ซึ่งจำเป็นต่อการออกแบบเพื่อต้านแผ่นดินไหว

5) อีกทั้งวิธีกำลังสามารถออกแบบหน้าตัดให้มีความประหยัดเนื่องจากใช้กำลังของหน้าตัดอย่างเต็มที่ ซึ่งทำให้ได้หน้าตัดที่เล็กกว่าหน่วยแรงใช้งาน เนื่องจากความปลอดภัยที่สามารถกำหนดได้

1.7.4 การตรวจสอบที่สภาวะการใช้งานของโครงสร้าง

การใช้งานโครงสร้างอาคารจะต้องมีการตรวจสอบสภาวะการใช้งานตลอดอายุของโครงสร้าง (อมร พิมานมาศ และ ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด, 2544) โอกาสที่โครงสร้างจะรับแรงถึงจุดประลัยอาจจะไม่เกิดขึ้น อีกทั้งการออกแบบหน้าตัดที่ภาวะประลัย หน้าตัดที่ได้มักจะมีขนาดเล็กเนื่องจากได้ใช้กำลังของวัสดุที่ ภาวะขีดสุด เป็นผลให้โครงสร้างอาจจะเกิดการแอ่นตัวที่มาก จนสูญเสียสภาพการใช้งาน (out of service) หรือเกิดรอยร้าวที่มากจนเกินไป (excessive cracks) จนทำให้อายุการใช้งานของ โครงสร้างลดลงดังนั้นหลังจากทำการออกแบบด้วยวิธีกำลังแล้ว ต้องทำการตรวจสอบ สภาพการใช้งาน (serviceability) ของโครงสร้างด้วยทุกครั้ง เนื่องจากที่สภาพใช้งานของโครงสร้าง จะถือว่าโครงสร้างมีพฤติกรรมในช่วงยืดหยุ่น (elastic range) ดังนั้นจึงเป็นที่ยอมรับที่ใช้วิธีหน่วยแรงใช้งานในการตรวจสอบสภาวะการใช้งานตลอดอายุของโครงสร้าง เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานโครงสร้างอาคาร

1.7.5 ข้อกำหนดเพิ่มเติมของ กฎกระทรวงฯ พ.ศ. 2522

ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก กฎหมายไม่ได้ระบุให้ปฏิบัติตามมาตรฐาน หรือประมวลข้อบังคับใดเป็นการเฉพาะ วิศวกรสามารถใช้ความรู้ได้ตามทฤษฎีและเลือกแนวทางปฏิบัติใดที่เป็นที่ยอมรับได้ แต่ทั้งนี้กฎหมาย (กฎกระทรวงฯ พ.ศ. 2522) ได้กำหนดขอบข่ายเบื้องต้นเกี่ยวกับเรื่องของน้ำหนักบรรทุกและกำลังของวัสดุ ในการคำนวณส่วนต่าง ๆ ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตามทฤษีกำลังประลัยให้ใช้น้ำหนักบรรทุกประลัยดังต่อไปนี้

1) สำหรับส่วนของอาคารที่ไม่คิดแรงลม ให้ใช้น้ำหนักบรรทุกประลัย ดังนี้

$$Wu = 1.7DL + 2.0LL \quad (1.12)$$

2) สำหรับส่วนของอาคารที่คิดแรงลม (WL) ด้วย ให้ใช้น้ำหนักบรรทุกประลัย ดังนี้

$$Wu = 0.75(1.7DL + 2.0LL + 2.0WL) \quad (1.13)$$

$$Wu = 0.9DL + 1.3WL \quad (1.14)$$

โดยให้ใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยที่มากกว่า แต่ทั้งนี้ต้องไม่ต่ำกว่าน้ำหนักบรรทุกประลัยในข้อ 1) ด้วย ในการคำนวณส่วนต่างๆ ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตามทฤษฎีกำลังประลัยให้ใช้ค่า หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตไม่เกิน 150 ksc

ในการคำนวณส่วนต่างๆ ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตามทฤษฎีกำลังประลัยให้ใช้กำลัง ครากของเหล็กเสริมต่อไปนี้

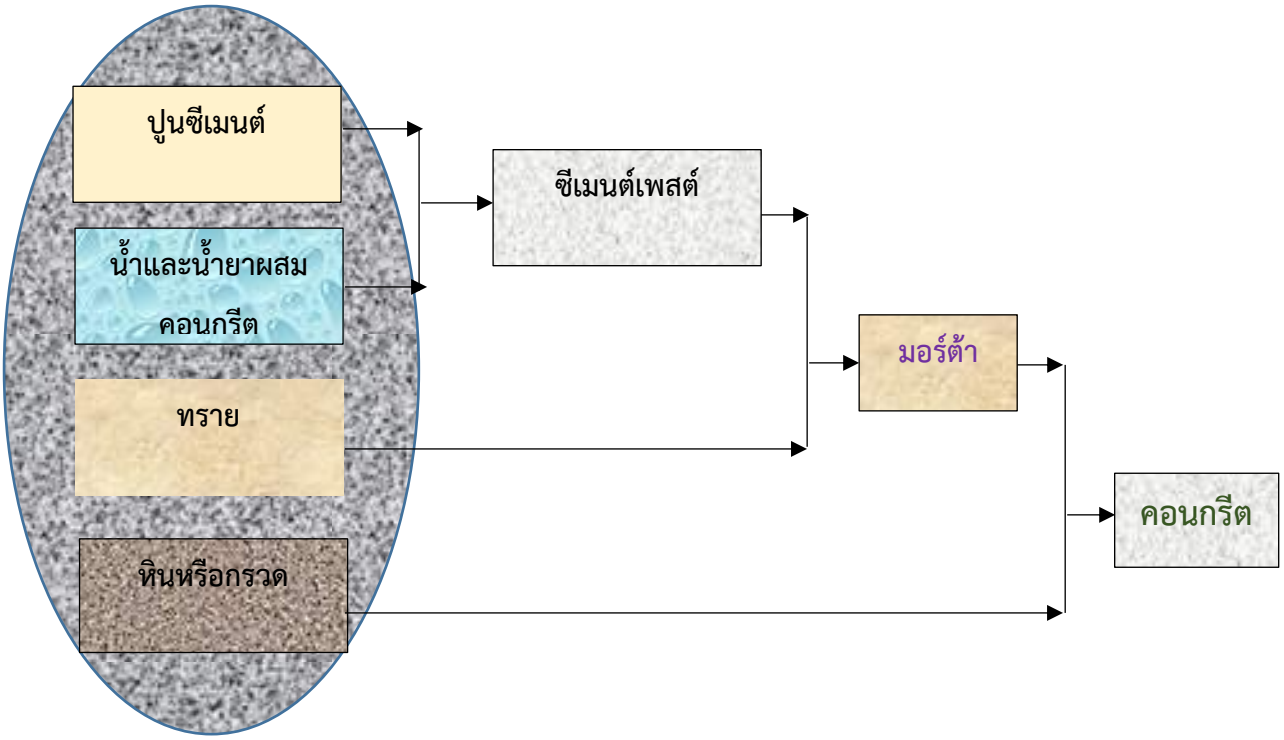
1) เหล็กเสริมกลมผิวเรียบ ให้ใช้ไม่เกิน 2,400 ksc

2) เหล็กเสริมอื่น ให้ใช้กำลังครากของเหล็กเสริมชนิดนั้น แต่ต้องไม่เกิน 4,000 ksc

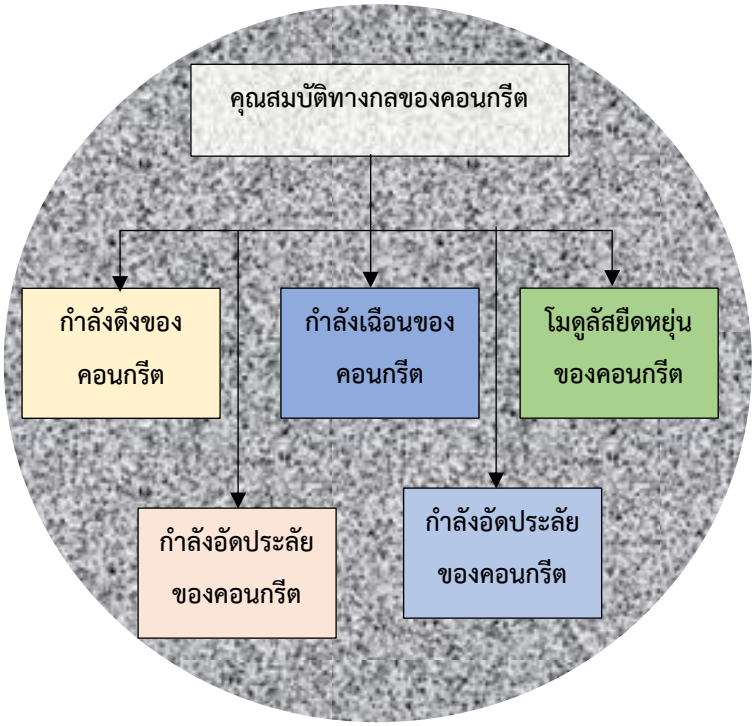
สำหรับหน่วยน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับประเภท และส่วนต่างๆ ของอาคารนอกเหนือจากน้ำหนักของตัวอาคารหรือเครื่องจักรหรืออุปกรณ์อย่างอื่น ให้คำนวณโดยประมาณเฉลี่ย ดังแสดงค่าในตารางที่ 1.5 ในข้างต้น

สรุปพื้นฐานโครงสร้างของคอนกรีตและเหล็กเสริม

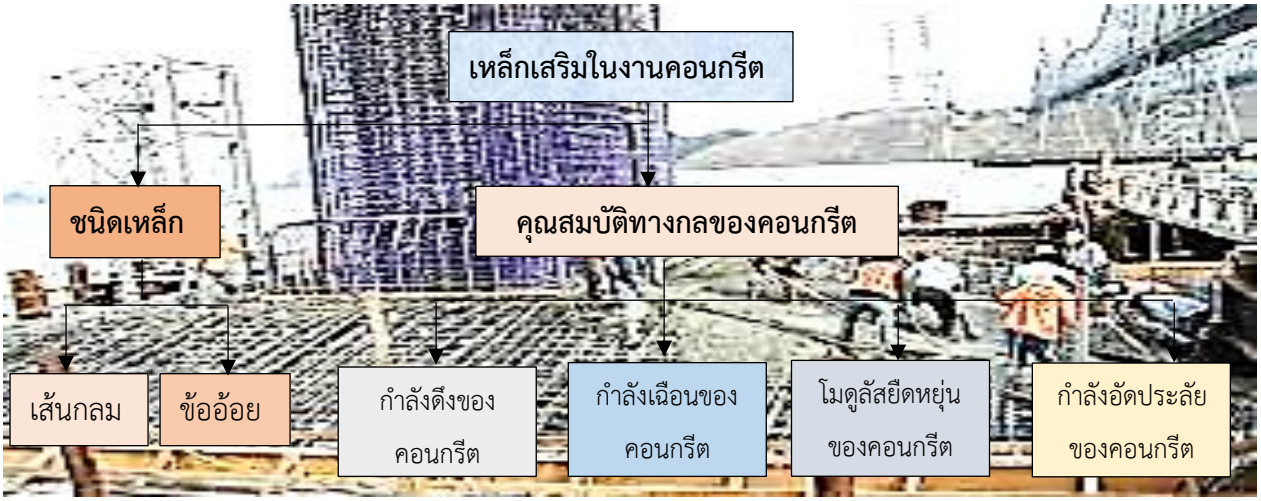
1.องค์ประกอบของคอนกรีต



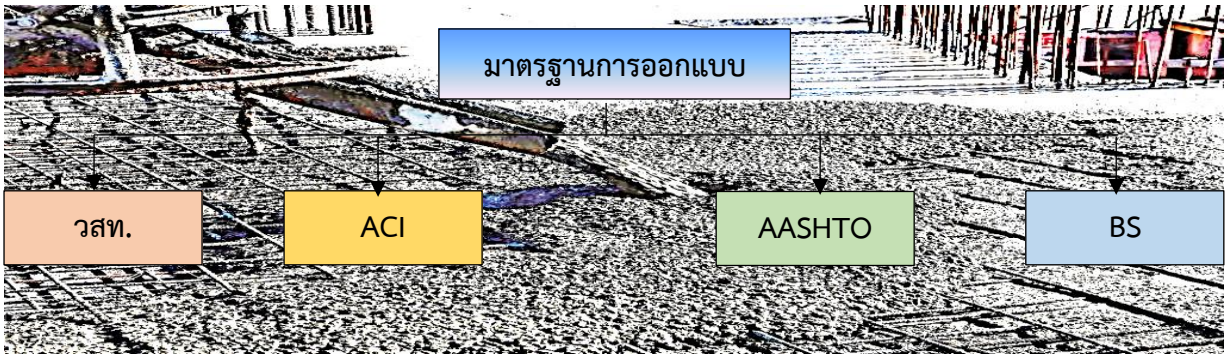
2. คุณสมบัติทางกลของคอนกรีต



3.เหล็กเสริมคอนกรีต



4.มาตรฐานการออกแบบ



5.กฎหมายควบคุมอาคาร

6.น้ำหนักบรรทุกต่อโครงสร้าง

7.ทฤษฎีในการออกแบบ

แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเหล็กเสริม

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

คำสั่ง: จงเลือกคำตอบทำเครื่องหมาย x ลงในกระดาษคำตอบ ให้ถูกต้อง (คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลา 10 นาที)

1.ข้อใดให้ความหมายคอนกรีตได้ถูกต้องที่สุด

ก. วัสดุก่อสร้างที่ประกอบด้วยวัสดุเชื่อมประสาน

ข. มีวัสดุเชื่อมประสานกับมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดวัสดุ

ค. วัสดุก่อสร้างที่มีส่วนประกอบของมวลรวมกับน้ำ

ง. ก่อสร้างที่มีส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ และทรายเท่านั้น

2. ส่วนประกอบของคอนกรีต คือข้อใด

ก. ปูนซีเมนต์+น้ำ+หิน+ทราย+อากาศ

ข. ปูนซีเมนต์+น้ำ+หิน

ค. ปูนซีเมนต์+น้ำ+ทราย

ง. ปูนซีเมนต์+น้ำ+หิน+ทราย

3. ซีเมนต์ (Cement Paste) หมายถึงข้อใด

ก. ปูนซีเมนต์ ผสมกับทราย

ข. ปูนซีเมนต์ ผสมกับหิน

ค. ปูนซีเมนต์ ผสมกับน้ำ

ง. ปูนซีเมนต์ ผสมกับทรายและน้ำ

4. ในคอนกรีตมีวัสดุผสมหรือมวลรวม ในหนึ่งปริมาตรประมาณเท่าใด

ก. 65-78%

ข. 55-60%

ค. 40-50%

ง. 70-80%

5. คอนกรีตโดยทั่วไปมีความหนาแน่น (กก./ลบ.ม) มีค่าเท่าใด

ก. 1800-1900 กก./ลบ.ม.

ข. 2300-2400 กก./ลบ.ม.

ค. 2000-22000 กก./ลบ.ม.

ง. 1900-2000 กก./ลบ.ม.

6. การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามาตรฐานอเมริกากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุกี่วัน

ก. 7 วัน

ข. 14 วัน

ค. 28 วัน

ง. 21 วัน

7. หน่วยที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต คือข้อใด

ก. ksc^2

ข. khc

ค. kfc

ง. ksc

8. ข้อใดกล่าว ผิด เกี่ยวกับคอนกรีต

ก. คอนกรีตมีคุณสมบัติแข็งแต่เปราะ

ข. ในเนื้อคอนกรีตมีปริมาตรอากาศอยู่ประมาณร้อยละ 6

ค. คอนกรีตสามารถรับแรงดึงได้ดี

ง. คอนกรีตเป็นวัสดุผสม (Composite Material)

9. เหล็กเสริมคอนกรีตใช้ชื่อสัญลักษณ์ RB หมายถึงข้อใด

ก. เหล็กเส้นกลม

ข. เหล็กรับแรงดึง

ค. เหล็กข้ออ้อย

ง. เหล็กรูปพรรณ

10.ออกแบบโดยใช้หน่วยแรงในช่วงความเค้นกับความเครียดเป็นปฏิภาคกัน คือทฤษฎีตามข้อใด

ก. ทฤษฎีกำลังประลัย

ข. ทฤษฎีพลาสติก

ค. ทฤษฎีอีลาสติก

ง. ทฤษฎีกำลังอัด

ใบงานที่ 1.1 แบบฝึกหัด

โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเหล็กเสริม

คำสั่ง: จงคำตอบในโจทย์ให้ถูกต้อง (คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลา 10 นาที

1. เหล็กเส้นที่มีขายทั่วไปมีขนาดเส้นศูนย์กลางใหญ่สุด กี่มิลลิเมตร

   ก. ø 20 มม.

   ข. ø 25 มม.

   ค. ø 28 มม.

   ง. ø 30 มม.

2. โดยทั่วไปเหล็ก RB มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กสุด กี่มิลลิเมตร

   ก. ø 4 มม.

   ข. ø 6 มม.

   ค. ø 9 มม.

   ง. ø 12 มม.

3. โดยทั่วไปเหล็ก DB มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กสุด กี่มิลลิเมตร

   ก. ø 4 มม.

   ข. ø 6 มม.

   ค. ø 9 มม.

   ง. ø 12 มม.

4. เหล็กเสริมคอนกรีต(เหล็กเส้น)ที่ขายตามท้องตลาดมีความยาวกี่เมตร

   ก. 5 เมตร

   ข. 10 เมตร

   ค. 12 เมตร

   ง. 20 เมตร

5. ค่าการรับกำลังของเหล็กจะบอกคุณสมบัติตามข้อใด

   ก. ชั้นคุณภาพของค่าแรงอัด

   ข. ชั้นคุณภาพของค่าโมเมนต์ดัด

   ค. ชั้นคุณภาพของเหล็ก

   ง. ชั้นคุณภาพวัสดุที่ผลิต

6. สัญลักษณ์ SR 30 หมายถึงข้อใด

ก. เหล็กเส้นกลมขนาด 30 มม.

ข. เหล็กข้ออ้อยขนาด 30 มม.

ค. เหล็กเส้นกลมรับแรงดึงได้สูงสุด 3000 กก./ซม.^{2}

ง. เหล็กเส้นกลมมีกำลังจุกครากไม่ต่ำกว่า 3000 กก./ซม.^{2}

7. สัญลักษณ์ SRR 24 หมายถึงข้อใด

ก. เหล็กเส้นกลม

ข. เหล็กข้ออ้อย

ค. เหล็กเส้นกลมรีดซ้ำ

ง. เหล็กข้ออ้อยรีดซ้ำ

8. ข้อใดไม่ใช่มาตรฐานสำหรับการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

ก. มาตรฐาน วสท.

ข. ACI

ค. AASHTO

ง. BBC

9. ข้อใด้เป็นมาตรฐานสำหรับการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของประเทศไทย

ก. มาตรฐาน วสท.

ข. มาตรฐาน กทม.

ค. มาตรฐาน เทศบาล

ง. มาตรฐาน จังหวัด

10. ห้องแถวและตึกแถว ต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า เท่าใด

ก. 3.00 เมตร

ข. 3.50 เมตร

ค. 4.00 เมตร

ง. 5.50 เมตร

ใบงานที่ 1.2 กิจกรรมกลุ่ม

โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

คำชี้แจง

1. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มละ 3-5 คน อ่านศึกษาทำความเข้าใจ และคัดลอกเนื้อหาโมดูลที่ 2 เรื่อง การออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก ให้ทำ เป็นรายงานกลุ่ม
2. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มละ 3-5 คน ทำการบ้านกิจกรรมกลุ่ม เรื่องการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก และทดลองทำโจทย์ปัญหาและนำเสนอผลงานกลุ่ม

1. **ขั้นเตรียม** เป็นขั้นที่มอบหมายให้ทำเป็นกลุ่ม กำหนดจุดมุ่งหมาย เวลา วิธีการ ตลอดจนเตรียมสื่อการสอนและเอกสารที่ต้องใช้ในการสอน โมดูลที่ 2 เรื่อง การออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก
2. **ขั้นดำเนินการสอน** ประกอบด้วย ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน เป็นขั้นจูงความสนใจของผู้เรียนเข้าสู่บทเรียน ให้ผู้เรียนเกิดความพร้อมที่จะเรียนรู้ อาจใช้วิทบทวนความรู้เดิม สนทนา ซักถาม อภิปรายนำเรื่อง ฯลฯ นอกจากนี้ ผู้สอนควรได้แจ้งจุดประสงค์การสอน แจ้งขั้นตอนการทำกิจกรรม กำหนดเวลา และข้อตกลงอื่นๆ ให้ผู้เรียนเข้าใจตรงกันก่อนเข้ากลุ่มทำกิจกรรม
3. **ขั้นสอน** มีลำดับดังนี้
   - แบ่งผู้เรียนออกเป็นกลุ่มตามจำนวนที่เหมาะสม ให้ใช้วิธีการแบ่งกลุ่มที่น่าสนใจ
   - ให้แต่ละกลุ่มเลือกประธาน เลขานุการ
   - แจกสื่อการเรียนที่กลุ่มจำเป็นต้องใช้ในการทำกิจกรรมกลุ่ม
   - ให้กลุ่มทำกิจกรรมที่ได้รับมอบหมายภายในเวลาที่กำหนด
   - ให้แต่ละกลุ่มรายงานผลงานของกลุ่มตามที่ผู้สอนกำหนด
4. **ขั้นสรุป** ให้ผู้เรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อสรุปความสำคัญจากการรายงานของแต่ละกลุ่มและผู้สอนให้ข้อเสนอแนะพร้อมแนวคิดในการประยุกต์ใช้

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์
วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเหล็กเสริม

ชื่อ/สกุล.....เลขที่.....กลุ่ม.....ชั้น/ปี.....

ลำดับที่	พฤติกรรมที่ประเมิน	ระดับคะแนน					หมายเหตุ
		5	4	3	2	1	
1	ความตรงต่อเวลา						**ความหมายของระดับคะแนน** ระดับการปฏิบัติมาก = 5 ระดับการปฏิบัติดี = 4 ระดับการปฏิบัติปานกลาง = 3 ระดับการปฏิบัติน้อย = 2 ระดับการปฏิบัติน้อย = 1
2	ความมีระเบียบวินัย						
3	ความซื่อสัตย์สุจริต						
4	ความสนใจใฝ่รู้						
5	ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์						
6	การละเว้นสิ่งเสพติดและการพนัน						
7	ความรับผิดชอบต่อหน้าที่และงานที่ได้รับมอบหมาย						**ผลการประเมิน** ระดับดีมาก = 41-50 ระดับดี = 31-40 ระดับปานกลาง = 21-30 ระดับน้อย = 11-20 ระดับปรับปรุง = 0-10
8	มารยาทไทย						
9	ความสามัคคีในหมู่คณะ						
10	ความมีจิตสำนึกที่เห็นแก่ส่วนรวม						
รวมคะแนน							
รวมคะแนนทั้งหมด							

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ประเมิน

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายบุคคล

ที่	คะแนน / ชื่อ-สกุล	การรับฟังความคิดเห็น	การเสนอความคิดเห็น	การยอมรับคนอื่น	การสร้างบรรยากาศในกลุ่ม	รวมคะแนน	ระดับการมีส่วนร่วม
		5	5	5	5	20	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

2. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายกลุ่ม

คะแนน / กลุ่ม	การนำเสนอผลงาน		การบันทึกผลงาน			รวมคะแนน	ระดับคุณภาพของผลงาน
	ขั้นนำ	ขั้นเสนอ	ขั้นสรุป	ถูกต้อง	เรียบร้อย		
	10	10	10	10	10	50	
1							
2							
3							
4							
5							

ระดับของคะแนนย่อย 5 = มากที่สุด 4 = ค่อนข้างมาก 3 = ปานกลาง 2 = ค่อนข้างน้อย 1 = น้อยที่สุด

เกณฑ์การประเมินผล 20-15 = มาก 8-14 = ปานกลาง 7-1 = น้อย

ลงชื่อผู้ประเมิน.....

(.....)

ผู้ประเมิน

โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

(Structural analysis and design for the theory of elasticity)

ผังมโนทัศน์

บทนำ

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทฤษฎีอีลาสติก เป็นการออกแบบให้โครงสร้างสามารถต้านทานแรงกระทำต่างๆ ได้ภายใต้สภาสะการใช้งานไม่เกินหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress) ของวัสดุแต่ละชนิด ตามส่วนความปลอดภัยที่ได้กำหนดไว้โดยมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย หรือข้อบัญญัติของท้องถิ่น การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จะต้องยึดกฎเกณฑ์จากมาตรฐานกำหนดในแต่ละท้องถิ่นซึ่งมีการปรับปรุงรายละเอียดบางประการให้เหมาะสมกับสภาพของท้องถิ่นนั้นๆ โดยอิงจากมาตรฐาน วสท. เป็นหลัก สำหรับทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นมีใช้อยู่ 2 วิธีด้วยกัน การเลือกใช้ทฤษฎีใดขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพของโครงสร้าง คุณภาพและประสิทธิภาพในการดำเนินการก่อสร้างโครงสร้างอาคาร

Design of reinforced concrete structures using elastic theory. Is a design that allows the structure to withstand various forces Can under the use of less than the allowable stress of each type of material According to the safety stipulated by the Engineering Institute of Thailand Or local ordinances Design of reinforced concrete structures The rules must be adhered to by the standards set in each locality, with some details being adjusted to suit the local conditions. Based on the standards of the main science for the theory used to calculate the design of reinforced concrete structures, there are 2 methods. The choice of theories depends on the nature of the structure. Quality and efficiency in the construction of building structures

คำแนะนำขั้นตอนการใช้บทเรียน

โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

(Structural analysis and design for the theory of elasticity)

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล

↓

ศึกษาคำแนะนาการใช้บทเรียนโมดูล

↓

ศึกษาจุดประสงค์ของบทเรียนโมดูล

↓

ทดสอบก่อนเรียน

↓

ศึกษาเนื้อหาในบทเรียนโมดูล ทำกิจกรรมการเรียน
บังคับ บทเรียนโมดูล และทดสอบหลังเรียน

↓ ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75

เรียนบทเรียนโมดูลหน่วยต่อไป

↓ ไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75

เรียนซ่อมเสริม
โดยใช้บทเรียนโมดูลเดิม
โดยนักเรียนเลือกปฏิบัติดังนี้
1. ปรึกษาครูผู้สอน
2. ให้เพื่อนช่วย

องค์ประกอบบทเรียน

โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

(Structural analysis and design for the theory of elasticity)

1. ผังมโนทัศน์
2. ขอบเขตของเนื้อหา โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก
3. ความรู้พื้นฐานของผู้เรียน
4. จุดประสงค์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรมจากการวิเคราะห์หลักสูตร
5. การประเมินผลก่อนเรียน

6. กิจกรรมจัดการเรียนการสอน
7. แบบทดสอบก่อนเรียน โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยวิธีทฤษฎีอีลาสติก
8. แผนการจัดการเรียนรู้
9. เนื้อหาสาระ
10. บทสรุป

11. แบบทดสอบหลังเรียน โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก
12. ใบงานที่ 1.1 แบบฝึกหัด
13. ใบงานที่ 1.2 กิจกรรมกลุ่ม
14. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

คู่มือผู้เรียน

โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

(Structural analysis and design for the theory of elasticity)

คำชี้แจง: คู่มือผู้เรียน ด้านคำแนะนำการใช้บทเรียน ซึ่งผู้เรียนควรมีความรู้พื้นฐานด้าน พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยจะต้องผ่านการประเมิน ในบทเรียนโมดูลที่ 1 ก่อนจะเข้าสู่บทเรียน ในโมดูลที่ 2

1. ผู้เรียน ทำความเข้าใจศึกษาการเรียนการสอนด้วย บทเรียนโมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

2. ผู้เรียน ทำแบบทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนก่อนเรียน บทเรียนโมดูลที่ 2 จำนวน 10 ข้อ
3. ผู้เรียน ตรวจคำตอบจากแบบเฉลยการทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนก่อนเรียนโมดูลที่ 2 โดยครูผู้สอนมอบให้แก่ผู้เรียน
4. ผู้เรียน ศึกษาจุดประสงค์การเรียนแต่ละตอนให้มีความรู้ ความเข้าใจ ในเนื้อหาสาระ
5. ผู้เรียน รับเอกสารเนื้อหาสาระประกอบการเรียน บทเรียนโมดูลที่ 2 จากครูผู้สอน
6. ผู้เรียน ต้องเข้าร่วมกิจกรรมการจัดการเรียนการสอน ตามเอกสารประกอบการเรียนในบทเรียนแต่ละโมดูลการเรียนรู้
7. กิจกรรมเลือก คือกิจกรรมที่มีไว้สำหรับผู้เรียนที่สอบประเมินผลไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75 โดยให้นักเรียนทำกิจกรรมเลือกตามจุดประสงค์ที่ไม่ผ่าน
8. ผู้เรียน ศึกษาทำความเข้าใจอย่างถี่ถ้วนในใบความรู้ บทเรียนโมดูลที่ 2
9. ผู้เรียน ทำแบบฝึกหัด กิจกรรมกลุ่ม บทเรียนโมดูลที่ 2
10. ผู้เรียน ทำแบบทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนหลังเรียน บทเรียนโมดูลที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน
11. ผู้เรียนผ่านเกณฑ์ประเมินร้อยละ 75 สามารถเรียน บทเรียนโมดูลที่ 3 ต่อไปได้ แต่ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์ประเมิน ผู้เรียนจะต้องเรียนซ่อมเสริม ในบทเรียนโมดูลที่ 2 จนกว่าจะมีผลการประเมินผ่านเกณฑ์
12. การเรียนซ่อมเสริม โดยผู้เรียนต้องศึกษาเนื้อหาสาระและทำกิจกรรมการเรียน และทำแบบทดสอบหลังเรียนซึ่งเป็นแบบทดสอบชุดเดียวกับแบบทดสอบก่อนเรียนอีกครั้งจนกว่าจะผ่าน เกณฑ์ร้อยละ 75
13. ผู้เรียนจัดเก็บเอกสารและสื่อการเรียน ตัวอย่างหุ่นจำลองโครงสร้าง ในทุก ๆ บทเรียนโมดูลให้เรียบร้อย ตามที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้งาน

ขอบเขตเนื้อหา

โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

(Structural analysis and design for the theory of elasticity)

ขอบเขตของเนื้อหา บทเรียนโมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหา ต่อไปนี้

- **ทฤษฎีอีลาสติก (Elastic Design) หรือ ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน**
- **หน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Working Stress) เชิงกลของคอนกรีต**
- **การวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีทฤษฎีอีลาสติก**
- **แบบจำลองทางโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก**
- **หลักการจัดวางน้ำหนักบรรทุกในโครงสร้าง**
- **การเปรียบหลักการออกแบบ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก**
- **แบบฝึกหัดพื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก**

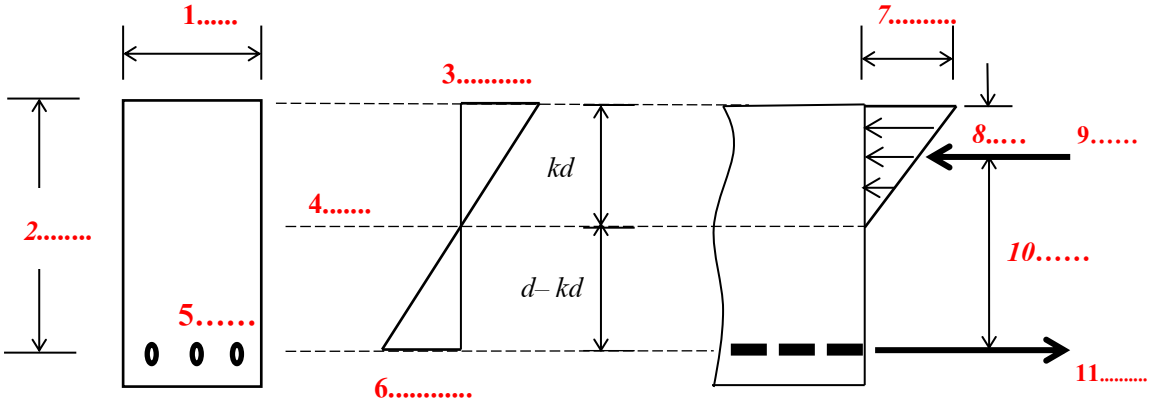
การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน

โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

(Structural analysis and design for the theory of elasticity)

คำชี้แจง : การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน ให้ผู้เรียนทดสอบพื้นฐานความรู้ของตนเอง ก่อนเรียน

ตอนที่ 1. จากรูปจงเติมสัญลักษณ์ลงในช่องว่าง 1-11 ของรูปหน้าตัด ก – ค กำหนดให้คานยื่นรับน้ำหนักกระทำทำให้เกิดโมเมนต์ดัดดังรูปจากทฤษฎีอีลาสติก



ก) รูปตัดคาน ข) การกระจายของหน่วยการยืดหดตัว ค) การกระจายหน่วยแรงและแรงภายในบนหน้าตัด

ตอนที่ 2. กำหนดให้ f_c' = 100+รหัส น.ศ. = ... เหล็ก SR 24

และให้คานมีขนาด 0.15 x 0.35 ม. มีระยะหุ้มคอนกรีต 3 ซม. จงหาคำตอบต่อไปนี้

1. ค่าความลึกประสิทธิผล = ... ซม.

2. ค่า k $= \dfrac{1}{1+\frac{f_s}{nf_c}}$ = ...

3. ค่า j $= 1 - \dfrac{K}{3}$ = ...

4. ระยะแนวแกนสะเทินถึงด้านที่รับแรงอัด

ค่า *kd* = ... ซม.

5. ระยะแรงอัดถึงแรงดึง

ค่า *jd* = ... ซม.

ผลการวิเคราะห์หลักสูตรจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

(Structural analysis and design for the theory of elasticity)

1. จุดประสงค์การเรียนรู้

1.1. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

1.2. เพื่อให้มีทักษะในการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

1.3. เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

2.1 อธิบายทฤษฎีอีลาสติก (Elastic Design) หรือ ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน ได้ถูกต้อง

2.2 อธิบายหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Working Stress) ได้ถูกต้อง

2.3 วิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีทฤษฎีอีลาสติก ได้ถูกต้อง

2.4 วิเคราะห์แบบจำลองทางโครงสร้าง ได้ถูกต้อง

2.5 อธิบายหลักการการจัดวางน้ำหนักบรรทุก ได้ถูกต้อง

องค์ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

(Structural analysis and design for the theory of elasticity)

องค์ประกอบ บทเรียนโมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

1. แนวคิด/จุดประสงค์หน่วยการเรียน/สมรรถนะ

- คำชี้แจงการใช้บทเรียนโมดูล
- แผนผังมโนทัศน์ประจำหน่วยการเรียน
- แผนการจัดการเรียนรู้
- แนวคิด/จุดประสงค์หน่วยการเรียน/สมรรถนะ
- เค้าโครงสาระสำคัญการเรียนรู้ โมดูลที่ 2

2. กิจกรรมการเรียนรู้/สื่อการประเมินผล

- แบบทดสอบก่อนเรียน
- เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
- ใบความรู้
- แบบฝึกหัด
- เฉลยแบบฝึกหัด
- ใบมอบหมายงาน
- แบบทดสอบหลังเรียน
- เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน
- แบบประเมินคุณธรรม /จริยธรรม/ ค่านิยม และคุณลักษณะอังพึงประสงค์
- แบบประเมินพฤติกรรมรายบุคคล
- เอกสารอ้างอิง

แบบทดสอบก่อนเรียน

โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

(Structural analysis and design for the theory of elasticity)

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

คำสั่ง: จงเติมคำตอบของคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง (คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลา 10 นาที)

1. f_s' หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น_____

2. As หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น_____

3. A_s' หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น _____

4. M' หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น_____

5. As_1 หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น _____

6. *Mc* หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น_____

7. *M* หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น _____

8. d' หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น_____

9. กรณีที่ *Mc* มีค่ามากกว่า *M* หมายถึง _____

ออกแบบให้หน้าตัดโครงสร้าง มีเหล็กเสริมรับแรง _____

10. กรณีที่ *Mc* มีค่าน้อยกว่า *M* หมายถึง _____

ออกแบบให้หน้าตัดโครงสร้าง มีเหล็กเสริมรับแรง _____

	แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	**โมดูลที่ 2**
	รหัสวิชา 3121-2102	**สอนครั้งที่ 1-2**
	โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบ โดยทฤษฎีอีลาสติก	**จำนวน 6 ชั่วโมง**

1. หัวข้อเรื่อง

1.1 ปฐมนิเทศเกี่ยวกับขอบเขตเนื้อหา จุดประสงค์ วิธีการสอน กิจกรรมการสอน หลักเกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

1.2 ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนเมื่อเรียนจบสาระการเรียน

2. สาระการเรียนรู้

2.1 กำหนดขอบเขต เนื้อหาวิชา จุดประสงค์ วิธีการสอน กิจกรรมการสอน

2.2 กำหนดหลักเกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

3.2. เพื่อให้มีทักษะในการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

3.3. เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายทฤษฎีอีลาสติก (Elastic Design) หรือ ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน ได้ถูกต้อง

4.2 อธิบายหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Working Stress) ได้ถูกต้อง

4.3 วิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีทฤษฎีอีลาสติก ได้ถูกต้อง

4.4 วิเคราะห์แบบจำลองทางโครงสร้าง ได้ถูกต้อง

4.5 อธิบายหลักการการจัดวางน้ำหนักบรรทุก ได้ถูกต้อง

	แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	**โมดูลที่ 2**
	รหัสวิชา 3121-2102	**สอนครั้งที่ 1-2**
	โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบ โดยทฤษฎีอีลาสติก	**จำนวน 6 ชั่วโมง**

5. กิจกรรมการเรียนการสอน

ครู	นักเรียน
5.1 นำเข้าสู่บทเรียน	5.1 ฟังบรรยายเข้าสู่บทเรียน
5.2 ทดสอบความรู้ก่อนเรียน	5.2 ทำข้อสอบก่อนเรียน
5.3 มอบใบความรู้	5.3 อ่านทำความเข้าใจในใบความรู้
5.4 บรรยายพร้อมแสดงสื่อประกอบการยกตัวอย่างและสอดแทรกแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง	5.4 ตั้งใจฟังบรรยาย พร้อมซักถามข้อสงสัยและตอบคำถามของครูผู้สอน
5.5 ให้แบบฝึกหัด	5.5 ทำแบบฝึกหัด
5.6 ให้ใบมอบงาน เกี่ยวกับ	5.6 ทำงานตามมอบหมายงานโดยใช้กิจกรรมกลุ่ม
5.7 ทดสอบหลังเรียน	5.7 ทำข้อสอบหลังเรียน

6. งานที่มอบหมาย

6.1 ก่อนเรียนให้ใบความรู้ การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบ โดยทฤษฎีอีลาสติก

6.2 ขณะเรียนให้ศึกษาในใบความรู้ พร้อมแบ่งกลุ่มทำกิจกรรมพัฒนาองค์ความรู้และบุคลิกภาพ

6.3 หลังเรียน ให้ค้นคว้าเขียนรายงานเกี่ยวกับ การออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติกและนำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์

7. สื่อการสอน

7.1 สิ่งพิมพ์

7.2 โสต แผ่นใส และแผ่นสไลด์

7.3 ตัวอย่างการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก หรือหุ่นจำลองการนำไปใช้ในงานก่อสร้าง

8. การประเมินผล

8.1 ก่อนเรียน

ให้ทำข้อสอบก่อนเรียน

8.2 ระหว่างเรียน

ประเมินความสนใจ และความเข้าใจในการตอบข้อซักถาม

8.3 หลังเรียน

ใบมอบงาน

แบบฝึกหัด แบบทดสอบหลังเรียน และตรวจทานความถูกต้อง

เนื้อหาสาระบทเรียนโมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

สาระสำคัญ

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทฤษฎีอีลาสติก เป็นการออกแบบให้โครงสร้างสามารถต้านทานแรงกระทำต่าง ๆ ได้ภายใต้สภาสะการใช้งานไม่เกินหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress) ของวัสดุแต่ละชนิด ตามส่วนความปลอดภัยที่ได้กำหนดไว้โดยมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย หรือข้อบัญญัติของท้องถิ่น

จุดประสงค์การเรียนการสอน

จุดประสงค์ทั่วไป

1. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก
2. เพื่อให้มีทักษะในการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก
3. เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. อธิบายทฤษฎีอีลาสติก (Elastic Design) หรือ ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน ได้
2. อธิบายหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Working Stress) ได้
3. วิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีทฤษฎีอีลาสติกได้
4. วิเคราะห์แบบจำลองทางโครงสร้างได้
5. อธิบายหลักการการจัดวางน้ำหนักบรรทุกได้

เนื้อหาสาระ

2. การออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก
   - 2.1 ทฤษฎีอีลาสติก (Elastic Design) หรือ ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน
   - 2.2 หน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Working Stress)
   - 2.3 วิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีทฤษฎีอีลาสติก
   - 2.4 การวิเคราะห์แบบจำลองทางโครงสร้าง
   - 2.5 การจัดวางน้ำหนักบรรทุก

โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

(Structural analysis and design for the theory of elasticity)

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จะต้องยึดกฎเกณฑ์จากมาตรฐานกำหนดในแต่ละท้องถิ่น ซึ่งมีการปรับปรุงรายละเอียดบางประการให้เหมาะสมกับสภาพของท้องถิ่นนั้น ๆ โดยอิงจากมาตรฐาน วสท. เป็นหลัก สำหรับทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นมีใช้อยู่ 2 วิธีด้วยกัน การเลือกใช้ทฤษฎีใดขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพของโครงสร้าง คุณภาพในการดำเนินการก่อสร้างโครงสร้างอาคาร

2.2 ทฤษฎีอีลาสติก หรือทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน (Elastic Design)

การคำนวณออกแบบโดยให้โครงสร้างสามารถต้านทานแรงกระทำต่าง ๆ ได้ภายใต้สภาวะการใช้งาน โดยมีค่าหน่วยแรงต้านสูงสุดที่เกิดขึ้นในวัสดุอยู่ในช่วงยืดหยุ่น และไม่เกินหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress) ของวัสดุแต่ละชนิดนั้น ๆ ตามส่วนปลอดภัยที่ได้กำหนดไว้โดยมาตรฐาน ว.ส.ท. หรือ ข้อบัญญัติของท้องถิ่นนั้น ๆ

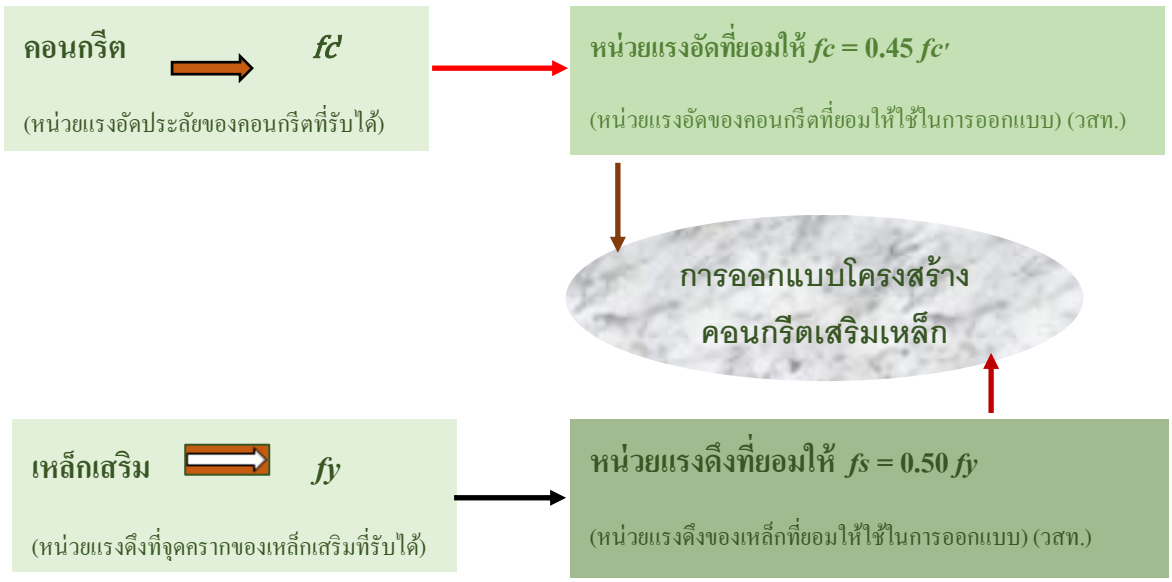
อาทิ *การกำหนด กำลังอัดประลัยของคอนกรีต, fc'*

ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ ที่จะนำไปคำนวณออกแบบ fc = 0.45 fc' (วสท.)

ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ ที่จะนำไปคำนวณออกแบบ $f_c = 0.375\ f_c'$ *(ข้อบัญญัติ กทม.)*

การกำหนด หน่วยแรงกำลังดึงครากของเหล็กเสริม fy

ค่าหน่วยแรงดึงยอมให้ ของเหล็กเสริมที่จะนำไปคำนวณออกแบบ $f_s = 0.50\ f_y$



รูปที่ 2.1 หน่วยแรงของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.2 หน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Working Stress)

วิธีหน่วยแรงใช้งาน แต่เดิมเรียกว่าทฤษฎีอีลาสติก (Elastic theory) จะใช้หน่วยแรงไม่เกินกว่าพิกัดยืดหยุ่นของวัสดุ กล่าวคือ หน่วยแรงของวัสดุที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกขณะใช้งาน (Working stress, f) ไม่เกินค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable stress, f_{allow}) ซึ่งถือเป็นหลักเกณฑ์ในการคำนวณออกแบบ ($f < f_{allow}$) ซึ่งหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Working Stress) ในการออกแบบโครงสร้าง มีความสำคัญในขั้นตอนการเลือกใช้วัสดุ และเลือกขนาดหน้าตัดของส่วนประกอบต่างๆ ทางโครงสร้าง เพื่อให้องค์อาคารมีเสถียรภาพมั่นคง และใช้งานได้อย่างปลอดภัย หน่วยแรงของวัสดุที่อยู่ในช่วงขีดจำกัดยืดหยุ่น ช่วงที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยการยืดหดตัวของวัสดุนั้น (กราฟเป็นเส้นตรง) ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้สามารถหาได้ด้วยการหารหน่วยแรงต้านทานสูงสุดของวัสดุนั้นๆ ด้วยส่วนปลอดภัยที่เหมาะสม ซึ่งมาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับคอนกรีตและเหล็กเสริม ดังนี้

2.2.1 หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต (f_c')

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f_c') เพื่อใช้ในการก่อสร้างอาคาร แต่ในการออกแบบคำนวณโครงสร้างเราจะลดค่าที่รับกำลังอัดประลัยได้ลงเป็นเปอร์เซ็นต์ตามลักษณะการเกิดแรงภายในแต่ละชนิดที่กระทำกับโครงสร้าง (แรงอัด,ดึง,เฉือน,ดัด) เพื่อความปลอดภัยตาม มาตรฐาน วสท. 1007-37 ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้เพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างให้ปลอดภัย และการกำหนดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้เพื่อรับแรงกดและแรงเฉือนของคอนกรีตใด ๆ ใช้ไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีตที่มีค่าแรงอัดประลัยต่างๆ กัน

ชนิดของการรับแรง		หน่วยแรงที่ยอมให้ กก./ซม.^{2}						
		ค่า fc'	100	120	135	145	160	170
รับแรงดัด : หน่วยแรงอัดที่ยอมให้	f_c	0.45 f_c'	45	54	60	65	72	76
รับแรงเฉือน :								
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (คาน)	V_c	0.29 $\sqrt{f_c'}$	2.9	3.2	3.4	3.5	3.7	3.8
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (พื้น,ฐานราก)	V_c	0.53 $\sqrt{f_c'}$	5.3	5.3	5.8	6.4	6.7	6.9
รับแรงกด : หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (เสา)	f_c	0.25 fc'	25	30	33	36	40	42
อัตราส่วนโมดูลัส $\frac{E_s}{E_c} = \frac{2{,}040{,}000}{15{,}210\sqrt{f_c'}}$ (ปัดลงเป็นจำนวนเต็ม)	n	$\frac{134.12}{\sqrt{f_c'}}$	14	13	12	11	11	10

ที่มา: สถาพร โภคา, 2544

หมายเหตุ ข้อกำหนดควบคุมอาคารของ กทม. ใช้

ค่า f_c' ให้ใช้ได้ไม่เกิน 175 กก./ซม.^{2} (ถ้าใช้เกินควรมีผลทดสอบแสดง)

ค่า $f_C = 0.375 f_c'$ แต่ไม่เกิน 65 กก./ซม.^{2}

2.2.2 หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม (f_s)

ตามข้อกำหนดควบคุมอาคารของ กทม. และมาตรฐาน ว.ส.ท. 1007-34 กำหนดให้ ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กจะรับได้ไม่เกินพิกัด ดังนี้

เมื่อรับแรงดึง

เหล็กเส้นที่เป็นเหล็กละมุน ซึ่งไม่มีผลทดสอบ : $f_s = 1{,}200$ กก./ซม.^{2}

เหล็กเส้นกลม ชั้นคุณภาพ SR 24 : $f_s = 0.50 f_y$

เหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD 30 : $f_s = 0.50 f_y$

เหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD 40 : $f_s = 0.50 f_y$ แต่ไม่เกิน 1,700 กก./ซม.^{2}

เมื่อรับแรงอัด

เสาปลอกเกลียว : $f_s = 0.40 f_y$ แต่ไม่เกิน 2,100 กก./ซม.^{2}

เสาแบบผสม

เหล็กรูปพรรณ มอก. 116–2529 ชั้นคุณภาพ Fe24 1,200 กก./ซม.^{2}

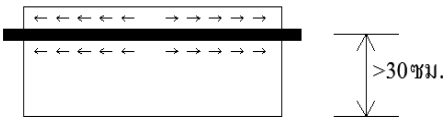
เหล็กหล่อ 700 กก./ซม.^{2}

2.2.3 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ (u_a)

แรงที่ยึดติดกันระหว่างคอนกรีตกับเสริม ตามมาตรฐาน วสท. ค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ รับแรงดึงไม่เกินพิกัด ดังนี้

1) เหล็กเส้นกลม

ก) เหล็กบน มีเนื้อคอนกรีตอยู่ใต้เหล็กมากกว่า 30 ซม.



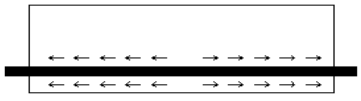
$$u_a = \frac{1.145\sqrt{fc'}}{D}$$ ต้องไม่เกิน 11 กก./ซม.^{2}

ข) เหล็กอื่นไม่ใช่เหล็กบน

$$u_a = \frac{1.615\sqrt{fc'}}{D}$$ ต้องไม่เกิน 11 กก./ซม.^{2}

2) เหล็กข้ออ้อย

ก) เหล็กบน



$$u_a = \frac{2.29\sqrt{fc'}}{D}$$ ต้องไม่เกิน 25 กก./ซม.^{2}

ข) เหล็กอื่นที่ไม่ใช่เหล็กบน

$$u_a = \frac{3.23\sqrt{fc'}}{D}$$ ต้องไม่เกิน 35 กก./ซม.^{2}

2.2.4 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (V_S) หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในองค์โครงสร้างจะเกิดขึ้นจากแรงเฉือนพยายามเฉือนเนื้อที่หน้าตัดขององค์โครงสร้างนั้น ๆ โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริง สูตร

$$v = \frac{V}{A}$$ กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

$$v_s = f_s$$ กก./ซม.^{2}

เมื่อกำหนดให้

v = หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น	กก./ซม.^{2}
V = แรงเฉือน	กก.
A = พื้นที่ที่ถูกเฉือน	ซม.^{2}
v_S = หน่วยแรงเฉือนเหล็กที่ยอมให้	กก./ซม.^{2}
f_S = หน่วยแรงดึงเหล็กที่ยอมให้	กก./ซม.^{2}

2.2.5 สมมติฐานในการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (วินิต ช่อวิเชียร, 2545)

1) ระนาบรูปตัดทั้งก่อนและหลังรับโมเมนต์ดัดยังคงเป็นระนาบ นั่นคือสมมติให้การกระจายของหน่วยการยืดหดตัวบนหน้าตัดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะที่ห่างจากแนวสะเทิน

2) กลสมบัติของวัสดุทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริมเป็นไปตามกฎของฮุค (Hook's law) คือความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและหน่วยการยืดหดตัวเป็นสัดส่วนโดยตรง

3) การยึดหน่วง (Bond) ระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมเป็นไปอย่างสมบูรณ์ หน่วยการยืดหดตัวของคอนกรีตและเหล็กเสริม ณ ตำแหน่งเดียวกัน มีค่าเท่ากัน

4) ไม่คิดกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีต

5) โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (*Ec*) มีค่าเท่ากับ $w^{1.5}4{,}270\sqrt{fc'}$ โดยที่ *w* เป็นหน่วยน้ำหนักคอนกรีตปกติเท่ากับ 2.323 ตัน/ลบ.ม. ดังนั้น ใช้ $Ec = 15{,}100\sqrt{fc'}$ กก./ซม.^{2}

6) โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม (*Es*) มีค่าเท่ากับ 2.04x10^6 กก./ซม.^{2}

7) อัตราส่วนโมดูลัส (Modulus ratio: $n = Es/Ec$) เป็นค่าคงที่ และใช้เลขจำนวนเต็มที่ใกล้เคียงที่สุด แต่ต้องไม่น้อยกว่า 6

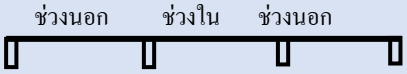
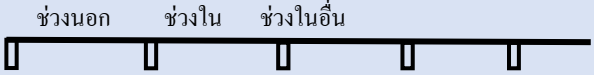
อย่างไรก็ตาม ข้อสมมติฐานอาจไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริง แต่ช่วยให้การคำนวณออกแบบทำได้ง่ายขึ้นและเมื่อใช้หน่วยแรงที่ยอมให้ตามข้อกำหนดแล้ว โครงสร้างสามารถใช้งานได้ดีและมีความปลอดภัยเพียงพอ

2.3 วิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีทฤษฎีอีลาสติก

การออกแบบอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ผู้ออกแบบจะต้องเข้าใจถึงทฤษฎีเบื้องต้นขององค์อาคารเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกภายนอก ทำให้ตัวโครงสร้างเกิดแรงภายในกระทำกับเนื้อวัสดุที่ใช้สร้างโครงสร้างนั้นๆ มีผลทำให้หน้าตัดโครงสร้างส่วนไหนเกิดแรงอัด แรงดึง แรงเฉือน แรงบิด ซึ่งการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์และแรงเฉือน อย่างละเอียดตามมาตรฐาน ACI และ ว.ส.ท. 5201 ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบง่ายสามารถวิเคราะห์หาแรงต่าง ๆ ได้ด้วยสมการสมดุลพื้นฐาน ส่วนกรณีที่เป็นโครงสร้างแบบอินดีเทอร์มิเนท จะเป็นโครงสร้างที่ไม่สามารถวิเคราะห์หาแรงต่าง ๆ ได้ด้วยสมการสมดุลเพียงอย่างเดียวจะใช้วิธีอื่นๆ ในการวิเคราะห์ ซึ่งมีหลายวิธี เช่น วิธีสมการของสามโมเมนต์ (Three–moment equation) วิธีสมการของมุมและการโก่งตัว (Slope–deflection equation) วิธีการกระจายโมเมนต์ (Moment distribution method) และวิธีเมตริก (Matrix analysis method) เป็นต้น

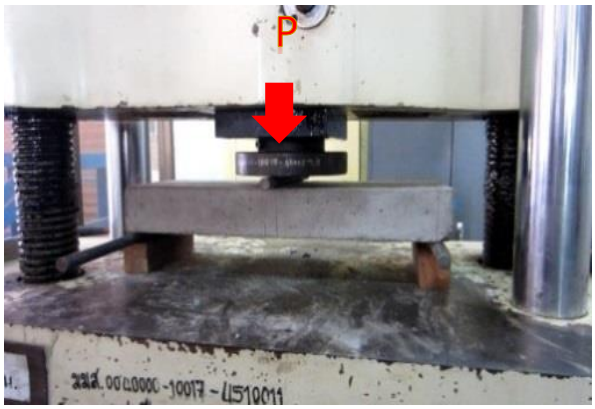
ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์และแรงเฉือน (ว.ส.ท. 5201)

(ก) โมเมนต์บวก	
คานช่วงนอก :	
ปลายไม่ยึดรั้งกับที่รองรับ	$\frac{1}{11}wL'^2$
ปลายหล่อเป็นเนื้อเดียวกับที่รองรับ	$\frac{1}{14}wL^2$
คานช่วงใน :	$\frac{1}{16}wL^2$
(ข) โมเมนต์ลบ	
โมเมนต์ลบที่ขอบนอกของที่รองรับตัวในแรก	
-เมื่อมีช่วงต่อเนื่องกัน 2 ช่วง	$\frac{1}{9}wL^2$
-เมื่อมีช่วงต่อเนื่องกันมากกว่า 2 ช่วง	$\frac{1}{10}wL^2$
-โมเมนต์ลบที่ขอบนอกของที่รองรับตัวในอื่น ๆ	$\frac{1}{11}wL'^2$
-โมเมนต์ลบที่ขอบนอกของที่รองรับทุกแห่ง :	$\frac{1}{12}wL^2$
สำหรับแผ่นพื้นที่มีช่วงยาวไม่เกิน 3.0 เมตร	
หรือคานที่มีอัตราส่วนสติฟเนสของเสาต่อคาน > 8	
โมเมนต์ลบที่ขอบนอกของที่รองรับตัวริมที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับที่รองรับ	
-เมื่อที่รองรับเป็นคานขอบ	$\frac{1}{24}wL^2$
-เมื่อที่รองรับเป็นเสา	$\frac{1}{16}wL^2$
(ค) แรงเฉือน	
-แรงเฉือนที่ขอบรองรับตัวในแรก	$1.15\frac{wL'}{2}$
-แรงเฉือนที่ขอบของที่รองรับตัวอื่น ๆ	$\frac{wL'}{2}$

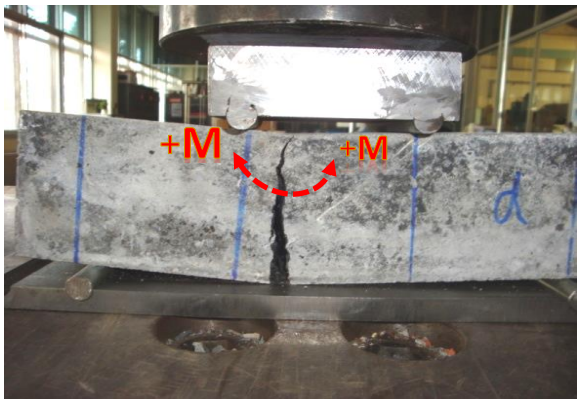
ลักษณะคานและพื้นต่อเนื่อง	
ต่อเนื่อง 2 ช่วง	
ต่อเนื่อง 3 ช่วง	
ต่อเนื่อง 4 ช่วง	
ต่อเนื่องมากกว่า 4 ช่วง	

จากข้อมูลในตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์และแรงเฉือน (ว.ส.ท. 5201) สามารถเพื่อใช้หาคุณสมบัติของวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพตรงตามความสามารถรับแรงวัสดุได้ สำหรับนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างมีค่าไม่เกินกว่าหน่วยแรงพิกัดยืดหยุ่นของวัสดุ และการเปลี่ยนรูปหรือเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกถือว่ามีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับความยาวของโครงสร้าง กรณีที่โครงสร้างแบบอินดีเทอร์มิเนทเป็นพื้นหรือคานต่อเนื่องที่มีหน้าตัดคงที่และมีช่วงตั้งแต่สองช่วงขึ้นไป มีความต่างของความยาวช่วงที่ติดกันไม่เกินร้อยละ 20 น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบสม่ำเสมอเต็มทุกช่วงตลอดความยาวของโครงสร้าง และมีน้ำหนักบรรทุกจร (LL) ไม่เกิน 3 เท่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่ (DL) หากไม่คำนวณหาโมเมนต์และแรงเฉือนโดยการวิเคราะห์อย่างละเอียดมาตรฐาน ACI และ ว.ส.ท. 5201 ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์และแรงเฉือนได้

ผลการพิจารณาคานตามรูปที่ 2.2 (ก) เมื่อคานคอนกรีตแบกรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดในคาน คานก็จะเริ่มแอ่นตัวจนเกิดค่าโมดูลัสการแตกร้าวที่จะต้านทานไว้ได้ คานก็จะเริ่มแตกร้าวดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ข)



ก)



ข)

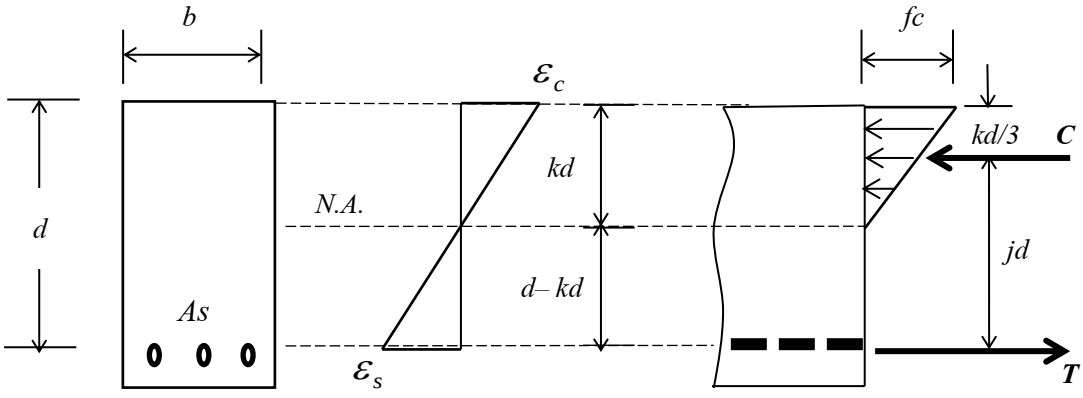
รูปที่ 2.2 ก)-ข) การทดสอบคานเมื่อรับน้ำหนัก และคานแตกร้าวเมื่อเกิดโมเมนต์ดัดภายในคาน

ที่มา: เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์ และคณะ, 2556 (กัมปนาท บุญกัน ปรับปรุง, 2559)

จากรูปที่ 2.2 ข) วิเคราะห์ได้ว่าคานจะโก่งงอลงขอบเส้นบนของคานจะหดสั้นลง แสดงว่า เกิดแรงอัดกระทำและขอบเส้นล่างของคานจะยืดออกแสดงว่าเกิดแรงดึงกระทำ เมื่อตัดหน้าตัดคานมาพิจารณาแรงภายในที่เกิดขึ้นจากผลของโมเมนต์ดัด ($+M_Q$) กระทำตรงหน้า Q โดยแนวแกนสะเทิน (Neutral Axis ; N.A) เป็นเส้นแบ่งระหว่างการเกิดแรงอัดและแรงดึงในหน้าตัดโครงสร้าง เกิดแรงอัด (C) จากแนวแกนสะเทินมากขึ้นไปจนถึงขอบบนคานมากที่สุด และเกิดแรงดึง (T) จากแนวแกนสะเทินลงมา เกิดแรงดึงมากขึ้นจนถึงขอบคานด้านล่าง ดังนั้นเพื่อให้คานเกิดการสมดุล ไม่เกิดการโก่งงอแตกร้าวและรับน้ำหนักได้ปลอดภัย จึงต้องออกแบบขนาดหน้าตัดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กให้สามารถต้านทานแรงดึงแรงอัดที่เกิดขึ้นจากโมเมนต์ดัดกระทำ ด้วยเนื้อคอนกรีตและเหล็กเสริมให้ตรงตามคุณสมบัติวัสดุในบริเวณที่เกิดแรงชนิดต่าง ๆ ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ (n, k และค่า j) การเลือกใช้วัสดุทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริมเป็นขั้นตอนแรก ในการออกแบบซึ่งทำให้ทราบถึงกลสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ เช่น เลือกส่วนผสมของคอนกรีตให้มีกำลังอัด (fc') เท่ากับ 240 กก./ซม.^{2} และเลือกใช้เหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD 30 จะได้ค่ากำลังครากของเหล็กเสริม (fy) เท่ากับ 3,000 กก./ซม.^{2} เป็นต้น จากสมมติฐานในการออกแบบ จะได้ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ คือค่า n ค่า k และค่า j ดังนี้

อัตราส่วนโมดูลัส : $n = \dfrac{Es}{Ec} = \dfrac{2{,}040{,}000}{15{,}100\sqrt{fc'}}$ (2.1)

พิจารณารูปตัดคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้โมเมนต์ดัด รูปที่ 2.3 ก) การกระจายของหน่วยการยืดหดตัวบนหน้าตัดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่างจากแนวสะเทิน (Neutral axis, N.A.) หน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีต (ε_c) ที่ผิวด้านบนของคานมีระยะห่างเท่ากับ *kd* จากแนวแกนสะเทิน และหน่วยการยืดตัวของเหล็กเสริม (ε_s) ที่ตำแหน่งเหล็กเสริมรับแรงดึง ดังรูปที่ 2.3 ข) การกระจายหน่วยแรงและแรงภายในบนหน้าตัดซึ่งไม่คิดกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีต โดยค่า *jd* คือระยะจากแนวแรงอัด (*C*) ที่รับโดยคอนกรีต ถึงแนวแรงดึง (*T*) ที่รับโดยเหล็กเสริม ดังรูปที่ 2.3 ค)



ก) รูปตัดคาน ข) การกระจายของ หน่วยการยืดหดตัว ค) การกระจายหน่วยแรงและแรงภายในบนหน้าตัด

รูปที่ 2.3 การกระจายของหน่วยการยืดหดตัวและหน่วยแรงบนหน้าตัดคาน

ที่มา: วินิต ช่อวิเชียร, 2545

จากรูปสามเหลี่ยมคล้ายของการกระจายหน่วยการหดตัวของคอนกรีต (ε_c) และหน่วยการยืดตัวของเหล็กเสริม (ε_s) รูปที่ 2.3 ข)

$$\frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d-kd} \quad \text{หรือ} \quad \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_s} = \frac{k}{1-k} \qquad (2.2)$$

ขณะที่ $$n = \frac{Es}{Ec} \quad \text{หรือ} \quad n = \frac{fs.\varepsilon_c}{fc.\varepsilon_s} \qquad (2.3)$$

แทนค่าสมการ (*a*) ลงใน (*b*) จะได้

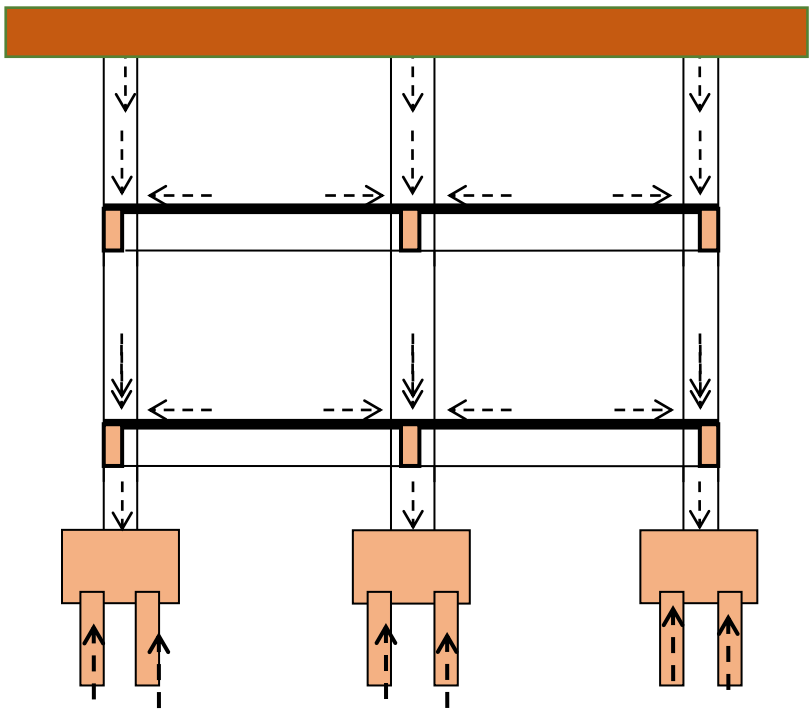
$$n = \frac{fs.k}{fc(1-k)} \quad \text{หรือ} \quad k = \frac{1}{1+\frac{fs}{n.fc}} \qquad (2.4)$$

จากรูปที่ 2.3 ค) แนวแรงอัด (*C*) ถึงแนวแรงดึง (*T*) จะได้ระยะ *jd* ดังนี้

$$jd = d - \frac{kd}{3} \quad \text{หรือ} \quad j = 1 - \frac{k}{3} \qquad (2.5)$$

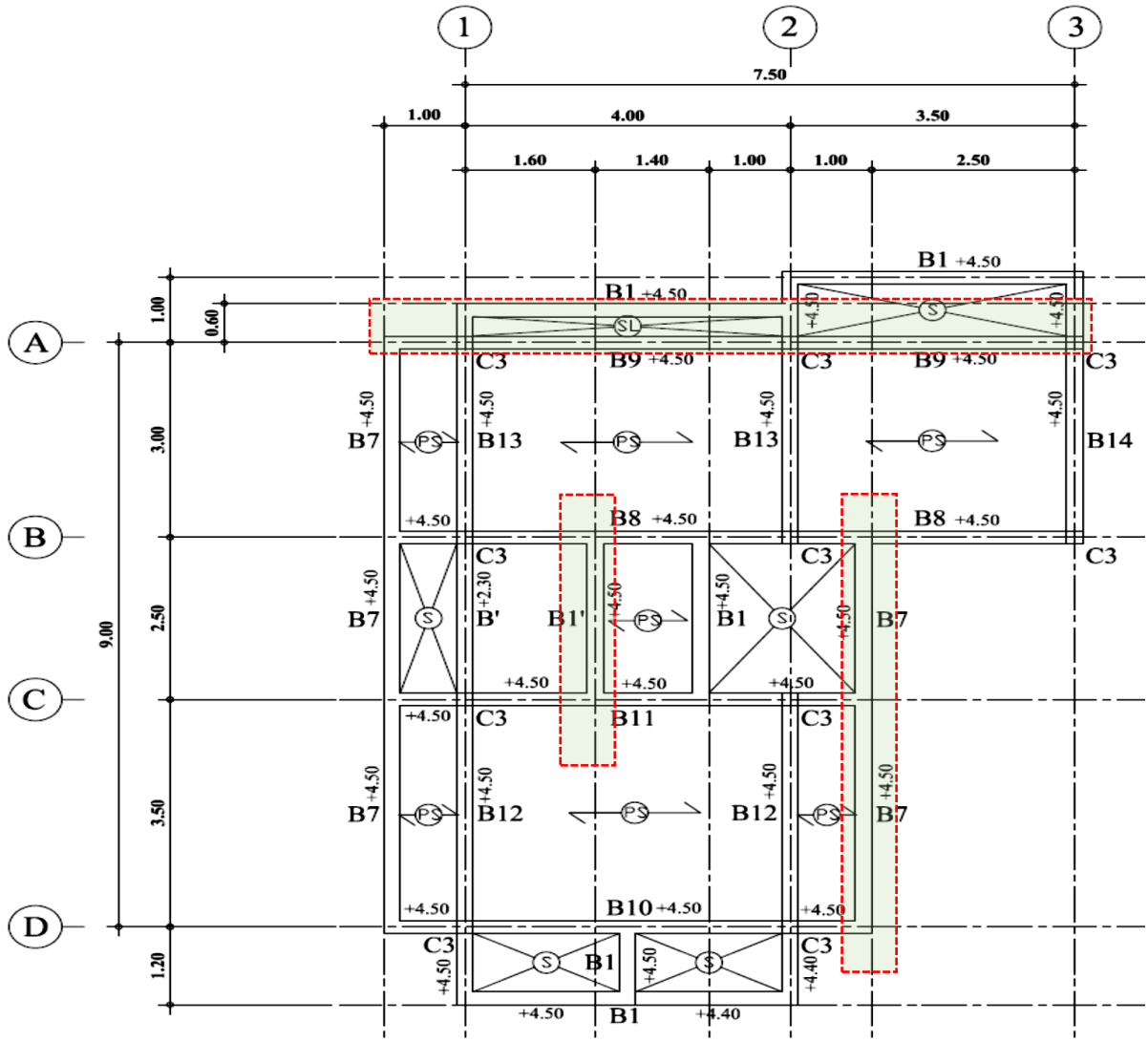
2.4 การวิเคราะห์แบบจำลองทางโครงสร้าง

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ประกอบด้วย พื้น คาน เสา และฐานราก น้ำหนักหรือแรงที่กระทำกับโครงสร้างอาคารเริ่มจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (DL) และน้ำหนักบรรทุกจร (LL) ดังแสดงตัวอย่างการสร้างแบบจำลองทางโครงสร้าง จากรูปที่ 2.5



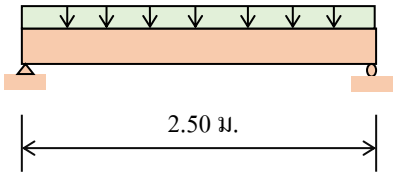
รูปที่ 2.5 โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

จากรูปที่ 2.5 เป็นแบบผังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อพิจารณาคาน B1, B7 และคาน B9 จะเห็นว่าคาน B1 เป็นคานช่วงเดียวและเป็นคานซอยหรือคานฝากมีฐานรองรับเป็นคานหลัก (คาน B8 และคาน B11 เป็นคานหลัก) จึงแสดงเป็นคานช่วงเดียว ดังตัวอย่างการสร้างแบบจำลองทางโครงสร้าง จากรูปที่ 2.6 เป็นแบบผังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อพิจารณาคาน B1, B7 และคาน B9 จะเห็นว่าคาน B1 เป็นคานช่วงเดียวและเป็นคานซอยหรือคานฝากมีฐานรองรับเป็นคานหลัก (คาน B8 และคาน B11 เป็นคานหลัก) จึงแสดงเป็นคานช่วงเดียว ดัง รูปที่ 2.7 ก) ส่วนคาน B7 เป็นคานต่อเนื่องสองช่วงและเป็นคานซอยหรือคานฝาก มีฐานรองรับเป็นคานหลักเช่นกัน (คาน B10, คาน B11 และคาน B8 เป็นคานหลัก) จึงแสดงเป็นคานต่อเนื่องสองช่วง ดังรูปที่ 2.7 ข) ขณะที่คาน B9 เป็นคานต่อเนื่องสองช่วงและเป็นคานหลัก ที่มีฐานรองรับเป็นเสา (C3) จึงควรพิจารณาเป็นโครงข้อแข็ง (Rigid frame) ดังรูปที่ 2.7 ค) (วินิต ช่อวิเชียร, 2545)

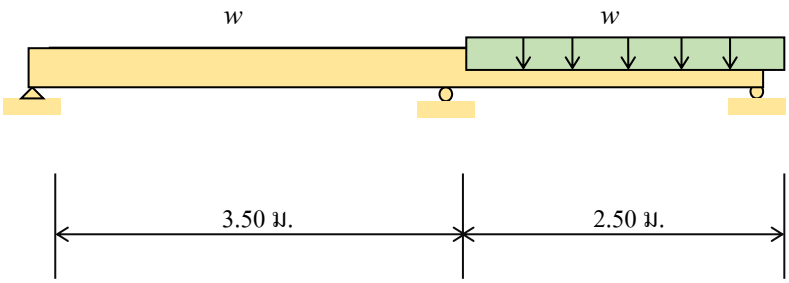


รูปที่ 2.6 ผังโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

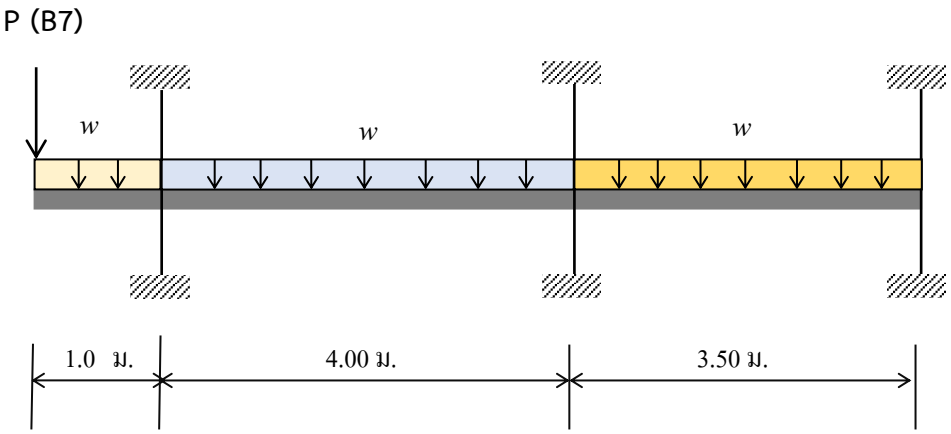
ที่มา: วินิต ช่อวิเชียร, 2545 และ สาโรจน์ ดำรงศิลป์, 2559



ก) คาน B1



ข) คาน B7



ค) คาน B9

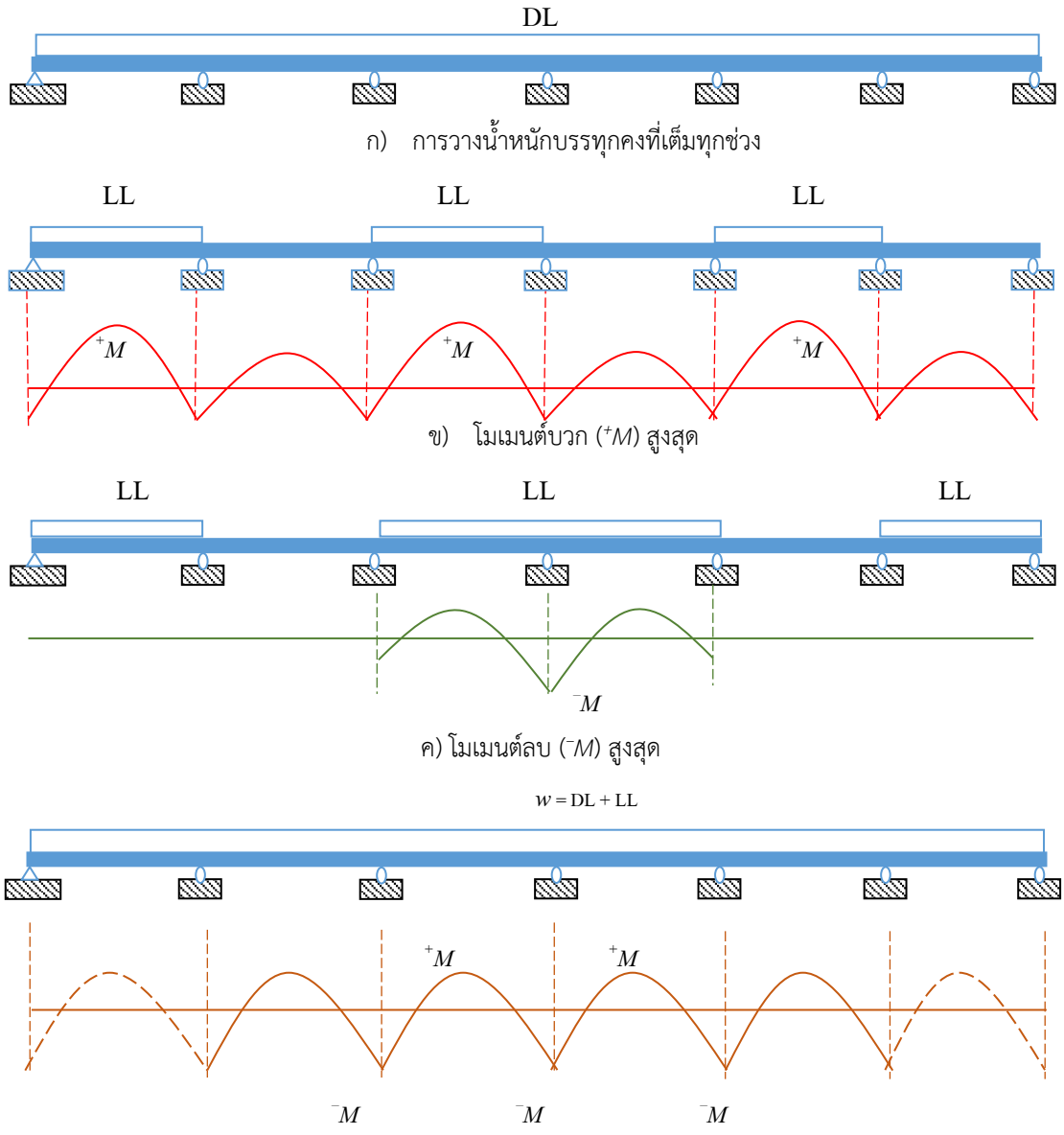
รูปที่ 2.7 แบบจำลองทางโครงสร้าง คาน B1, B7 และคาน B9

ที่มา: สาโรจน์ ดำรงศิลป์, 2559

2.5 การจัดวางน้ำหนักบรรทุก

การจัดวางน้ำหนักบรรทุกโดยการจำลองแบบทางโครงสร้างและคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงสร้างแล้ว นำน้ำหนักบรรทุกมาจัดวางบนโครงสร้างจำลองเพื่อวิเคราะห์การตอบสนองของแรงที่กระทำกับโครงสร้าง ได้แก่ แรงปฏิกิริยา แรงเฉือน โมเมนต์ดัด และแรงบิด (ถ้ามี) สิ่งสำคัญคือการจัดวางน้ำหนักบรรทุกให้ได้ค่าสูงสุดสำหรับใช้ออกแบบโครงสร้างนั้น โดยทั่วไปน้ำหนักบรรทุกคงที่ (DL) ซึ่งเป็นน้ำหนักของโครงสร้างจะจัดวางเต็มทุกช่วงของโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.8 ก) ส่วนการวางน้ำหนักบรรทุกจร (LL) ถ้าต้องการหาโมเมนต์บวก (^{+}M) สูงสุดที่ช่วงกลางคานช่วงใดให้วางน้ำหนักเต็มช่วงโครงสร้างนั้นแล้วเว้นไว้

ช่วงหนึ่ง (วางเต็มช่วงเว้นช่วง) สลับกันไปตลอดความยาวของโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.8 ข) กรณีที่ต้องการหาโมเมนต์ลบ (^{-}M) สูงสุดที่บริเวณจุดต่อ (ฐานรองรับ) ช่วงใดให้วางน้ำหนักเต็มสองช่วงโครงสร้างนั้นแล้วเว้นช่วงถัดมา และวางเต็มช่วงเว้นช่วงสลับกันไปตลอดความยาวของโครงสร้างนั้น ดังรูปที่ 2.8 ค) อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักบรรทุกจรต่อน้ำหนักบรรทุกคงที่มีค่าไม่เกิน $\frac{3}{4}(\frac{LL}{DL} < 0.75)$ อาจพิจารณารวมน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร (DL+LL) แล้ววางเต็มทุกช่วงตลอดความยาวของโครงสร้าง เพื่อวิเคราะห์หาค่าสูงสุดของโมเมนต์บวก (^{+}M) และโมเมนต์ลบ (^{-}M) ก็ได้ ดังรูปที่ 2.8 ง) (วินิต ช่อวิเชียร, 2545)



ก) การวางน้ำหนักบรรทุกคงที่เต็มทุกช่วง

ข) โมเมนต์บวก (^{+}M) สูงสุด

ค) โมเมนต์ลบ (^{-}M) สูงสุด

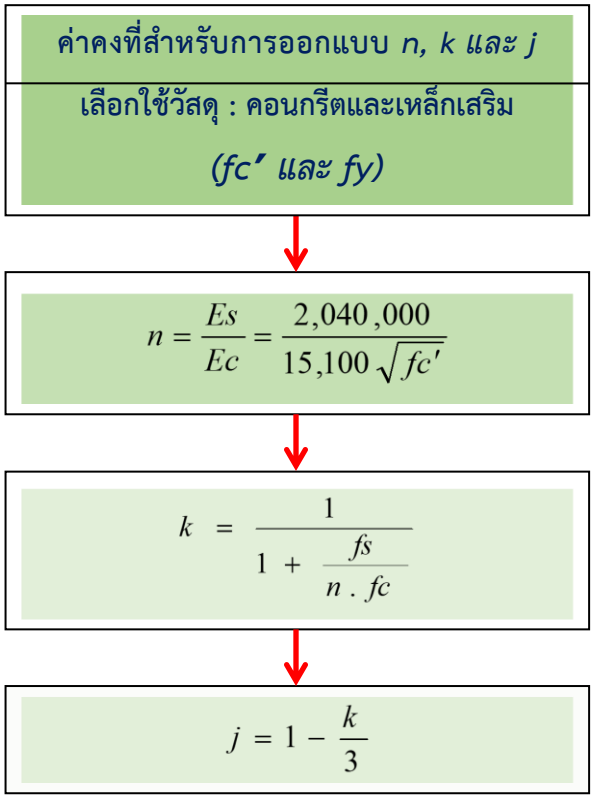
ค) การวางน้ำหนักบรรทุกคงที่รวมกับน้ำหนักบรรทุกจรเต็มทุกช่วง

รูปที่ 2.8 การจัดวางน้ำหนักบรรทุก

ที่มา: สาโรจน์ ดำรงศิลป์, 2559

บทสรุป

การหาค่าคงที่สำหรับการออกแบบสรุปเป็นแผนภาพ ดังรูปที่ 2.9 และมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดค่าอัตราส่วนโมดูลัส (n) สำหรับคอนกรีตที่กำลังอัดต่าง ๆ (fc') ในตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนในการหาค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

ตารางที่ 2.3 ค่าอัตราส่วนโมดูลัส : n

รายการ	สูตร	กำลังอัดของคอนกรีต : fc' (กก./ซม.^{2})					
		100	150	200	250	300	350
อัตราส่วนโมดูลัส : n	$\frac{Es}{Ec} = \frac{2{,}040{,}000}{15{,}100\sqrt{fc'}}$	14	11	10	9	8	7

ที่มา: ว.ส.ท. 5201

ซึ่งขั้นตอนในการหาค่าคงที่สำหรับการออกแบบและการสรุปค่าอัตราส่วนโมดูลัส ทำให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในการออกแบบโครงสร้างคอยกรีตเสริมเหล็กต่อไป

แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบ โดยทฤษฎีอีลาสติก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

คำสั่ง: จงเติมคำตอบของคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง (คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลา 10 นาที

1. fs' หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น_____

2. As หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น_____

3. As' หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น_____

4. M' หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น_____

5. AS_1 หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น_____

6. Mc หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น_____

7. M หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น_____

8. d' หมายถึง ค่า_____มีหน่วยเป็น_____

9. กรณีที่ Mc มีค่ามากกว่า M แสดงว่า

ออกแบบให้หน้าตัดโครงสร้าง มีเหล็กเสริมรับแรง _____

10. กรณีที่ Mc มีค่าน้อยกว่า M แสดงว่า

ออกแบบให้หน้าตัดโครงสร้าง มีเหล็กเสริมรับแรง _____

ใบงานที่ 2.1 แบบฝึกหัด

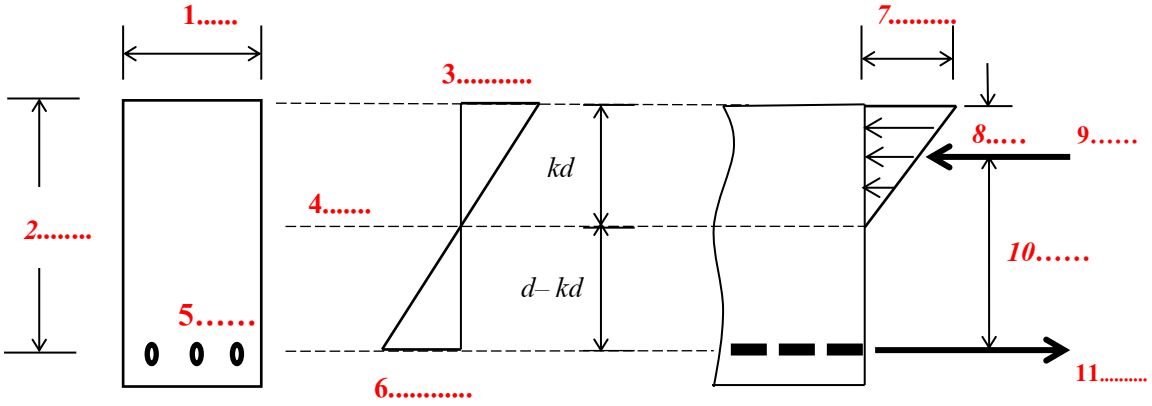
โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบ โดยทฤษฎีอีลาสติก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

คำสั่ง: จงเติมคำตอบของคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง (คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลา 10 นาที

ตอนที่ 1 จากรูป จงเติมสัญลักษณ์ลงในช่องว่าง 1-11 ของรูปหน้าตัด ก - ค

กำหนดให้คานยื่นรับน้ำหนักกระทำทำให้เกิดโมเมนต์ดัดดังรูปจากทฤษฎีอีลาสติก



ก) รูปตัดคาน ข) การกระจายของหน่วยการยืดหดตัว ค) การกระจายหน่วยแรงและแรงภายในบนหน้าตัด

ตอนที่ 2. กำหนดให้ fc' = 100+รหัส น.ศ. =_____ เหล็ก SR24

และให้คานมีขนาด 0.15 x 0.35 ม. มีระยะหุ้มคอนกรีต **3** ซม. จงหาคำตอบต่อไปนี้

1. ค่าความลึกประสิทธิผล =_____ซม.

2. ค่า k $= \dfrac{1}{1+\frac{f_s}{nf_c}}$ =_____

3. ค่า j $= 1 - \dfrac{K}{3}$ =_____

4. ระยะแนวแกนสะเทินถึงด้านที่รับแรงอัด

ค่า kd = _____ซม.

5. ระยะแรงอัดถึงแรงดึง

ค่า jd =_____ซม.

ตอนที่ 3 จงเขียนสูตรให้ถูกต้อง ลงในช่องว่าง จำนวน 11 ข้อ

(ก) โมเมนต์บวก

คานช่วงนอก :

ปลายไม่ยึดรั้งกับที่รองรับ 1.----------

ปลายหล่อเป็นเนื้อเดียวกับที่รองรับ 2.----------

คานช่วงใน : 3.----------

(ข) โมเมนต์ลบ

โมเมนต์ลบที่ขอบนอกของที่รองรับตัวในแรก

เมื่อมีช่วงต่อเนื่องกัน 2 ช่วง 4.----------

เมื่อมีช่วงต่อเนื่องกันมากกว่า 2 ช่วง 5. ----------

โมเมนต์ลบที่ขอบนอกของที่รองรับตัวในอื่นๆ 6. ----------

โมเมนต์ลบที่ขอบนอกของที่รองรับทุกแห่ง : 7.----------

สำหรับแผ่นพื้นที่มีช่วงยาวไม่เกิน 3.0 เมตร

หรือคานที่มีอัตราส่วนสติฟเนสของเสาต่อคาน > 8

โมเมนต์ลบที่ขอบนอกของที่รองรับตัวริมที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับที่รองรับ

เมื่อที่รองรับเป็นคานขอบ 8.----------

เมื่อที่รองรับเป็นเสา 9.----------

(ค) แรงเฉือน

แรงเฉือนที่ขอบรองรับตัวในแรก 10.--------

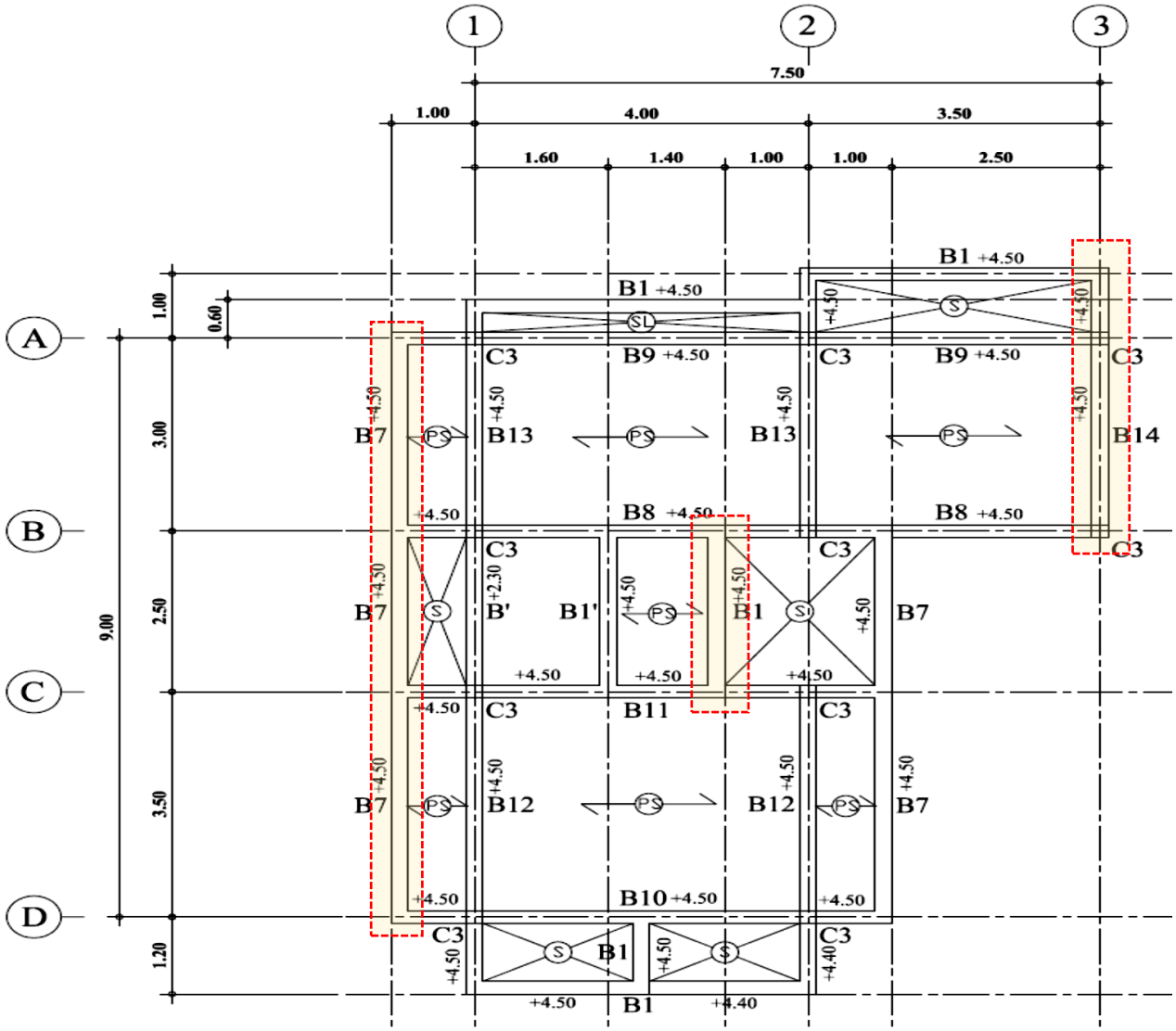
แรงเฉือนที่ขอบของที่รองรับตัวอื่น ๆ 11.---------

ใบงานที่ 2.2 กิจกรรมกลุ่ม

โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบ โดยทฤษฎีอีลาสติก

คำชี้แจง

1. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มละ 3-5 คน คัดลอกเนื้อหา และศึกษาทำความเข้าใจ โมดูลที่ 3 เรื่อง การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำเป็นรายงานกลุ่ม
2. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มละ 3-5 คน ทำการบ้าน สร้างแบบจำลองทางโครงสร้าง คาน B1, B7 และคาน B14 ตามแปลนต่อไปนี้



แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบ โดยทฤษฎีอีลาสติก

ชื่อ/สกุล.....เลขที่.....กลุ่ม.....ชั้น/ปี.....

ลำดับที่	พฤติกรรมที่ประเมิน	ระดับคะแนน					หมายเหตุ
		5	4	3	2	1	
1	ความตรงต่อเวลา						**ความหมายของระดับคะแนน**
2	ความมีระเบียบวินัย						ระดับการปฏิบัติมาก = 5
3	ความซื่อสัตย์สุจริต						ระดับการปฏิบัติดี = 4
4	ความสนใจใฝ่รู้						ระดับการปฏิบัติปานกลาง = 3
5	ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์						ระดับการปฏิบัติน้อย = 2
6	การละเว้นสิ่งเสพติดและการพนัน						ระดับการปฏิบัติน้อย = 1
7	ความรับผิดชอบต่อหน้าที่และงานที่ได้รับมอบหมาย						**ผลการประเมิน**
8	มารยาทไทย						ระดับดีมาก = 41-50
9	ความสามัคคีในหมู่คณะ						ระดับดี = 31-40
10	ความมีจิตสำนึกที่เห็นแก่ส่วนรวม						ระดับปานกลาง = 21-30
รวมคะแนน							ระดับน้อย = 11-20
รวมคะแนนทั้งหมด							ระดับปรับปรุง = 0-10

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ประเมิน

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างและการออกแบบ โดยทฤษฎีอีลาสติก

1. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายบุคคล

ที่	คะแนน / ชื่อสกุล-	การรับฟังความคิดเห็น	การเสนอความคิดเห็น	การยอมรับคนอื่น	การสร้างบรรยากาศในกลุ่ม	รวมคะแนน	ระดับการมีส่วนร่วม
		5	5	5	5	20	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

2. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายกลุ่ม

คะแนน / กลุ่ม	การนำเสนอผลงาน		การบันทึกผลงาน			รวมคะแนน	ระดับคุณภาพของผลงาน
	ขั้นนำ	ขั้นเสนอ	ขั้นสรุป	ถูกต้อง	เรียบร้อย		
	10	10	10	10	10	50	
1							
2							
3							
4							
5							

ระดับของคะแนนย่อย 5 = มากที่สุด 4 = ค่อนข้างมาก 3 = ปานกลาง 2 = ค่อนข้างน้อย 1 = น้อยที่สุด

เกณฑ์การประเมินผล 20-15 = มาก 8-14 = ปานกลาง 7-1 = น้อย

ลงชื่อผู้ประเมิน.....

(.....)

ผู้ประเมิน

โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete Floor Design)

บทนำ

บทเรียนโมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก จะเน้นการออกแบบการเลือกใช้ชนิดและประเภทของโครงสร้างพื้นต้องพิจารณาให้เกิดความเหมาะสมทั้งด้านความปลอดภัยและประหยัด ซึ่งพื้นเป็นโครงสร้างประกอบอาคาร ที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ โดยตรงแล้วถ่ายลงสู่โครงสร้างตัวรองรับพื้น ปัจจุบันพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคาร มีการพัฒนานำมาใช้กันหลายรูปแบบ สามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะของโครงสร้างที่รองรับพื้นและลักษณะการเสริมเหล็กหลักของพื้น พื้นเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างอาคารทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกโดยตรง ทั้งน้ำหนักบรรทุกคงที่ (DL) และน้ำหนักบรรทุกจร (LL) แล้วถ่ายน้ำหนักไปยังคาน หรือเสา หรือลงสู่พื้นดินที่บดอัดแน่น พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบมีคานรองรับ เช่น พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว (One–way slabs) และพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง (Two–way slabs) ประเภทที่สอง พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่มีคานรองรับ เช่น แผ่นพื้นไร้คาน (Flat slabs) ซึ่งจะถ่ายน้ำหนักลงเสารองรับโดยตรง และพื้นวางบนดิน เป็นต้น ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป และพื้นวางบนดิน

Module Lesson 3 of Reinforced Concrete Floor Design Will focus on designing, choosing safe and economical use, Which the floor is the structure of the building That serves to carry various loads Directly and then transferred to the floor support structure Currently, the reinforced concrete floor of the building There are many forms of development and use. Can be divided according to the characteristics of the structure that supports the floor and the main steel reinforcement characteristics of the floor the floor is a part of the building structure that supports the load directly. Both the fixed load (DL) and the heavy load (LL) and then transfer the weight to the beam or pole or to the compacted ground Reinforced concrete floors can be divided into 2 types which are reinforced concrete floors with support beams, such as one-way slabs and two-way slabs. The second type is reinforced concrete flooring without support beams, such as slabs. Flat slabs that transfer weight directly to the support pole and the ground laid on the ground, etc. In this topic, will be discussed One-way reinforced concrete floor Two-way reinforced concrete floor Precast concrete floor and the ground laid on the ground

คำแนะนำขั้นตอนตอนการใช้บทเรียน

โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete Floor Design)

คำแนะนำการใช้บทเรียนโมดูล

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล

↓

ศึกษาคำแนะนาการใช้บทเรียนโมดูล

↓

ศึกษาจุดประสงค์ของบทเรียนโมดูล

↓

ทดสอบก่อนเรียน

↓

ศึกษาเนื้อหาในบทเรียนโมดูล ทำกิจกรรมการเรียน บทเรียนโมดูล และทดสอบหลังเรียน

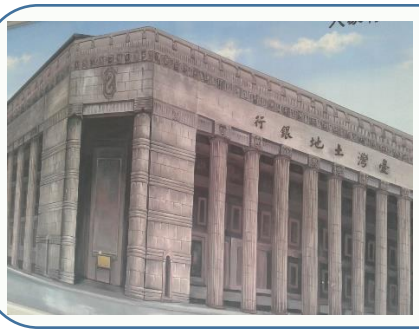
↓ ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75

เรียนบทเรียนโมดูลหน่วยต่อไป

↓ ไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75

เรียนซ่อมเสริมโดยใช้โมดูลเดิม โดยนักเรียนเลือกปฏิบัติดังนี้

1. ปรึกษาครูผู้สอน
2. ให้เพื่อนช่วย
3. เพิ่มเวลาในการศึกษาบทเรียน



องค์ประกอบบทเรียน

โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete Floor Design)

1. ผังมโนทัศน์
2. แผนการจัดการเรียนรู้
3. ขอบเขตของเนื้อหา โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. ความรู้พื้นฐานของผู้เรียน
5. จุดประสงค์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรมจากการวิเคราะห์หลักสูตร
6. การประเมินผลก่อนเรียน

7. กิจกรรมจัดการเรียนการสอน
8. แบบทดสอบก่อนเรียน โมดูลที่ 3
9. แผนการจัดการเรียนรู้
10. เนื้อหาสาระ
11. บทสรุป

12. แบบทดสอบหลังเรียน โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
13. ใบงานที่ 1.1 แบบฝึกหัด
14. ใบงานที่ 1.2 กิจกรรมกลุ่ม
15. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

คู่มือและคำแนะนำการใช้บทเรียน
โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
(Reinforced Concrete Floor Design)

คำชี้แจง: ผู้เรียนควรมีความรู้พื้นฐานด้าน บทเรียนโมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยจะต้องสอบผ่านการประเมิน ผลในโมดูลที่ 2 ก่อนจะเรียนในโมดูลที่ 3

1. ผู้เรียน ทำความเข้าใจศึกษาการเรียนการสอนด้วย บทเรียนโมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ผู้เรียน ทำแบบทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนก่อนเรียน บทเรียนโมดูลที่ 3 จำนวน 10 ข้อ
2. ผู้เรียน ตรวจคำตอบจากแบบเฉลยการทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนก่อนเรียนโมดูลที่ 3 โดยครูผู้สอนมอบให้แก่ผู้เรียน
4. ผู้เรียน ศึกษาจุดประสงค์การเรียนแต่ละตอนให้มีความรู้ ความเข้าใจ ในเนื้อหาสาระ
5. ผู้เรียน รับเอกสารเนื้อหาสาระประกอบการเรียน บทเรียนโมดูลที่ 3 จากครูผู้สอน
6. ผู้เรียน ต้องเข้าร่วมกิจกรรมการจัดการเรียนการสอน ตามเอกสารประกอบการเรียนในบทเรียนแต่ละโมดูลการเรียนรู้
7. กิจกรรมเลือก คือกิจกรรมที่มีไว้สำหรับผู้เรียนที่สอบประเมินผลไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75 โดยให้นักเรียนทำกิจกรรมเลือกตามจุดประสงค์ที่ไม่ผ่าน
8. ผู้เรียน ศึกษาทำความเข้าใจอย่างถี่ถ้วนในใบความรู้ บทเรียนโมดูลที่ 3
9. ผู้เรียน ทำแบบฝึกหัด กิจกรรมกลุ่ม บทเรียนโมดูลที่ 3
10. ผู้เรียน ทำแบบทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนหลังเรียน บทเรียนโมดูลที่ 3 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน
11. ผู้เรียนผ่านเกณฑ์ประเมินร้อยละ 75 สามารถเรียน บทเรียนโมดูลที่ 4 ต่อไปได้ แต่ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์ประเมินร้อยละ 75 ผู้เรียนต้องเรียนซ่อมเสริมใน บทเรียนโมดูลที่ 3 จนกว่าจะผ่าน
12. การเรียนซ่อมเสริม โดยผู้เรียนต้องศึกษาเนื้อหาสาระและทำกิจกรรมการเรียน และทำแบบทดสอบหลังเรียนซึ่งเป็นแบบทดสอบชุดเดียวกับแบบทดสอบก่อนเรียนอีกครั้งจนกว่าจะผ่าน เกณฑ์ร้อยละ 75
13. ผู้เรียนจัดเก็บเอกสารและสื่อการเรียน ตัวอย่างหุ่นจำลองโครงสร้าง ในทุก ๆ บทเรียนโมดูลให้เรียบร้อย

ขอบเขตของเนื้อหาการเรียนรู้

โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete Floor Design)

ขอบเขตของเนื้อหาบทเรียนในโมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาสาระความรู้ต่อไปนี้

- หลักการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
- พื้นวางบนดิน (Slab on ground)
- พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว (One–way slabs)
- พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง (Two–way slabs)
- พื้นสำเร็จรูป (Plank slab)
- พื้นระบบตง (Ribbed Slab)
- พื้นไร้คาน (Flat Slab)
- เขียนรูปหน้าตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

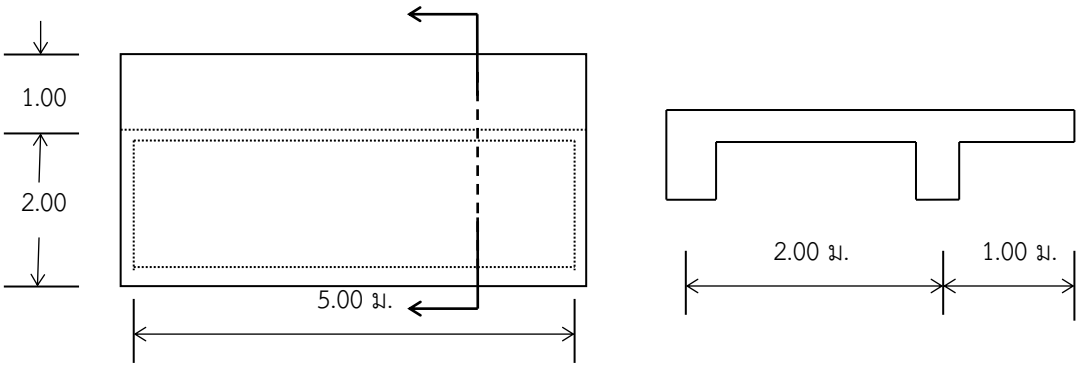
การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน
โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
(Reinforced Concrete Floor Design)

คำชี้แจง : การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียนโดยภาพรวม ให้ผู้เรียนทดสอบพื้นฐานความรู้ของตนเองก่อนเข้าระบบการเรียนปกติ

1. จงออกแบบพื้นเสริมเหล็กทางเดียว ดังรูป

กำหนดให้ f_c' = 210 กก./ซม.^{2} f_y = 2,400 กก./ซม.^{2}

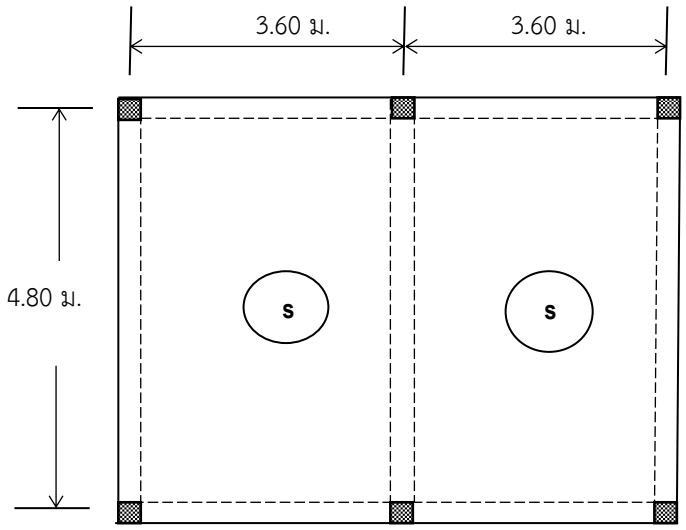
w_{LL} = 250 กก./ม.^{2} ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ



3. จงออกแบบพื้นเสริมเหล็กสองทาง (S) ดังรูป

กำหนดให้ f_c' = 180 กก./ซม.^{2} f_y = 2,400 กก./ซม.^{2}

w_{LL} = 300 กก./ม.^{2} น้ำหนักวัสดุปูพื้น = 60 กก./ม.^{2}



ผลการวิเคราะห์หลักสูตรด้านจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete Floor Design)

1. จุดประสงค์การเรียนรู้

1.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการพื้นฐานในการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.2 เพื่อให้มีทักษะพื้นฐานในการคำนวณออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

2.1.จำแนกชนิดของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

2.2 บอกข้อกำหนดมาตรฐานในการออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักทางเดียว ได้ถูกต้อง

2.3 คำนวณน้ำหนักกระทำภายนอกต่อโครงสร้างพื้น ได้ถูกต้อง

2.4 วิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแรงภายในโครงสร้างพื้น ได้ถูกต้อง

2.5 บอกตำแหน่งการเสริมเหล็กในแผ่นพื้น ได้ถูกต้อง

2.6 คำนวณเพื่อออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กวางบนดิน ได้ถูกต้อง

2.7 คำนวณเพื่อออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหลักทางเดียว ได้ถูกต้อง

2.8 คำนวณเพื่อออกแบบพื้นยื่นคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

2.9 คำนวณเพื่อออกแบบพื้นสำเร็จรูปท้องเรียบ ได้ถูกต้อง

2.10 คำนวณเพื่อออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักสองทาง ได้ถูกต้อง

2.11 เขียนรูปหน้าตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

องค์ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้
โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
(Reinforced Concrete Floor Design)

ข้อสรุปองค์ประกอบแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กมีดังนี้

1. แนวคิด/จุดประสงค์หน่วยการเรียน/สมรรถนะ

- คำชี้แจงการใช้บทเรียนโมดูล
- แผนผังมโนทัศน์ประจำหน่วยการเรียน
- แผนการจัดการเรียนรู้
- แนวคิด/จุดประสงค์หน่วยการเรียน/สมรรถนะ
- เค้าโครงสาระสำคัญการเรียนรู้ โมดูลที่ 3

2. กิจกรรมการเรียนรู้/สื่อการประเมินผล

- แบบทดสอบก่อนเรียน
- เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
- ใบความรู้
- แบบฝึกหัด
- เฉลยแบบฝึกหัด
- ใบมอบหมาย
- แบบทดสอบหลังเรียน
- เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน
- แบบประเมินคุณธรรม /จริยธรรม/ ค่านิยม และคุณลักษณะอังพึงประสงค์
- แบบประเมินพฤติกรรมรายบุคคล
- เอกสารอ้างอิง

แบบทดสอบก่อนเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....
คำสั่ง: จงเติมคำตอบของคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง (คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลา 10 นาที

ตอนที่1 จงคำในช่องว่างให้สมบูรณ์ (10 คะแนน)

1. จงบอกข้อกำหนดการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กตามาตรฐาน ว.ส.ท.

1.1 ค่าความหนาขั้นต่ำของพื้นทางเดียว ในกรณีที่ไม่ได้คำนวณระยะโก่งตัว

1. พื้นช่วงเดียว _____

2. พื้นหลายช่วง _____

1.2 ระยะเรียงเหล็กเสริมพื้นต้องห่างกันไม่มากกว่า

1. ระยะห่าง @ _____

2. ระยะห่าง @ _____

1.3 ขนาดของเหล็กเสริมพื้นไม่เล็กกว่า _____

1.4 ในการออกแบบให้พิจารณาพื้นกว้าง _____

1.5 สูตรหาค่าเหล็กกันร้าวสำหรับเหล็ก SR คือ _____

2. น้ำหนักที่กระทำต่อพื้นทั้งหมด w = _____ มีหน่วยเป็น _____

3. น้ำหนักคอนกรีตต่อ 1 ลบ.ม. หนัก =_____

4. น้ำหนักแผ่นพื้น1 ม.^{2} คำนวณจาก = _____

	แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	**โมดูลที่ 3**
	รหัสวิชา 3121-2102	**สอนครั้งที่ 1-2**
	โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	**จำนวน 6 ชั่วโมง**

1. หัวข้อเรื่อง

1.1 ปฐมนิเทศเกี่ยวกับขอบเขตเนื้อหา จุดประสงค์ วิธีการสอน กิจกรรมการสอน หลักเกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

1.2 ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนเมื่อเรียนจบสาระการเรียน

2. สาระการเรียนรู้

2.1 กำหนดขอบเขต เนื้อหาวิชา จุดประสงค์ วิธีการสอน กิจกรรมการสอน

2.2 กำหนดหลักเกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการพื้นฐานในการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.2 เพื่อให้มีทักษะพื้นฐานในการคำนวณออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1.จำแนกชนิดของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

4.2 บอกข้อกำหนดมาตรฐานในการออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักทางเดียว ได้ถูกต้อง

4.3 คำนวณน้ำหนักกระทำภายนอกต่อโครงสร้างพื้น ได้ถูกต้อง

4.4 วิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแรงภายในโครงสร้างพื้น ได้ถูกต้อง

4.5 บอกตำแหน่งการเสริมเหล็กในแผ่นพื้น ได้ถูกต้อง

4.6 คำนวณเพื่อออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กวางบนดินได้

4.7 คำนวณเพื่อออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหลักทางเดียวได้ถูกต้อง

4.8 คำนวณเพื่อออกแบบพื้นยื่นคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

4.9 คำนวณเพื่อออกแบบพื้นสำเร็จรูปท้องเรียบ ได้ถูกต้อง

4.10 คำนวณเพื่อออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักสองทาง ได้ถูกต้อง

4.11 เขียนรูปหน้าตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

	แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	**โมดูลที่ 3**
	รหัสวิชา 3121-2102	**สอนครั้งที่ 1-2**
	โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	**จำนวน 6 ชั่วโมง**

5. กิจกรรมการเรียนการสอน

ครู	นักเรียน
5.1 นำเข้าสู่บทเรียน	5.1 ฟังบรรยายเข้าสู่บทเรียน
5.2 ทดสอบความรู้ก่อนเรียนออกแบบพื้น	5.2 ทำข้อสอบก่อนเรียน
5.3 มอบใบความรู้งานออกแบบพื้น	5.3 อ่านทำความเข้าใจในใบความรู้
5.4 บรรยายพร้อมแสดงสื่อประกอบการยกตัวอย่างและสอดแทรกแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง	5.4 ตั้งใจฟังบรรยาย พร้อมซักถามข้อสงสัยและตอบคำถามของครูผู้สอน
5.5 ให้แบบฝึกหัดออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	5.5 ทำแบบฝึกหัด
5.6 ให้ใบมอบงาน เกี่ยวกับออกแบบพื้น	5.6 ทำงานตามมอบหมายงานโดยใช้กิจกรรมกลุ่ม
5.7 ทดสอบหลังเรียน	5.7 ทำข้อสอบหลังเรียน

6. งานที่มอบหมาย

6.1 ก่อนเรียนให้ใบความรู้งานออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

6.2 ขณะเรียนให้ศึกษาในใบความรู้ พร้อมแบ่งกลุ่มทำกิจกรรมพัฒนาองค์ความรู้และบุคลิกภาพ

6.3 หลังเรียน ให้ค้นคว้าเขียนรายงานเกี่ยวกับงานคอนกรีต และนำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์

7. สื่อการสอน

7.1 สิ่งพิมพ์

7.2 โสต แผ่นใส และแผ่นสไลด์

7.3 ตัวอย่างผลงานการงานออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหรือหุ่นจำลองการนำไปใช้ในงานก่อสร้าง

8. การประเมินผล

8.1 ก่อนเรียน

ให้ทำข้อสอบก่อนเรียน

8.2 ระหว่างเรียน

ประเมินความสนใจ และความเข้าใจในการตอบข้อซักถาม

8.3 หลังเรียน

ใบมอบงาน

แบบฝึกหัด แบบทดสอบหลังเรียน และตรวจทานความถูกต้อง

เนื้อหาสาระบทเรียนโมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

สาระสำคัญ

พื้นเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างอาคารทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกโดยตรง ทั้งน้ำหนักบรรทุกคงที่ (DL) และน้ำหนักบรรทุกจร (LL) แล้วถ่ายน้ำหนักไปยังคาน หรือเสา หรือลงสู่พื้นดินที่บดอัดแน่น พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบมีคานรองรับ เช่น พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว (One–way slabs) และพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง (Two–way slabs) ประเภทที่สอง พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่มีคานรองรับ เช่น แผ่นพื้นไร้คาน (Flat slabs) เป็นต้น ซึ่งพื้นเป็นโครงสร้างประกอบอาคาร ที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ โดยตรงแล้วถ่ายลงสู่โครงสร้างตัวรองรับพื้น ปัจจุบันพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคาร สามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะของโครงสร้างที่รองรับพื้นและลักษณะการเสริมเหล็กหลักของพื้น

จุดประสงค์การเรียนการสอน

จุดประสงค์ทั่วไป

1.เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. จำแนกชนิดของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง
2. บอกข้อกำหนดมาตรฐานในการออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักทางเดียวได้ถูกต้อง
3. คำนวณน้ำหนักกระทำภายนอกต่อโครงสร้างพื้น ได้ถูกต้อง
4. วิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแรงภายในโครงสร้างพื้น ได้ถูกต้อง
5. บอกตำแหน่งการเสริมเหล็กในแผ่นพื้น ได้ถูกต้อง
6. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กวางบนดิน ได้ถูกต้อง
7. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหลักทางเดียว ได้ถูกต้อง
8. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นยื่นคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง
9. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นสำเร็จรูปท้องเรียบ ได้ถูกต้อง
10. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักสองทาง ได้ถูกต้อง
11. เขียนรูปหน้าตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

เนื้อหาสาระ

3. การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
    - 3.1 พื้นวางบนดิน (Slab on ground)
    - 3.2 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว (One–way slabs)
    - 3.3 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง (Two–way slabs)
    - 3.4 พื้นสำเร็จรูป (Plank slab)
    - 3.5 พื้นระบบตง (Ribbed Slab)
    - 3.6 พื้นไร้คาน (Flat Slab)

โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete Floor Design)

เนื้อหาสาระบทเรียนโมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

สาระสำคัญ

พื้นเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างอาคารทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกโดยตรง ทั้งน้ำหนักบรรทุกคงที่ (DL) และน้ำหนักบรรทุกจร (LL) แล้วถ่ายน้ำหนักไปยังคาน หรือเสา หรือลงสู่พื้นดินที่บดอัดแน่น พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบมีคานรองรับ เช่น พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว (One–way slabs) และพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง (Two–way slabs) ประเภทที่สอง พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่มีคานรองรับ เช่น แผ่นพื้นไร้คาน (Flat slabs) เป็นต้น ปัจจุบันพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคาร สามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะของโครงสร้างที่รองรับพื้นและลักษณะการเสริมเหล็กหลักของพื้น

จุดประสงค์การเรียนการสอน

จุดประสงค์ทั่วไป

1.เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. จำแนกชนิดของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง
2. บอกข้อกำหนดมาตรฐานในการออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักทางเดียวได้ถูกต้อง
3. คำนวณน้ำหนักกระทำภายนอกต่อโครงสร้างพื้น ได้ถูกต้อง
4. วิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดแรงภายในโครงสร้างพื้น ได้ถูกต้อง
5. บอกตำแหน่งการเสริมเหล็กในแผ่นพื้น ได้ถูกต้อง
6. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กวางบนดิน ได้ถูกต้อง
7. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหลักทางเดียว ได้ถูกต้อง
8. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นยื่นคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง
9. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นสำเร็จรูปท้องเรียบ ได้ถูกต้อง
10. คำนวณเพื่อออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักสองทาง ได้ถูกต้อง
11. เขียนรูปหน้าตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

เนื้อหาสาระ

3. การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.1 พื้นวางบนดิน (Slab on ground)

3.2 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว (One–way slabs)

3.3 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง (Two–way slabs)

3.4 พื้นสำเร็จรูป (Plank slab)

3.5 พื้นระบบตง (Ribbed Slab)

3.6 พื้นไร้คาน (Flat Slab)

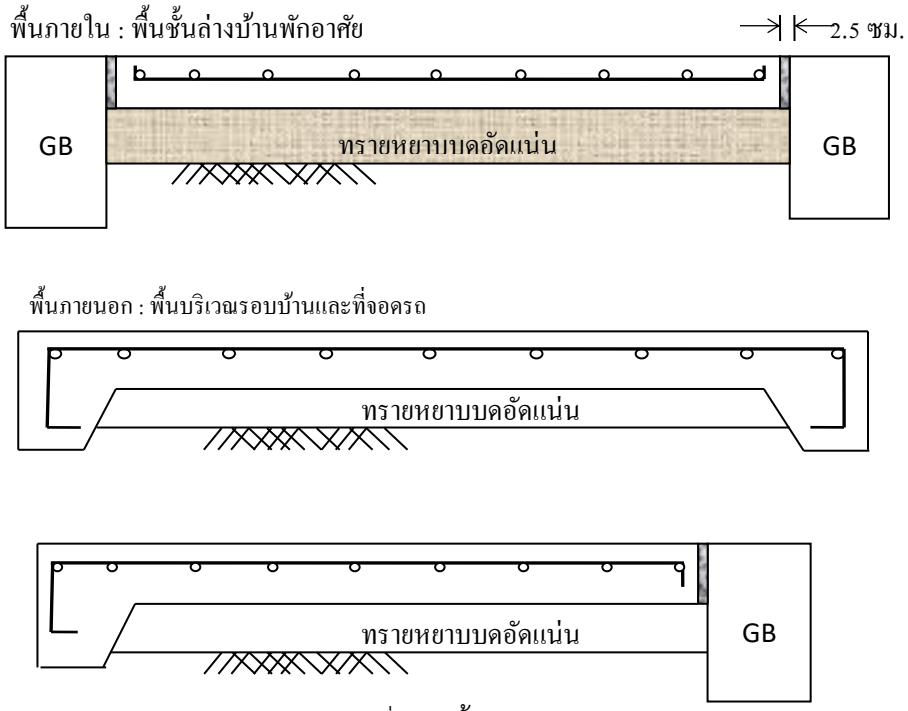
หลักการทั่วไปในการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

พื้นเป็นส่วนประกอบของอาคารอันดับแรก ที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักโดยตรงจากน้ำหนักจร โดยมีคานหรือดินเป็นตัวรองรับ การเลือกใช้ระบบพื้นที่ถูกต้อง การให้รายละเอียดที่ชัดเจน และการเสริมเหล็ก ที่ประหยัด ทำงานง่าย ย่อมทำให้การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กประหยัดค่าก่อสร้างได้ พื้นเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างอาคารทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกโดยตรง ทั้งน้ำหนักบรรทุกคงที่ (DL) และน้ำหนักบรรทุกจร (LL) แล้วถ่ายน้ำหนักไปยังคาน หรือเสา หรือลงสู่พื้นดินที่บดอัดแน่น พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบมีคานรองรับ อาทิ พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว (One–way slabs) และพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง (Two–way slabs) ประเภทที่สอง พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่มีคานรองรับ อาทิ แผ่นพื้นไร้คาน (Flat slabs) ซึ่งจะถ่ายน้ำหนักลงเสารองรับโดยตรง และพื้นวางบนดิน เป็นต้น พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคาร มีการพัฒนานำมาใช้กันหลายรูปแบบ อาทิ พื้นประเภทเทหล่อกับที่ พื้นที่หล่อสำเร็จรูปจากโรงงาน ซึ่งจะมีรูปแบบต่าง ๆ จะมีบริษัทผลิตขึ้นมาแบบพื้น สอดคล้องกับเป็นแบบชนิดที่ต้องมีคานมารองรับ ในปัจจุบันมีการพัฒนาพื้นประเภทที่ไม่ต้องมีคานรองรับ โดย พืนจะวางเสาได้เลยและสามารถประกอบหล่อแบบพื้นได้พื้นที่มาก ๆ อาทิ พื้นคอนกรีตอัดแรงภายหลัง (Post-Tensioned Slab)

ซึ่งในโมดูลที่ 3 จะกล่าวถึงเนื้อหาโดยสรุป ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กประเภทต่าง ๆ พื้นวางบนดิน (Slab on ground) พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว (One–way slabs) พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง (Two–way slabs) พื้นสำเร็จรูป (Plank slab) พื้นระบบตง (Ribbed Slab) พื้นไร้คาน (Flat Slab) และ ตัวอย่างโจทย์ระคนการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังต่อไปนี้

3.1 พื้นวางบนดิน (Slab on ground)

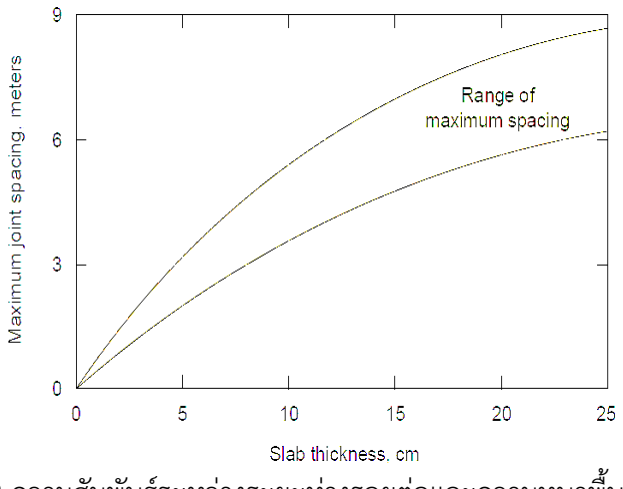
พื้นรอบบริเวณบ้านพักอาศัย โรงจอดรถ หรือพื้นชั้นล่างบ้านพักอาศัย อาจออกแบบเป็นพื้นวางบนดินเพื่อลดน้ำหนักบรรทุกให้กับอาคาร พื้นดินที่รองรับจะต้องปรับปรุงโดยการบดอัดให้แน่นเพื่อป้องกันไม่ให้พื้นเกิดการทรุดตัว และเสริมเหล็กต้านทานการแตกร้าว โดยอาจใช้หลักเกณฑ์เดียวกับการคำนวณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกันร้าวของพื้นเสริมเหล็กทางเดียว ตัวอย่างเช่น ถ้าเลือกใช้เหล็กกลมผิวเรียบ ชั้นคุณภาพ SR 24 : $As^t = 0.0025bt$ และเสริมเป็นลักษณะเหล็กตะแกรงวางด้านบนของพื้น ดังรูปที่ 3.1 ปัจจุบันนิยมใช้ตะแกรงลวดเหล็กสำเร็จรูป (Wire mesh) ซึ่งสามารถทำได้สะดวกรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ควรตัดแบ่งแผ่นพื้นวางบนดินออกเป็นช่วงๆ แบบแยกอิสระออกจากกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของพื้นที่ใช้งานด้วย



รูปที่ 3.1 พื้นวางบนดิน

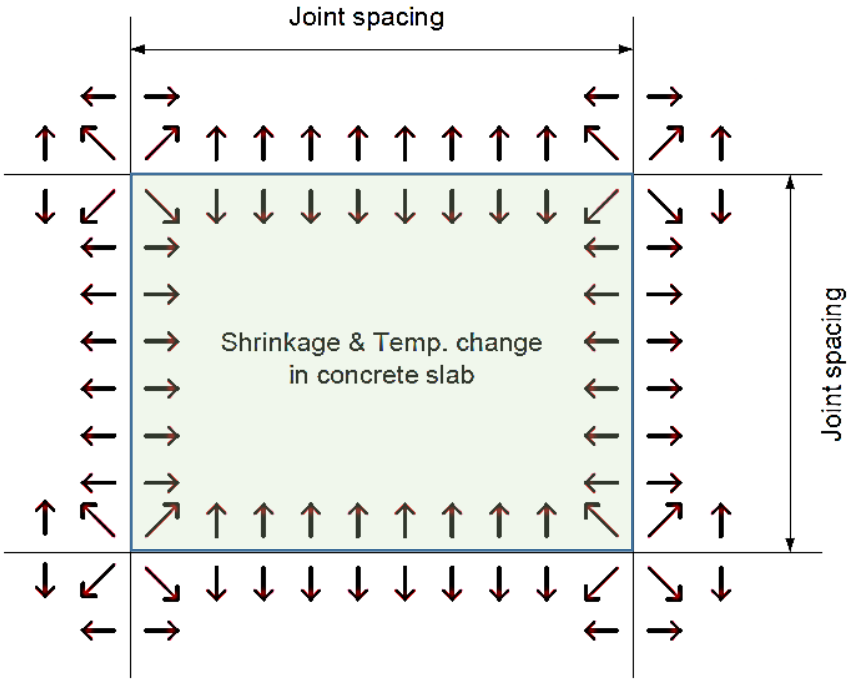
ที่มา: สาโรจน์ ดำรงศิลป์,2558 และกัมปนาท บุญกัน ปรับปรุง 2559

การเสริมเหล็กจะทำเพื่อต้านทานโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนัก บรรทุก เนื่องจากคอนกรีตมีกำลังรับแรงดึงต่ำ จึงต้องอาศัยกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมมาช่วย ในการออกแบบพื้นคอนกรีตวางบนดินนั้น จะต้องทำการบดอัดดินให้มีความแน่นตามมาตรฐาน คอนกรีตจะต้องมีกำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นเพียงพอที่จะแผ่กระจายถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงสู่พื้นดิน การกำหนดระยะรอยต่อ และรายละเอียดจุดต่อที่เหมาะสมจะช่วยป้องกันการแตกร้าวจากการหดตัว (Shrinkage) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการกำหนดระยะรอยต่อและรายละเอียดจุดต่อที่เหมาะสม จะช่วยป้องกันการแตกร้าวจาก การหดตัว (Shrinkage) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างรอยต่อและความหนาพื้นวางบนดิน

ที่มา: ACI และ มงคล จิรวัชรเดช, 2549

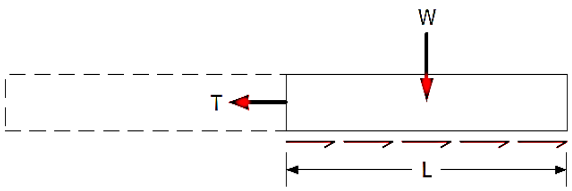


รูปที่ 3.3 รอยต่อในพื้นวางบนดิน

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

1) การยืดหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้แผ่นคอนกรีตเกิดการหดตัวหรือขยายตัวโดยคอนกรีตจะมีสัมประสิทธิ์การยืดหดตัวอยู่ที่ 7.5x10-6 / ^{0}C เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุแข็งเปราะ ดังนั้นจึงแตกร้าวจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ง่าย มีการพัฒนามาเป็นตะแกรงลวดเหล็กสำเร็จรูป (Weld wire reinforcement, WWR หรือ Wire mesh) ซึ่งทำให้การก่อสร้างที่ได้สะดวกรวดเร็ว ตัวอย่างตะแกรงเหล็กที่มีขายในท้องตลาด โดยมีกำลังต้านทานแรงดึงที่จุดครากตามมาตรฐาน มอก. 737-2531ที่ fy = 5,000 ก.ก./ซม.^{2}

2) การออกแบบเหล็กเสริมโดยวิธี Subgrade Drag เมื่อแผ่นคอนกรีตมีการเคลื่อนที่จากการยืดหดตัว จะทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างแผ่นคอนกรีต และพื้นดิน เมื่ออุณหภูมิของแผ่นคอนกรีตลดลงอย่างสม่ำเสมอ การหดตัวของแผ่นคอนกรีตจะถูก ต้านทานโดยแรงเสียดทานนี้ซึ่งวิธี Subgrade drag ทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นกลางแผ่นดังแสดง ในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แรงเสียดทานจากการหดตัว

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

แรงดึง T ที่เกิดจะถูกต้านทานโดยเหล็กเสริม จะได้ว่า

แรงดึง T ต่อความกว้าง 1 เมตร $T = A_s f_y = \frac{FLW}{2}$ (3.1)

ปริมาณเหล็กต่อความกว้าง 1 เมตร $A_s = \frac{FLW}{2f_y}$ (3.2)

เมื่อ As = พื้นที่เหล็กเสริมต่อความกว้างพื้น 1 เมตร (ตร.ซม.)
W = น้ำหนักพื้นคอนกรีตต่อหน่วยพื้นที่ (กก./ตรม.)
L = ความยาวพื้นคอนกรีต (เมตร)
F = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (ใช้ 1.5 ในกรณีที่ไม่มีข้อมูล)
fs = หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม (กก./ตร.ซม.)

ถ้าใช้วิธีกำลังจะได้ว่า $A_s = \frac{FL\,(1.4W)}{2f_y} = \frac{FLW}{1.43f_y}$ (3.3)

ซึ่งจะให้ผลการออกแบบที่ประหยัดกว่าในกรณีที่ใช้ Wire mesh เนื่องจาก fy = 5,000 กก./ตร.ซม. ในขณะที่ fs ที่ยอมให้เพียง 1,700 ก.ก./ตร.ซม. เท่านั้น

เหล็กถ่ายน้ำหนัก (Dowel bar) ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีต ขนาดของเหล็กถ่ายน้ำหนักจะขึ้นกับความหนาของพื้น ปลายครึ่งหนึ่งของเหล็กจะถูกหล่อลื่นไม่ให้คอนกรีตเกาะติดแน่น เพื่อให้แผ่นคอนกรีตขยายตัวได้โดยไม่มีการแตกร้าว ขนาดและความยาวเหล็กถ่ายน้ำหนักได้จากตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ขนาดและความยาวเหล็กถ่ายน้ำหนัก (ระยะห่าง 30 ซม.)

ความหนาแผ่นคอนกรีต	รอยต่อเพื่อการขยายตัว		รอยต่อเพื่อการหดตัว	
	Ø (ม.ม.)	ยาว (ซม.)	Ø (ม.ม.)	ยาว (ซม.)
15 ซม. - 18 ซม.	20	55	12	40
19 ซม. - 23 ซม.	25	65	20	50
> 24 ซม.	30	75	25	60

ที่มา: สถาพร โภคา, 2544

ตัวอย่างที่ 3.1 จงออกแบบพื้นคอนกรีตวางบนดินโดยกำหนดระยะรอยต่อเท่ากับ 6.0 เมตร โดยใช้ Wire mesh มีกำลังคราก fy = 5,000 ก.ก./ซม.^{2}

วิธีทำ เลือกความหนาโดยใช้รูปที่ 3.2 ได้ 12 ซม

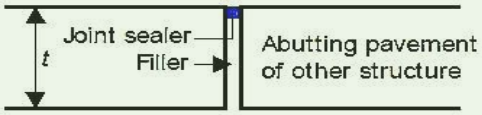
น้ำหนักพื้น W = 0.12(2,400) = 288 ก.ก./ตรม.

ปริมาณเหล็กที่ใช้ $A_s = \frac{FLW}{1.43f_y} = \frac{1.5x6.0x288}{1.43x5000} = 0.363$ ตร.ซม./เมตร

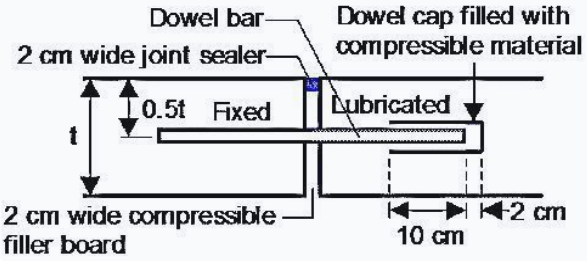
จากตารางที่ 3.2 เลือกใช้ WWR ø 4 มม. x 4 มม., 30 ซม.x 30 ซม. (As = 0.419 ตร.ซม./เมตร)

3) การออกแบบรอยต่อ

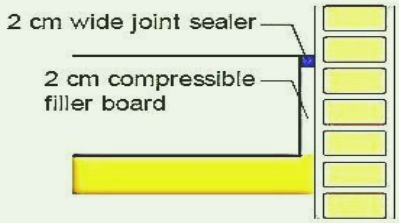
รอยต่อของพื้นคอนกรีตมีหลายชนิดแตกต่างกันไปต่างวัตถุประสงค์การใช้งานดังนี้



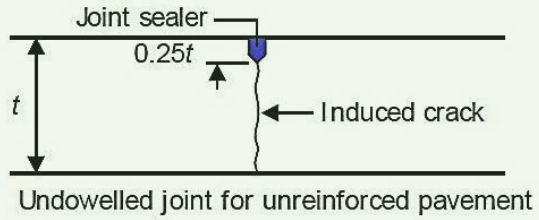
รอยต่อเพื่อการขยายตัว (Expansion joint)
เพื่อช่วยให้คอนกรีตขยายตัวได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ระยะรอยต่ออาจใช้ 40 เมตร หรือขึ้นกับสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยความกว้างรอยต่อไม่เกิน 2 ซม. เช่น ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 40°C ระยะรอยต่อ 40 เมตร รอยต่อ = 7.5×10^{-6}(40 ม.)(40°C) = 0.012 ม. = 1.2 ซม.



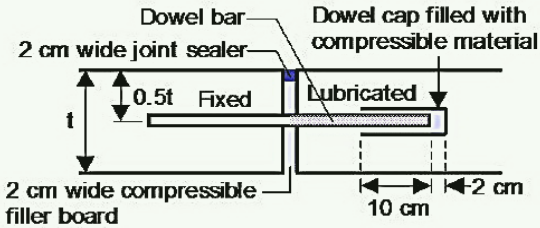
เมื่อต้องการถ่ายน้ำหนักบรรทุกผ่านรอยต่อ จะใช้เหล็กถ่ายน้ำหนัก โดยด้านหนึ่งฝังแน่นและอีกด้านขยับได้อิสระ



รอยต่อระหว่างพื้นและผนังเมื่อไม่มีการถ่ายน้ำหนักบรรทุกผ่านรอยต่อ



รอยต่อเพื่อการหดตัว (Contraction joint)
เพื่อบังคับรอยแตกให้เกิดตรงจุดที่ต้องการเป็นแนวเส้นตรงที่ใช้เลื่อยเซาะร่องไว้ ถ้าไม่เสริมเหล็กตะแกรงและเหล็กถ่ายน้ำหนัก จะรับการถ่ายน้ำหนักได้จำกัดและแผ่นพื้นมีขนาดเล็ก



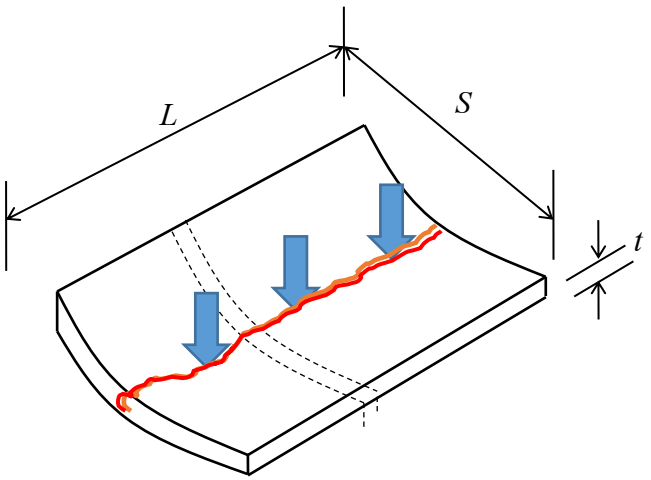
เมื่อต้องการถ่ายน้ำหนักบรรทุกผ่านรอยต่อ จะใช้เหล็กถ่ายน้ำหนัก โดยด้านหนึ่งฝังแน่นและอีกด้านขยับได้อิสระ

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการออกแบบรอยต่อ

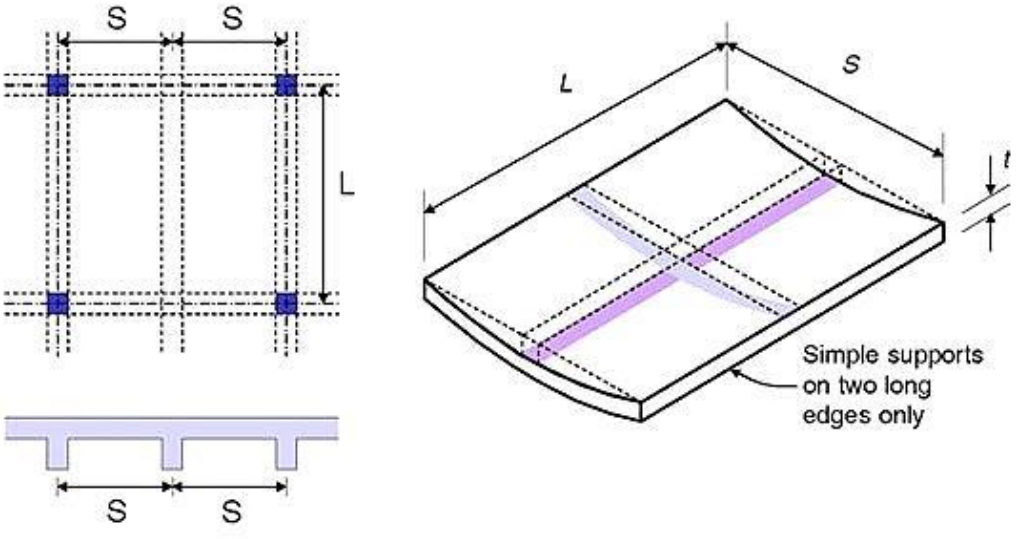
ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

3.2 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว (One-way slabs)

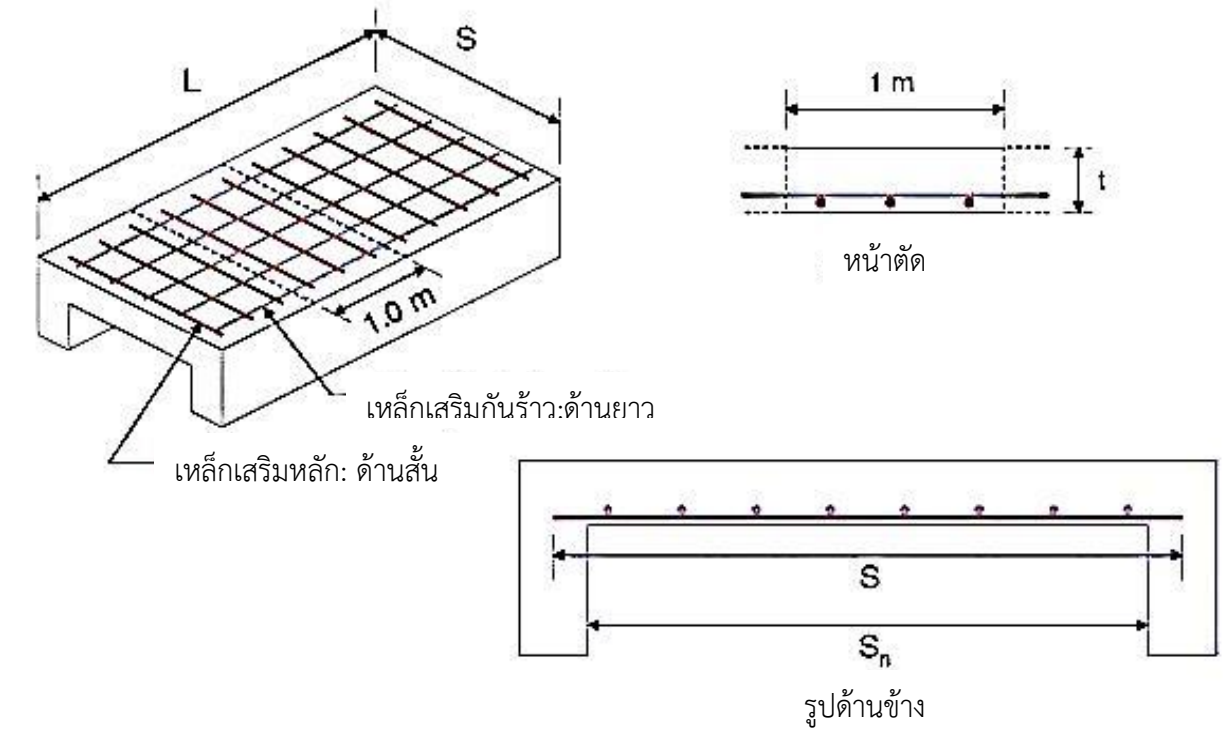
ลักษณะของแผ่นพื้นจะมีอัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาวน้อยกว่า 0.5 ($\frac{S}{L} < 0.5$) หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นแผ่นพื้นที่มีด้านยาวมากกว่าสองเท่าของด้านสั้น และมีฐานรองรับตลอดแนวยาวของแผ่นพื้นอย่างน้อยสองด้าน โดยฐานรองรับอาจเป็นคาน กำแพงคอนกรีต หรือคานเหล็กรูปพรรณ ก็ได้ การเสียรูปจากการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นเสริมเหล็กทางเดียวจะเกิดการดัดโค้งเนื่องจากโมเมนต์ดัดทางด้านสั้น ขณะที่ไม่มีการดัดโค้งทางด้านยาว ซึ่งเป็นการเสียรูปลักษณะทรงกระบอก ดังรูปที่ 3.6



(ก) การเสียรูปจากการรับน้ำหนักบรรทุก



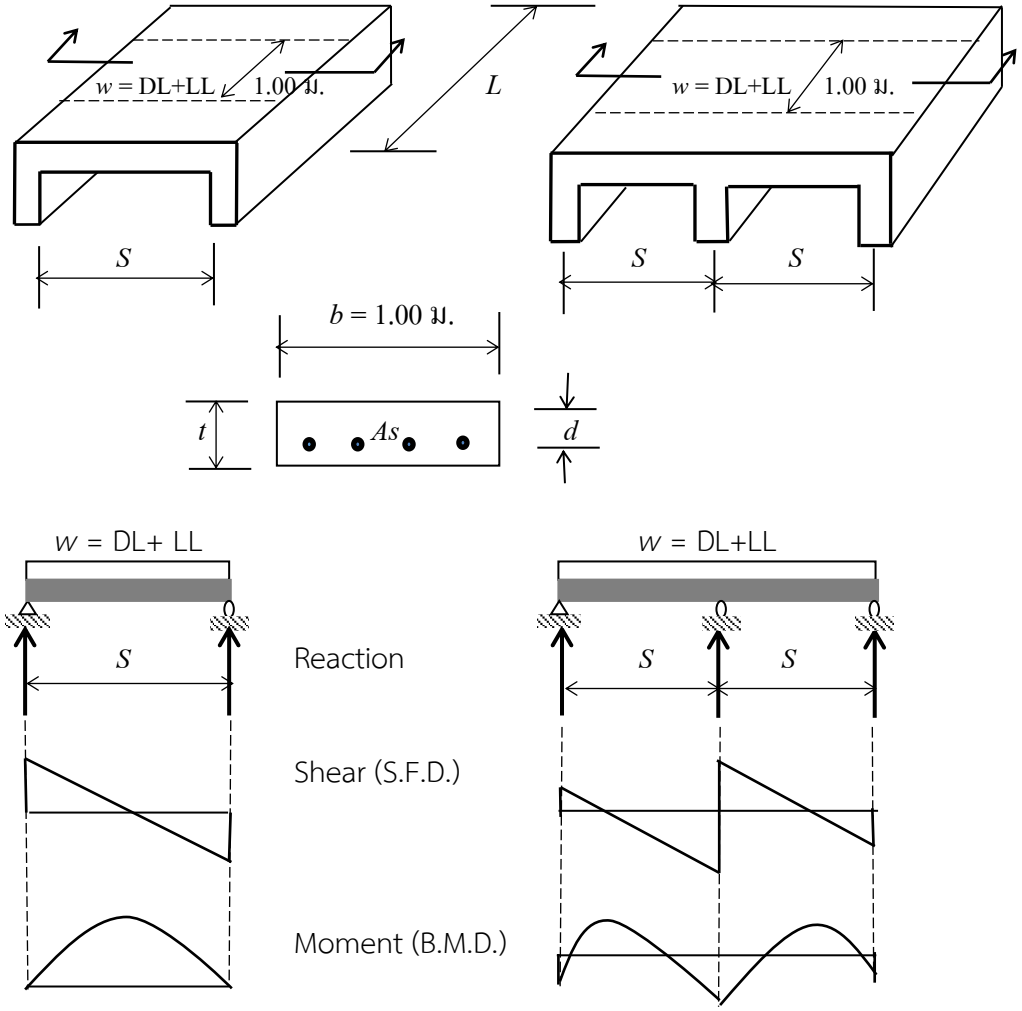
(ข) พื้นทางเดียว ด้านยาว > สองเท่าของด้านสั้น



(ค) การออกแบบ พิจารณาพื้นเป็นคานกว้าง 1 เมตร

รูปที่ 3.6 (ก)-(ค) การเสียรูปจากการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นเสริมเหล็กทางเดียว
ที่มา: สถาพร โภคา, 2544 และ มงคล จิรวัชรเดช, 2549

1) หลักเกณฑ์ในการออกแบบ การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียวใช้หลักการเดียวกับการออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว กล่าวคือ แผ่นพื้นจะต้องสามารถต้านทานโมเมนต์ดัด แรงเฉือน และไม่เกิดการโก่งตัวเกินกว่าเกณฑ์กำหนดภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน โดยพิจารณาวิเคราะห์หาแรงภายในต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น ได้แก่ โมเมนต์ดัด และแรงเฉือน จากทางด้านสั้นที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับที่รองรับ รวมถึงการหาแรงปฏิกิริยา ซึ่งก็คือการถ่ายน้ำหนักจากพื้นลงสู่คานนั่นเอง และการคำนวณออกแบบแผ่นพื้นจะแบ่งออกเป็นแถบกว้างทุก ๆ 1.00 เมตร ดังนั้น แผ่นพื้นจึงมีลักษณะคล้ายกับคานบาง ๆ ที่มีความกว้าง (b) เท่ากับ 1.00 เมตร ดังรูปที่ 3.6 (สถาพร โภคา, 2544) ทั้งนี้ ในการออกแบบอาจพิจารณาเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียวแบบช่วงเดียว หรือแบบต่อเนื่องหลายช่วงก็ได้ โดยมีช่วงว่างไม่เกิน 3.00 เมตร และหล่อพื้นเป็นเนื้อเดียวกับที่รองรับ



รูปที่ 3.7 ลักษณะแผ่นพื้นและการพิจารณาหาแรงภายในพื้นจากทางด้านสั้น

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549 และ สาโรจน์ ดำรงศิลป์, 2559

3) การเสริมเหล็กในแผ่นพื้นเสริมเหล็กทางเดียว เหล็กเสริมหลักจะจัดวางตั้งฉากกับคานรองรับพื้น เพื่อทำหน้าที่ต้านทานโมเมนต์ดัด และถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากแผ่นพื้นลงคานรองรับ พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมคำนวณจากสูตร $As = \frac{M}{fs.jd}$ และต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าเหล็กเสริมกันร้าว หรือเหล็กเสริมต้านทานการยืดหดตัวของคอนกรีต (Temperature or Shrinkage reinforcement : As^t) โดยเหล็กเสริมกันร้าวจะวางทับบนเหล็กเสริมหลักขนานกับฐานรองรับ ดังรูปที่ 3.8 นอกจากนี้ มาตรฐาน ว.ส.ท. 3407 กำหนดให้เหล็กเสริมกันร้าวหรือเหล็กเสริมต้านทานการยืดหดต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มิลลิเมตร และวางเรียงให้มีระยะห่างไม่เกิน 3 เท่าของความหนาพื้น หรือไม่เกิน 30 เซนติเมตร โดยมีอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกันร้าวต่อพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของแผ่นพื้น $(\frac{As^t}{b \times t})$ ต้องไม่น้อยกว่าค่ามาตรฐานต่อไปนี้

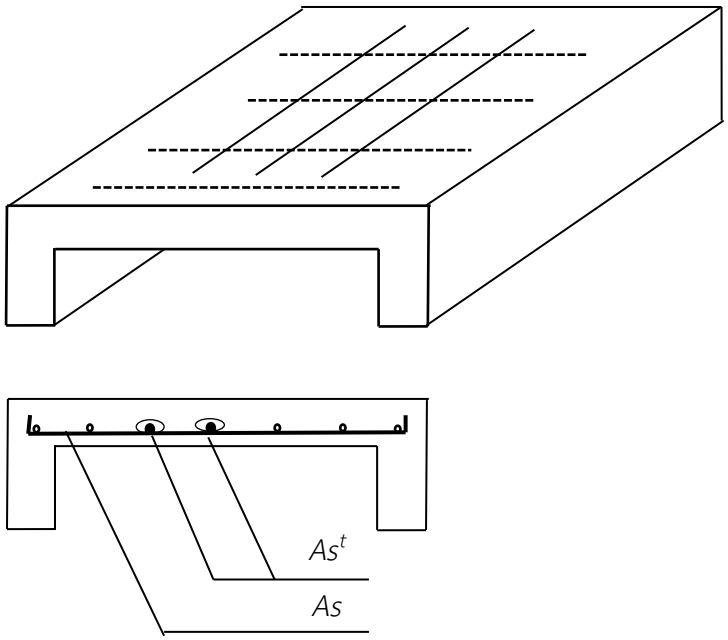
กรณีใช้เหล็กเส้นกลม

ชั้นคุณภาพ SR 24 .....0.0025 : $As^t = 0.0025bt$

กรณีใช้เหล็กข้ออ้อย

ชั้นคุณภาพ SD 30 .....0.0020 : $As^t = 0.0020bt$

ชั้นคุณภาพ SD 40 .....0.0018 : $As^t = 0.0018bt$



รูปที่ 3.8 การเสริมเหล็กพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว

ที่มา: มาตรฐาน ว.ส.ท. 3407 และ สาโรจน์ ดำรงศิลป์, 2559

4) ความหนาต่ำสุดของแผ่นพื้นเสริมเหล็กทางเดียว (t) โดยทั่วไปความหนาของแผ่นพื้นชนิดนี้ประมาณ 8–15 เซนติเมตร ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าโมเมนต์ดัด แรงเฉือน และการโก่งตัวของแผ่นพื้น (มงคล จิรวัชรเดช, 2549) ในกรณีที่ไม่ได้คำนวณระยะโก่ง และเพื่อควบคุมมิให้แผ่นพื้นเสริมเหล็กทางเดียวโก่งตัวมาก มาตรฐาน ว.ส.ท. 4500 กำหนดให้ใช้ความหนาต่ำสุดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว ดังนี้

กรณี	ความหนาต่ำสุด (t)
พื้นช่วงเดียว	L/20
พื้นต่อเนื่องข้างเดียว	L/24
พื้นต่อเนื่องสองข้าง	L/28
พื้นยื่น	L/10

ฐานรองรับเท่ากับระยะความลึกประสิทธิผล (*d*) ของพื้นก็ได้ โดยตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นจากสูตร $v = \frac{V}{bd}$ ต้องไม่เกินกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีต $v_c = 0.29\sqrt{fc'}$ ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมความหนาพื้นของแผ่นพื้นอีกทางหนึ่ง

4) ขั้นตอนในการคำนวณออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว

4.1) เลือกความหนาพื้นเพื่อหาน้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้น โดยพิจารณาความหนาต่ำสุดจากชนิดของพื้นที่ออกแบบซึ่งไม่ต้องตรวจสอบการโก่งตัว รวมน้ำหนักที่กระทำกับแผ่นพื้น แล้ววิเคราะห์โครงสร้าง (M_{max}, V_{max})

4.2) เลือกวัสดุ กำลังอัดของคอนกรีต (*fc'*) และกำลังครากของเหล็กเสริม (*fy*)

4.3) คำนวณหาค่าคงที่สำหรับการออกแบบ *n, k, j,* และค่า *R*

4.4) ตรวจสอบความหนาพื้นที่เหมาะสมจาก 2 กรณี (เลือกกรณีใด กรณีหนึ่ง)

4.4.1) เปรียบเทียบค่า $Mc = Rbd^2 > M_{\max}$

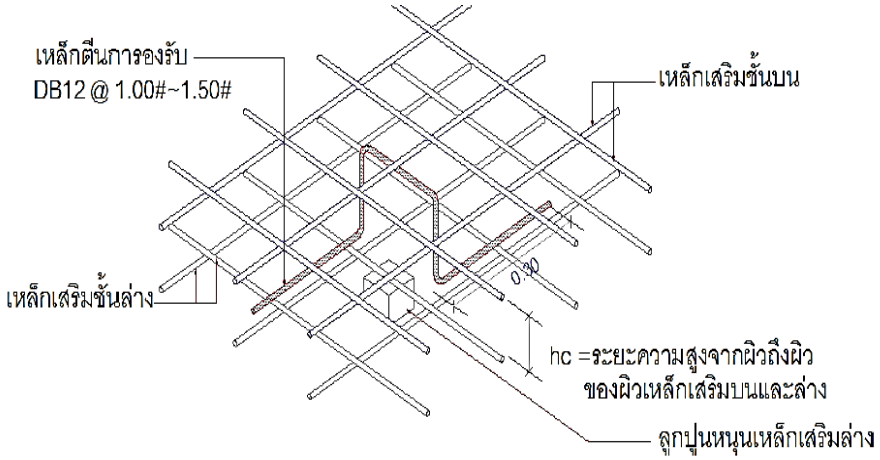
4.4.2) ความลึกประสิทธิผลที่ต้องการ $d = \sqrt{\frac{M_{\max}}{R.b}}$

4.5) คำนวณหาปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม: $As = \frac{M_{\max}}{fs.jd}$ และพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกันร้าว Ast = *0.0025bt* (กรณีใช้เหล็กกลมผิวเรียบ SR 24)

4.6) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น $v = \frac{V}{bd} < 0.29\sqrt{fc'}$

4.7) เขียนรายละเอียดแสดงรายการเหล็กเสริม

การเสริมเหล็กในพื้นแบบแยกเป็นตะแกรงเหล็กชั้นบนและชั้นล่าง เพื่อให้เหล็กเสริมอยู่ใน ตำแหน่ง ที่ต้องการในขณะที่เทคอนกรีต สำหรับเหล็กล่างจะใช้ลูกปูนหนุน และจะใช้เหล็กตีนกาช่วย ในการรองรับเหล็กชั้นบน

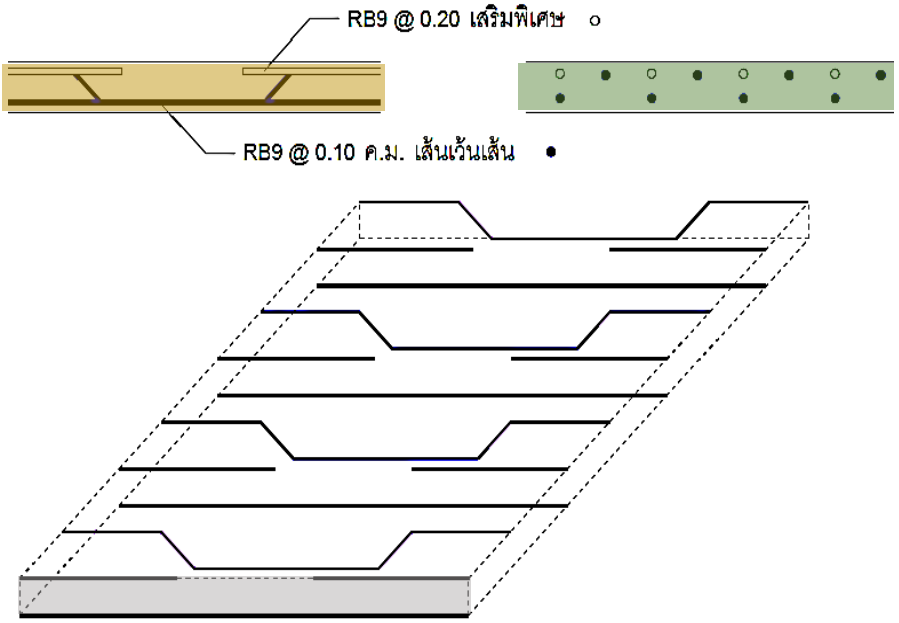


รูปที่ 3.9 เหล็กตีนการองรับเหล็กเสริมชั้นบน

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

การเสริมเหล็กอีกแบบหนึ่งเรียกว่าแบบ ***คอม้าเส้นเว้นเส้น*** โดยจะดัดเหล็กล่างเป็นคอม้า ขึ้นมาเป็นเหล็กบนเส้นเว้นเส้นเพื่อเป็นการรองรับเหล็กชั้นบนและช่วยลดเหล็กเสริมที่ใช้ไปในตัว จากนั้นเสริมเหล็กบน

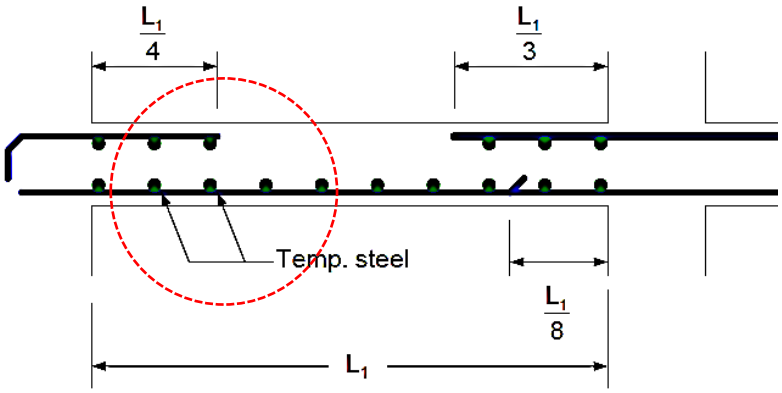
พิเศษในตำแหน่งของเหล็กล่างที่ไม่ถูกดัดขึ้นมา วิธีการนี้จะได้ปริมาณเหล็ก เสริมบนที่ปลายช่วงและเหล็กล่างที่กลางช่วงเท่ากัน เช่นในตัวอย่างข้างล่าง ปริมาณเหล็กเสริมคือ RB9 @ 0.10 ม. (As = 6.36 ซม.2/ความยาว 1 ม.)



รูปที่ 3.10 การเสริมเหล็กคอม้าเส้นเว้นเส้นในพื้นทางเดียว

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

ระยะการหยุดเหล็กเสริมคือระยะการฝังเหล็กเสริมจากหน้าตัดวิกฤตซึ่งรับแรงดึงมากที่สุด เพื่อให้มีระยะในการพัฒนาแรงยึดหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริมอย่างเพียงพอ โดยทั่วไปมักใช้ระยะหยุดเหล็กมาตรฐานโดยคิดเป็น สัดส่วนจากระยะช่วงความยาวพื้นดังแสดงในรูปที่ 3.11



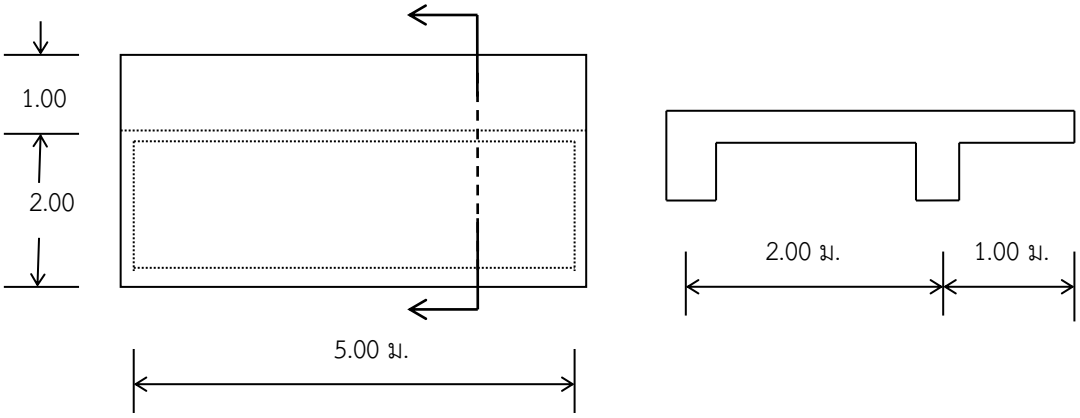
รูปที่ 3.11ระยะหยุดเหล็กเสริมในพื้นทางเดียว

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549 และกัมปนาท บุญกัน ปรับปรุง, 2559

ตัวอย่างที่ 3.2 จงออกแบบพื้นเสริมเหล็กทางเดียว ดังรูป

กำหนดให้ fc' = 210 กก./ซม.^{2} fy = 2,400 กก./ซม.^{2}

w_{LL}= 250 กก./ม.^{2} ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ



วิธีทำ

ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$$n = 9, \qquad k = 0.414, \qquad j = 0.861, \qquad R = 16.84 \text{ กก./ซม.}^2$$

ความหนาต่ำสุดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว

พื้นต่อเนื่องข้างเดียว : $t = L/24$ = 0.083 ม.

พื้นยื่น : $t = L/10$ = 0.10 ม. เลือกความหนาพื้น t = 0.10 ม.

น้ำหนักที่กระทำกับพื้น

w_{DL} : 0.10x2,400 = 240 กก./ม.^{2}

w_{LL} = 250 กก./ม.^{2}

น้ำหนักรวม : w = 490 กก./ม.^{2}

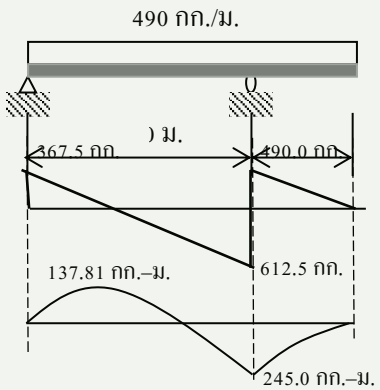
ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง

$^{+}M_{max}$ = 137.81 กก.–ม.

$^{-}M_{max}$ = 245.00 กก.–ม.

V_{max} = 612.5 กก.

วิเคราะห์โครงสร้าง



โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : Mc

$$Mc = Rbd^2 = 16.84(1.0)7.5^2$$

= 947.25 กก.–ม. > M_{max}

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมหลัก :

$$^{+}As = \frac{^{+}M}{fs.jd} = \frac{137.81\times100}{1{,}200(0.861)7.5} = 1.78 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.30 ม.

ปริมาณเหล็กเสริมหลัก
ต้านทานโมเมนต์ดัด ต้องไม่น้อยกว่าเหล็ก

$$^{-}As = \frac{^{-}M}{fs.jd} = \frac{245.0\times100}{1{,}200(0.861)7.5} = 3.16 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.20 ม.

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกันร้าว :

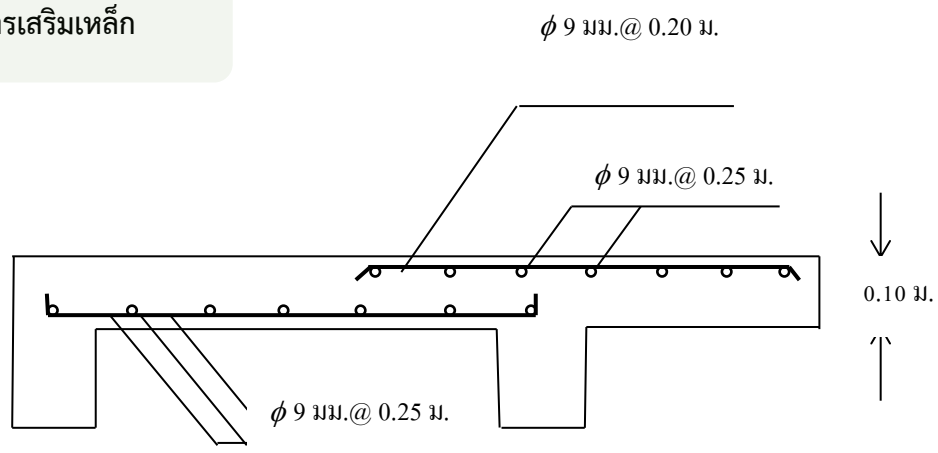
$$As^{t} = 0.0025bt = 0.0025(100)10 = 2.50 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.25 ม. (As = 2.54 ซม.^{2})

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือน : v

$$v = \frac{V}{bd} = \frac{612.5}{(100)(7.5)} = 0.816 \text{ กก./ซม.}^2 < 0.29\sqrt{fc'}$$

รายละเอียดการเสริมเหล็ก

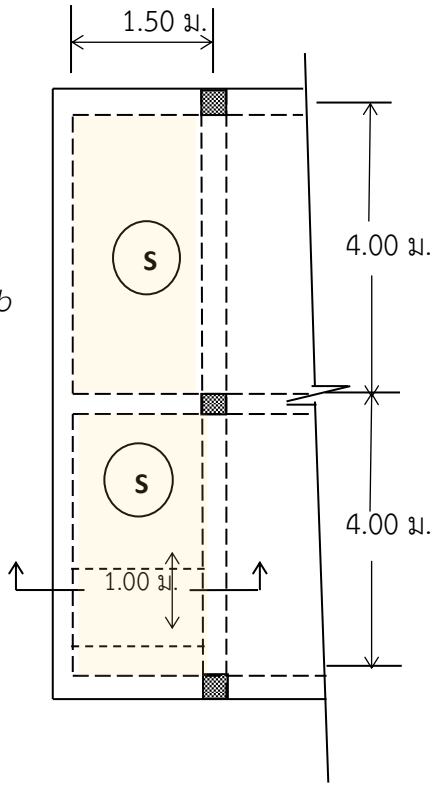


ตัวอย่างที่ 3.3 จงออกแบบพื้นระเบียงอาคาร (S) ดังรูป

กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 2,400 กก./ซม.^{2}

LL = 250 กก./ม.^{2} วัสดุปูพื้น = 40 กก./ม.^{2}

ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ



วิธีทำ $m = S/L : 1.5/4.0$ = 0.375 < 0.5 : *One way slab*

ความหนาพื้นต่ำสุดของพื้นช่วงเดียว

$t = L/20 : 1.5/20$ = 0.075 ม. เลือกใช้ 0.08 ม.

น้ำหนักที่กระทำกับพื้น

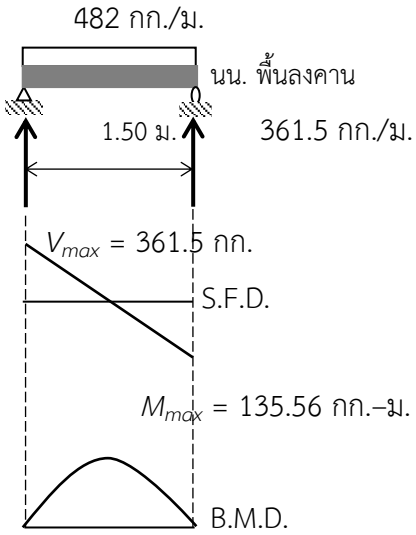
w_{DL} : 0.08x2,400 = 192 กก./ม.^{2}

w_{LL} = 250 กก./ม.^{2}

$w_{วัสดุปูพื้น}$ = 40 กก./ม.^{2}

น้ำหนักรวม : w = 482 กก./ม.^{2}

วิเคราะห์โครงสร้าง



ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$n = 11$, $k = 0.397$

$j = 0.867$, $R = 12.39$ กก./ซม.^{2}

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : Mc

$$Mc = Rbd^2 = 12.39(1.0)5.5^2$$

= 374.79 กก.–ม. > M_{max}

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมหลัก :

$$As = \frac{M_{max}}{fs.jd} = \frac{135.56 \times 100}{1{,}200(0.867)5.5} = 2.37 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ ϕ 6 มม. @ 0.10 ม. (As = 2.82 ซม.^{2})

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกันร้าว :

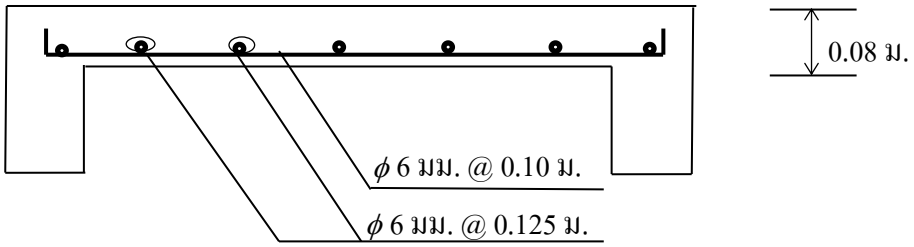
$As^t = 0.0025bt : 0.0025 \times 100 \times 8$ = 2.00 ซม.^{2}

เลือกใช้ ϕ 6 มม. @ 0.125 ม. (As = 2.25 ซม.^{2})

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น : v

$$v = \frac{V}{bd} = \frac{361.5}{(100)(5.5)} = 0.657 \text{ กก./ซม.}^2 < \phi$$

รายละเอียดการเสริมเหล็ก

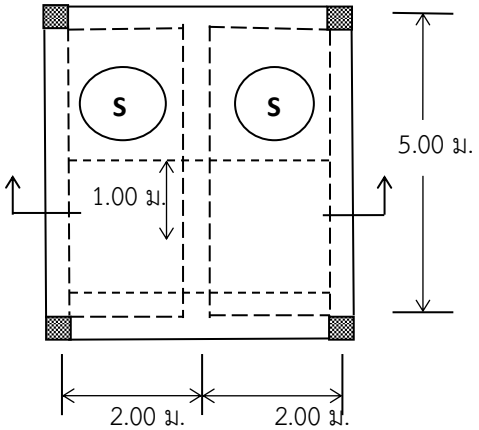


ตัวอย่างที่ 3 จงออกแบบพื้น (S) ดังรูป

กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 2,400 กก./ซม.^{2}

LL = 300 กก./ม.^{2} วัสดุปูพื้น = 60 กก./ม.^{2}

ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท.ในการออกแบบ



วิธีทำ $m = S/L : 2.0/5.0$ = 0.4 < 0.5 : *One way slab*

ความหนาพื้นต่ำสุดของพื้นต่อเนื่องสองช่วง

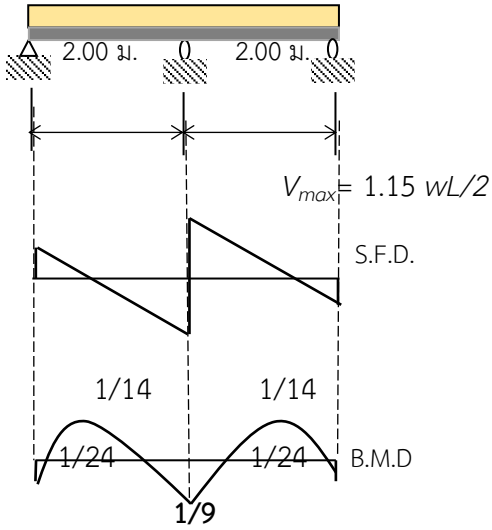
$t = L/24 : 2/24$ = 0.083 ม. เลือกใช้ 0.10 ม.

น้ำหนักที่กระทำกับพื้น

w_{DL} 0.10x2,400	= 240 กก./ม.^{2}
w_{LL}	= 300 กก./ม.^{2}
$w_{วัสดุปูพื้น}$	= 60 กก./ม.^{2}
น้ำหนักรวม w	= 600 กก./ม.^{2}

วิเคราะห์โครงสร้าง

ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง



$$^{+}M = \frac{1}{14}wL^2 = \frac{1}{14}(600)2.0^2$$

= 171.42 กก.–ม.

$$^{-}M = \frac{1}{24}wL^2 = \frac{1}{24}(600)2.0^2$$

= 100.00 กก.–ม.

$$^{-}M_{\max} = \frac{1}{9}wL^2 = \frac{1}{9}(600)2.0^2$$

= 266.67 กก.–ม.

$$V_{\max} = 1.15\frac{wL}{2} = 1.15\frac{(600\times 2)}{2}$$

= 690.00 กก.

ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$$n = 11, \qquad k = 0.397, \qquad j = 0.867, \qquad R = 12.39 \text{ กก./ซม.}^2$$

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : *Mc*

$$Mc = Rbd^2 = 12.39(1.0)7.5^2$$

= 696.93กก.–ม. > M_{max}

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมหลัก :

$$^{+}As = \frac{^{+}M}{fs.jd} = \frac{171.42\times 100}{1{,}200(0.867)7.5} = 2.19 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.25 ม. (As = 2.54 ซม.^{2})

$$^{-}As = \frac{^{-}M}{fs.jd} = \frac{100.00\times 100}{1{,}200(0.867)7.5} = 1.28 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.30 ม. (As = 2.12 ซม.^{2})

$$^{-}As = \frac{^{-}M_{\max}}{fs.jd} = \frac{266.67\times 100}{1{,}200(0.867)7.5} = 3.41 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.175 ม. (As = 3.63 ซม.^{2})

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกันร้าว :

$$As^{t} = 0.0025bt = 0.0025(100)10 = 2.50 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.25 ม. (As = 2.54 ซม.^{2})

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือน : v

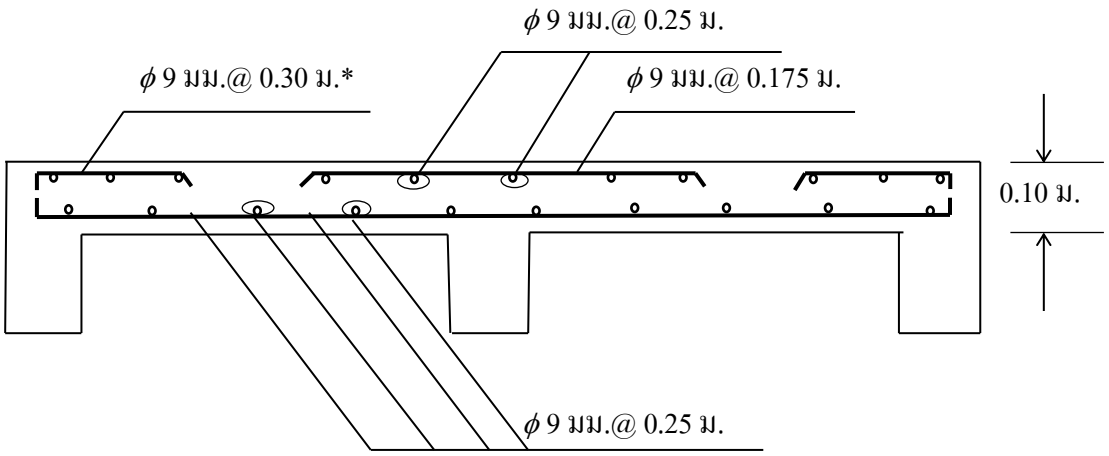
$$v = \frac{V}{bd} = \frac{690}{(100)(7.5)} = 0.92 \text{ กก./ซม.}^2 < \phi$$

ถ่ายน้ำหนักจากพื้นลงคาน

คานตัวริม = (600x2)/2 = 600 กก./ม.

คานตัวใน = 2 (600x2)/2 = 1,200 กก./ม.

รายละเอียดการเสริมเหล็ก

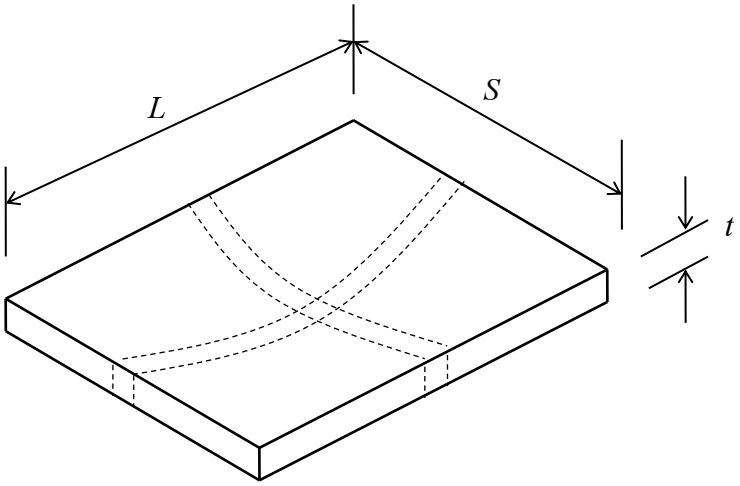


ข้อสังเกต

* เหล็กเสริมหลักรับโมเมนต์ลบ (ด้านริม) มีปริมาณน้อยกว่าเหล็กเสริมกันร้าว เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนด ควรเสริมเหล็กไม่น้อยกว่าเหล็กเสริมกันร้าว: ϕ 9 มม.@ 0.25 ม.

3.3 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง (Two–way slabs)

ลักษณะของแผ่นพื้นจะมีอัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาวมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ($\frac{S}{L} \geq 0.5$) และเป็นแผ่นพื้นที่มีคาน หรือผนัง เป็นฐานรองรับโดยรอบทั้งสี่ด้าน การเสียรูปจากการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นเสริมเหล็กสองทางจะเกิดการดัดโค้งทั้งสองทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 3.12



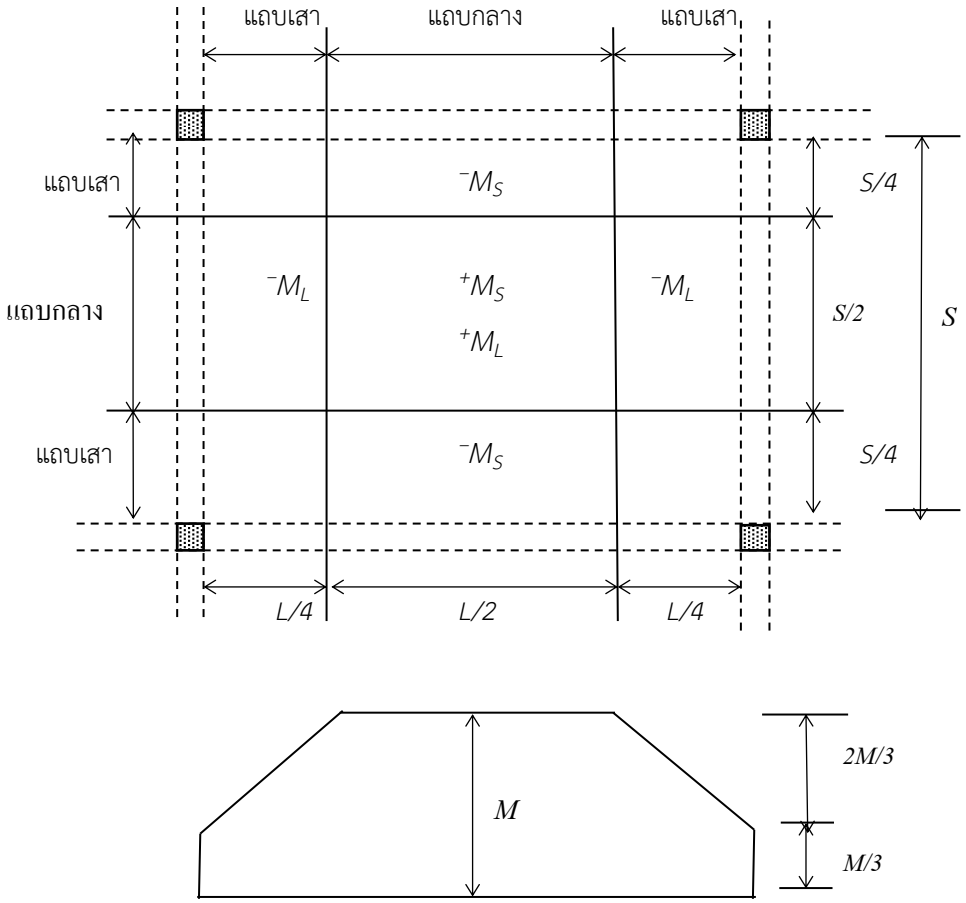
รูปที่ 3.12 การเสียรูปจากการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นเสริมเหล็กสองทาง
ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

1) หลักเกณฑ์ในการออกแบบ ซึ่งมาตรฐาน ว.ส.ท. เสนอวิธีการคำนวณออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทางไว้ 3 วิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีที่ 2 ซึ่งมีขั้นตอนในการคำนวณออกแบบที่ทำได้สะดวกรวดเร็ว กำหนดให้ น้ำหนักบรรทุกใช้งานกระทำบนแผ่นพื้นแบบแผ่สม่ำเสมอ โดยน้ำหนักบรรทุกจร (LL) มีค่าไม่เกินกว่า 3 เท่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่ (DL) และแบ่งพื้นที่ทั้งด้านสั้น (S) และด้านยาว (L) เป็นแถบกลางมีความกว้างครึ่งหนึ่งของช่วงพื้น และแถบเสามีความกว้างครึ่งหนึ่งของช่วงพื้นเช่นกัน แต่ถูกแบ่งเป็นสองส่วนจึงเหลือเพียงหนึ่งในสี่ของช่วงพื้นที่อยู่นอกแถบกลาง ดังรูปที่ 3.12 ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นมีค่าเป็นโมเมนต์บวก (^{+}M) ที่เส้นแบ่งกึ่งกลางของช่วงพื้น ส่วนโมเมนต์ลบ (^{-}M) ให้คิดที่ขอบโดยรอบของช่วงพื้นตรงขอบคานรองรับ ซึ่งค่าโมเมนต์ดัดหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$M = cwS^2 \qquad (3.4)$$

โดยที่ M : ค่าโมเมนต์ดัดในแผ่นพื้น c : ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์
w : น้ำหนักบรรทุก S : ความยาวด้านสั้นของแผ่นพื้น

การกระจายโมเมนต์ในแผ่นพื้น ค่าโมเมนต์ดัดในแถบเสาจะสมมติให้มีค่าลดลงแบบเชิงเส้นจากค่าที่หาได้ในแถบกลางเหลือเพียงหนึ่งในสามที่ขอบของคานรองรับ ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของโมเมนต์ดัดในแถบเสาจึงมีค่าเท่ากับสองในสามของโมเมนต์ดัดในแถบกลาง ในกรณีที่ค่าโมเมนต์ลบที่ขอบคานรองรับด้านใดน้อยกว่าร้อยละ 80 ของโมเมนต์อีกด้านหนึ่ง ให้นำค่าสองในสามของผลต่างโมเมนต์กระจายออกไปตามสัดส่วนความแข็ง (Stiffness) ของแผ่นพื้น ดังในรูปที่ 3.13

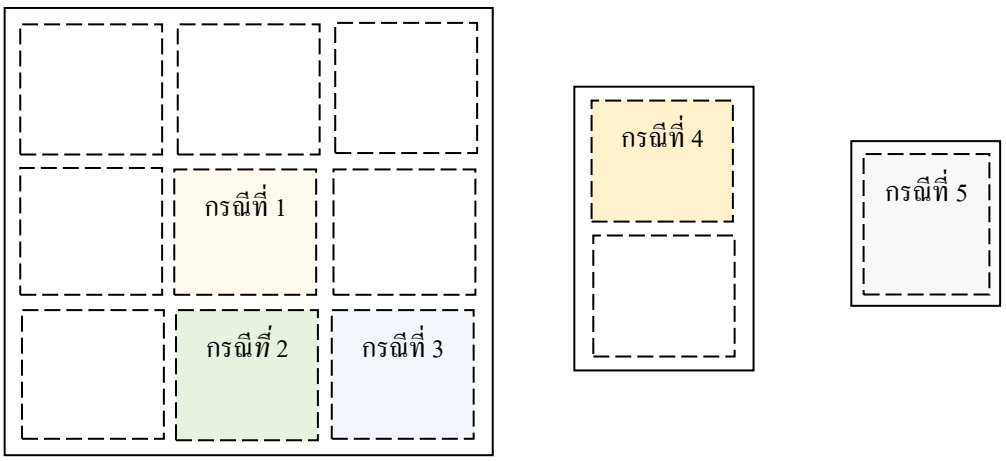


รูปที่ 3.13 การแบ่งพื้นที่พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง
ที่มา: วินิต ช่อวิเชียร, 2545

มาตรฐานการออกแบบ ACI และ ว.ส.ท. 9102 กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ (*c*) ดังในตารางที่ 3.2 ที่ใช้ในการออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง วิธีที่ 2 แสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งขึ้นอยู่กับความต่อเนื่องของแผ่นพื้น โดยแบ่งออกเป็น 5 กรณี ดังรูปที่ 3.14 และยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว ($m = S/L$) ของแผ่นพื้นอีกด้วย

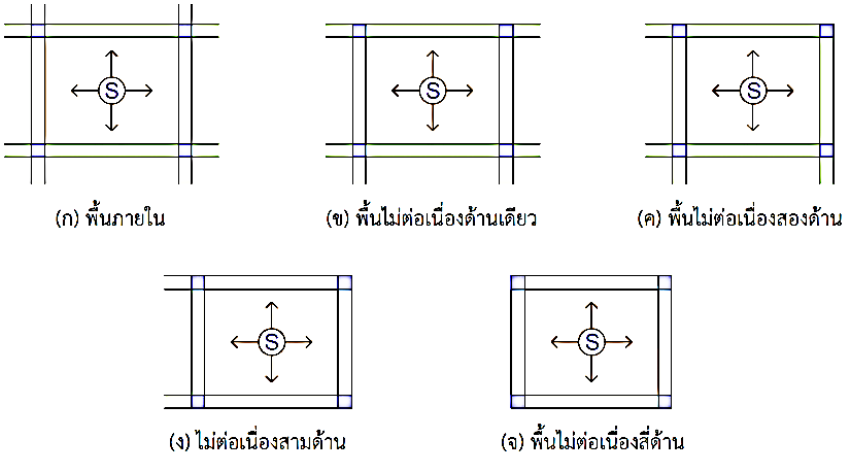
ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ (*c*)

โมเมนต์	ช่วงสั้น						ช่วงยาว
	อัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาว (*m=S/L*)						
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	
กรณีที่ 1 พื้นภายใน							
โมเมนตลบ – ด้านต่อเนื่อง	0.033	0.040	0.048	0.055	0.063	0.083	0.033
– ด้านไม่ต่อเนื่อง	–	–	–	–	–	–	–
โมเมนต์บวกที่กลางช่วง	0.025	0.030	0.036	0.041	0.047	0.062	0.025
กรณีที่ 2 พื้นไม่ต่อเนื่องด้านเดียว							
โมเมนตลบ – ด้านต่อเนื่อง	0.041	0.048	0.055	0.062	0.069	0.085	0.041
– ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.021	0.024	0.027	0.031	0.035	0.042	0.021
โมเมนต์บวกที่กลางช่วง	0.031	0.036	0.041	0.047	0.052	0.064	0.031
กรณีที่ 3 พื้นไม่ต่อเนื่องสองด้าน							
โมเมนตลบ – ด้านต่อเนื่อง	0.049	0.057	0.064	0.071	0.078	0.090	0.049
– ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.025	0.028	0.032	0.036	0.039	0.045	0.025
โมเมนต์บวกที่กลางช่วง	0.037	0.043	0.048	0.054	0.059	0.068	0.037
กรณีที่ 4 พื้นไม่ต่อเนื่องสามด้าน							
โมเมนตลบ – ด้านต่อเนื่อง	0.058	0.066	0.074	0.082	0.090	0.098	0.058
– ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.029	0.033	0.037	0.041	0.045	0.049	0.029
โมเมนต์บวกที่กลางช่วง	0.044	0.050	0.056	0.062	0.068	0.074	0.044
กรณีที่ 5 พื้นไม่ต่อเนื่องสี่ด้าน							
โมเมนตลบ – ด้านต่อเนื่อง	–	–	–	–	–	–	–
– ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.033	0.038	0.043	0.047	0.053	0.055	0.033
โมเมนต์บวกที่กลางช่วง	0.050	0.057	0.064	0.072	0.080	0.083	0.050



รูปที่ 3.14 ความต่อเนื่องของแผ่นพื้นทั้ง 5 กรณี

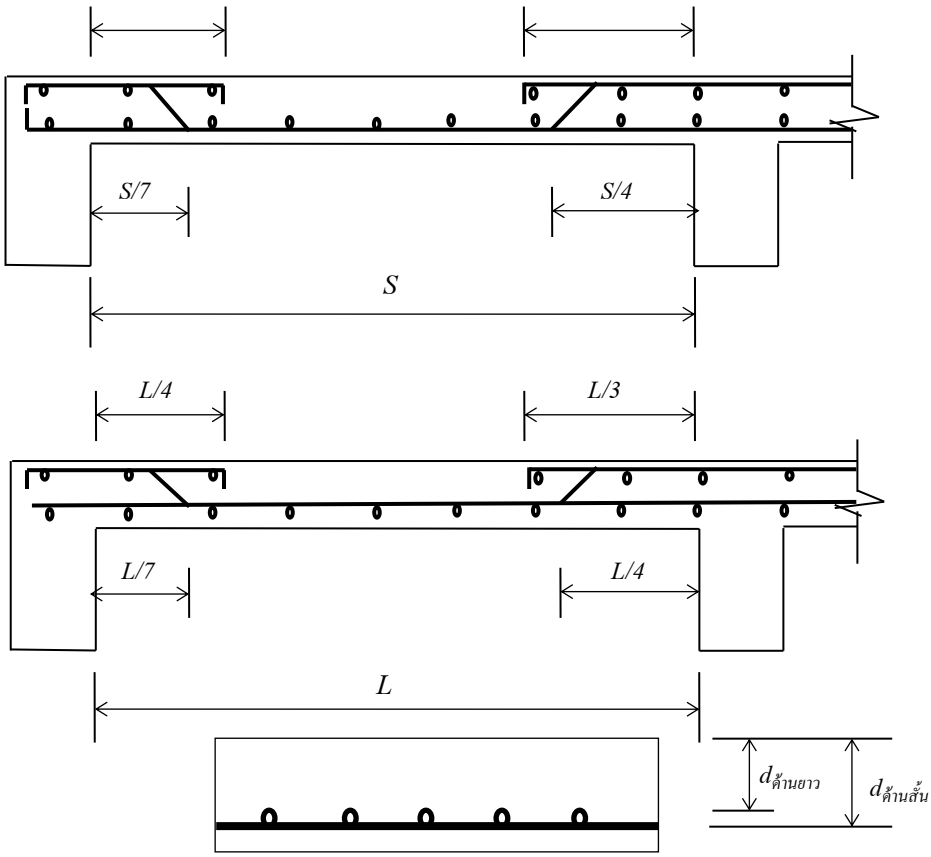
ที่มา: มาตรฐาน ว.ส.ท. 3404



รูปที่ 3.15 ความต่อเนื่องของพื้นลักษณะต่างๆ

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

2) การเสริมเหล็กในแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง ทำหน้าที่ต้านทานโมเมนต์ดัดและถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากแผ่นพื้นลงคานรองรับ โดยวางตามตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.16 พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมคำนวณจากสูตร $As = \frac{M}{fs.jd}$ และจัดวางเหล็กเสริมด้านสั้นซึ่งรับโมเมนต์มากกว่าอยู่ด้านล่าง ส่วนเหล็กเสริมด้านยาววางทับด้านบน และมาตรฐาน ว.ส.ท. 3404 กำหนดให้เหล็กเสริมในแผ่นพื้นต้องมีระยะเรียงไม่ห่างกว่า 3 เท่าของความหนาพื้น หรือไม่เกิน 30 เซนติเมตร ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.16

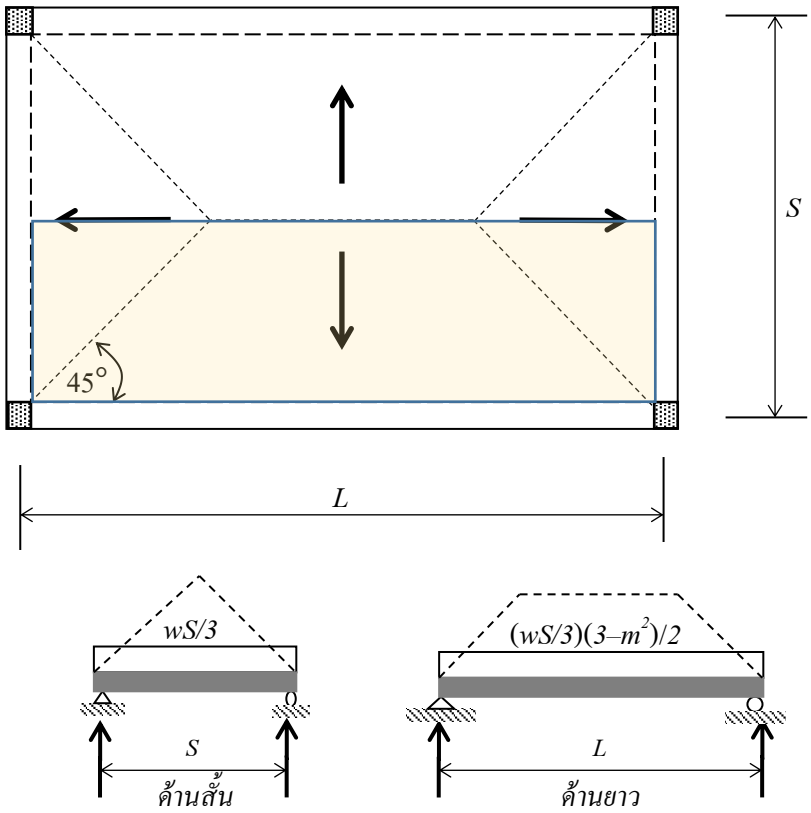


รูปที่ 3.16 การเสริมเหล็กในแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง

ที่มา: มาตรฐาน ว.ส.ท. 3404

3) การถ่ายน้ำหนักลงคาน พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทางจะถ่ายน้ำหนักแบบแผ่สม่ำเสมอลงคานรองรับทั้งสี่ด้าน โดยการแบ่งพื้นที่จากการลากเส้นทำมุม 45 องศา จากมุมทั้งสี่ตัดกับเส้นแบ่งครึ่งช่วงพื้นที่ขนานกับด้านยาว ดังรูปที่ 3.17 ในส่วนของแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นเสริมเหล็กสองทาง อาจคำนวณหาหน่วยแรงในแผ่นพื้นได้จากการสมมติว่ากระจายน้ำหนักบรรทุกไปยังที่รองรับ โดยการแบ่งพื้นที่จากการลากเส้นทำมุม 45 องศา ทำนองเดียวกับการถ่ายน้ำหนักลงคาน แล้วทำการตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนจากสูตร $v = \frac{V}{bd}$ โดยหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นต้องไม่เกินกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีต $v_c = 0.29\sqrt{fc'}$ ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมความหนาพื้นของแผ่นพื้นอีกทางหนึ่ง

4) ความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง (t) เพื่อควบคุมมิให้แผ่นพื้นโก่งตัวมากเกินไป ความหนาของพื้นเสริมเหล็กสองทางต้องไม่น้อยกว่า 8 เซนติเมตร และไม่น้อยกว่า $\frac{1}{180}$ ของเส้นรอบรูปของแผ่นพื้นนั้น



รูปที่ 3.17 การถ่ายน้ำหนักลงคานรองรับ

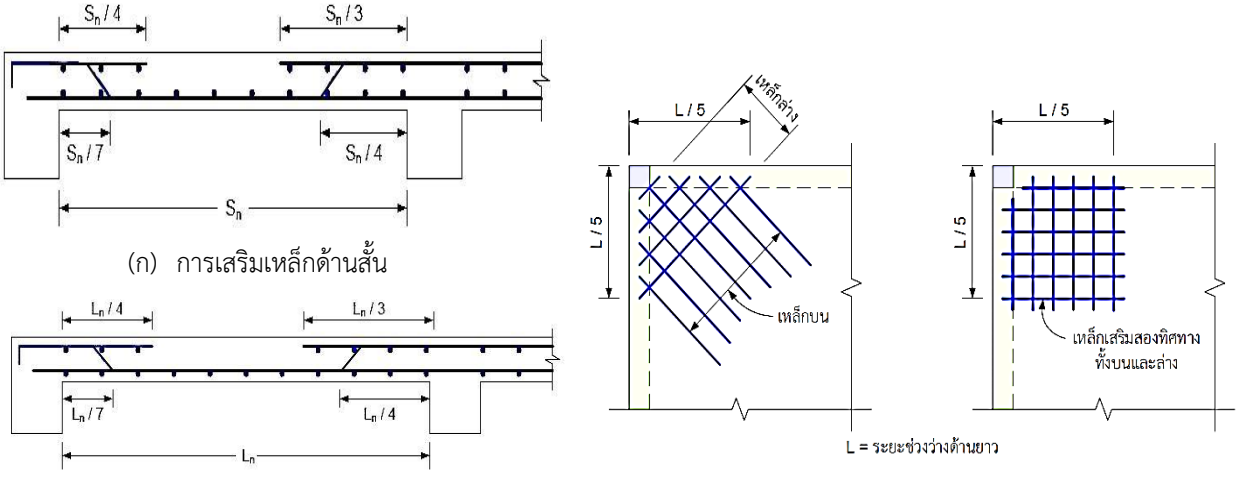
ที่มา: มาตรฐาน ว.ส.ท. 3404

5) การถ่ายน้ำหนักลงคาน พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทางจะถ่ายน้ำหนักแบบแผ่สม่ำเสมอลงคานรองรับทั้งสี่ด้าน โดยการแบ่งพื้นที่จากการลากเส้นทำมุม 45 องศา จากมุมทั้งสี่ตัดกับเส้นแบ่งครึ่งช่วงพื้นที่ขนานกับด้านยาว ดังรูปที่ 3.17 ในส่วนของแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นเสริมเหล็กสองทาง อาจคำนวณหาหน่วยแรงในแผ่นพื้นได้จากการสมมติว่ากระจายน้ำหนักบรรทุกไปยังที่รองรับ โดยการแบ่งพื้นที่จากการลากเส้นทำมุม 45 องศา ทำนองเดียวกับการถ่ายน้ำหนักลงคาน แล้วทำการตรวจสอบหน่วยแรงเฉือน

จากสูตร $v = \frac{V}{bd}$ โดยหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นต้องไม่เกินกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีต $v_c = 0.29\sqrt{fc'}$ ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมความหนาพื้นของแผ่นพื้นอีกทางหนึ่ง

6) การจัดเหล็กเสริมในแผ่นพื้นสองทาง จากค่าโมเมนต์ดัดที่คำนวณได้ การออกแบบเหล็กเสริมในแต่ละทิศทางจะใช้ค่าความลึกประสิทธิผล ต่างกัน โดยทั่วไปเหล็กเสริมจะถูกจัดวางเป็นตะแกรงโดยจะให้เหล็กด้านสั้นอยู่ล่างและเหล็กด้านยาว อยู่บนที่บริเวณกลางแผ่นพื้นเนื่องจากด้านสั้นเป็นด้านหลักในการรับน้ำหนักบรรทุกคือรับโมเมนต์ดัด มากกว่านั่นเอง ดังนั้นความลึกประสิทธิผลของเหล็กด้านยาวจะน้อยกว่าทางด้านสั้นเท่ากับ เส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม

เหล็กเสริมที่ใช้คือ RB9, DB10 และ DB12 ขึ้นกับความหนาพื้นและน้ำหนักบรรทุกที่รับ ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมจะต้องไม่น้อยกว่า 3 เท่าความหนาพื้น ปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุดจะ ตรวจสอบโดยใช้ปริมาณเหล็กเสริมกันร้าว และบริเวณจุดรองรับด้านต่อเนื่องนิยมดัดเหล็กล่างขึ้นมา เป็นคอม้าเส้นเว้นเส้นแล้วเสริมเหล็กบนพิเศษในตำแหน่งที่ถูกเว้นไว้เช่นเดียวกับในพื้นทางเดียว รูปแบบรายละเอียดการเสริมเหล็กในด้านสั้นจะเหมือนกับพื้นทางเดียวดังในรูปที่ 3.18 (ก) ส่วนทางด้านยาวจะแตกต่างไปบ้าง เนื่องจากเหล็กเสริมด้านยาวอยู่บนเหล็กเสริมด้านสั้นดังในรูปที่ 3.18 (ข) โมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นจะมีผลก็เฉพาะที่แผ่นพื้นที่อยู่มุมนอก (Exterior corner) ซึ่งจะเกิดการ แตกร้าวใต้พื้นตามแนวเส้นทแยงมุมที่ลากจากมุมนอก และบนพื้นตามแนวตั้งฉากกับรอยร้าวใต้แผ่น พื้น ดังนั้นจึงต้องเสริมเหล็กพิเศษที่มุมนอกทั้งด้านบนและล่างออกไปจากมุมในแต่ละทิศทางเป็น ระยะหนึ่งในห้าของความยาวของด้านยาวดังแสดงในรูปที่ 3.18 (ค) เหล็กเสริมด้านบนจะขนานกับเส้นทแยงมุมจากมุมนอกและเหล็กล่างจะตั้งฉากกับเส้นทแยง มุม แต่เพื่อความสะดวกในการก่อสร้างอาจเสริมเหล็กในแนวที่ขนานกับด้านสั้นและยาวก็ได้ (รูปที่ 3.18 (ง)) โดยปริมาณเหล็กเสริมพิเศษนี้ต้องมีปริมาณเท่ากับที่ต้องการสำหรับหรับโมเมนต์บวกมากที่สุด ในแผ่นพื้นนั้น



(ก) การเสริมเหล็กด้านสั้น

(ข) การเสริมเหล็กด้านยาว

(ค) ตำแหน่งเหล็กมุม

(ง) ตำแหน่งเหล็กมุม

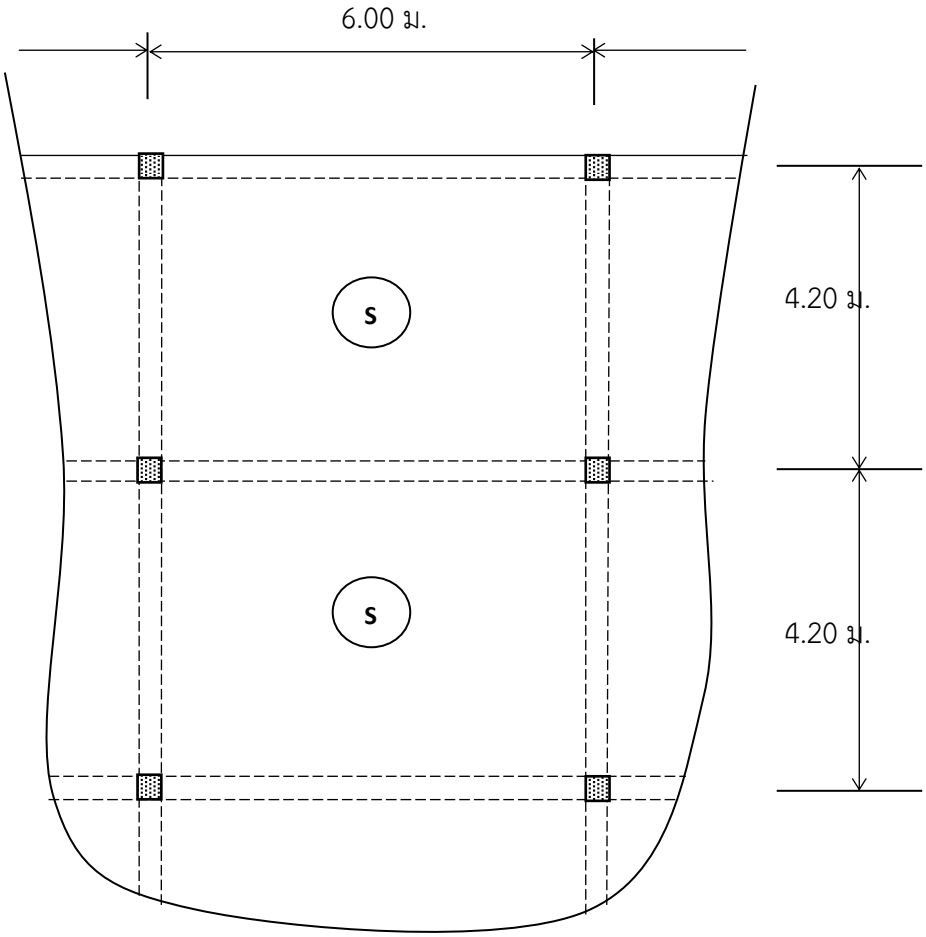
รูปที่ 3.18 (ก)-(ง) การจัดเหล็กเสริมในแผ่นพื้นสองทาง

ที่มา: มาตรฐาน ว.ส.ท. 3404

ตัวอย่างที่ 3.4 จงออกแบบพื้น (S) และ (S) ดังรูป

กำหนดให้ fc' = 210 กก./ซม.^{2} fy = 2,400 กก./ซม.^{2}

LL = 250 กก./ม.^{2} วัสดุปูพื้น = 50 กก./ม.^{2} ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ



วิธีทำ

$m = S/L : 4.2/6.0$ = 0.7 > 0.5 : *Two way slab*

ความหนาพื้นต่ำสุด : $t = \frac{1}{180}(4.2\times2+6.0\times2)$ = 0.11 ม. เลือกใช้ 0.12 ม.

น้ำหนักที่กระทำกับพื้น

w_{DL} : 0.12x2,400 = 288 กก./ม.^{2}

w_{LL} = 250 กก./ม.^{2}

$w_{วัสดุปูพื้น}$ = 50 กก./ม.^{2}

น้ำหนักรวม : w = 588 กก./ม.^{2}

ออกแบบต่อความกว้างพื้นทุก ๆ 1.00 เมตร

ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$n = 9,$ $k = 0.414,$ $j = 0.862,$ $R = 16.86$ กก./ซม.^{2}

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : *Mc*

$Mc = Rbd^2 = 16.86(1.0)9.5^2$ = 1,521.61 กก.–ม.

S *พื้นต่อเนื่องทั้งสี่ด้าน*

ตำแหน่ง	*c (สปส.โมเมนต์)*	*M = cwS^2 (กก.–ม.)*	*As (ซม.^{2})*	*เลือกเหล็กเสริม*
ช่วงสั้น				
โมเมนต์ลบ – ด้านต่อเนื่อง	0.055	570.47	5.80	ϕ 9 มม. @ 0.10 ม.
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.041	425.26	4.32	ϕ 9 มม. @ 0.125 ม.
ช่วงยาว				
โมเมนต์ลบ – ด้านต่อเนื่อง	0.033	342.28	3.84	ϕ 9 มม. @ 0.15 ม.
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.025	259.30	2.91	ϕ 9 มม. @ 0.20 ม.

S *พื้นต่อเนื่องสามด้าน*

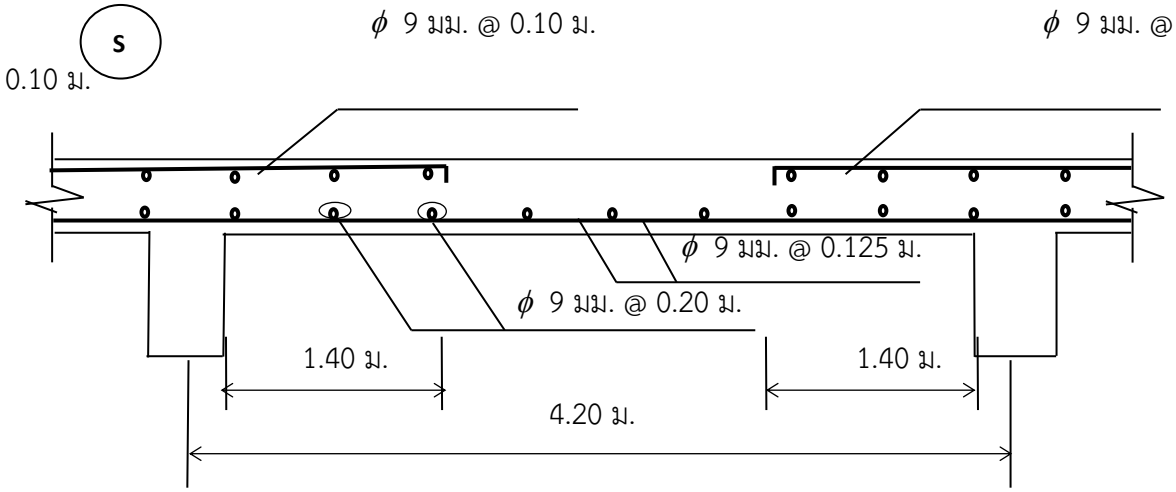
ตำแหน่ง	*c (สปส.โมเมนต์)*	*M = cwS^2 (กก.–ม.)*	*As (ซม.^{2})*	*เลือกเหล็กเสริม*
ช่วงสั้น				
โมเมนต์ลบ – ด้านต่อเนื่อง	0.062	643.08	6.54	ϕ 9 มม. @ 0.095 ม.
– ด้านไม่	0.031	321.54	3.27	ϕ 9 มม. @ 0.175 ม.
ต่อเนื่อง	0.047	487.49	4.96	ϕ 9 มม. @ 0.125 ม.
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง				
ช่วงยาว				
โมเมนต์ลบ – ด้านต่อเนื่อง	0.041	425.26	4.78	ϕ 9 มม. @ 0.125 ม.
– ด้านไม่	–	–	–	–
ต่อเนื่อง	0.031	321.54	3.61	ϕ 9 มม. @ 0.175 ม.
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง				

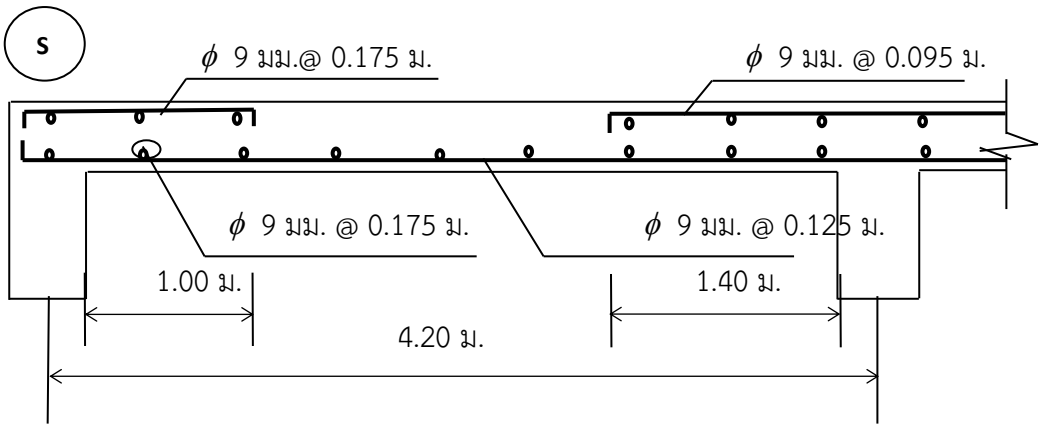
ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือน

$V = 1.15\frac{wL}{2} : 1.15\frac{(1{,}033.11 \times 6.0)}{2}$ = 3,564.22 กก.

$v = \frac{V}{bd} : \frac{3{,}564.22}{(100)(9.5)}$ = 3.75กก./ซม.^{2} < ϕ ใช้ได้

รายละเอียดการเสริมเหล็ก :

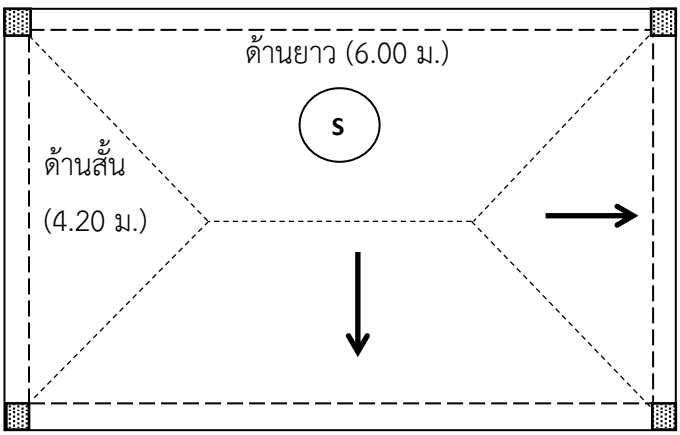




ถ่ายน้ำหนักจากพื้นลงคานรองรับ

น้ำหนักลงคานด้านสั้น : $\frac{wS}{3} = \frac{588(4.20)}{3}$ = 823.2 กก./ม.

น้ำหนักลงคานด้านยาว : $\frac{wS}{3}.\frac{(3-m^2)}{2} = 823.2\frac{(3-0.7^2)}{2}$ = 1,033.11 กก./ม.

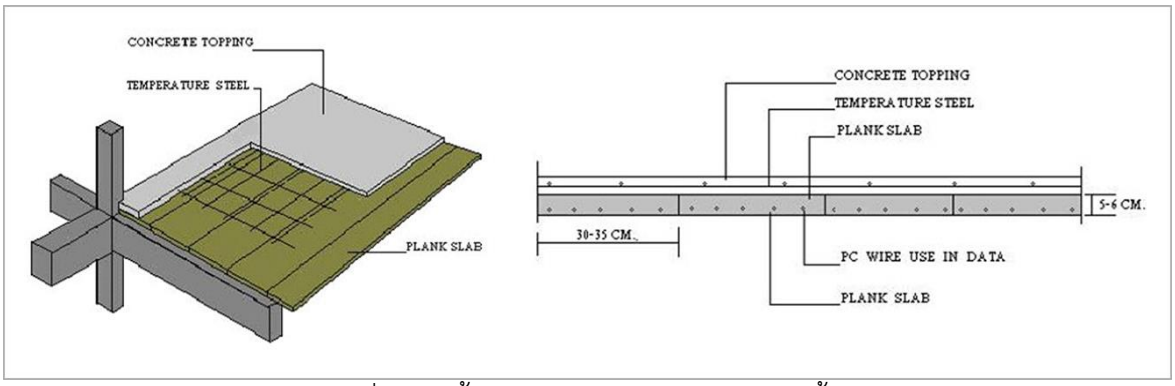


3.4 พื้นสำเร็จรูป (Plank slab)

พื้นสำเร็จรูปมีการหล่อแผ่นพื้นคอนกรีตจากโรงงานผลิตนำมาติดตั้งกับคานหลักรองรับพื้นเพียงสองด้าน พร้อมเสริมเหล็กกันร้าวและเทคอนกรีตทับหน้า เป็นแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงที่มีรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเหมือนแผ่นกระดาน โดยทั่วไป มีความกว้างประมาณ 35 เซนติเมตร ความหนาประมาณ 5 เซนติเมตร และมีความยาวหลายขนาด โดยสามารถเลือกใช้ได้ภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่ออกแบบไว้ตามความเหมาะสม ปัจจุบันนิยมใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูปกับงานอาคารทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บ้านพักอาศัย เพราะทำงานได้สะดวกรวดเร็ว โดยนำแผ่นพื้นมาวางชิดกันแล้วเชื่อมประสานแผ่นพื้นให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยคอนกรีตทับหน้า (Concrete topping) หนาประมาณ 5.0–6.0 เซนติเมตร และเสริมเหล็กต้านทานการแตกร้าวที่เกิดจากการยืดหดตัวของคอนกรีตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยอาจใช้หลักเกณฑ์เดียวกับการคำนวณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกันร้าวของพื้นเสริมเหล็กทางเดียว หรือใช้ตะแกรงลวดเหล็กสำเร็จรูป (Weld wire reinforcement, WWR หรือ Wire mesh) ก็ได้ แผ่นพื้นสำเร็จรูปถูกออกแบบให้วางพาดบนช่วงคานสองข้าง ดังนั้น น้ำหนักบรรทุกจากแผ่นพื้น ($w = w_{DL} + w_{LL}$) จะถ่ายลงคานรองรับด้านที่แผ่นพื้นวางพาดตั้งฉากกับคานทั้งสองข้างเป็นน้ำหนักแผ่แบบสม่ำเสมอเท่าๆ กัน รูปที่ 3.19 แสดงลักษณะและการวางแผ่นพื้นสำเร็จรูป

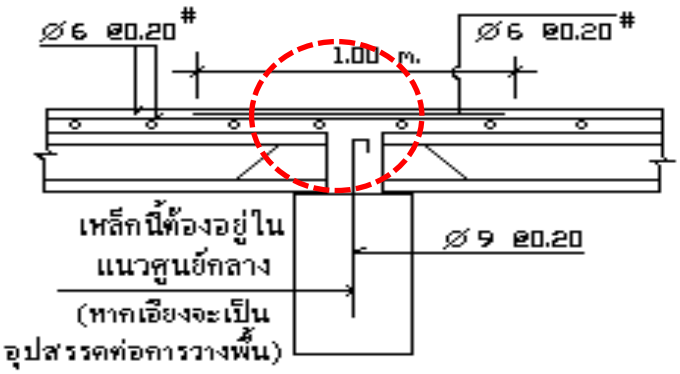
รูปที่ 3.19 พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

ที่มา: กัมปนาท บุญกัน, 2558



รูปที่ 3.20 พื้นสำเร็จรูปและการประกอบติดตั้ง

ที่มา: http://www.poundconcrete.co.th



รูปที่ 3.21 การประกอบติดตั้งพื้นสำเร็จรูป

ที่มา: http://www.Raungrut.com และ กัมปนาท บุญกัน ปรับปรุง, 2559

ข้อดีของแผ่นพื้นสำเร็จท้องเรียบ คือเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตอัดแรงโดยใช้เครื่องมือที่ทันสมัย และมีวิศวกรที่ชำนาญงานคอยควบคุมดูแลทุกกระบวนการผลิต ท้องพื้นจะเรียบเนียน เพียงยาปูนที่แนวรอยต่อแล้วขัดร่องเพื่อความสวยงามและทาสีทับได้ทันที โดยไม่ต้องฉาบปูน และท้องที่เรียบนั้นมีความสวยงามอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องมีฝ้า ประหยัดเวลาและค่าก่อสร้าง มีหูเหล็ก (Stirrups) ยื่นออกมาจากแผ่นพื้นเพื่อยึดกับคอนกรีตทับหน้า ทำให้คอนกรีตทับหน้ากับตัวพื้นยึดแน่นเป็นแผ่นเดียวกัน ความหนาของแผ่นพื้นรวมคอนกรีตทับหน้าน้อยกว่าระบบอื่นๆ ดังใน ตารางที่ 3.3 ทำให้ลดความสูงของตัวอาคารลงได้ การติดพื้นที่และการออกแบบพื้นสำเร็จรูปในเบื้องต้นมีดังนี้

1) วิธีคิดพื้นที่

พื้นที่ (ตร.ม.) = 0.35 x ความยาว (ม.) x จำนวน (แผ่น)

เช่น แผ่นยาว = 4.00 ม. จำนวน 100 แผ่น = 0.35 x 4.00 x100 = 140 ตรม.

2) การออกแบบพื้นสำเร็จรูป

กำหนดความหนาคอนกรีตทับหน้า (topping) หนาประมาณ 4-5 ซม.

กำหนดความสามารถรับน้ำหนักจรของแผ่นพื้นสำเร็จรูป

กำหนดเหล็กเสริมกันร้าว จาก $A_s' = 0.0025\,bt$ ซม.^{2}

โดยทั่วไปใช้ Ø6 มม. @ 0.20 ม. หรือแปลงเป็น (ตารางที่ 3.2)

ตะแกรงลวดสำเร็จรูป Ø 4 มม. @ 0.20 ม. (Wire mesh)

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลจำเพาะของระบบแผ่นพื้นสำเร็จรูปท้องเรียบ

แผ่นพื้นกว้าง 35 ซม. หนา 5 ซม. คอนกรีตทับหน้า 4 ซม.								
จำนวนเส้นลวด (PC.wire)	**ช่วงพาดแผ่นพื้น (ม.) /ความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกจรปลอดภัย (กก./ตร.ม.)**							
	2.60	**2.80**	**3.00**	**3.20**	**3.40**	**3.60**	**3.80**	**4.00**
4 Ø 4 มม.	500	419	352	288	239	-	-	-
5 Ø 4 มม.	602	506	429	365	312	267	217	-
6 Ø 4 มม.	735	594	506	433	372	321	278	241
7 Ø 4 มม.	931	721	583	501	433	375	327	285
แผ่นพื้นกว้าง 35 ซม. หนา 5 ซม. คอนกรีตทับหน้า 5 ซม.								
จำนวนเส้นลวด (PC.wire)	**ช่วงพาดแผ่นพื้น (ม.) /ความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกจรปลอดภัย (กก./ตร.ม.)**							
	2.80	**3.00**	**3.20**	**3.40**	**3.60**	**3.80**	**4.00**	**4.20**
5 Ø 4 มม.	620	532	464	400	350	300	260	-
6 Ø 4 มม.	753	649	563	492	431	400	318	274
7 Ø 4 มม.	814	702	610	533	469	414	330	293
แผ่นพื้นกว้าง 35 ซม. หนา 5 ซม. คอนกรีตทับหน้า 6 ซม.								
จำนวนเส้นลวด (PC.wire)	**ช่วงพาดแผ่นพื้น (ม.) /ความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกจรปลอดภัย (กก./ตร.ม.)**							
	3.00	**3.20**	**3.40**	**3.60**	**3.80**	**4.00**	**4.20**	**4.40**
6 Ø 4 มม.	758	665	587	522	466	374	367	-
7 Ø 4 มม.	853	748	661	588	526	458	386	349
8 Ø 4 มม.	946	830	734	653	584	482	435	394

ที่มา: เอกสาร บริษัท DCON. 2550

หมายเหตุ : 1. ช่วงพาด หมายถึงระยะวัดจากขอบในถึงขอบในของคาน (clear span)

2. ความยาวแผ่นพื้นสุทธิต้องเพื่อระยะวางบนขอบคานไม่น้อยกว่าข้างละ 5-10 ซม.

ตารางที่ 3.4 การแปลงตะแกรงเหล็กเส้นไปเป็นตะแกรงลวดเหล็ก (wire mesh)

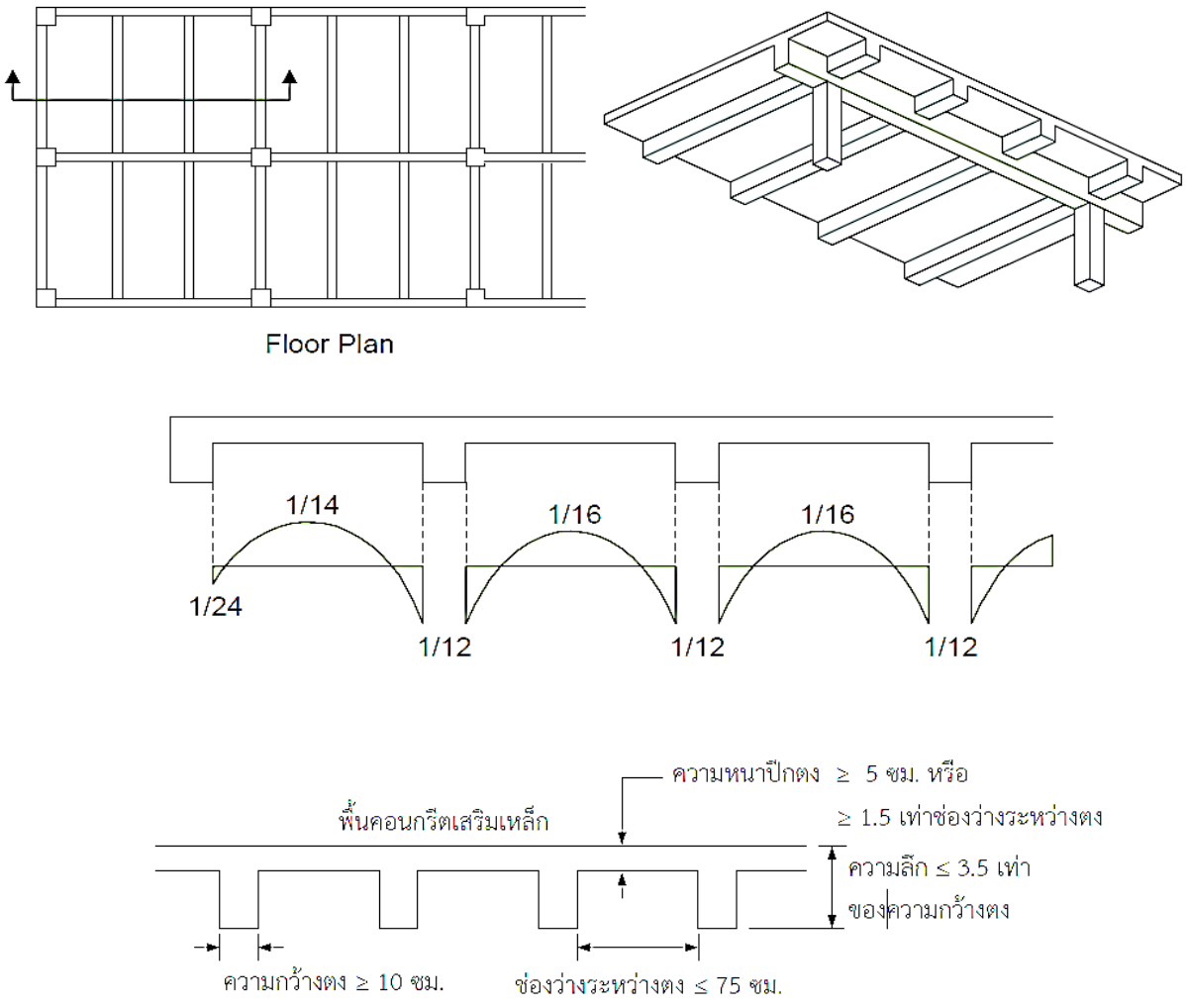
ตะแกรงเหล็กเส้นกลม (*fs* = 1,200 ksc)		**ตะแกรงลวดเหล็ก (*fs* = 2,750 ksc)**	
ขนาดตะแกรงเหล็กเส้น	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม./ม.)	ขนาดตะแกรงเหล็กเส้น	พื้นที่หน้าตัด (ตร.มม./ม.)
Ø 6 มม. @ 0.25 #	113	Ø 4.0 มม. @ 0.25 #	50
Ø 6 มม. @ 0.25 #	141	Ø 4.0 มม. @ 0.20 #	63
Ø 6 มม. @ 0.25 #	189	Ø 4.0 มม. @ 0.15 #	84
		Ø 4.6 มม. @ 0.20 #	83
Ø 6 มม. @ 0.25 #	283	Ø 5.0 มม. @ 0.15 #	131
		Ø 5.6 มม. @ 0.20 #	123
Ø 9 มม. @ 0.35 #	182	Ø 4.0 มม. @ 0.15 #	84
		Ø 4.6 มม. @ 0.20 #	83
Ø 9 มม. @ 0.30 #	212	Ø 4.3 มม. @ 0.15 #	97
		Ø 5.0 มม. @ 0.20 #	98
Ø 9 มม. @ 0.25 #	255	Ø 4.6 มม. @ 0.15 #	111
		Ø 5.3 มม. @ 0.20 #	110
Ø 9 มม. @ 0.20 #	318	Ø 5.3 มม. @ 0.15 #	147
		Ø 6.0 มม. @ 0.20 #	141
Ø 9 มม. @ 0.15 #	424	Ø 5.0 มม. @ 0.15 #	196
		Ø 6.0 มม. @ 0.20 #	189
Ø 9 มม. @ 0.10 #	636	Ø 6.0 มม. @ 0.10 #	283
Ø 12 มม. @ 0.30 #	377	Ø 4.6 มม. @ 0.10 #	166
		Ø 5.6 มม. @ 0.15 #	164
		Ø 6.5 มม. @ 0.20 #	165
Ø 12 มม. @ 0.25 #	453	Ø 5.1 มม. @ 0.10 #	204
		Ø 6.2 มม. @ 0.15 #	201
		Ø 7.1 มม. @ 0.20 #	198
Ø 12 มม. @ 0.20 #	566	Ø 5.7 มม. @ 0.10 #	255
		Ø 6.9 มม. @ 0.15 #	250
		Ø 8.0 มม. @ 0.20 #	251
Ø 12 มม. @ 0.15 #	754	Ø 6.5 มม. @ 0.10 #	332
		Ø 8.0 มม. @ 0.15 #	335
Ø 12 มม. @ 0.10 #	1131	Ø 8.0 มม. @ 0.10 #	503

ที่มา: เอกสาร บริษัท DCON. 2550

หมายเหตุ: 1. กำลังครากของลวดเหล็ก (fy) = 5,500 ksc แรงดึงใช้งาน (fs) = 2,750 ksc ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของลวด

3.5 พื้นระบบตง (Ribbed Slab)

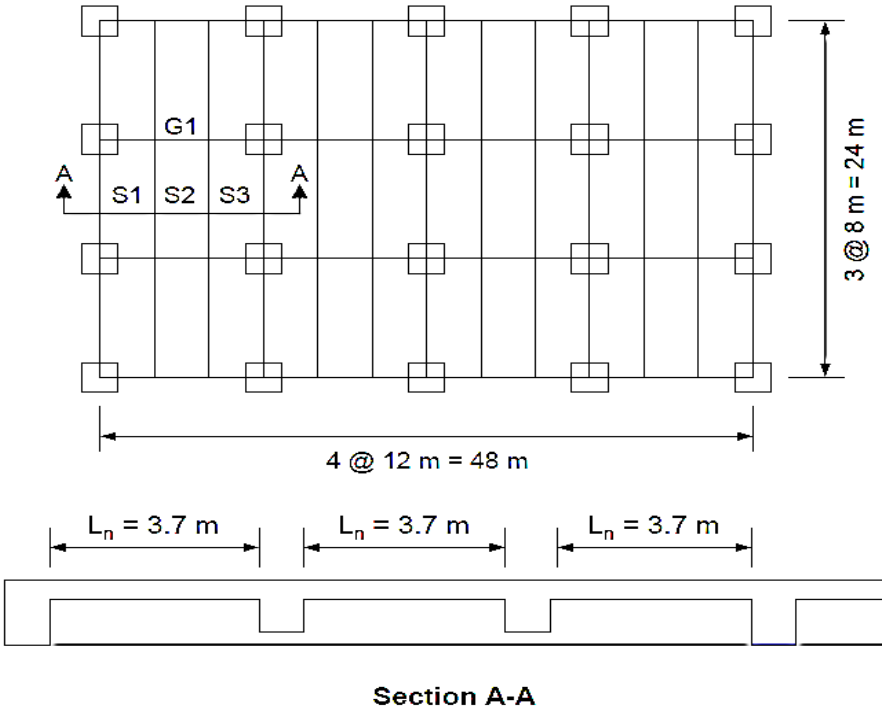
ความหนาของแผ่นพื้นโดยทั่วไปจะไม่เกิน 15 ซม. แต่ถ้าต้องรับน้ำหนักมากๆเช่น 300 ก.ก./ม.^{2} ขึ้นไปหรือมีช่วงยาวมากกว่า 4 เมตรจนแผ่นพื้นต้องมีความหนาเกิน 15 ซม. ก็ควรหันมาใช้พื้นระบบตงแทน เพราะจะช่วยประหยัดคอนกรีตและเหล็กเสริมได้มากกว่าพื้นตัน แต่จะสิ้นเปลืองแบบหล่อคอนกรีตมากกว่า แผ่นพื้นระบบตงคือแผ่นพื้นที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับตงหรือคานซอย โดยมีระยะห่างระหว่างตงสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 3.22 แผ่นพื้นระบบนี้จะมีลักษณะคล้ายคานรูปตัวทีแต่มีขนาดเล็กกว่า ว.ส.ท. และ ACI ได้กำหนดสัดส่วนของแผ่นพื้นระบบตงดังแสดงในรูปที่ 3.22 เหล็กเสริมที่ตั้งฉากกับตงจะต้องมีปริมาณเพียงพอในการรับโมเมนต์ดัดจากระบบพื้นทางเดียวแบบต่อเนื่อง แต่ต้องไม่น้อยกว่าปริมาณเหล็กเสริมกันร้าว



รูปที่ 3.22 ก)-ข) ตัวอย่างพื้นระบบตง

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

ตัวอย่างที่ 3.5 จงหาออกแบบพื้นระบบตง พื้นทางเดียวสำหรับน้ำหนักจร 500 ก.ก./ม^2 กำหนดหน่วยแรงที่ยอม ให้ fc = 210 ก.ก./ซม.^{2} fy = 2,400 ก.ก./ซม.



Section A-A

วิธีทำ เนื่องจากน้ำหนักจรที่เกิดขึ้นมีค่าไม่เกินสามเท่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่ จึงอาจใช้การวิเคราะห์โดยประมาณได้ (มงคล จิรวัชรเดช, 2549)

1. ความหนาน้อยที่สุด สำหรับพื้นต่อเนื่องด้านเดียวและสองด้าน ค่าความหนาน้อยที่สุดจากตาราง 6.1 คือ L/24 และ L/28 ซึ่งเป็นค่าสำหรับเหล็กเสริม fy = 4,000 ก.ก./ซม.2 เมื่อนำมาใช้กับเหล็ก กลมผิวเรียบ fy = 2,400 ก.ก./ซม.^{2} จึงต้องคูณด้วยค่าปรับแก้คือ 0.4 + 2400/7000 = 0.74

ซม. (สำหรับS1)

$$\text{min h} = \frac{L}{24}\,0.74 = \frac{400x0.74}{24} = 12.3 \text{ ซม.} \qquad \text{(สำหรับ S1)}$$

$$\text{min h} = \frac{L}{28}\,0.74 = \frac{400x0.74}{28} = 10.6 \text{ ซม.} \qquad \text{(สำหรับ S2 และ S3)}$$

เพราะฉะนั้นใช้ความหนา h = 13 ซม. น้ำหนัก = 0.13x2400 = 312 ก.ก./ซม.^{2}

2. เหล็กเสริมรับโมเมนต์ลบ

สมมุติให้หน้าตัดคานรองรับพื้นกว้าง 30 ซม. คำนวณน้ำหนักบรรทุก ประลัยโดยพิจารณาแผ่นพื้นกว้าง 1 เมตร

น้ำหนักบรรทุกคงที่ wD = 312(1.0) = 312 ก.ก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจร wL = 500(1.0) = 500 ก.ก./ม.

น้ำหนักบรรทุกประลัย wu = 1.4(312) + 1.7(500) = 1286.8 ก.ก./ม.

ช่องว่างระหว่างจุดรองรับ = 4 - 0.3 = 3.7 ม.

โมเมนต์ลบในช่วงริมสำหรับคานต่อเนื่องมากกว่า 2 ช่วง

โมเมนต์ลบในช่วงริมสำหรับคานต่อเนื่องมากกว่า 2 ช่วง

Min U $= \frac{1}{10}(1286.8 \times 3.7^2) = 1762$ กก.-ม.

ปริมาณเหล็กเสริมมากที่สุด (ตาราง ก.3) $\rho_{max} = 0.341$

ความลึกประสิทธิผลใช้เหล็ก RB9 ระยะหุ้ม 2 ซม. จะได้ d = 13 - 0.45 - 2 = 10.55 ซม.

$$R_n = \frac{M_u}{\phi bd^2} = \frac{1762x100}{0.9x100x10.55^2} = 17.6 \text{ กก/ซม}^2$$

ค่าที่ต้องการของ $\rho = \frac{0.85f_c'}{\phi bd^2}\left[1 - \sqrt{1} - \frac{2R_n}{0.85f_c'}\right] = 0.0077 \longrightarrow \rho < \rho_{max}$

ค่าที่ต้องการของ As = ρ b d = 0.0077(100)(10.55) = 8.16 ซม.^{2}

เลือกใช้ RB9@0.07ม. As = 0.928 ซม.^{2}

ปริมาณเหล็กเสริมกันร้าว = 0.0025(100)(13) = 3.25 ซม.^{2} < As

ค่าที่ได้จริงของ ρ = 9.28/(100x10.55) = 0.0088 → $\rho < \rho$ max

3. เหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก

$M_U = \frac{1}{14}(1286.8 \times 3.7^2) = 1258$ กก.-ม.

ของ $R_n = \frac{M_u}{\phi bd^2} = \frac{1286x100}{0.9x100x10.55^2} = 12.6$ กก/ซม^2

ค่าที่ต้องการของ $\rho = \frac{0.85f_c'}{f_y'}\left[1 - \sqrt{1} - \frac{2R_n}{0.85f_c'}\right] = 0.0054 \longrightarrow \rho < \rho_{max}$

ค่าที่ต้องการของ As = ρbd = 0.0054(100)(10.55) = 5.70ซม.^{2}

เลือกใช้ RB9@0.10ม. As = 6.36 ซม.^{2} > เหล็กเสริมกันร้าว As = 3.25 ซม.^{2}

เปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมที่ใช้จริงของ ρ = 6.36/(100x10.55) = 0.0060 → $\rho < \rho_{max}$

4. กำลังรับแรงเฉือน

$$\text{Max } V_u = 1.15\frac{W_u\ L_n}{2} = 1.15\frac{1286.8\ x\ 3.7}{2} = 2{,}738 \text{ ก.ก.}$$

กำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดคอนกรีต

$$\emptyset V_c = \emptyset\ x\ V\ 053\sqrt{f_c'}\ bd$$

$$= 0.85\text{x}0.53\ \sqrt{210}\ (100\text{x}11.2) = 7{,}312 \text{ ก.ก.}$$

เนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของกำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต จึงไม่ต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน

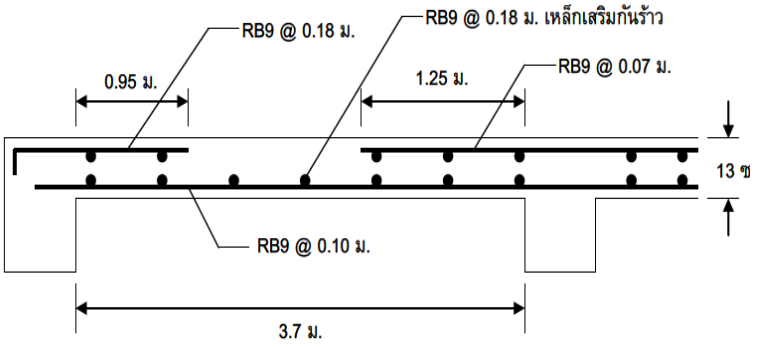
5. เหล็กเสริมกันร้าวในทิศทางขนานกับคานรองรับพื้น

เหล็กผิวเรียบ As = 0.0025 bt = 3.25 ซม.^{2}

เลือกใช้ RB9@0.18ม. As=3.53 ซม.^{2}

6. รายละเอียดการเสริมเหล็ก

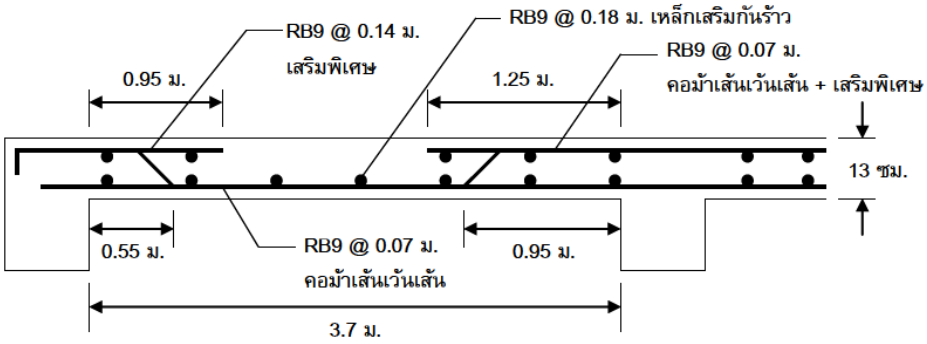
จากผลการคำนวณจะได้ดังในรูปที่ 3.23



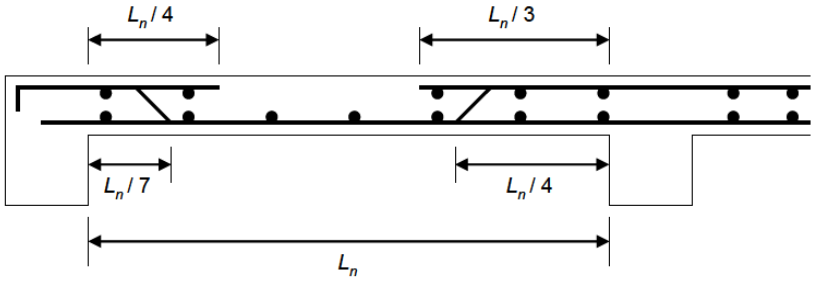
รูปที่ 3.23 แบบรายละเอียดพื้นที่ได้จากการออกแบบ

ซึ่งถ้านำแบบนี้มาทำการก่อสร้างจะทำให้เกิดความยุ่งยาก เนื่องจากไม่มีที่รองรับเหล็กบน บริเวณคานและระยะห่างเหล็กเสริมมีความหลากหลายเกินไป ในทางปฏิบัติของการออกแบบเหล็ก เสริมทางเดียวจึงมักใช้ค่าโมเมนต์หรือเหล็กเสริมมากที่สุด (RB9 @ 0.07 ม.) เท่ากันหมด โดยจะใช้ เหล็กบนเสริมพิเศษและเหล็กคอม้าวางสลับกันเส้นเว้นเส้น เพื่อใช้เหล็กคอม้าช่วยยึดเหล็กบนและ เป็นการประหยัดเหล็กเสริมไปในตัวอีกด้วย

ดังแสดงในรูปที่ 3.24 สำหรับระยะหยุดเหล็กเสริมพิเศษและคอม้าในพื้นจะใช้ระยะหยุดเหล็กมาตรฐาน สามารถนำมาเขียนใหม่ให้เหมาะสมกับพื้นก็จะได้ดังในรูปที่ 3.24-3.25



รูปที่ 3.24 แบบรายละเอียดพื้นที่ใช้ในทางปฏิบัติ

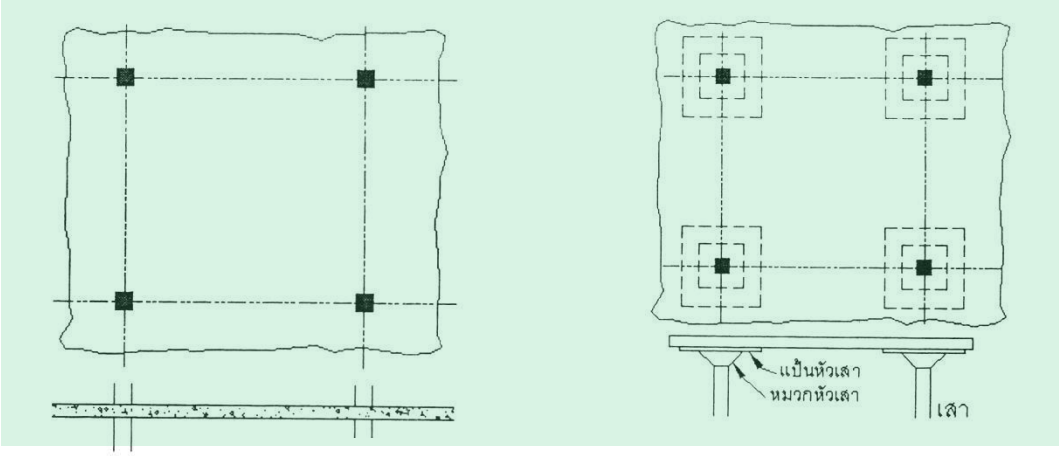


รูปที่ 3.25 ระยะหยุดเหล็กมาตรฐานในพื้นทางเดียว

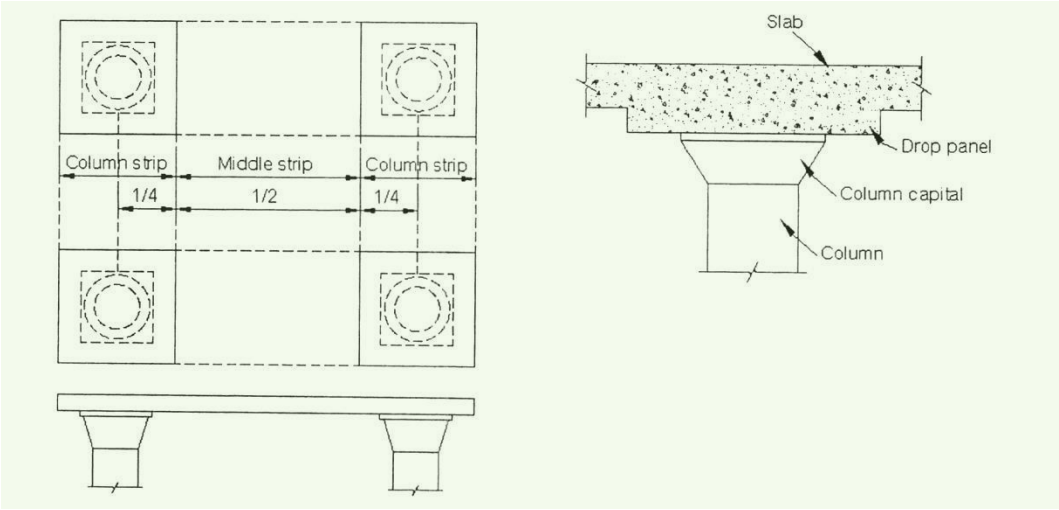
3.6 พื้นไร้คาน (Flat Slab)

1) ลักษณะทั่วไปแผ่นพื้นไร้คาน

แผ่นพื้นไร้คานเป็นระบบแผ่นพื้นคอนกรีตที่เสริมเหล็กสองทิศทางหรืออาจจะมากกว่า โดยทั่วไปจะไม่มีคานรองรับสำหรับการถ่ายน้ำหนัก คานรองรับอาจมีได้ที่ด้านนอกสุดของระบบ โครงสร้างนี้ หรือโดยรอบช่องเปิดของแผ่นพื้น ระบบแผ่นพื้นไร้คานนี้จะมีเสารองรับที่มุมเท่านั้น ดังนั้นการถ่ายเทน้ำหนักจากแผ่นพื้นจึงเป็นการถ่ายเทลงบนหัวเสาโดยตรง แผ่นพื้นไร้คานมีทั้งแบบแผ่นเรียบ (Flat Plates) ซึ่งความหนาของแผ่นพื้นเท่ากันตลอด ดังแสดงในรูปที่ 3.26 (ก) อีกแบบหนึ่งคือพื้นเรียบ (Flat Slabs) ดังแสดงในรูปที่ 3.26 (ข) ซึ่งที่ปลายบน ของเสาจะมีหมวกหัวเสา (Column Capital) และบางครั้งก็มีแป้นหัวเสา (Drop Panel) ด้วยส่วนที่ ท้องพื้นของแผ่นพื้นไร้คานอาจเว้าเข้าไปคล้ายรูปกระทะคว่ำ โดยที่ความหนาของแผ่นพื้นใน บริเวณนี้ต้องมากกว่าสองในสามของความหนาของแผ่นพื้นทั่วไปแต่ต้องไม่บางกว่า 10 ซม.



(ก) แผ่นพื้นไร้คานมีทั้งแบบแผ่นเรียบ



(ข) มิติของระบบแผ่นพื้นไร้คาน

รูปที่ 3.26 (ก)-(ข) ระบบพื้นฐานของแผ่นพื้นไร้คาน

ที่มา : สาโรจน์ ดำรงศิลป์, 2558

ส่วนต่าง ๆ ของระบบแผ่นพื้นไร้คาน ดังแสดงในรูปที่ 3.26 ได้แก่ การออกแบบและสร้างให้เป็นโครงสร้างต่อไปนี้

1.1) หัวเสา (Column Capital) หมายถึงส่วนปลายบนของเสาที่ขยายออกโดย และสร้างให้เป็นเนื้อเดียวกันกับตัวเสาและแผ่นพื้นไร้คาน ส่วนของหัวเสาที่อยู่นอกขอบกรวยกลมซึ่งมีมุมก้นกรวยเท่ากับ 90 องศา ไม่ถือว่าเป็นส่วนโครงสร้าง สำหรับแผ่นพื้นไว้ ตานที่ไม่มีหัวเสาให้ถือว่าขอบของเสาเป็นเสมือนขอบของหัวเสา

1.2) แป้นหัวเสา (Drop Panel) หมายถึงส่วนหนึ่งของแผ่นพื้นไร้คานที่อยู่เหนือเสา เรา หรือแป้นหูข้างโดยรอบ โดยมีความหนามากกว่าแผ่นพื้นส่วนอื่น

1.3) แถบของช่วงพื้น (Panel Strips) ในการคำนวณ ออกแบบให้ถือว่าแผ่นพื้นไร้ ตานช่วงหนึ่งๆ ประกอบด้วยแถบต่างๆ ในแต่ละทิศทางดังนี้

1.4) ข้อกำหนดตามมาตรฐาน วสท. พื้นไร้คานแผ่นพื้นไร้คานเป็นรูปแบบการก่อสร้างที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน มีทั้งที่เป็น วินิต (2545 : 175) ได้เสนอแนะว่า การคำนวณออกแบบแผ่นพื้นไร้คาน โดยวิธีใช้สูตร สำเร็จ ต้องเป็นไปตามเงื่อนไข และ ดังนี้

1.4.1) แผ่นพื้นไร้คานนี้ จะต้องมีอย่างน้อยสามช่วงติดต่อกันในแต่ละทิศทาง

1.4.2) อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของช่วงต้องไม่เกิน 1.5

1.4.3) ระบบตะแกรงจะต้องประกอบด้วย ช่วงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยประมาณ ความยาวของช่วงที่ติดต่อกันจะต่างกันได้ไม่เกินร้อยละ 33 ของช่วงยาวภายในพิกัดเหล่านี้อาจให้ ตำแหน่งเสาเยื้องกันได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของช่วงในทิศทางที่เยื้องนั้น เมื่อนับจากแกนใดแกนหนึ่ง ระหว่างเส้นแบ่งศูนย์กลางของเสาที่ติดต่อกัน

1.4.4) โมเมนต์ที่คำนวณได้ อันเนื่องมาจากแรงลม นำมารวมกับโมเมนต์ วิกฤตที่ คำนวณหาโดยวิธีใช้สูตรสำเร็จได้ และให้เฉลี่ยค่าโมเมนต์เนื่องจากแรงดังกล่าวระหว่าง แถบเสา และแถบกลางให้ได้สัดส่วนตามที่กำหนดไว้สำหรับโมเมนต์ลบที่เกิดในแถบทั้งสอง ทั้งนี้ให้ ใช้กับโครงสร้างที่สูงไม่เกิน 40 เมตร และมีความสูงของแต่ละชั้นไม่เกิน 4 เมตรเท่านั้น

1.4.5) สำหรับเสาหรือที่รองรับอย่างอื่นของแผ่นพื้นไร้คาน ให้คำนวณหา ค่าเฉลี่ยสุดของโมเมนต์ I_C ของหน้าตัดคอนกรีตทั้งหมดของเสาที่อยู่เหนือและใต้ของแผ่นพื้น โดยใช้สมการ (3.5) ถ้าไม่มีเสาเหนือแผ่น พื้นให้ใช้ค่า I_C ของเสาที่อยู่ใต้พื้นซึ่งเท่ากับ (2 - 2.3 $\frac{h}{H}$) เท่าของที่ให้ไว้ในสูตรข้างล่าง และจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 42,000 ซม^4

$$I_C = \frac{0.083t^3H}{0.5+(W_D/W_L)} \qquad (3.5)$$

1.4.6) สำหรับค่า t ไม่จำเป็นต้องคิดให้มากกว่า t_1 หรือ t_2 ซึ่งหาจากข้อ (4) และค่า H คือความสูงเฉลี่ยของชั้นของเสาซึ่งอยู่เหนือและใต้แผ่นพื้น และ W, ให้ใช้ค่าสูงกว่าของช่วงที่ต้องพิจารณาสองช่วงติดต่อกัน

1.4.7) เสาที่มีขนาดเล็กกว่าที่คำนวณได้จากสมการที่ (3.6) และ (3.7) ก็อาจนำมาใช้ได้หาก ว่าเพิ่มสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ตัดที่ให้ไว้ตามอัตราส่วนดังนี้

สำหรับโมเมนต์ลบ

$$R_n = 1+\frac{(1-K)^2}{2.2+(1+1.4W_D/W_L)} \qquad (3.6)$$

สำหรับโมเมนต์บวก

$$R_p = 1 + \frac{(1-K)^2}{1.2+(1+0.10W_D/W_L)} \qquad (3.7)$$

จากสมการข้าต้นจะต้องเพิ่มความหนาของพื้นโดยคูณค่า W' ด้วย R_n และ R_p ที่ได้จากสมการข้างต้นหมายเหตุ แรงของน้ำหนักคงที่ และน้ำหนักจรของช่วงพื้นที่ติดต่อกับคานขอบ หรือผนังอาจจะแบ่งออกระหว่างคานหรือผนังกับครึ่งหนึ่งของแถบเสาที่ขนานกัน ตามสัดส่วนของสติฟเนสของแต่ละองค์อาคาร โมเมนนต์ สำหรับพื้นจะต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้

1.4.7) เสาที่รองรับแผ่นพื้นไร้คาน ซึ่งคำนวณออกแบบจากสูตรสำเร็จนั้น จะต้องโมเมนต์ดัดซึ่งเกิดจากช่วงพื้นที่รับน้ำหนักไม่เท่านั้น หรือที่มีเสาห่างไม่เท่ากัน ค่า โมเมนต์ตัดดังกล่าวจะต้องเป็นค่าสูงสุดที่คำนวณหาค่าได้จากความสัมพันธ์ของ สมการที่ (3.8)

$$\frac{W_{L1}/W_D L_2}{f} \qquad (3.8)$$

โดย L_1 และ L_2 เป็นความยาวของช่วงที่ติดต่อกัน (สำหรับเสาต้นนอกสุดให้ถือว่า L_2 = 0) และ f มีค่าเท่ากับ 30 สำหรับเสาต้นนอก และ 440 สำหรับเสาภายในให้แบ่งค่าโมเมนต์นี้ ระหว่างเสาที่อยู่เหนือและอยู่ใต้พื้น หรือแนวหลังค่าที่กำลังพิจารณาตามสัดส่วนโดยตรงกับค่าสติฟเนส ของแต่ละเสาหรือให้ใช้โดยไม่มีการลดค่าโมเมนต์ที่หน้าตัดวิกฤตของเสาเหล่านั้นต่อไปอีก

2) การหาค่า “C” (ขนาดประสิทธิผลของที่รองรับ)

2.1) สำหรับเสาซึ่งมีหัวเสา ค่า หมายถึงเส้นผ่าศูนย์กลางของรูปกรวยกลม โดยวัดที่ส่วนล่างสุดของแผ่นพื้นหรือแป้นหัวเสา

2.2) สำหรับเสาที่ไม่มีหัวเสาคอนกรีต ให้ถือระยะ 5 คือระยะความกว้างของ เสาในทิศทางที่คำนวณ

2.3) สำหรับเสาต้นนอกสุด อาจใช้แป้นหูช้างแทนหัวเสาได้ แต่ต้องสามารถ ถ่ายแรงดัดลบและแรงเฉือนในแถบเสาไปยังตัวเสาโดยไม่ทำให้เกิดหน่วยแรงสูงเกินไป สำหรับช่วงใดที่ใช้แป้นหูช้างแทนหัวเสาให้คิดค่า c เป็นสองเท่าของระยะจากกึ่งกลางของเสาไปยังจุด ซึ่งแป้น หูช้างมีความหนา 3.75 ซม. แต่ทั้งนี้ต้องไม่เกินความหนาของเสาบวกสองเท่าของความลึกของ แป้นหูช้าง

2.4) เมื่อใช้คานคอนกรีตเสริมเหล็กต่อยึดเข้าไปในเสาโดยไม่มีหัวเสาหรือ แป้นหูช้าง ในด้านเดียวกับคานนั้น ในการหาโมเมนต์ดัดสำหรับแถบซึ่งขนานกับคานให้คิดค่า e ในช่วงพิจารณาเท่ากับความกว้างของเสาบวกด้วยสองเท่าของส่วนเกินของคานที่อยู่เหนือหรือได้ แผ่นพื้น หรือแป้นหัวเสา

2.5) ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของ c ของที่รองรับที่ปลายทั้งสองข้างของแถบเสา ในการ หาความหนาของแผ่นพื้น t_1 หรือ t_2 ตามที่ระบุไว้ในข้อ (ง)

3) ความหนาของแผ่นพื้น

3.1) ถ้า L คือด้านยาวที่สุดของช่วงพื้น ความหนาของแผ่นพื้นจะต้องมีค่า อย่างน้อยที่สุดเท่ากับ ดังแสดงในสมการที่ (3.9)

$\frac{L}{36}$ สำหรับแผ่นพื้นที่ไม่มีแป้นหัวเสา ตรงตามข้อ (จ.) หรือกรณีที่ไม่ใช้ เมมใดมุมหนึ่งของช่วงพื้น แต่อย่างไรก็ตาม ความหนาแผ่นพื้นต้องไม่น้อยกว่า 12 ซม.หรือ หรือ t_1ซึ่งกำหนดไว้ในสมการที่ (3.9)

$\frac{L}{40}$ สำหรับแผ่นพื้นที่มีแป้นหัวเสาตรงตามข้อ (จ) ณ ที่รองรับทุกต้น แต่ตามอย่างไรก็ตาม ความหนาของแผ่นพื้นต้องไม่น้อยกว่า 10 ซม. หรือ t_2 ซึ่งกำหนดไว้ใน สมการที่ (3.9)

3.2) ความหนา t_1 สำหรับแผ่นพื้นที่ไม่มีแป้นหัวเสา หรือความหนาระหว่างบนแผ่นพื้นถึงผิวล่างของแป้นหัวเสา (ถ้ามี) จะต้องมีค่าอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ

$$t_1 = 0.106L\left(1-\frac{2C}{3L}\right)\sqrt{\frac{w'}{\sigma_c/141}}+3.81 \qquad (3.9)$$

3.3) ความหนา t_2 สำหรับแผ่นพื้นที่มีแป้นหัวเสา ณ จุดที่อยู่เลยแป้นหัวเสา ออกไปจะต้องมีค่าอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ

$$t_2 = 0.091L\left(1-\frac{2C}{3L}\right)\sqrt{\frac{w'}{f'_c/141}}+2.54 \qquad (3.10)$$

4) แป้นหัวเสา

4.1) ในการคำนวณหาเนื้อที่เหล็กรับโมเมนต์ลบสำหรับแถบเสา ให้ใช้ทั้งหมด ณ แป้นหัวเสา ไม่เกิน $1.5t_2$

4.2) ขนาดกว้างหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของแป้นหัวเสา จะต้องมีขนาดไม่น้อย กว่า 1 ใน 3 ของความยาวช่วงในทิศทางเดียวกัน

4.3) ในกรณีที่ไม่มีแป้นหัวเสา ณ ผนังซึ่งทำหน้าที่เป็นเสา ความหนาของแผ่นพื้นจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า $\frac{1}{2}(t_1+t_2)$ ทั้งนี้ ค่าที่ใช้ในการคำนวณต้องตรงตามที่ระบุไว้ใน ข้อ 7)

5) สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ดัด

5.1) ผลรวมตามตัวเลขของโมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบในทิศทางแต่ละด้าน ของช่วงพื้นรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้าต้องไม่น้อยกว่า

โมเมนต์ดัด $M_o = 0.09\ WLF\left(1-\frac{2C^2}{3L}\right)$ (3.11)

$F = 1.15-\frac{C}{L}$ ต้องไม่น้อยกว่า 1

5.2) โมเมนต์ดัด ณ หน้าตัดวิกฤตของแถบเสา และแถบกลางต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่า ที่ระบุไว้ นอกจากจะกำหนดเป็นอย่างอื่น

5.3) ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของ C ของที่รองรับที่ปลายทั้งสองข้างของแถบเสา สำหรับหาค่า M_o ในการคำนวณแรงดัดในแถบนั้น และการหาค่าโมเมนต์ดัดในแถบกลางให้หาค่าเฉลี่ยของ M_oซึ่งหาไว้สำหรับครึ่งแถบเสาที่ขนานกันสองแถบในช่วงพื้น

5.4) ไม่ถือว่าโมเมนต์ดัดในแถบกลางซึ่งขนานกบด้านที่ไม่ต่อเนื่องกันเท่ากับโมเมนต์ของช่วงพื้นภายใน

5.5) ในการคำนวณออกแบบอาจให้ค่าโมเมนต์ต่างๆ เปลี่ยนแปลไม่เกินร้อยละ 10 และค่าโมเมนต์จะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้

5.6) ความยาวของเหล็กเสริม เหล็กเสริมต้องมีความยาวไม่น้อยกว่าที่กำหนด

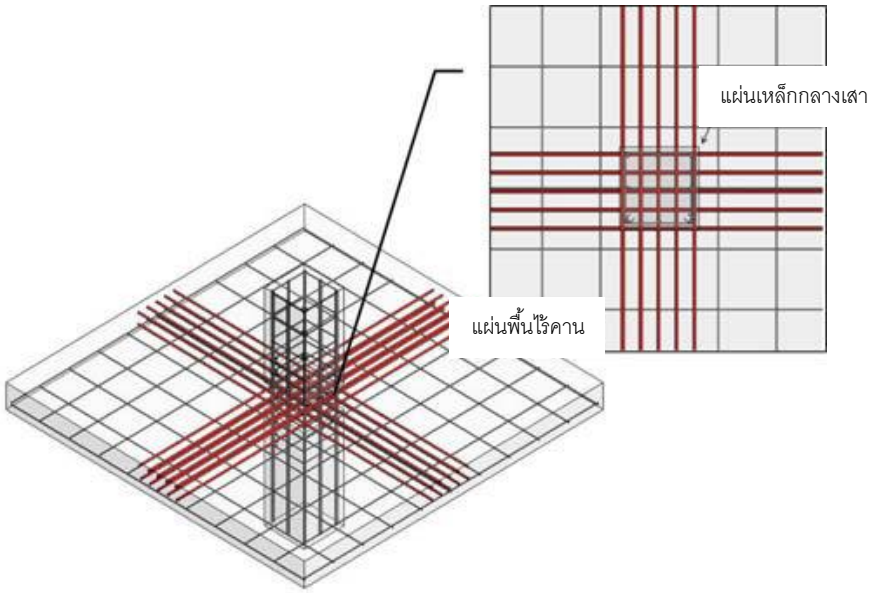
แบบคอนกรีตเสริมเหล็ก และคอนกรีตอัดแรงที่เรียกว่า Post-tension การวิบัติของอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบนี้จะเกิดจากการเฉือนแบบ 2 ทางที่เรียกว่า การเฉือนทะลุ (Punching Shear) ซึ่งวิศวกรโครงสร้างที่ออกแบบอาคารเพื่อต้านแผ่นดินไหวต้องทราบความสำคัญและให้รายละเอียดเหล็กเสริมเพื่อการป้องกัน ในการก่อสร้างประเภทพื้นไร้คาน ซึ่งเป็นที่นิยมมากเนื่องจากสามารถลดความสูงของชั้นอาคารลงได้ พื้นไร้คานเป็นโครงสร้างแผ่นพื้นซึ่งวางตั้งอยู่บนเสาโดยตรง โดยปราศจากคานรองรับพื้น สำหรับจุดอ่อนของระบบโครงสร้างพื้นไร้คาน คือ การวิบัติโดย แรงเฉือนทะลุ (Punching Shear) ซึ่งเป็นการวิบัติที่อาจนำไปสู่การวิบัติแบบต่อเนื่อง แล้วทำให้อาคารทั้งหลังพังถล่มได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.27

รูปที่ 3.27 (ก)-(ข) การวิบัติโดย แรงเฉือนทะลุ (Punching Shear)

ที่มา: www.thaiseismic.com และ https://nees.org)

6) การเสริมเหล็กเพื่อป้องกันการวิบัติแบบต่อเนื่องในแผ่นพื้นไร้คาน

การวิบัติโดยแรงเฉือนทะลุ จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดแผ่นดินไหวที่รุนแรง ทำให้เกิดรอยร้าวเป็นวงรอบเสาที่บริเวณด้านบนของพื้น บ่งบอกว่าพื้นเริ่มเจาะทะลุเสาแล้ว การป้องกันมิให้พื้นเกิดการวิบัติแล้วตกลงไปกระแทกพื้นที่อยู่ชั้นถัดลงไปหรือเรียกว่าการวิบัติแบบต่อเนื่องนั้น ทำได้โดยการวางเหล็กนอนทางด้านล่างของแผ่นพื้นให้ผ่านแกนเสาทั้งสองทิศทางซึ่งทำหน้าที่เป็นเหล็กหิ้ว (รูปที่ 3.28) เพื่อให้เหล็กนอนที่วางทั้งสองทิศทางนี้ทำหน้าที่ดึงพื้นไม่ให้ตกลงไปกระแทกพื้นชั้นล่าง



รูปที่ 3.28 รายละเอียดการเสริมเหล็กล่างผ่านแกนเสาทั้งสองทิศทาง

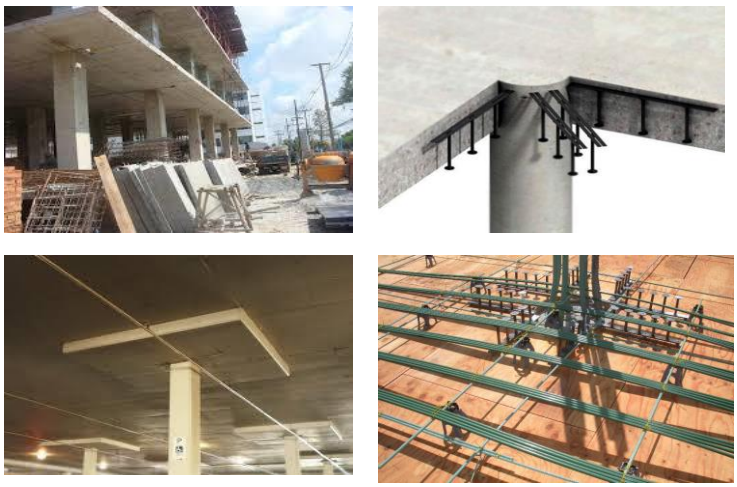
ที่มา: คู่มือวิศวกร และช่างเทคนิค สกว., 2554

7) การเสริมเหล็กปลอกเพื่อป้องกันการวิบัติเฉือนทะลุ

จากที่กล่าวมาข้างต้น แรงเฉือนทะลุเป็นจุดอ่อนที่สำคัญในโครงสร้างแผ่นพื้นไร้คาน ในกรณีที่อยู่ในขั้นตอนการก่อสร้างสามารถเพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนที่หัวเสาได้

8) การเสริมเหล็ก Shear Head

ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการเสริมเหล็กรูปแบบใหม่ๆ เพื่อป้องกันการวิบัติเฉือนทะลุ ตัวอย่างเหล็กเสริมที่พัฒนาขึ้นมารูปแบบหนึ่งคือ Shear Head ซึ่งมีลักษณะการใช้งานคล้ายกับการเสริมกำลังด้วยเหล็กปลอก แต่การติดตั้งถูกออกแบบมาให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้นและมีกำลังต้านทานแรงเฉือนเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 การเสริมเหล็ก Shear Head

ที่มา : คู่มือวิศวกร และช่างเทคนิค สกว., 2554

9) การเสริมแป้นหัวเสาและการทำหมวกเสา

การป้องกันการวิบัติเฉือนทะลุ ดังแสดงในรูปที่ 3.30 สามารถทำได้อีก 2 วิธีคือ

9.1) ทำแป้นหัวเสา (Drop Panel) เป็นการทำให้พื้นหนาขึ้นในบริเวณเสา ดังรูปที่ 3.30 เมื่อพื้นมีความหนามากขึ้น จะทำให้การวิบัติเฉือนทะลุเกิดขึ้นได้ยากหรืออาจไม่เกิดขึ้นเลย แป้นหัวเสาควรมีขนาดกว้างไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของความยาวช่วงเสาในทิศทางนั้นๆ และมีความหนาไม่น้อยกว่าหนึ่งในสี่ของความหนาพื้น ดังแสดงในรูปที่ 3.30 ในการก่อสร้างแป้นหัวเสา จะหล่อคอนกรีตแป้นหัวเสาพร้อมกับพื้น โดยไม่แยกเทคอนกรีตคนละคราวกัน

9.2) การทำหมวกเสา เป็นการขยายขนาดปลายเสาด้านบนให้ใหญ่ขึ้นซึ่งทำให้พื้นไม่สามารถเจาะทะลุผ่านเสาลงมาได้เช่นเดียวกัน

10) การเสริมเหล็กในแถบเสาของพื้นไร้คาน

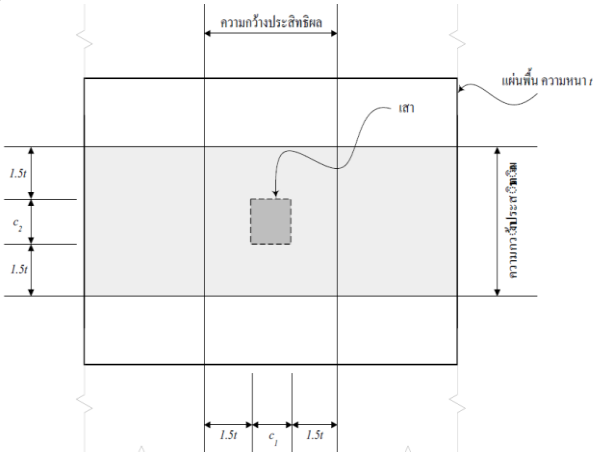
การเสริมเหล็กในพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่พิจารณาว่าเป็นส่วนของโครงต้านแรงดัดรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ มยผ.1301-54 ดังนี้

10.1) ปริมาณเหล็กเสริมที่คำนวณได้สำหรับรับโมเมนต์ดัดในแผ่นพื้นที่ถ่ายให้จุดรองรับ (Ms) หรือเสาจะต้องวางอยู่ในแถบเสาทั้งหมด

10.2) ปริมาณเหล็กเสริมสำหรับต้านทานสัดส่วนโมเมนต์ $\gamma_f M_s$ จะต้องอยู่ภายในความกว้างประสิทธิผล (โดยความกว้างประสิทธิผลหมายถึง ความกว้างเสาบวก 3 เท่าของความหนาพื้น ดังรูปที่ 3.30

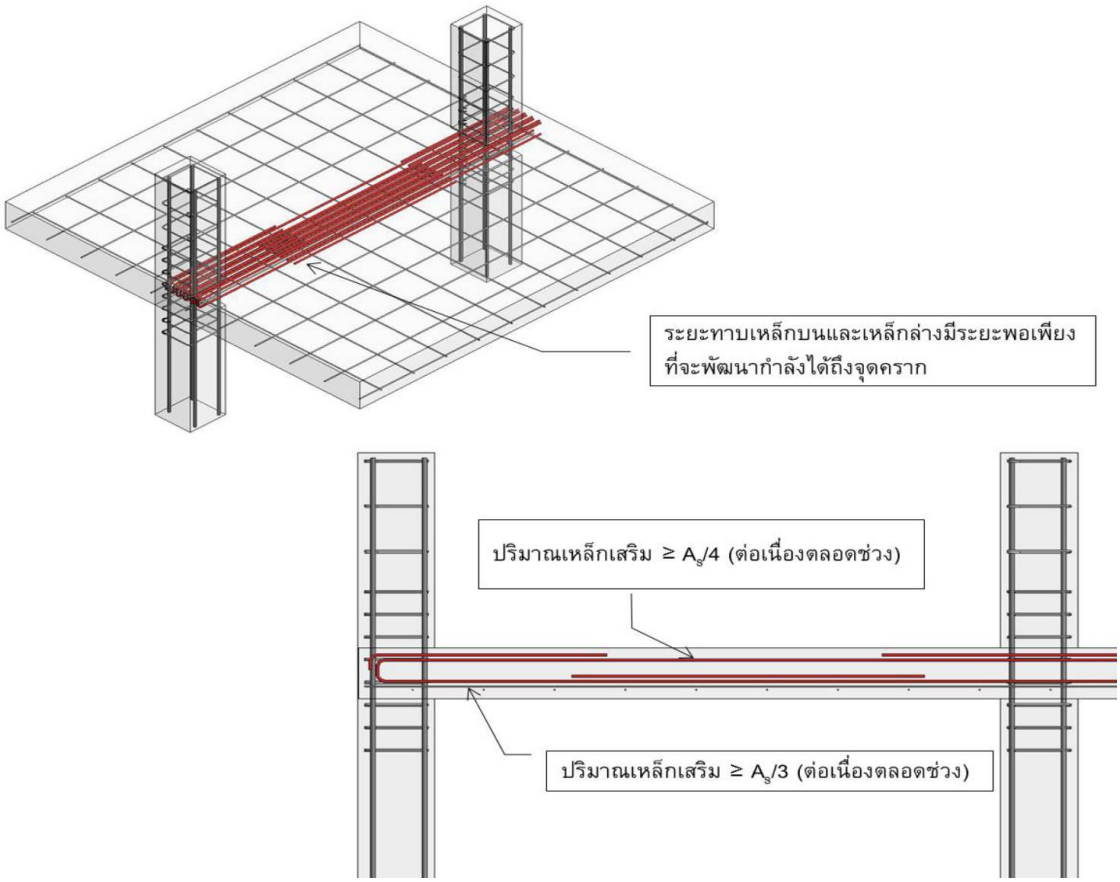
10.3) ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมในแถบเสาบริเวณจุดรองรับจะต้องวางอยู่ภายในความกว้างประสิทธิผลของพื้น

10.4) ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า 1 ใน 4 ของเหล็กเสริมบนในแถบเสาบริเวณจุดรองรับจะต้องต่อเนื่องตลอดความยาวช่วง และจะต้องมีเหล็กเสริมบนไม่น้อยกว่า 2 เส้นวางผ่านแนวเสาในแต่ละทิศทาง เหล็กเสริมล่างในแถบเสาที่มีความต่อเนื่องจะต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของเหล็กเสริมบนในแถบเสาบริเวณจุดรองรับ ดังรูปที่ 3.30 แสดงการหาความกว้างประสิทธิผลเสา

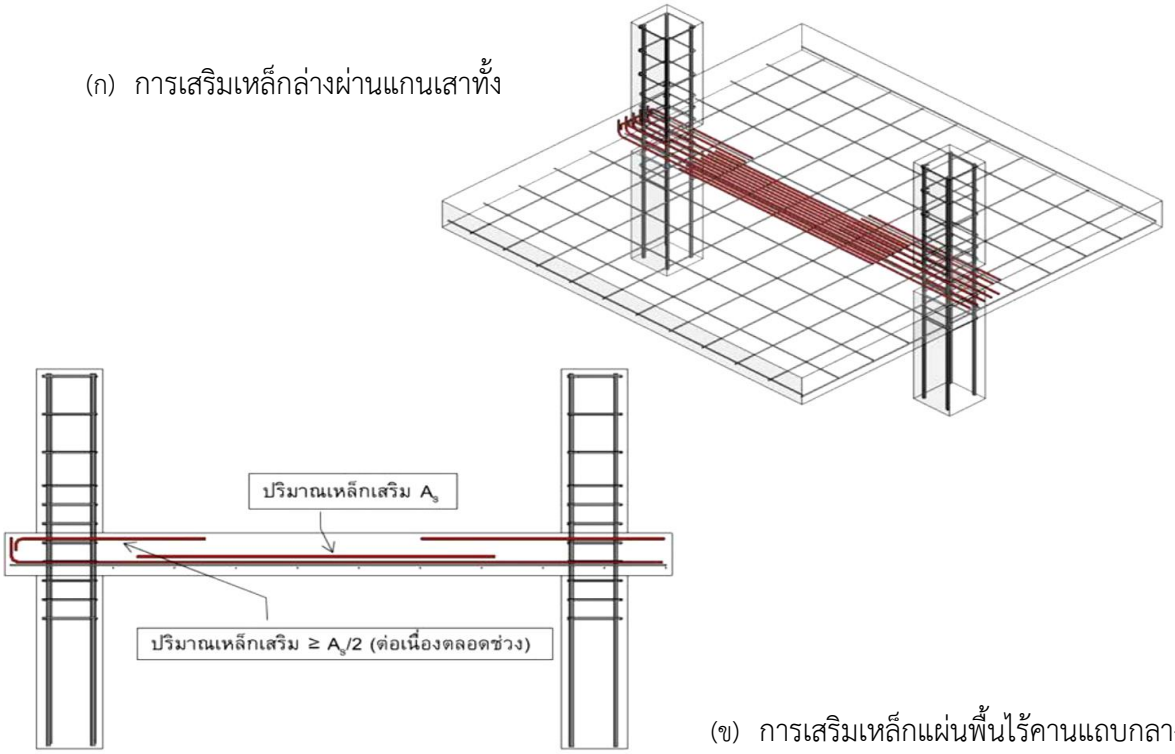


รูปที่ 3.30 การหาความกว้างประสิทธิผลเสา

ที่มา: คู่มือวิศวกร และช่างเทคนิค สกว., 2554



(ก) การเสริมเหล็กล่างผ่านแกนเสาทั้ง



(ข) การเสริมเหล็กแผ่นพื้นไร้คานแถบกลาง

รูปที่ 3.31 (ก)-(ข) รายละเอียดการเสริมเหล็กแผ่นพื้นไร้คาน

ที่มา: คู่มือวิศวกร และช่างเทคนิค สกว., 2554

11) การเสริมเหล็กในแถบกลางของพื้นไร้คาน

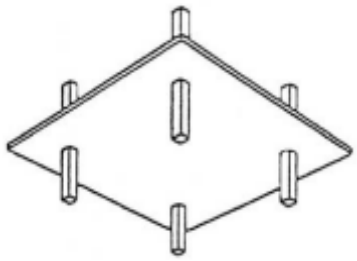
การเสริมเหล็กในแถบกลางของพื้นไร้คานสองทางคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่พิจารณาว่าเป็นส่วนของโครงสร้างต้านแรงดัดสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ดังรูปที่ 3.31 (ข) ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ มยผ.1301-54 ดังนี้

11.1) ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมล่างที่กึ่งกลางช่วงจะต้องต่อเนื่องและสามารถพัฒนาให้เกิดกำลังครากที่ขอบของจุดรองรับได้

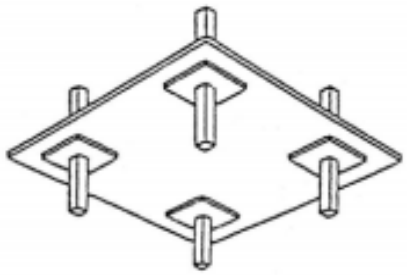
11.2) ที่ขอบของแผ่นพื้นที่ไม่ต่อเนื่อง เหล็กเสริมบนและล่างที่จุดจะต้องสามารถพัฒนากำลังครากที่ขอบของจุดรองรับได้

12) ระบบพื้นไร้คาน Post Tension Slab

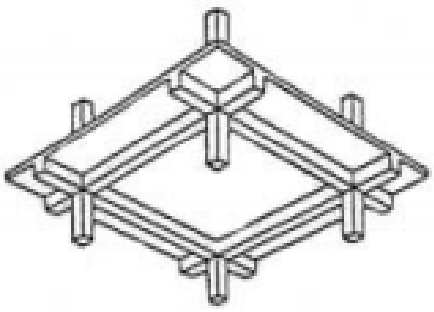
ระบบพื้นไร้คาน Post Tension Slab เป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กระบบพื้นไร้คาน ที่มีระบบการติดตั้ง ทำงานได้อย่างรวดเร็ว โดยต้องมีหน่วยงานการออกแบบ วิศวกร ที่มีประสบการณ์ ความรู้ความสามารถ ในการสร้างเป็นพิเศษ Post tensioned Slab เป็นระบบแผ่นพื้นกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นระบบที่ประหยัด และก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว ดังจะเห็นได้จากอาคารสำนักงาน ที่จอดรถ โรงแรม ศูนย์การค้าต่าง ๆ ที่ มักจะมีช่วงเสายาว ลักษณะของแผ่นพื้นระบบ Post tension



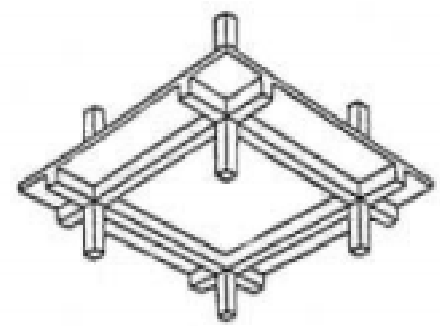
(ก) **Flat Slab** เป็นแผ่นพื้นชนิดนี้ที่เหมาะกับงานโครงสร้างทุกชนิด ที่มีระยะห่างของเสาในแต่ละทิศทางใกล้เคียงกัน นิยมใช้กับ Apartment , Office , Building , โรงพยาบาล โรงแรม เหมาะสมที่สุด ในช่วงระยะ ห่างของเสา 5 - 8 เมตร



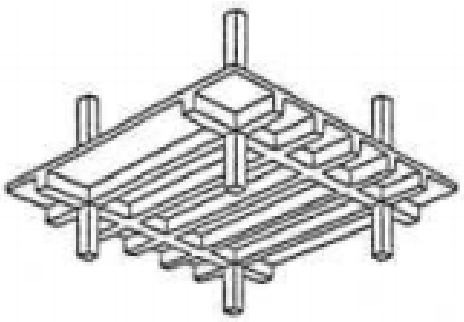
(ข) **Drop Panel** การใช้งานเหมือนกับ Flat Slab แต่ต้องการระยะห่างของเสามากขึ้นจนถึง 14 เมตร



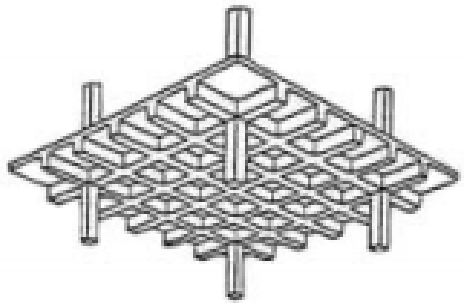
(ค) **Continuous Band** เหมาะสมกับโครงการที่ใช้เป็น Car Park โรงเรียน ศูนย์การค้าที่มีSpan ยาวมากในด้านหนึ่ง และ Live Load ไมมากนัก Span ยาวไดถึง 15 เมตร



(ง) **Beam and Slab Span** ไดถึง 10-20 เมตร เหมาะกับ Office อาคารสาธารณะประโยชนฯลฯ



(จ) **Ribbed one Way** เป็นระบบที่น่าสนใจเมื่อพิจารณาถึงปริมาณคอนกรีตที่ใช้เหมาะกับโครงสร้างที่มีLive Load สูงและ Span ยาวมากเพียงด้านเดียว



(ฉ) **Waffle** แพร่หลายมากสำหรับอาคารที่มีLive Load สูง เช่นบริเวณกองเก็บสิ่งของ อาคารโรงงาน อาคาร สนามบิน Span 10-20 เมตร

13) Post tensioned Slab

Post tensioned Slab เป็นระบบแผ่นพื้นกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นระบบที่ประหยัด และก่อสร้างได้อย่างรวดเร็วโดยมีข้อที่แตกต่างจากมากกว่าพื้นชนิดอื่นอีกหลายประการ ดังต่อไปนี้

13.1) ชวงระหวางเสาที่ยาวกวา ซึ่งทำใหภายในอาคารดูกวางขวางและสวยงาม

13.2) การจัดบริเวณที่คลองตัวมากกวา สามารถจัดบริเวณภายในไดสะดวกและไม่มีขอจำกัด เนื่องจากมีจำนวนเสาที่นอยกวาและไมมีคานเปนตัวกำหนด นอกจากนั้นยังสามารถเปลี่ยนแปลงการ จัดบริเวณภายในได

13.3) เปนระบบแผนพื้นที่บาง ทำใหความสูงระหวางชั้นลดลงเมื่อเทียบกับระบบอื่น สามารถประหยัด สวนของผนังและการตบแตงไดมาก

13.4) ทำงานไดสะดวกและรวดเร็ว แบบพื้นเพื่อการเทคอนกรีต เปนแบบที่งายกวา แบบพื้นของระบบอื่น จึงทำใหตั้งแบบไดสะดวก และรวดเร็วกวาการทำงานแบบเดิม

13.5) เปนโครงสรางที่น้ำหนักนอย ใหสามารถลดคากอสรางของฐานรากและมูลคาของเสาเข็มลงได

13.6) มีพื้นที่ใชงานไดมากกวา เนื่องจากความสูงระหวางชั้นที่นอยกวา จึงทำใหพื้นที่สวนที่ใช้เปนทางขึ้นของรถยนต และมีบางสวนที่ใช้เปนบันไดแต่นอยกวา เพราะพื้นที่ดังกลาว แปรผัน ตามความสูงระหวางของแต่ละชั้น แตขณะเดียวกันก็มีขอควรระมัดระวัง คือความละเอียด ความถูกต้องของผลงานการควบคุม คุณภาพที่ตองดูแลเปนพิเศษ

13.7) ความต่านทานไฟไหมของพื้น Post Tension ในการออกแบบได้คำนึงถึงความต่านทานไฟไหม้ ของพื้น Post tension โดยเลือกจำนวนชั่วโมง ที่จะทนทานตอไฟไหมและระยะ Covering ที่กำหนด โดย Post Tensioning Institute (PTI) ไดแนะนำ กับหน่วยงานที่ออกแบบและติดตั้ง

13.8) การถอดแบบพื้นและค้ำยันกลับ หลังจากทำการ Stressing เสร็จเรียบรอยแลวทำการถอดแบบพื้นเพื่อไปใช้งานตอไปกอนที่จะเทชั้นตอไปจะตองมีค้ำยันรับชั้นเดิมร้อยละ 50 และจะตองตรวจสอบหนักบรรทุกให้ได้ตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

พื้นหนา	**20 ซม.**
นน.คอนกรีต	480 kg/ m^2
นน.นั่งรานและอื่น ๆ	120 kg/ m^2
นน.บรรทุกรวม	600 kg/ m^2
นน.บรรทุกที่ออกแบบ	400 kg/ m^2
ตองถาย นน.ลงพื้นชั้นล่าง	200 kg/ m^2
ดังนั้นต้องค้ำยัน	200/400 = 50%

13.9) พื้น Post tension ที่อัดแรงแลว ก็จะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ซึ่งเมื่อเทียบกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก จะต่องรอให้อายุคอนกรีตได้อยางน่อย 15 วัน จึงจะเริ่มถอดแบบ ดังนั้นหรับพื้น Post tension จะสามารถถอดแบบไดเร็วกวาพื้นระบบธรรมดา และการนำแบบไปใชในชั้นอื่น ๆ ก็จะหมุนเวียนได้มากกวา ดังแสดงในรูปที่ 3.32

รูปที่ 3.32 การติดตั้งเสริมเหล็กแผ่นพื้นไร้คาน POST TENSION SLAB

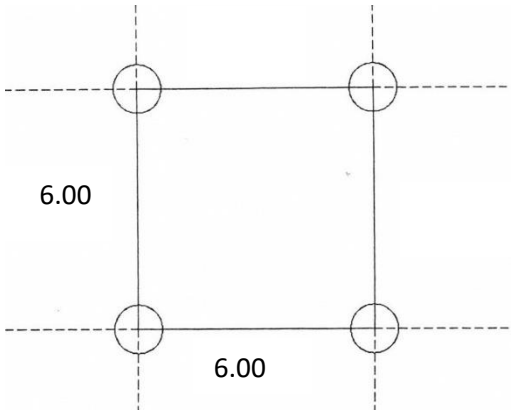
ที่มา: http://oknation.nationtv.tv/blog/civil/2008/09/15/entry-1 และ

http://ozone7th.blogspot.com/2014/08/post-tension.html

13.9) ตัวอย่างการออกแบบพื้นไร้คาน

ตัวอย่างที่ 3.12 จงออกแบบพื้นไร้คานสำหรับช่วงพื้นภายในโดยใช้สูตรสำเร็จ แน่นพื้นต้องรับน้ำหนักบรรทุกจร 1000 กก/ม^2 ช่วงของแผ่นพื้นเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส ระยะห่างของศูนย์กลางเสา 6.00 ม

กำหนดให้ fc' = 133 กก/ซม^2 fc = 60 กก/ซม^2 fs = 1200กก/ซม^2 n =12



หัวเสา ระยะช่วงเสา L = 6.00 ม.

ใช้หัวเสากลมขนาด $\frac{L}{5}$ = 1.20 ม.

ดังนั้น C = 1.20 ม.

ความหนาของแผ่นพื้นความหนา t_2 สำหรับแผ่นพื้นที่มีแป้นหัวเสา สมการที่ (3.6)

$$t_2 = 0.091L\left(1-\frac{2C}{3L}\right)\sqrt{\frac{w'}{f_c'/141}}+2.54$$

w' = น้ำหนักบรรทุกจร + น้ำหนักบรรทุกคงที่

$$= 1000 + \frac{2400}{100}\times t_2 - 24t_2$$

f_c' = 135

$$t_2 = 0.091\times600\left(1-\frac{2\times1.20}{3\times6.00}\right)\cdot\sqrt{\frac{100+24t_2}{25/141}}+2.54$$

$$t_2 = 0.4732\sqrt{1045+25.1t_2}+2.54$$

หาค่าของ t_2 โดยวิธี ***Trial and Error*** ได้ t_2 = 21.3 ซม. แต่ตามข้อกำหนดสำหรับแผ่นพื้นไร้คานที่ มีแป้นหัวเสา t_2 จะต้องไม่น้อยกว่า $\frac{L}{40}$ ซึ่งในกรณีนี้เท่ากับ 15 ซม. ดังนั้นเลือกใช้ความหนาของแผ่นพื้น t_2 = 22 ซม.

สมการที่ 3.6 โมเมนต์ดัด

$$M_o = 0.09\ WLF\left(1-\frac{2C^2}{3L}\right)$$

$$W = w^2 - w\frac{\pi C^2}{4}$$

$W = LL+DL$ = 1000+(0.22×2400) = 1528 กก.^{2}

$W = 1528\times 6.00^2 - 1528\times\frac{314\times 1.2^2}{4}$ = 53280 กก.

$F = 1.15-\frac{C}{L} = 1.15-\frac{1.20}{6.00}$ = 0.95

แต่ค่า F ไม่น้อยกว่า 1 ดังนั้น F = $1.0F$ = 1.0

$$M_o = 0.9\times 53280\times 6.00\times 1.0\left(1-\frac{2\times 1.2^2}{3\times 6.00}\right) = 21610 \text{ กก.-ม.}$$

คำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดในแผ่นพื้น สำหรับค่าโมเมนต์ดัดในแถบเสา (Column Strip Moments)

โมเมนต์ลบ - M_c = - 0.5 M_o = -10805 กก.-ม.

โมเมนต์ + M_c = +0.2 M_o = 4322 กก.-ม.

โมเมนต์ดัดในแถบกลาง (Middle Strip Moments)

โมเมนต์ลบ - M_m = - 0.15 M_o = 3241 กก.-ม.

โมเมนต์บวก +M_m = + 0.15 M_o = 3241กก.-ม.

หาความหนาของแผ่นพื้นที่แป้นหัวเสา (Drop Panel)

ให้แผ่นพื้นที่แป้นหัวเสามีขนาด

$$\frac{I}{L}L = \frac{1}{3}\times 6.00 = 2.00 \text{ ม.}$$

ในการคำนวณหาแรงอัดซึ่งเกิดจากแรงดัด มาตรฐาน วสท. ให้ใช้ความกว้างของหน้าตัด เพียงสามในสี่ของความกว้างของแถบเท่านั้น ในกรณีที่หน้าตัดผ่านแป้นหัวเสา ให้ใช้สามในสี่ของ ความกว้างของแป้นหัวเสา

$$M_C = R\left(\frac{3}{4}b\right)d^2 = 9.84\left(\frac{3}{4}\times 2.00\right)d^2 = 14.76d^2$$

$$10805 = 14.76\ d^2$$

$$d = 27$$

ให้ความหนาของแผ่นพื้นที่แป้นหัวเสา 27+3 = 30 ซม.

ตรวจสอบความหนาของแผ่นพื้นจากโมเมนต์ดัด เนื่องจากโมเมนต์บวกในแถบหัวเสามากกว่า โมเมนต์ดัดในแถบกลาง จึงใช้โมเมนต์บวกในแถบหัวเสาคำนวณหาความหนาของแผ่นพื้น

$$M_C = R\left(\frac{3}{4}b\right)d^2$$

$$4322 = 9.84\left(\frac{3}{4}\times 2.00\right)d^2$$

$$D = 17.1$$

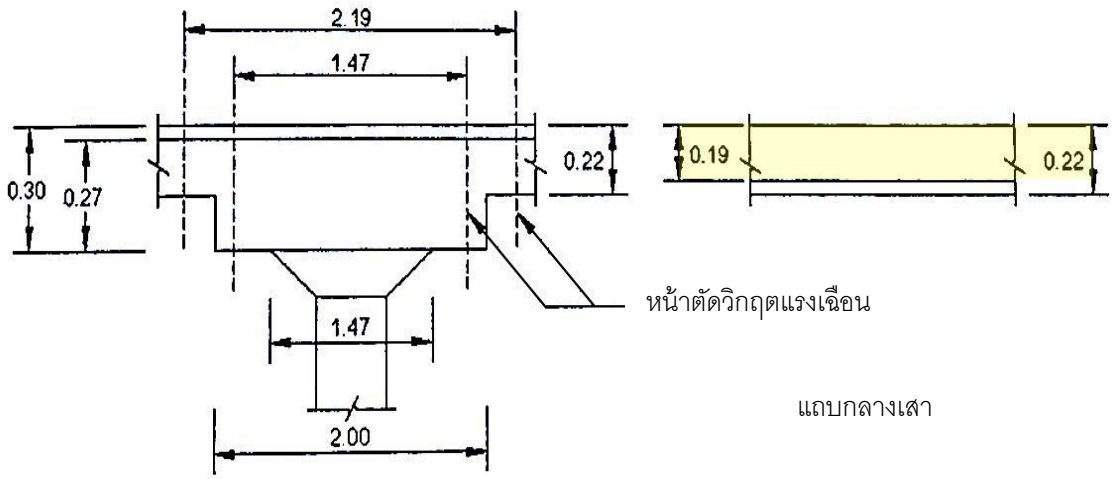
$$t = 17.1+3=20.1$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ความหนาของแผ่นพื้น 22 ซม. หาขนาดของเหล็กเสริม

แถบหัวเสา $A_s^- = \frac{10805}{1200\times0.875\times0.27} = 38.1$ซม^2 = 60 Ø 9 มม.

$A_s^+ = \frac{4322}{1200\times0.875\times0.27} = 21.6$ซม^2 = 34 Ø 9 มม.

แถบกลาง $A_s^- = A_s^+\frac{3233}{1200\times0.875\times0.27} = 16.2$ซม^2 = 30 Ø 9 มม.



แถบหัวเสา

หน้าตัดวิกฤตแรงเฉือน

แถบกลางเสา

แรงเฉือนพิจารณาแรงเฉือนตามเส้นขอบ(peripheral shear) ที่หน้าตัดวัตถุ ระยะห่าง $\frac{d}{2}$ จากแป้นหัวเสา

$V = \frac{V}{bd}$

$V = 1528(6.00^2 - 2.19^2) = 4768$

b = 4×129 ซม.

d = 19 ซม.

$$V = \frac{47680}{4\times219\times19} = 2.86 \text{ กก.ซม.}^2$$

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ $V_c = 0.53\sqrt{f_c'} = 0.53\sqrt{135}$ = 6.16 กก./ซม^2

หน่วยแรงเฉือนทำหน้าที่ตัดวิกฤตระยะห่าง $\frac{d}{2}$ จากขอบหัวเสา

$$V = 1528\left(6.00^2 - \frac{\pi}{2}\times 1.47^2\right) = 52{,}415 \text{ กก.}$$

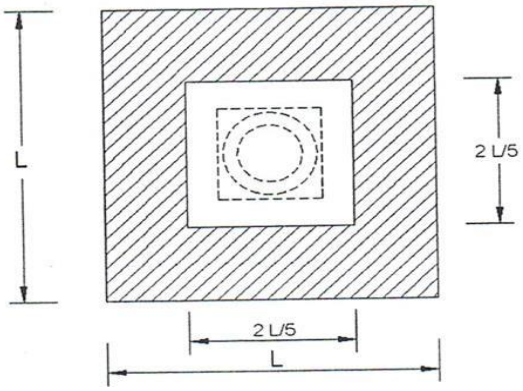
b = πD = 3.14x147=461.6

d = 27

$$V = \frac{52415}{461.6x27} = 4.2 \text{ กก./ซม}^2 \ < 6.16 \text{ กก./ซม}^2$$

แรงยึดหน่วง

สมมุติให้จุดดัดกลับ อยู่ที่ระยะ L/5 จากศูนย์กลางของเสา ถ้าแต่ละเสาต้องรับน้ำหนักนอกพื้นที่นี้ (พื้นที่แรเงา)



$$V = 1528L^2\left[1 - \left(\frac{2}{5}\right)^2\right]$$

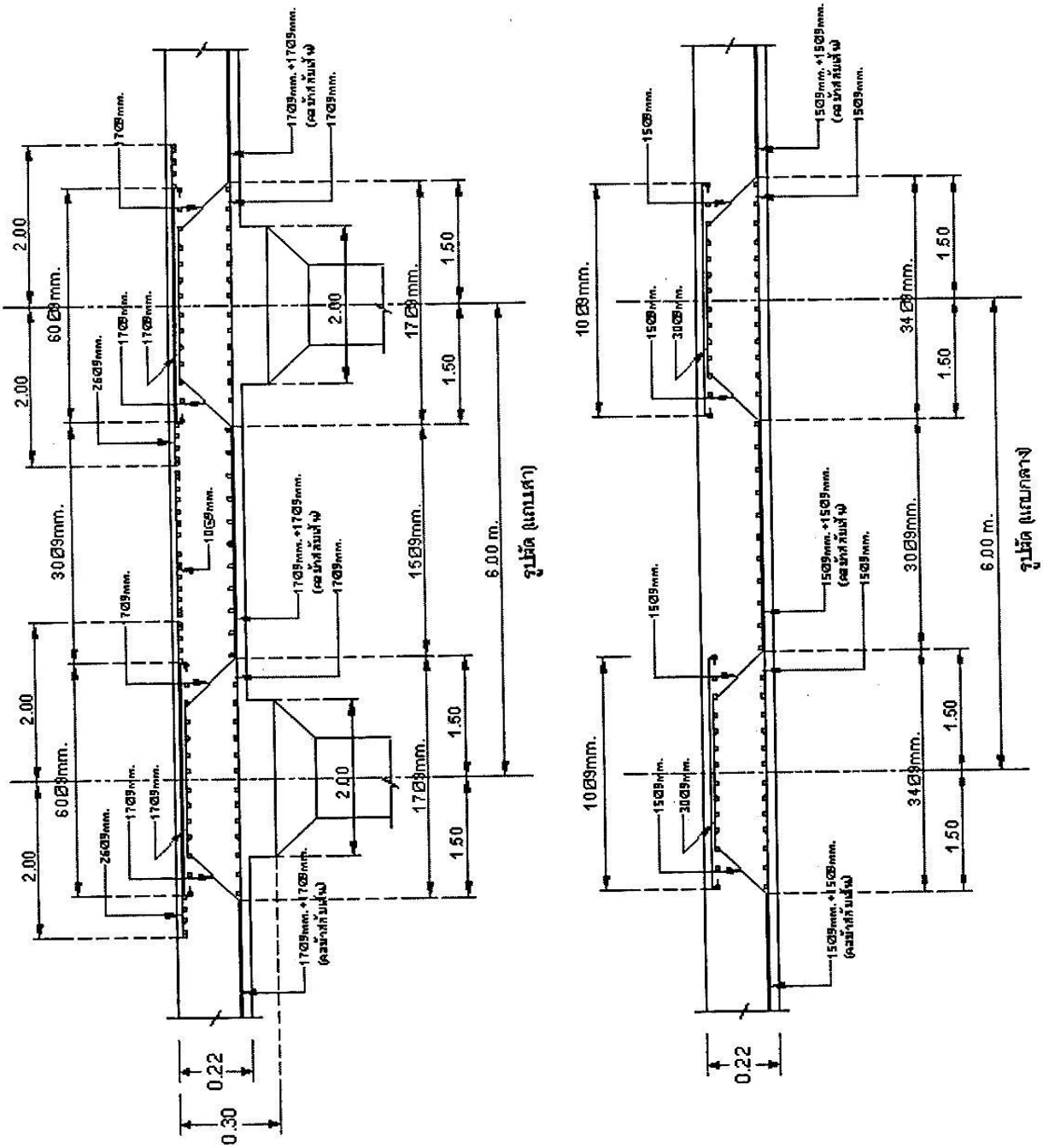
$$= 1528\times 6.00^2\left[1 - \left(\frac{2}{5}\right)^2\right] = 46206$$

ดังนั้นในทิศทาง $\frac{V}{4}$ = 11551 กก.

เหล็กเสริมล่างในช่วง $\frac{2}{5}$L = 2.4 ม. มีเหล็กเสริม ø 9 มม. $\left(\frac{2.40}{3.00}\right)$x 34 = 27 เส้น = 76.3 ซม.

$$u = \frac{v}{\sum_0 jd} = \frac{11551}{76.3\times0.875\times19} = 9.1 \text{ กก./ซม}^2$$

หน่วยยึดแรงที่ยอมให้ = 11 >9.1 กก./ซม^2


รูปตัด (แกนสาย)
รูปตัด (แกนกลาง)
6.00 m.
2.00
1.50
0.22
0.30

3.7 การออกแบบพื้นยื่น (Cantilever Slab)

ลักษณะของพื้นยื่นมีคานทำหน้าที่เป็นฐานรองรับแผ่นพื้นเพียงด้านเดียว โดยมีพื้นยื่นออกจากตัวคาน ส่วนใหญ่แล้วมักจะเป็นกันสาด ลักษณะการโก่งของพื้นชนิดนี้จะโก่งมากสุดที่ปลายของพื้นรูปที่ 3.33 ทำให้ด้านบนของแผ่นพื้นถูกดึงและเกิดโมเมนต์ดัดลบ($-M_{max}$) กระทำมากที่สุดที่ขอบคาน ฉะนั้นเหล็กเสริมหลักจะต้องอยู่ชิดผิวด้านบนแผ่นพื้นเพื่อต้านแรงดึงและเหล็กเสริมกันร้าวขนานกับคานรับพื้น โดยมีหลักการออกแบบคำนวณโครงสร้างเหมือนพื้นเสริมเหล็กหลักทางเดียวมีขั้นตอนการออกแบบพื้นยื่นมีขั้นตอนดังนี้

1) ให้คิดกว้าง (b) ของแผ่นพื้น เท่ากับ 1 ม.

ให้ความยาว (S) แผ่นพื้นคือส่วนที่พื้นยื่นออกจากคาน

2) สมมุติความหนาพื้น (t) จากมาตรฐาน วสท. ไม่น้อยกว่า

$t = \frac{S}{10}$ ม.

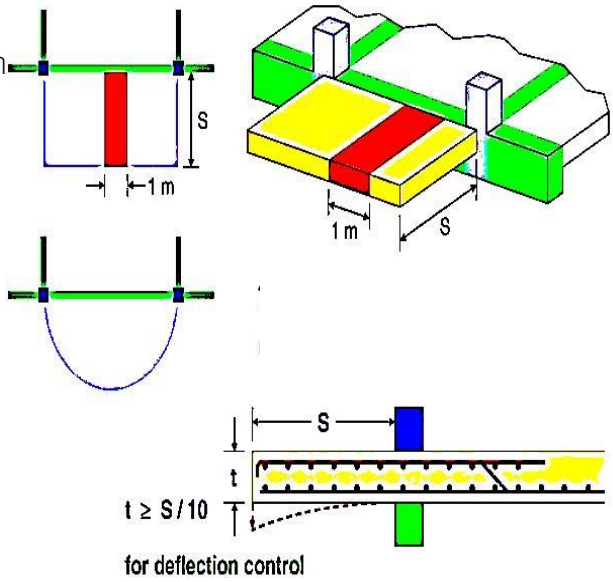
3) คำนวณหาน้ำหนักรวมกระทำต่อพื้น (W)

$W = DL + LL$ กก./ม.^{2}

4) วิเคราะห์พฤติกรรมของแผ่นพื้นยื่น

ค่าโมเมนต์มากสุดเกิดที่ขอบคานรองรับ ($-M_{max}$)

$-M_{max} = \frac{WS^2}{2}$ กก.-ม.^{2}



รูปที่ 3.33 พฤติกรรมการรับแรงพื้นยื่น
ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

ดังนั้น ตำแหน่งเหล็กเสริมรับแรงดึงอยู่ที่ผิวบนแผ่นพื้นต้องล้วงลึกในคานหรือพื้นที่ต่อเนื่องกันเพื่อต้านแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตต่อเหล็กเสริมยาวไม่น้อยกว่า

ระยะล้วงอย่างน้อย 1 ≥ 60 ซม. สำหรับเหล็กกลม
1 ≥ 30 ซม. สำหรับเหล็กข้ออ้อย

5) ตรวจสอบความลึกประสิทธิผล (d)

d_d = t – ระยะหุ้มคอนกรีต ซม.

ซม.

$$d = \sqrt{\frac{M_{max(100)}}{Rb}}$$

ตรวจสอบปลอดภัยเมื่อ $d_d > d$

กรณีถ้าไม่ปลอดภัยให้ออกแบบความหนาใหม่ พร้อมทั้งคำนวณน้ำหนักและโมเมนต์ที่เกิดใหม่ด้วย

6) คำนวณหาปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง (As)

$$As = \frac{M_{max(100)}}{f_S \cdot j \cdot d}$$

ซม.^{2}/ม.

7) กำหนดขนาด จำนวน ระยะห่างและตำแหน่งเหล็กหลัก

- ขนาดเหล็กเสริมหลักไม่เล็กกว่า ø 9 มม.
- ระยะล้วงลึกต้องเพียงพอต่อการยึดเหนียว
- ตำแหน่งให้วางชิดผิวบนแผ่นพื้นรับแรงดึง

8) คำนวณหาเหล็กเสริมกันร้าว จากมาตรฐาน วสท.

$$A'_s = 0.0025\ bt$$ ซม.^{2}/ม.

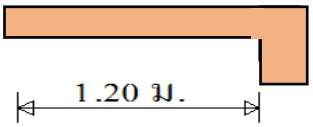
- ขนาดเหล็กกันร้าวไม่เล็กกว่า Ø 6 มม.
- ตำแหน่งวางเหล็กเสริมหลัก

ตัวอย่างที่ 3.13 จงออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นกันสาดยื่นออกจากคานที่รองรับ 1.20 ม. รับน้ำหนักจร 150 กก./ม.^{2} โดยกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้:-

fc' = 100 กก./ซม.^{2} fc = 45 กก./ซม.^{2}

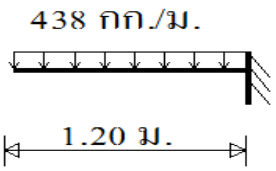
fs = 1200 กก./ซม.^{2} R = 6.86 กก./ซม.^{2} j = 0.88

วิธีทำ พื้นยื่นยาว L = 1.20 ม.



สมมติ พื้นหนา $t = \frac{S}{10} = \frac{1.20}{10} =$ 0.12 ม.

น้ำหนักรวมของพื้น W = DL + LL



DL = 0.12 x 1 x1 x 2400 = 288 กก./ม.^{2}

LL = = 150 กก./ม.^{2}

W = 288 + 150 = 438 กก./ม.^{2}

ค่าโมเมนต์สูงสุด

$$-M_{max} = \frac{wL^2}{2} = \frac{438(1.2)^2}{2} =$$ 315 กก.-ม.

ตรวจสอบความหนาประสิทธิผล (d)

$$d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{315(100)}{6.86(100)}}$$ = 6.18 ซม.

d_d = 12 – 2.5 = 9.5 ซม.

d_d > d

หรือ 9.5 > 6.18 ซม. **ปลอดภัย**

สรุป ให้พื้นหนา 0.12 ม.

พื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงดึง

$$-A_s = \frac{-M_{max}(100)}{f_s jd}$$

$$-A_s = 3.14 \text{ ซม.}^2$$

จากค่าดังกล่าว ใช้เหล็กหลัก 5 เส้น/ม. Ø 9 มม. @ 0.25 ม. (A_s = 3.18 ซม.^{2}) ล้วงลึกในคานอย่างน้อย 0.60 ม.

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกันร้าว

As = 0.0025(b)(t) = 0.0025(100)(12) = 3 ซม.^{2}

ใช้เหล็ก 11 เส้น/ม. Ø 6 มม. @ 0.10 ม. (A_s = 3.08 ซม.^{2})

หาระยะความยาวยึดเหนี่ยวของเหล็กหลัก

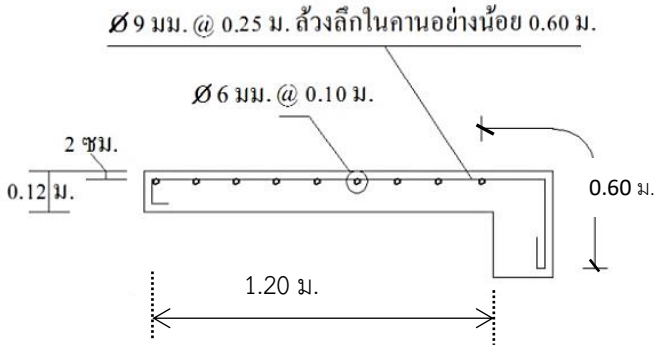
เมื่อ $u_a = \frac{1.615\sqrt{f_c}}{D} \leq 11$ กก./ซม.^{2}

$u_a = \frac{1.615\sqrt{100}}{0.9} = 17.94 \approx 11$ กก./ซม.^{2}

จาก $L = \frac{D \cdot f_s}{4u_a} \geq 60$ ซม.

$L = \frac{0.9x1200}{4x11} = 24.55$ ซม.

เลือกใช้ไม่ควรน้อยกว่า 60 ซม. สำหรับเหล็กเส้นกลม



รูปหน้าตัดพื้นยื่นคอนกรีตเสริมเหล็ก

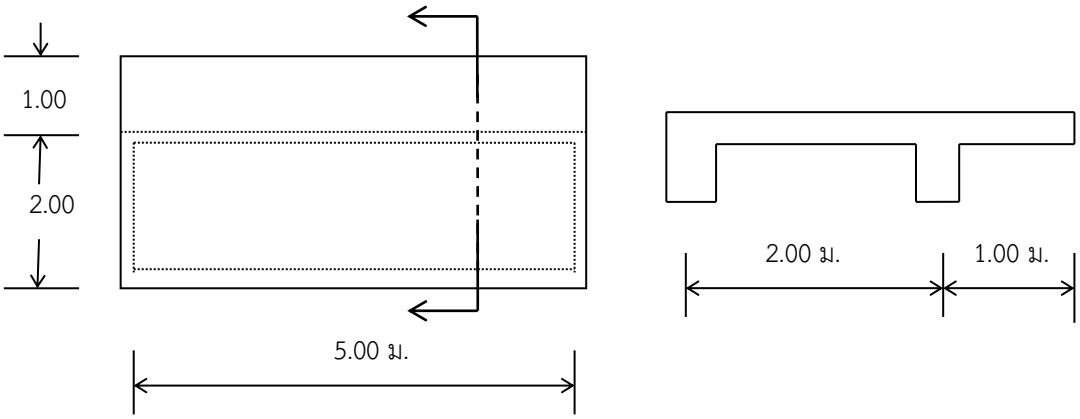
3.8 ตัวอย่างระคน การออกแบบพื้นเสริมเหล็ก

(หัวข้อนี้ได้ยกตัวอย่างเฉพาะ การออกแบบพื้นเสริมเหล็กทางเดียว และออกแบบพื้นเสริมเหล็กสองทาง เพราะสอดคล้องกับระดับความรู้พื้นฐานของผู้เรียนที่ควรจะ ความรู้ความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวเป็นขั้นต่ำ)

3.14.จงออกแบบพื้นเสริมเหล็กทางเดียว ดังรูป

กำหนดให้ f_c' = 210 กก./ซม.^{2} f_y = 2,400 กก./ซม.^{2}

w_{LL}= 250 กก./ม.^{2} ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ



วิธีทำ

ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$$n = 9, \quad k = 0.414, \quad j = 0.861, \quad R = 16.84 \text{ กก./ซม.}^2$$

ความหนาต่ำสุดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว

พื้นต่อเนื่องข้างเดียว : $t = L/24$ = 0.083 ม.

พื้นยื่น : $t = L/10$ = 0.10 ม. เลือกความหนาพื้น t = 0.10 ม.

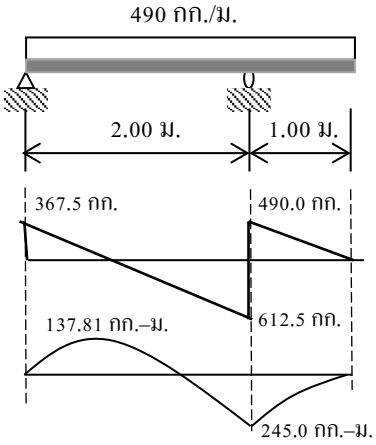
น้ำหนักที่กระทำกับพื้น

w_{DL} : 0.10x2,400 = 240 กก./ม.^{2}

w_{LL} = 250 กก./ม.^{2}

น้ำหนักรวม : w = 490 กก./ม.^{2}

วิเคราะห์โครงสร้าง



ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง

$^{+}M_{max}$ = 137.81 กก.–ม.

$^{-}M_{max}$ = 245.00 กก.–ม.

V_{max} = 612.5 กก.

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : *Mc*

$$Mc = Rbd^2 = 16.84(1.0)7.5^2$$

= 947.25 กก.–ม. > M_{max}

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมหลัก :

$$^{+}As = \frac{^{+}M}{fs.jd} = \frac{137.81\times100}{1{,}200(0.861)7.5} = 1.78 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.30 ม.

$$^{-}As = \frac{^{-}M}{fs.jd} = \frac{245.0\times100}{1{,}200(0.861)7.5} = 3.16 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.20 ม.

ปริมาณเหล็กเสริมหลัก ต้านทานโมเมนต์ดัด ต้องไม่น้อยกว่าเหล็กเสริมกันร้าว

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกันร้าว :

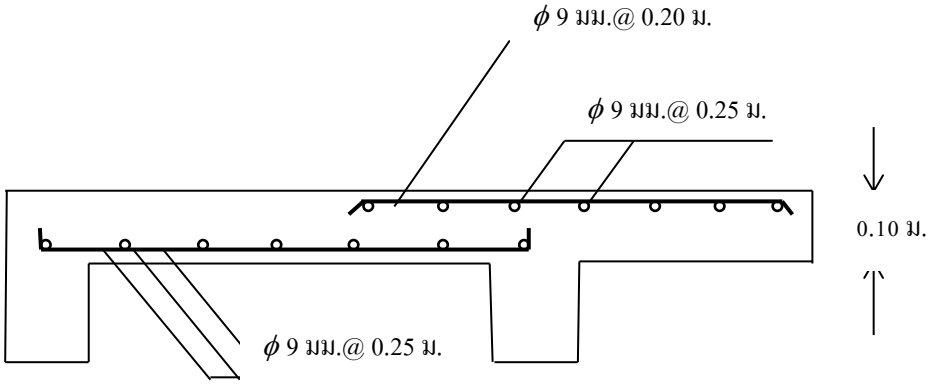
$$As^t = 0.0025bt = 0.0025(100)10 = 2.50 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.25 ม. (As = 2.54 ซม.^{2})

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือน : *v*

$$v = \frac{V}{bd} = \frac{612.5}{(100)(7.5)} = 0.816 \text{ กก./ซม.}^2 < \phi$$

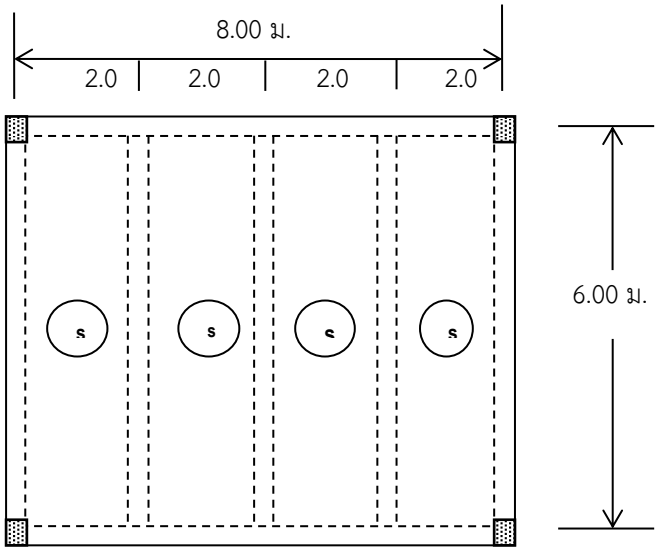
รายละเอียดการเสริมเหล็ก



3.15. จงออกแบบพื้นเสริมเหล็กทางเดียว (S) ดังรูป

กำหนดให้ fc' = 180 กก./ซม.^{2} fy = 2,400 กก./ซม.^{2}

w_{LL} = 300 กก./ม.^{2} น้ำหนักวัสดุปูพื้น = 50 กก./ม.^{2}



วิธีทำ

ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$$n = 10, \qquad k = 0.402, \qquad j = 0.866\ , \qquad R = 14.08 \text{กก./ซม.}^2$$

ความหนาต่ำสุดของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว

พื้นต่อเนื่องข้างเดียว : $t = L/24$ = 0.083 ม.

เลือกความหนาพื้น t = 0.10 ม.

น้ำหนักที่กระทำกับพื้น

w_{DL} : 0.10x2,400 = 240 กก./ม.^{2}

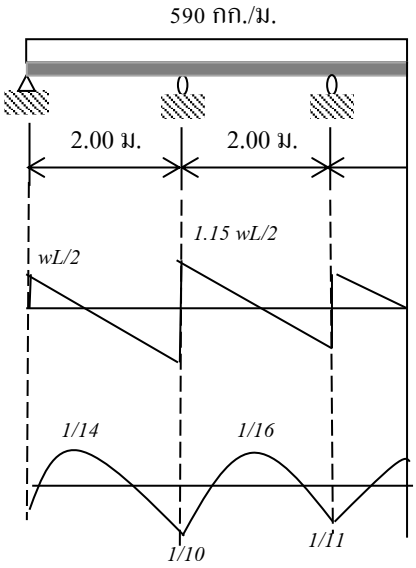
w_{LL} = 300 กก./ม.^{2}

$w_{วัสดุปูพื้น}$ = 50 กก./ม.^{2}

น้ำหนักรวม : w = 590 กก./ม.^{2}

ออกแบบต่อความกว้างพื้นทุกๆ1.00 เมตร

วิเคราะห์โครงสร้าง (พื้นต่อเนื่อง 4 ช่วง)



ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง

$$^{+}M = \frac{1}{14}wL^2 = \frac{1}{14}(590)2.0^2$$

= 168.57 กก.–ม.

$$^{-}M = \frac{1}{24}wL^2 = \frac{1}{24}(590)2.0^2$$

= 98.33 กก.–ม.

$$^{-}M_{\max} = \frac{1}{10}wL^2 = \frac{1}{10}(590)2.0^2$$

= 236.0 กก.–ม.

$$V_{\max} = 1.15\frac{wL}{2} = 1.15\frac{(590\times 2)}{2}$$

= 678.50 กก.

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : *Mc*

$$Mc = Rbd^2 = 14.08(1.0)7.5^2$$

= 792.3 กก.–ม. > M_{max}

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมหลัก :

$$^{+}As = \frac{^{+}M}{fs.jd} = \frac{168.57\times 100}{1{,}200(0.866)7.5} = 2.16 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.25 ม.

$$^{-}As = \frac{^{-}M}{fs.jd} = \frac{98.33\times 100}{1{,}200(0.866)7.5} = 1.26 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.30 ม.

$$^{-}As = \frac{^{-}M_{\max}}{fs.jd} = \frac{236.00\times 100}{1{,}200(0.866)7.5} = 3.02 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.20 ม.

ปริมาณเหล็กเสริมหลัก ต้านทานโมเมนต์ดัด ต้องไม่น้อยกว่าเหล็กเสริมกันร้าว

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกันร้าว :

$$As^t = 0.0025bt = 0.0025(100)10 = 2.50 \text{ ซม.}^2$$

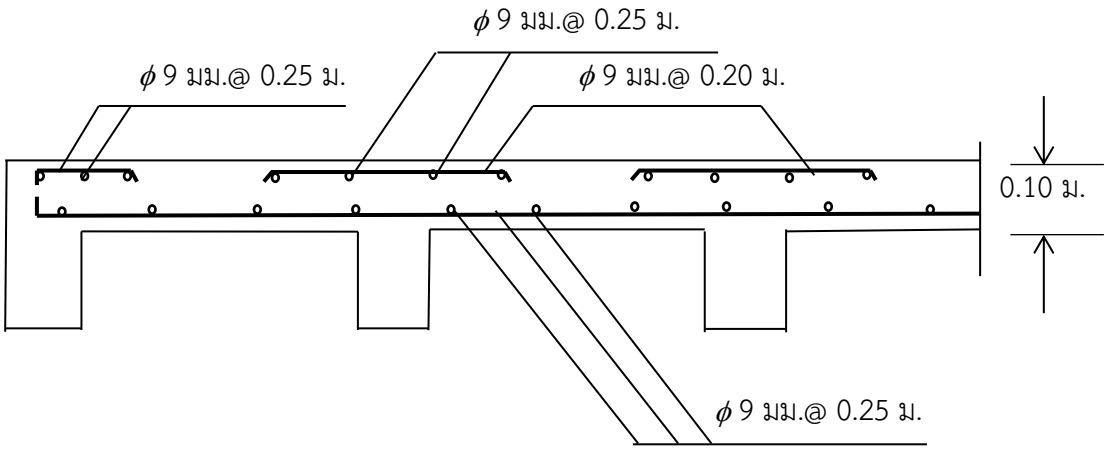
เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.25 ม. (As = 2.54 ซม.^{2})

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือน : v

$$v = \frac{V}{bd} = \frac{678.5}{(100)(7.5)}$$

$$= 0.90 \text{ กก./ซม.}^2 < \phi$$

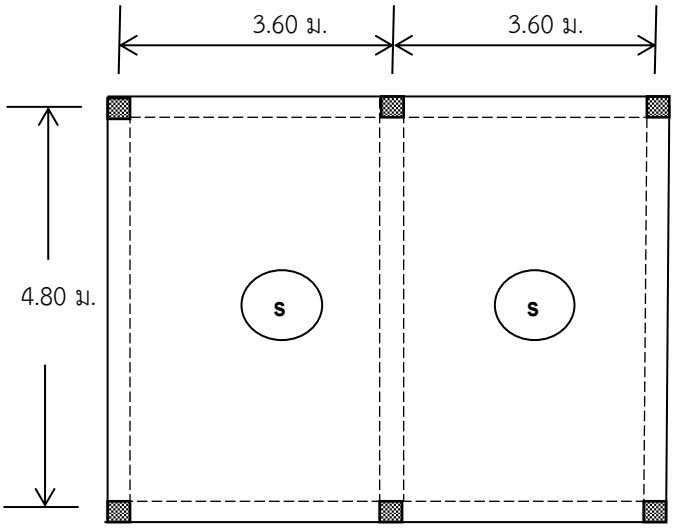
รายละเอียดการเสริมเหล็ก



3.16. จงออกแบบพื้นเสริมเหล็กสองทาง ดังรูป

กำหนดให้ fc' = 180 กก./ซม.^{2} fy = 2,400 กก./ซม.^{2}

w_{LL} = 300 กก./ม.^{2} น้ำหนักวัสดุปูพื้น = 60 กก./ม.^{2}



วิธีทำ

$m = S/L : 3.6/4.8$ = 0.7 > 0.5 : *Two way slab*

ความหนาพื้นต่ำสุด: $t = \frac{1}{180}(3.6\times 2 + 4.8\times 2)$

= 0.093 ม. เลือกความหนา : t = 0.10 ม.

น้ำหนักที่กระทำกับพื้น

w_{DL} : 0.10x2,400 = 240 กก./ม.^{2}

w_{LL} = 300 กก./ม.^{2}

$w_{วัสดุปูพื้น}$ = 60 กก./ม.^{2}

น้ำหนักรวม : w = 600 กก./ม.^{2}

ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$n = 10,$ $k = 0.402,$ $j = 0.865$, $R = 14.08$กก./ซม.^{2}

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : *Mc*

$Mc = Rbd^2 = 14.08(1.0)7.5^2$

= 792.00 กก.–ม.

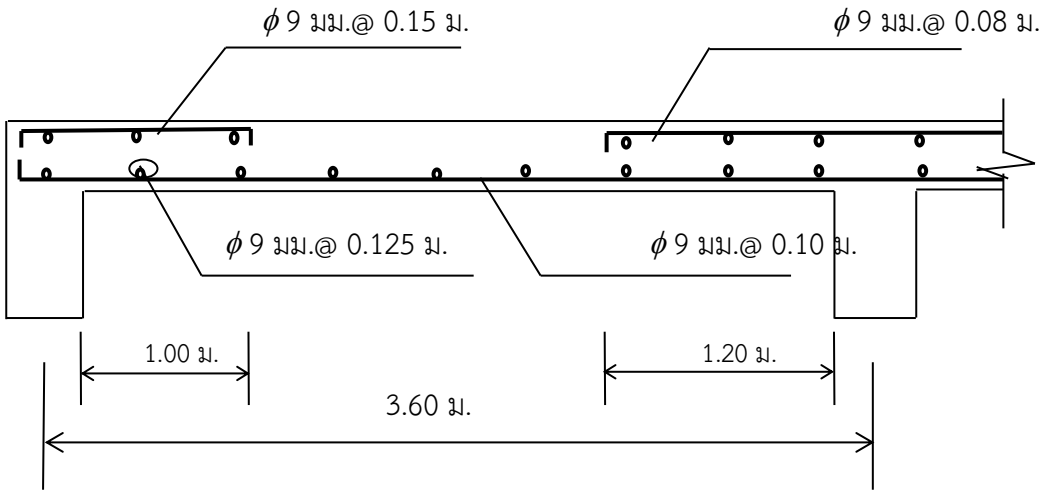
S *พื้นไม่ต่อเนื่องสามด้าน (ต่อเนื่องด้านเดียว)*

ตำแหน่ง	*c (สปส.โมเมนต์)*	*M = cwS^2 (กก.–ม.)*	*As (ซม.^{2})*	*เลือกเหล็กเสริม*
ช่วงสั้น				
โมเมนต์ลบ – ด้านต่อเนื่อง	0.078	606.52	7.79	ϕ 9 มม. @ 0.08 ม.
– ด้านไม่	0.039	303.26	3.89	ϕ 9 มม. @ 0.15 ม.
ต่อเนื่อง	0.059	458.78	5.89	ϕ 9 มม. @ 0.10 ม.
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง				
ช่วงยาว				
โมเมนต์ลบ – ด้านไม่ต่อเนื่อง	0.029	225.50	3.29	ϕ 9 มม. @ 0.175 ม.
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.044	342.14	4.99	ϕ 9 มม. @ 0.125ม.

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือน

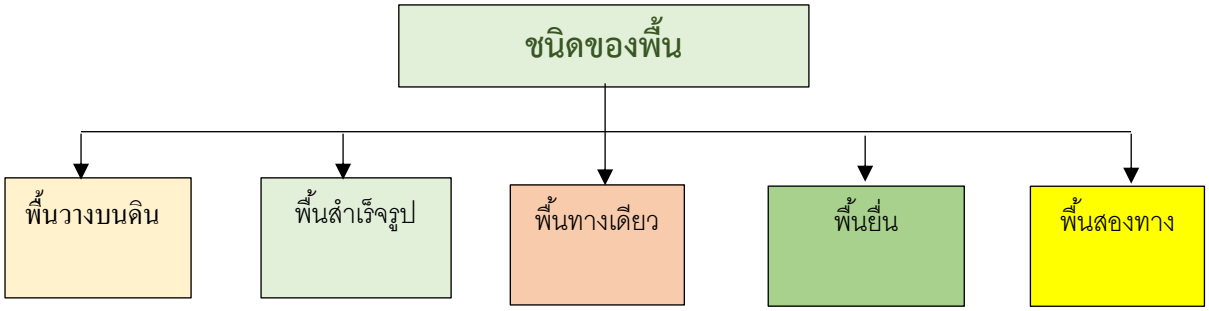
$$v = \frac{V}{bd} : \frac{(877.5 \times 4.8)/2}{(100)(9.5)} = 2.81 \text{ กก./ซม.}^2 < \phi$$

รายละเอียดการเสริมเหล็ก :

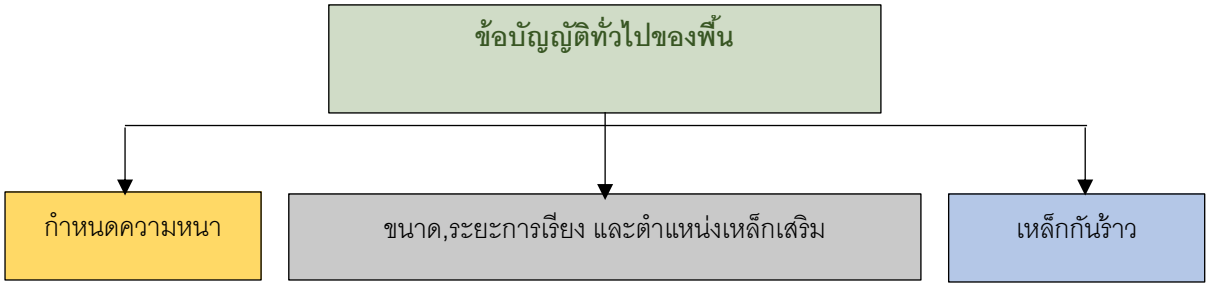


สรุป การออกแบบคอนกรีตเหล็กเสริม

1. ชนิดของพื้น



2. บอกข้อบัญญัติทั่วไปของพื้น



3. ขั้นตอนการคำนวณออกแบบพื้นคอนกรีตเหล็กเสริม

3.1 พิจารณาชนิดพื้น
3.2 เขียนรูปเพื่อวิเคราะห์การกระทำของน้ำหนัก
3.4 สมมุติความหนาพื้น จากมาตรฐาน วสท.
3.4 คำนวณหาน้ำหนักกระทำบนพื้น
3.5 วิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ดัดกระทำสูงสุดกับพื้น
3.6 ตรวจสอบความลึกประสิทธิผล ของพื้น
3.7 คำนวณหาปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมหลักรับแรงดึง
3.8 คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกันร้าว
3.9 ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยวที่ปลอดภัย
3.10 กำหนดตำแหน่งวางเหล็กเสริม

แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

คำสั่ง: จงเติมคำตอบของคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง (คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลา 10 นาที)

คำชี้แจง จงคำในช่องว่างให้สมบูรณ์ (10 คะแนน)

1. จงบอกข้อกำหนดการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กตามาตรฐาน วสท.

1.1 ค่าความหนาขั้นต่ำของพื้นทางเดียว ในกรณีที่ไม่ได้คำนวณระยะโก่งตัว

1. พื้นช่วงเดียว _____

2. พื้นหลายช่วง _____

1.2 ระยะเรียงเหล็กเสริมพื้นต้องห่างกันไม่มากกว่า

1. ระยะห่าง @ _____

2. ระยะห่าง @ _____

1.3 ขนาดของเหล็กเสริมพื้นไม่เล็กกว่า _____

1.4 ในการออกแบบให้พิจารณาพื้นกว้าง _____

1.5 สูตรหาค่าเหล็กกันร้าวสำหรับเหล็ก SR คือ _____

2. น้ำหนักที่กระทำต่อพื้นทั้งหมด w = _____ มีหน่วยเป็น _____

3. น้ำหนักคอนกรีตต่อ 1 ลบ.ม. หนัก =_____

4. น้ำหนักแผ่นพื้น 1 ม.^{2} คำนวณจาก = _____

ใบงานที่ 3.1 แบบฝึกหัด

แบบฝึกหัดหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

ตอนที่ 1 จงแสดงวิธีการคำนวณเติม สูตร และ แทนค่าพร้อมหน่วยลงในช่องว่าง

1. จงออกให้พื้นวางบนดินของโกดังเก็บสินค้า (10 คะแนน)

1.เลือกออกแบบให้พื้นหนา t = _____

2. เหล็กเสริมกันร้าว สูตร A_S^t =_____

แทนค่า A_S^t =_____ = _____

3. เลือกใช้เหล็กเสริมเส้นกลม Ø9 มม. จำนวน _____ เส้น (ได้ A_S = _____ ซม.^{2})

4. กำหนดระยะห่างเหล็กเสริมตลอดแผ่นพื้น @ =_____=_____

4.1 ต้องไม่เกิน _____ =_____=_____

4.2 ต้องไม่เกิน _____ =_____

4.3 เลือกใช้ระยะห่างเหล็กเสริม @ _____

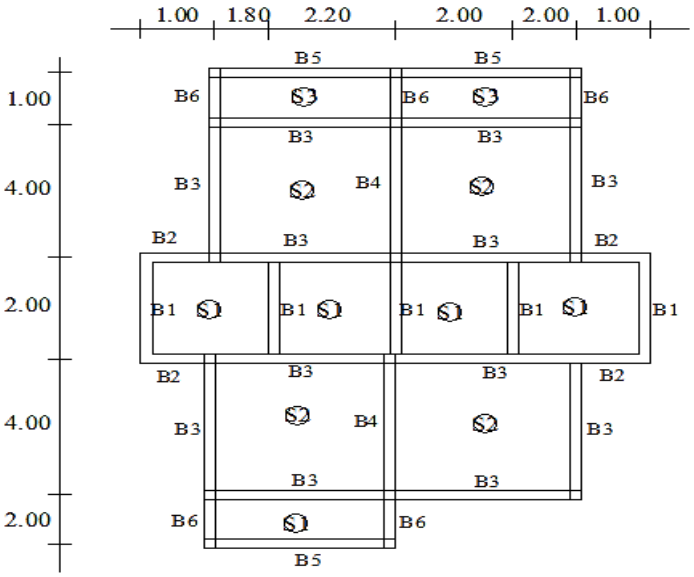
4.4 ตำแหน่งเหล็กเสริม _____

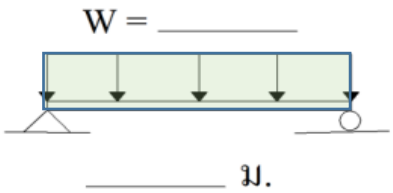
5. สรุปเลือกใช้เหล็กเสริม _____

ตอนที่ 2 จงแบบแปลนพื้นกันสาดดังรูปรับน้ำหนักจร (ตามวสท.+รหัส น.ศ.) =_____กก./ม.^{2}

จงออกแบบขนาดแผ่นพื้น S1 ที่ปลอดภัย กำหนดให้ค่า fc' = 100+รหัสน.ศ. =_____กก./ซม.^{2}

fs = 1200 กก./ซม.^{2} , R = 6.00 กก./ซม.^{2} , j = 0.70 ระยะหุ้มเหล็ก 2 ซม. (25 คะแนน)





วิธีทำ

1. เป็นชนิดพื้น _____

1.1 เพราะสูตร _____ แทนค่า _____

2. สมมุติ ออกแบบให้พื้นหนา t = _____=_____=_____ ใช้ _____

3. น้ำหนักแผ่นพื้น DL = _____

=_____

4. น้ำหนักจรพื้นกันสาด LL =_____ =_____

5. น้ำหนักรวมกระทำต่อแผ่นพื้น W =_____ =_____

6. ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด ต่อแผ่นพื้นกว้าง 1 ม.

M_{max} =_____=_____ =_____

7. ค่าความลึกประสิทธิผลที่ออกแบบ d_d =_____=_____

8. ค่าความลึกประสิทธิผลที่เกิดขึ้นจริง d = _____=_____=_____

9. ความหนาที่ออกแบบสามารถรับแรงอัดได้ปลอดภัยเพราะ _____หรือ _____

10. ค่าปริมาณเหล็กเสริมหลักรับแรงดึง สูตร A_S = _____

แทนค่า A_S =_____=_____

11. ใช้เหล็กเสริมหลักขนาด RB 9 มม. (A_S = 0.64 ซม.^{2})

11.1 จำนวน =_____=_____ ใช้ _____

11.2 ระยะห่างเหล็กเสริม @ =_____=_____

11.3 ระยะห่างเหล็กเสริม วสท.1. @ =_____=_____

2. @ =_____=_____

12. สรุปเลือกใช้เหล็กเสริมหลักขนาด _____

13. ตำแหน่งเสริมเหล็กหลัก ที่ผิว _____

14. คำนวณหาปริมาณเหล็กกันร้าว A_S' =_____=_____

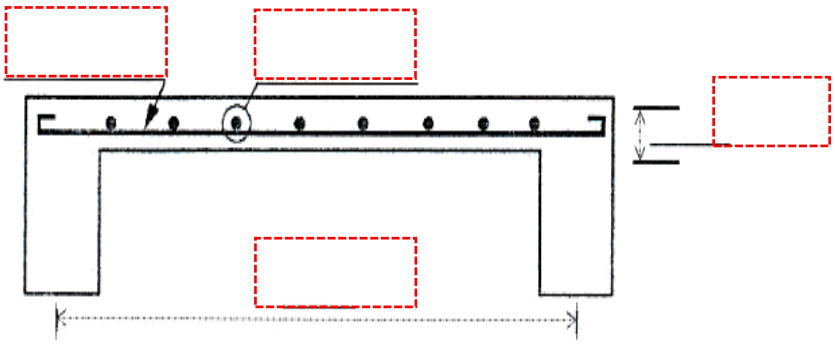
ใช้เหล็กกันร้าวขนาด RB 6 มม. (A_S = 0.28 ซม.^{2})

14.1 ใช้จำนวน =_____=_____ เส้น./ม.

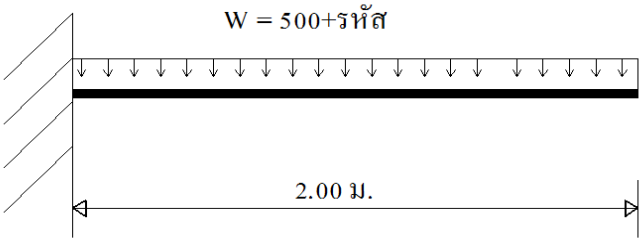
14.2 ระยะห่างเหล็กเสริม @ =_____=_____

15. สรุปเลือกใช้เหล็กเสริมกันร้าวขนาด _____

16. เติมขนาดหน้าตัดพื้นเสริมเหล็กทางเดียวให้สมบูรณ์ลงในรูปหน้าตัดพื้น



ตอนที่ 3 จงออกแบบพื้น S' เป็นกันสาดยื่นจากพื้นด้านในอาคารที่พักอาศัย ดังรูปเพื่อวิเคราะห์ระยะหุ้ม 2 ซม. กำหนดให้ น้ำหนักกระทำรวมทั้งหมด w = 500+รหัส น.ศ. = _____ กก./ม. fc' = 170 กก./ซม.^{2} fs = 1200 กก./ซม.^{2} R = 9.86 กก./ซม.^{2} j = 0.88



1. กำหนดความหนา t =_____=_____ ___=_____

2. ค่าโมเมนต์สูงสุด M_{max} =_____=_____=_____

3. ค่าความลึกประสิทธิผลที่ออกแบบ d_d =_____ _ =_____

4. ค่าความลึกประสิทธิผลที่เกิดขึ้นจริง d =_____=_____=_____

5.ความหนาที่ออกแบบสามารถรับแรงอัดได้ปลอดภัยเพราะ _____หรือ _____

6. ค่าปริมาณเหล็กเสริมหลักรับแรงดึง สูตร A_S =_____

แทนค่า A_S = _____= _____

7. ใช้เหล็กเสริมหลักขนาด RB 9 มม. (A_S = 0.64 ซม.^{2})

7.1 จำนวน =_____=_____ ใช้ _____

7.2 ระยะห่างเหล็กเสริม @ =_____=_____

7.3 ระยะห่างเหล็กเสริม วสท.1. @ =_____=_____

2. @ =_____=_____

8. สรุปเลือกใช้เหล็กเสริมหลักขนาด _____

9. คำนวณหาปริมาณเหล็กกันร้าว A_S =_____=_____

ใช้เหล็กกันร้าวขนาด RB 9 มม. จำนวน _____ เส้น/ม. @_____

10. สรุปเลือกใช้เหล็กเสริมกันร้าวขนาด _____

11. หาระยะความยาวยึดเหนี่ยวของเหล็กหลัก เหล็กเส้นกลม

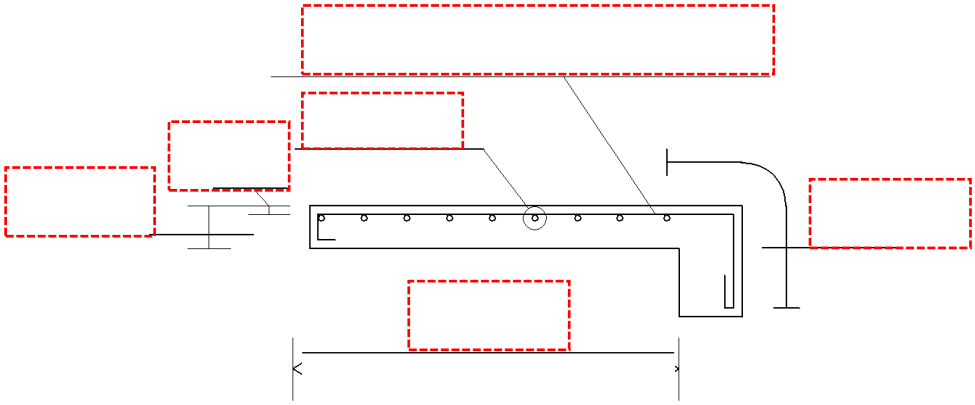
11.1 สูตรหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ u_a =_____≤ _____ กก./ซม.^{2}

แทนค่า u_a =_____= _____ใช้ _____กก./ซม.^{2}

11.2 สูตรระยะล้วงลึกที่ต้องการ L = _____≥_____ซม.

แทนค่า L =_____=_____ใช้_____ซม.

12. เติมขนาดหน้าตัดพื้นยื่นเสริมเหล็กให้สมบูรณ์ลงในรูปหน้าตัดพื้น



ใบงานที่ 3.2 แบบปฏิบัติการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

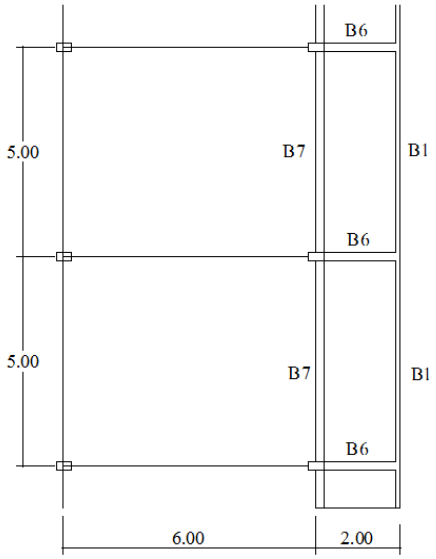
โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

คำชี้แจง ให้นักศึกษาทำการบ้านเรื่อง การออกแบบพื้นทางเดียว,พื้นยื่นและพื้นวางบนดินโดยกำหนดให้ใช้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

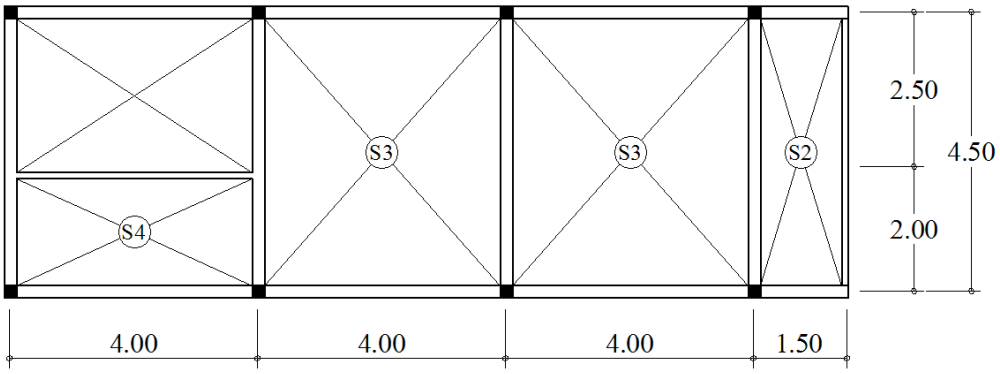
(รหัส น.ศ. หมายถึง เลขรหัสประจำตัวของนักศึกษา ใช้เฉพาะเลข **สองตัวหลังเท่านั้น**)

fc'= (กก./ซม.^{2})	fs (กก./ซม.^{2})	R (กก./ซม.^{2})	k	j
100+รหัส น.ศ. =_____.	1200	7	0.40	0.88

2.1 จงออกแบบโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก S1 จากแบบแปลนโครงสร้างของอาคารพาณิชย์ ตามรูปข้างล่างนี้ ใช้มาตรฐาน กทม.



2.2 แบบแปลนทางโครงสร้างของอาคารบ้านพักอาศัยสองชั้นตามรูปข้างล่างนี้ มาตรฐาน วสท. จงออกแบบโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก S1 และ S2



รูปแปลนพื้น

ใบงาน ที่ 3.3 กิจกรรมกลุ่ม

โมดูล ที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

คำชี้แจง

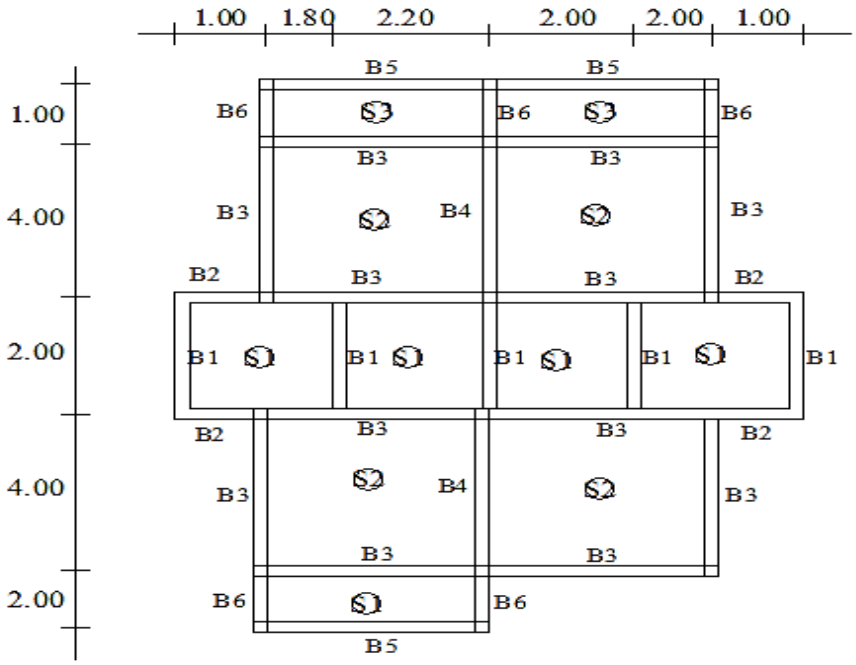
1. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มละ 3-5 คน คัดลอกเนื้อหาหน่วยที่ 4 เรื่อง การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กทำเป็นรายงานกลุ่ม

2 .ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มละ 3-5 คน ทำการบ้านเรื่อง การออกแบบพื้นเสริมเหล็กหลักสองทางทำเป็นรายงานกลุ่ม

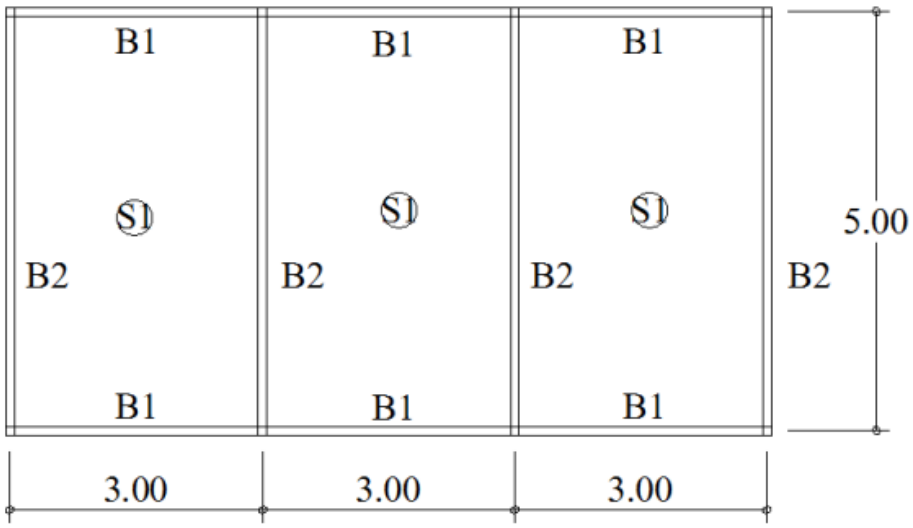
(รหัส น.ศ. หมายถึง เลขรหัสประจำตัวของตัวแทนกลุ่มนักศึกษา ใช้เฉพาะเลข **สองตัวหลังเท่านั้น**)

fc'= (กก./ซม.^{2})	fs (กก./ซม.^{2})	R (กก./ซม.^{2})	k	j
100+รหัส น.ศ. =_____.	1200	9	0.30	0.90

2.1 จงออกแบบโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก S2 จากแบบแปลนโครงสร้างของอาคารบ้านพักอาศัย ตามรูป ใช้มาตรฐาน วสท. ระยะหุ้มเหล็ก 2 ซม.



2.2 แบบแปลนทางโครงสร้างของอาคารตึกแถวสองชั้นตามรูปข้างล่างนี้ มาตรฐาน วสท. จงออกแบบโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก S1 ระยะหุ้มเหล็ก 2 ซม.



แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์
วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูล ที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ/สกุล.....เลขที่.....กลุ่ม.....ชั้น/ปี.....

ลำดับที่	พฤติกรรมที่ประเมิน	ระดับคะแนน					หมายเหตุ
		5	4	3	2	1	
1	ความตรงต่อเวลา						**ความหมายของระดับคะแนน**
2	ความมีระเบียบวินัย						ระดับการปฏิบัติมาก = 5
3	ความซื่อสัตย์สุจริต						ระดับการปฏิบัติดี = 4
4	ความสนใจใฝ่รู้						ระดับการปฏิบัติปานกลาง = 3
5	ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์						ระดับการปฏิบัติน้อย = 2
6	การละเว้นสิ่งเสพติดและการพนัน						ระดับการปฏิบัติน้อย = 1
7	ความรับผิดชอบต่อหน้าที่และงานที่ได้รับมอบหมาย						**การสรุปผล**
8	มารยาทไทย						ระดับดีมาก = 41-50
9	ความสามัคคีในหมู่คณะ						ระดับดี = 31-40
10	ความมีจิตสำนึกที่เห็นแก่ส่วนรวม						ระดับปลานกลาง = 21-30
รวมคะแนน							ระดับน้อย = 11-20
รวมคะแนนทั้งหมด							ระดับปรับปรุง = 0-10

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ประเมิน

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูล ที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายบุคคล

ที่	คะแนน / ชื่อสกุล-	การรับฟังความคิดเห็น	การเสนอความคิดเห็น	การยอมรับคนอื่น	การสร้างบรรยากาศในกลุ่ม	รวมคะแนน	ระดับการมีส่วนร่วม
		5	5	5	5	20	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

2. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายกลุ่ม

คะแนน / กลุ่ม	การนำเสนอผลงาน		การบันทึกผลงาน			รวมคะแนน	ระดับคุณภาพของผลงาน
	ขั้นนำ	ขั้นเสนอ	ขั้นสรุป	ถูกต้อง	เรียบร้อย		
	10	10	10	10	10	50	
1							
2							
3							
4							
5							

ระดับของคะแนนย่อย 5 = มากที่สุด 4 = ค่อนข้างมาก 3 = ปานกลาง 2 = ค่อนข้างน้อย 1 = น้อยที่สุด

เกณฑ์การประเมินผล 20-15 = มาก 8-14 = ปานกลาง 7-1 = น้อย

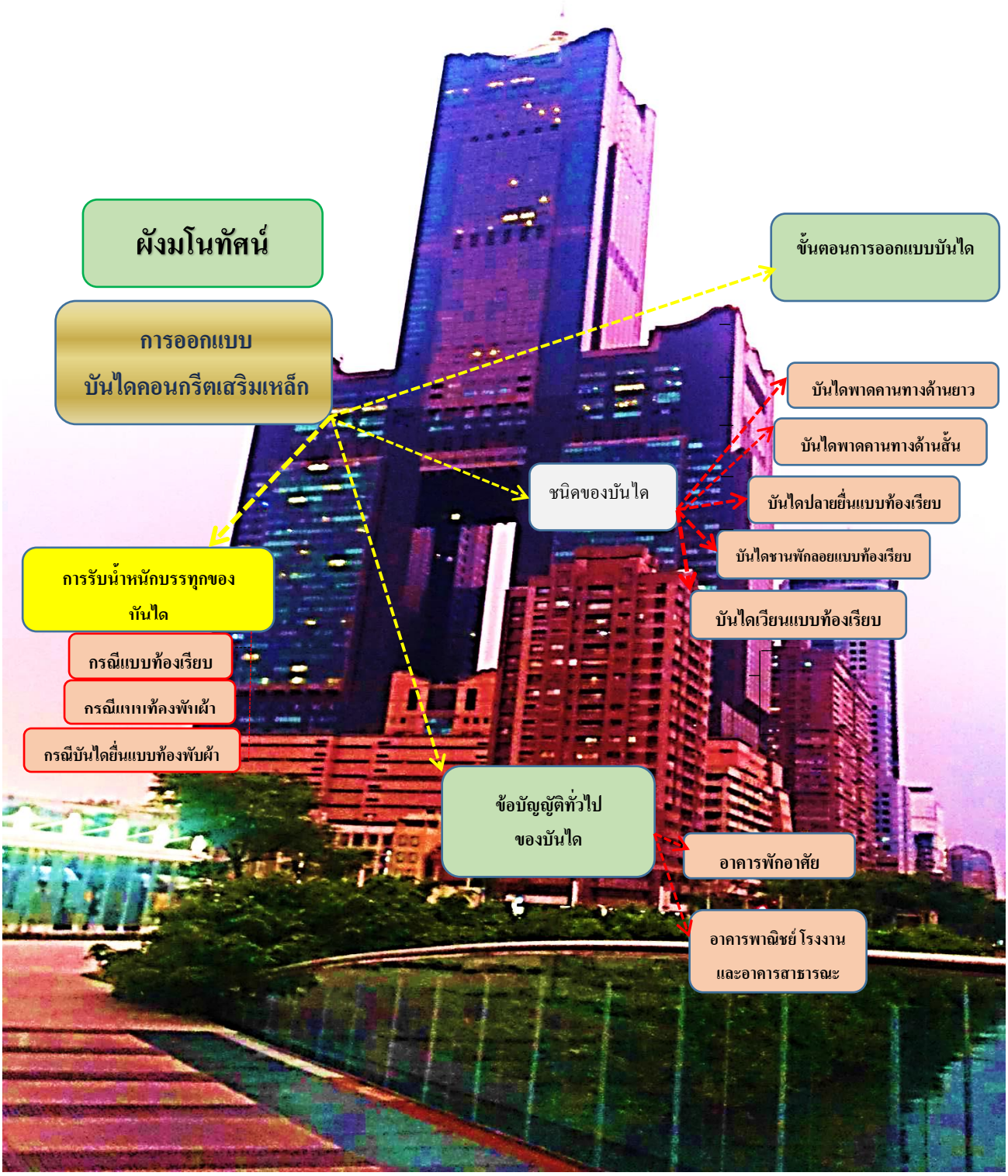
ลงชื่อผู้ประเมิน.....

(.....)

ผู้ประเมิน

โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Stair Design)



Tuntex **85** Sky Tower (**高雄85大樓**), KAOHSIUNG TAIWAN **โดย กัมปนาท บุญกัน, 2558**

บทนำ

บทเรียนโมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก จะเน้นการออกแบบการเลือกใช้ชนิดและประเภทของโครงสร้างพื้นต้องพิจารณาให้เกิดความเหมาะสมทั้งด้านความปลอดภัยและประหยัด ซึ่งพื้นเป็นโครงสร้างประกอบอาคาร ที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ โดยตรงแล้วถ่ายลงสู่โครงสร้างตัวรองรับพื้น ปัจจุบันพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคาร มีการพัฒนานำมาใช้กันหลายรูปแบบ สามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะของโครงสร้างที่รองรับพื้นและลักษณะการเสริมเหล็กหลักของพื้น พื้นเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างอาคารทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกโดยตรง ทั้งน้ำหนักบรรทุกคงที่ (DL) และน้ำหนักบรรทุกจร (LL) แล้วถ่ายน้ำหนักไปยังคาน หรือเสา หรือลงสู่พื้นดินที่บดอัดแน่น พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบมีคานรองรับ เช่น พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว (One–way slabs) และพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง (Two–way slabs) ประเภทที่สอง พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่มีคานรองรับ เช่น แผ่นพื้นไร้คาน (Flat slabs) ซึ่งจะถ่ายน้ำหนักลงเสารองรับโดยตรง และพื้นวางบนดิน เป็นต้น ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป และพื้นวางบนดิน

The third module, the stairs, is a structure that connects the floors of the building. The structure of the structure is the same as one-way steel reinforcing flooring. But with a slope The stairs of the building must have appropriate proportions for sufficient and safe use. The stair is a structure that looks like a slab used to connect the stairs between the floors in the building. With the steps of the sleeping ball about 25-30 cm wide and the ball about 15-30 cm high, the form of reinforced concrete stairs may be a wide road Or laying a long span between the supporting beams Or the ladder protruding from the beam The design of reinforced concrete staircases uses the same principles as the design of slabs, i.e. stairways must be able to withstand bending moment, shear strength and twisting moment (if any) .In addition, what should be considered is the reinforcement of the end of the staircase that is connected to the beam or sheet. The flooring between floors must be continuous, consistent. Able to transfer loads and support loads safely

คำแนะนำขั้นตอนตอนการใช้บทเรียน
โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก
(Reinforced Concrete of Stair Design)

คำแนะนำการใช้บทเรียนโมดูล

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล

ศึกษาคำแนะนาการใช้บทเรียนโมดูล

ศึกษาจุดประสงค์ของบทเรียนโมดูล

ทดสอบก่อนเรียน

ศึกษาเนื้อหาในบทเรียนโมดูล ทำกิจกรรมการเรียน บทเรียนโมดูล และทดสอบหลังเรียน

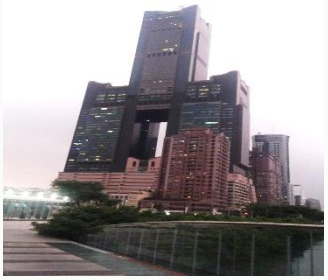
ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75

เรียนบทเรียนโมดูลหน่วยต่อไป

ไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75

เรียนซ่อมเสริมโดยใช้โมดูลเดิม โดยนักเรียนเลือกปฏิบัติดังนี้

1. ปรึกษาครูผู้สอน
2. ให้เพื่อนช่วย
3. เพิ่มเวลาในการศึกษาบทเรียน



องค์ประกอบบทเรียน

โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Stair Design)

1. ผังมโนทัศน์
2. แผนการจัดการเรียนรู้
3. ขอบเขตของเนื้อหา โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. ความรู้พื้นฐานของผู้เรียน
5. จุดประสงค์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรมจากการวิเคราะห์หลักสูตร
6. การประเมินผลก่อนเรียน

7. กิจกรรมจัดการเรียนการสอน
8. แบบทดสอบก่อนเรียน โมดูลที่ 4
9. แผนการจัดการเรียนรู้
10. เนื้อหาสาระ
11. บทสรุป

12. แบบทดสอบหลังเรียน โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก
13. ใบงานที่ 1.1 แบบฝึกหัด
14. ใบงานที่ 1.2 กิจกรรมกลุ่ม
15. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

คู่มือและคำแนะนำการใช้บทเรียน
โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก
(Reinforced Concrete of Stair Design)

คำชี้แจง: ผู้เรียนควรมีความรู้พื้นฐาน บทเรียนโมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยจะต้องสอบผ่านการประเมิน ผลในโมดูลที่ 3 ก่อนจะเรียนในโมดูลที่ 4 การออกแบบบันได คอนกรีตเสริมเหล็ก

1. ผู้เรียน ทำความเข้าใจศึกษาการเรียนการสอนด้วย บทเรียนโมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กผู้เรียน ทำแบบทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนก่อนเรียน บทเรียนโมดูลที่ 4 จำนวน 10 ข้อ
2. ผู้เรียน ตรวจคำตอบจากแบบเฉลยการทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนก่อนเรียนโมดูลที่ 4 โดยครูผู้สอนมอบให้แก่ผู้เรียน

4. ผู้เรียน ศึกษาจุดประสงค์การเรียนแต่ละตอนให้มีความรู้ ความเข้าใจ ในเนื้อหาสาระ
5. ผู้เรียน รับเอกสารเนื้อหาสาระประกอบการเรียน บทเรียนโมดูลที่ 4 จากครูผู้สอน
6. ผู้เรียน ต้องเข้าร่วมกิจกรรมการจัดการเรียนการสอน ตามเอกสารประกอบการเรียนในบทเรียนแต่ละโมดูลการเรียนรู้
7. กิจกรรมเลือก คือกิจกรรมที่มีไว้สำหรับผู้เรียนที่สอบประเมินผลไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75 โดยให้นักเรียนทำกิจกรรมเลือกตามจุดประสงค์ที่ไม่ผ่าน
8. ผู้เรียน ศึกษาทำความเข้าใจอย่างถี่ถ้วนในใบความรู้ บทเรียนโมดูลที่ 4
9. ผู้เรียน ทำแบบฝึกหัด กิจกรรมกลุ่ม บทเรียนโมดูลที่ 4
10. ผู้เรียน ทำแบบทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนหลังเรียน บทเรียนโมดูลที่ 4 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน
11. ผู้เรียนผ่านเกณฑ์ประเมินร้อยละ 75 สามารถเรียน บทเรียนโมดูลที่ 4 ต่อไปได้ แต่ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์ประเมินร้อยละ 75 ผู้เรียนต้องเรียนซ่อมเสริมใน บทเรียนโมดูลที่ 4 จนกว่าจะผ่าน
12. การเรียนซ่อมเสริม โดยผู้เรียนต้องศึกษาเนื้อหาสาระและทำกิจกรรมการเรียน และทำแบบทดสอบหลังเรียนซึ่งเป็นแบบทดสอบชุดเดียวกับแบบทดสอบก่อนเรียนอีกครั้งจนกว่าจะผ่าน เกณฑ์ร้อยละ 75
13. ผู้เรียนจัดเก็บเอกสารและสื่อการเรียน ตัวอย่างหุ่นจำลองโครงสร้าง ในทุก ๆ บทเรียนโมดูลให้เรียบร้อย

ขอบเขตของเนื้อหาการเรียนรู้

โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Stair Design)

ขอบเขตของเนื้อหาบทเรียนในโมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาสาระความรู้ต่อไปนี้

หลักการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชนิดบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

ข้อบัญญัติในการออกแบบบันได

คำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

ขั้นตอนการออกแบบบันได

การเขียนแบบแสดงรายละเอียดบันได

การวัดประเมินผลหลังการเรียน

การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน
โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก
(Reinforced Concrete of Stair Design)

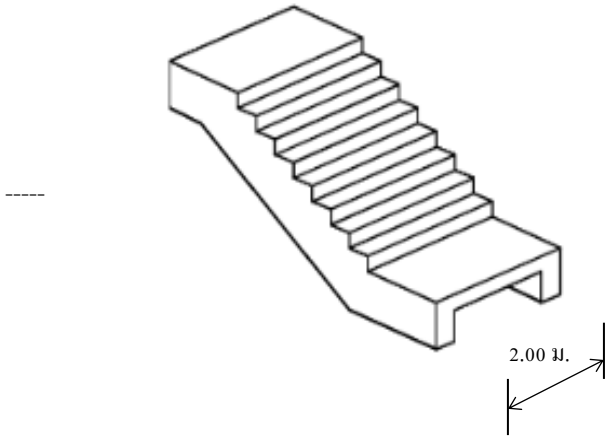
คำชี้แจง : การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียนโดยภาพรวม ให้ผู้เรียนทดสอบพื้นฐานความรู้ของตนเองก่อนเข้าระบบการเรียนปกติ

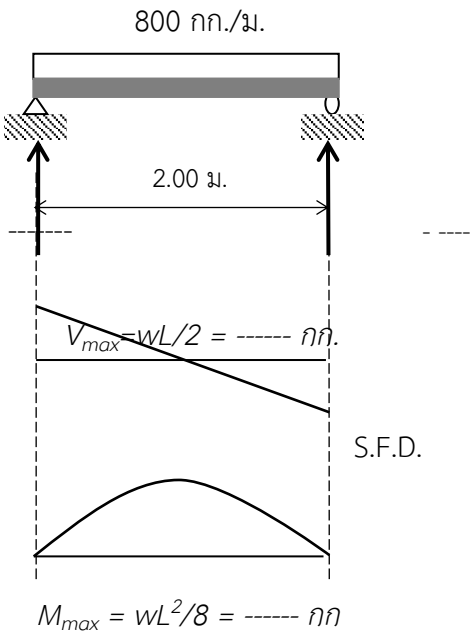
1. จงออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กกว้าง 2.00 เมตร วางพาดช่วงกว้างระหว่างคานแม่บันไดสองข้าง ลูกนอนบันไดกว้าง 0.25 เมตร ลูกตั้งบันไดสูง 0.15 เมตร

กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 2,400 กก./ซม.^{2}

LL = 300 กก./ม.^{2} วัสดุปูพื้น = 40 กก./ม.^{2} ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

วิเคราะห์โครงสร้าง : ออกแบบต่อความกว้างพื้นทุก ๆ 1.00 เมตร

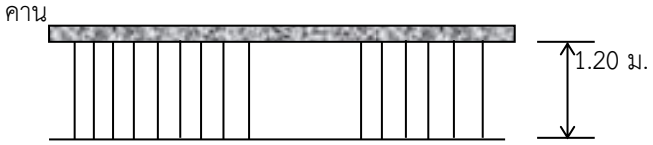


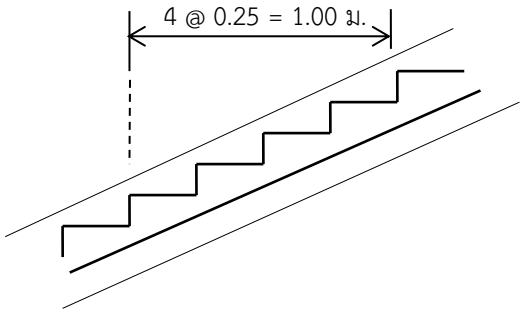


2. บันไดยื่นท้องเรียบกว้าง 1.20 ม. ปลายยื่นจากคาน ดังรูป

กำหนดให้ fc' = 210 กก./ซม.^{2} fy = 2,400 กก./ซม.^{2} w_{LL} = 300 กก./ม.^{2}

$w_{วัสดุปูพื้น}$ = 74 กก./ม.^{2} ลูกตั้งบันไดสูง 18 ซม. และลูกนอนกว้าง 25 ซม.





ผลการวิเคราะห์หลักสูตรด้านจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Stair Design)

1. จุดประสงค์การเรียนรู้

1.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

2.1 จำแนกชนิดของบันได ได้ถูกต้อง

2.2 บอกข้อบัญญัติทั่วไปของบันได ได้ถูกต้อง

2.3 คำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

2.4 เขียนแบบขยายบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

องค์ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Stair Design)

ข้อสรุป องค์ประกอบแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน โมดูลที่ 4 การออกแบบบันได คอนกรีตเสริมเหล็ก ดังต่อไปนี้

1. แนวคิด/จุดประสงค์หน่วยการเรียน/สมรรถนะ

- คำชี้แจงการใช้บทเรียนโมดูล
- แผนผังมโนทัศน์ประจำหน่วยการเรียน
- แผนการจัดการเรียนรู้
- แนวคิด/จุดประสงค์หน่วยการเรียน/สมรรถนะ
- เค้าโครงสาระสำคัญการเรียนรู้ โมดูลที่ 4

2. กิจกรรมการเรียนรู้/สื่อการประเมินผล

- แบบทดสอบก่อนเรียน
- เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
- ใบความรู้
- แบบฝึกหัด
- เฉลยแบบฝึกหัด
- ใบมอบหมาย
- แบบทดสอบหลังเรียน
- เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน
- แบบประเมินคุณธรรม /จริยธรรม/ ค่านิยม และคุณลักษณะอังพึงประสงค์
- แบบประเมินพฤติกรรมรายบุคคล
- เอกสารอ้างอิง

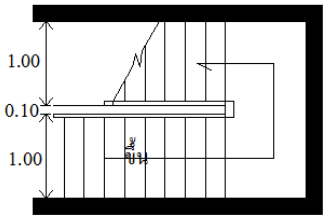
แบบทดสอบก่อนเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก
ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

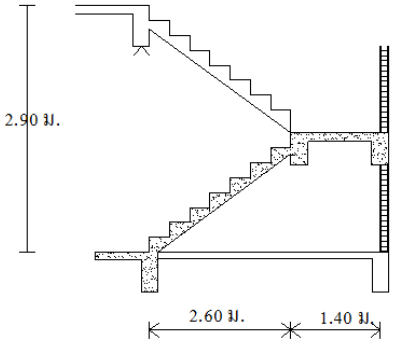
คำสั่ง: จงเติมคำลงในช่องว่างในการคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเหล็กเสริม โดยขั้นบันไดมีลูกนอนกว้าง 0.26 ม. ลูกตั้งสูง 0.17 ม. และระยะความยาวดังรูปแสดง กำหนดให้ค่าต่างๆ ดังนี้

1. บันไดมีน้ำหนักจร = (300+รหัส) =_____ กก./ม.^{2}
2. หน่วยแรงที่ยอมให้ fc' = (120+รหัส) =_____ กก./ซม.^{2}

fs = 1500 กก./ซม.^{2} n = 10 j = 0.70 R = 9 กก./ซม.^{2}

- ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก 2 ซม. (40 คะแนน)





แปลนและรูปตัดบันได

จากรูปจงตอบคำถามโดยแสดงวิธีทำลงในช่องว่างที่กำหนดให้

3. ชนิดของบันได คือ_____
4. ลูกตั้ง คือ _____ =_____ ซม.
5. ลูกนอน คือ _____=_____ ซม.
6. วสท.กำหนดให้ความหนาไม่น้อยกว่า t ≥ _____.
7. สมมุติให้ความหนา t = _____ = _____ ซม.
8. สูตรหาน้ำหนักขั้น =_____ กก./ม.^{2}
9. แทนค่าหาน้ำหนักขั้น =_____ = _____ กก./ม.^{2}
10. สูตรน้ำหนักแผ่นพื้น =_____ กก./ม.

	แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	**โมดูลที่ 4**
	รหัสวิชา 3121-2102	**สอนครั้งที่ 1-2**
	โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก	**จำนวน 6 ชั่วโมง**

1. หัวข้อเรื่อง

1.1 ปฐมนิเทศเกี่ยวกับขอบเขตเนื้อหา จุดประสงค์ วิธีการสอน กิจกรรมการสอน หลักเกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

1.2 ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนเมื่อเรียนจบสาระการเรียน

2. สาระการเรียนรู้

2.1 กำหนดขอบเขต เนื้อหาวิชา จุดประสงค์ วิธีการสอน กิจกรรมการสอน

2.2 กำหนดหลักเกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 จำแนกชนิดของบันไดได้

4.2 บอกข้อบัญญัติทั่วไปของบันไดได้

4.3 คำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กได้

	แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	**โมดูลที่ 4**
	รหัสวิชา 3121-2102	**สอนครั้งที่ 1-2**
	โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก	**จำนวน 6 ชั่วโมง**

5. กิจกรรมการเรียนการสอน

ครู	นักเรียน
5.1 นำเข้าสู่บทเรียน	5.1 ฟังบรรยายเข้าสู่บทเรียน
5.2 ทดสอบความรู้ก่อนเรียนงานบันไดคอนกรีต	5.2 ทำข้อสอบก่อนเรียน
5.3 มอบใบความรู้งานบันไดคอนกรีต	5.3 อ่านทำความเข้าใจในใบความรู้
5.4 บรรยายพร้อมแสดงสื่อประกอบการยกตัวอย่างและสอดแทรกแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง	5.4 ตั้งใจฟังบรรยาย พร้อมซักถามข้อสงสัยและตอบคำถามของครูผู้สอน
5.5 ให้แบบฝึกหัดการออกแบบบันไดคอนกรีต	5.5 ทำแบบฝึกหัด
5.6 ให้ใบมอบงาน เกี่ยวกับบันไดคอนกรีต	5.6 ทำงานตามมอบหมายงานโดยใช้กิจกรรมกลุ่ม
5.7 ทดสอบหลังเรียน	5.7 ทำข้อสอบหลังเรียน

6. งานที่มอบหมาย

6.1 ก่อนเรียนให้ใบความรู้การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

6.2 ขณะเรียนให้ศึกษาในใบความรู้ พร้อมแบ่งกลุ่มทำกิจกรรมพัฒนาองค์ความรู้และบุคลิกภาพ

6.3 หลังเรียน ให้ค้นคว้าเขียนรายงานเกี่ยวกับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กและนำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์

7. สื่อการสอน

7.1 สิ่งพิมพ์

7.2 โสต แผ่นใส และแผ่นสไลด์

7.3 ตัวอย่างผลงานการการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กหรือหุ่นจำลองการนำไปใช้ในงานก่อสร้าง

8. การประเมินผล

8.1 ก่อนเรียน

ให้ทำข้อสอบก่อนเรียน

8.2 ระหว่างเรียน

ประเมินความสนใจ และความเข้าใจในการตอบข้อซักถาม

8.3 หลังเรียน

ใบมอบงาน

แบบฝึกหัด แบบทดสอบหลังเรียน และตรวจทานความถูกต้อง

โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Stair Design)

เนื้อหาสาระบทเรียนโมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

บันได เป็นโครงสร้างที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นของอาคาร มีลักษณะของโครงสร้างเหมือนกับพื้นเสริมเหล็กหลักทางเดียว แต่มีความลาดเอียง บันไดของอาคารจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างเพียงพอและปลอดภัย ซึ่งบันไดเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายแผ่นพื้นใช้เชื่อมต่อทางขึ้นลงระหว่างชั้นในอาคาร โดยมีขั้นบันไดส่วนลูกนอนกว้างประมาณ 25–30 เซนติเมตร และลูกตั้งสูงประมาณ 15–20 เซนติเมตร รูปแบบของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กอาจเป็นแบบพาดทางช่วงกว้าง หรือพาดทางช่วงยาวระหว่างคานที่รองรับ หรือบันไดยื่นจากคาน การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กจะใช้หลักการเดียวกับการออกแบบแผ่นพื้น กล่าวคือ บันไดจะต้องสามารถต้านทานโมเมนต์ดัด แรงเฉือน และโมเมนต์บิด (ถ้ามี) นอกจากนี้ สิ่งที่ควรคำนึงคือการเสริมเหล็กปลายบันไดที่เชื่อมต่อกับคานหรือแผ่นพื้นระหว่างชั้นจะต้องต่อเนื่องสอดคล้อง สามารถส่งถ่ายแรงและรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานได้อย่างปลอดภัย

จุดประสงค์การเรียนการสอน

จุดประสงค์ทั่วไป

1.เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

2. เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

3. เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. จำแนกชนิดของบันไดได้

2. บอกข้อบัญญัติทั่วไปของบันไดได้

3. คำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กได้

เนื้อหาสาระ

4. การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

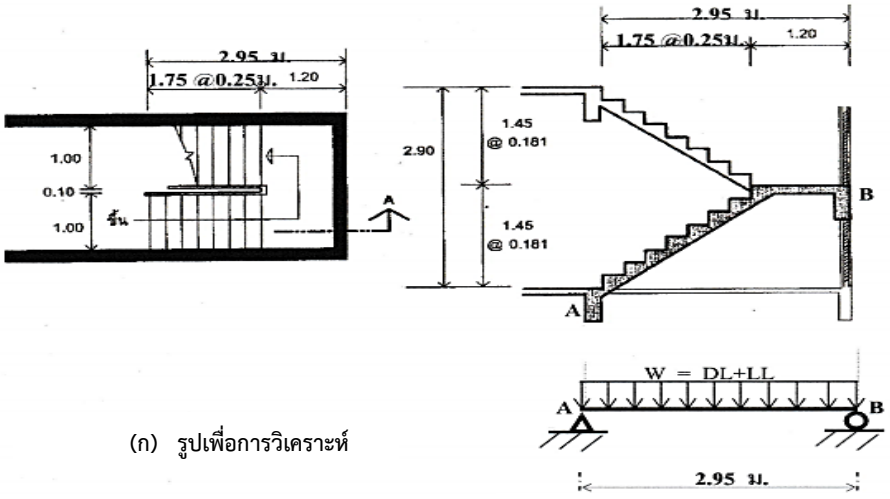
4.1 ชนิดของบันได

4.2 ข้อบัญญัติทั่วไปของบันได

4.3 คำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

4.4 ขั้นตอนการออกแบบบันได

บันได มีลักษณะของ*โครงสร้าง*เหมือนกับพื้นเสริมเหล็กหลักทางเดียว จะต่างกับพื้นก็ตรงที่มีความลาดเอียงดังรูปที่ 4.1 บันไดบางชนิดจะมีแรงบิดเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ฉะนั้นในการออกแบบบันไดชนิดต่างๆ โดยทั่วไป จะเป็นการวิเคราะห์อย่างง่ายโดยให้แรงกดอยู่ในแนวราบ ของบันไดแต่ละรูปแบบรูป (ข) ซึ่งเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย บันไดของอาคารจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างเพียงพอและปลอดภัย

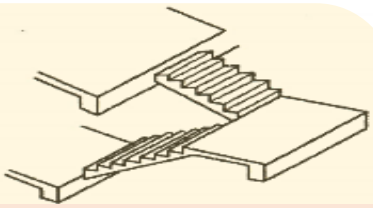


(ก) รูปเพื่อการวิเคราะห์

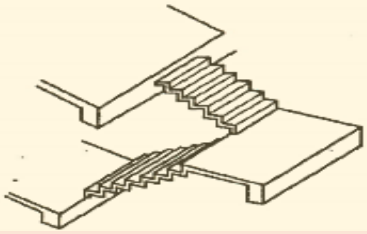
(ข) รูปเพื่อการวิเคราะห์

รูปที่ 4.1 (ก)-(ข) แปลนรูปตัดบันไดและรูปเพื่อการวิเคราะห์

4.1 ชนิดของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก



(ก) บันไดแบบท้องเรียบ



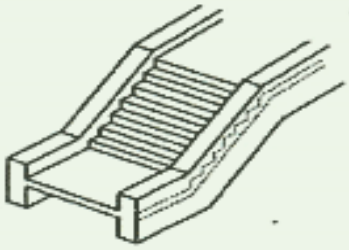
(ข) บันไดแบบท้องพับผ้า

ชนิดของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กแบ่งตามลักษณะคานรองรับบันไดและลักษณะรูปร่างของพื้นบันไดได้ดังนั้น

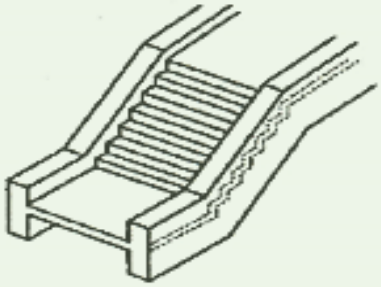
1.บันไดพาดคานทางด้านยาว

ลักษณะของที่รองรับบันไดอยู่บนคานชั้นล่างกับคานชานพัก

- **แบบท้องเรียบ** (ก) เป็นบันไดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีท้องบันไดเรียบ เป็นบันไดแบบพื้นฐานที่สร้างง่ายที่สุด
- **แบบท้องพับผ้า** (ข) ท้องบันไดเป็นหยักไปตามขั้นบันได เป็นบันไดที่มีความสวยงามมากกว่าบันไดท้องเรียบ แต่การก่อสร้างที่ยากขึ้น



(ง) บันไดแบบท้องเรียบมีคานรองรับ



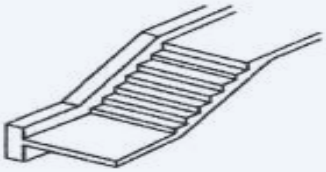
(จ) บันไดแบบพับผ้ามีคานรองรับ

2) บันไดพาดคานทางด้านสั้น

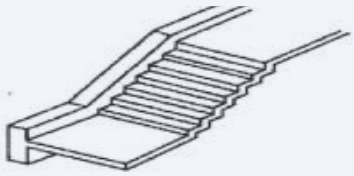
ลักษณะของที่รองรับบันไดอยู่บนคานทั้งสองข้างของขั้นบันได มี 2 แบบ

- **แบบท้องเรียบ** (รูป ค) ลักษณะเหมือนบันไดท้องเรียบ มีแม่บันไดทำหน้าที่เป็นคานช่วยรับน้ำหนัก 2 ด้าน

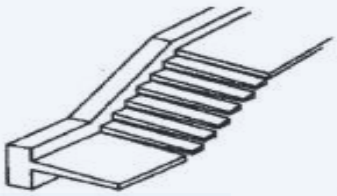
- **แบบท้องพับผ้า** (รูป ง) ลักษณะเหมือนบันไดท้องเรียบแต่มีท้องพับผ้า โดยแม่บันไดทำหน้าที่เป็นคานช่วยรับน้ำหนัก 2 ด้าน



(ฉ) บันไดแบบท้องเรียบ



(ช) บันไดแบบพับผ้า



(ซ) บันไดลูกนอนลอย

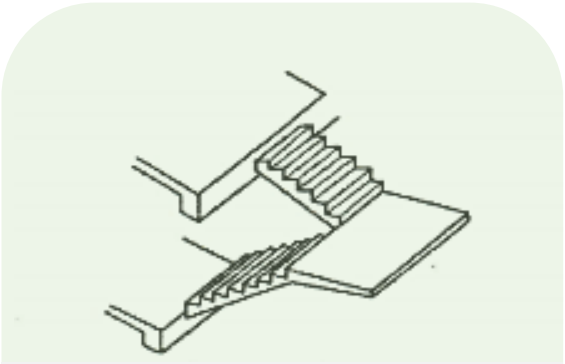
3) บันไดลายยื่นแบบท้องเรียบ

ลักษณะของที่รองรับบันไดอยู่บนคานข้างเดียว ปลายอีกข้างไม่มีที่รองรับ มี 3 แบบ

- **แบบท้องเรียบ** (รูป จ) ลักษณะเหมือนบันไดท้องเรียบ จะมีแม่บันไดทำหน้าที่เป็นคานช่วยรับน้ำหนัก

- **แบบท้องพับผ้า** (รูป ฉ) ลักษณะเหมือนบันไดพับผ้า แต่จะมีแม่บันไดทำหน้าที่เป็นคานช่วยรับน้ำหนัก

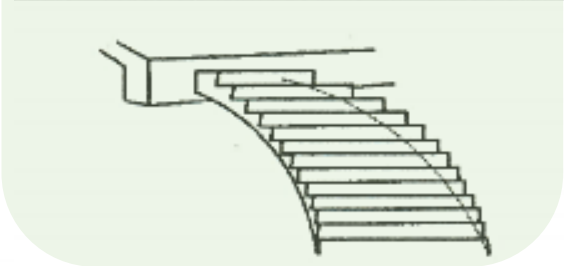
- **แบบลูกนอนลอย** (รูป ช) เป็นบันไดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ยื่นเฉพาะลูกนอนบันไดออกมาจากผนัง เหมือนขั้นบันไดแต่ละขั้นลอยได้ ซึ่งจริงๆ แล้วจะมีแม่บันไดคอนกรีตเสริมเหล็กซ่อนอยู่ในผนัง



(ช) บันไดชานพักลายแบบท้องเรียบ

4) บันไดชานพักลายแบบท้องเรียบ

ลักษณะของที่รองรับบันไดชั้นล่างคานชั้นบนและที่ชานพักไม่มีคานรองรับ กับคานชั้นบน (รูป ช)



(ฌ) บันไดเวียนแบบท้องเรียบ

5) บันไดเวียนแบบท้องเรียบ

ลักษณะของที่รองรับบันไดอยู่บนคานชั้นล่างคานชั้นบนและที่ชานพักไม่มีคานรองรับ (รูป ฌ)

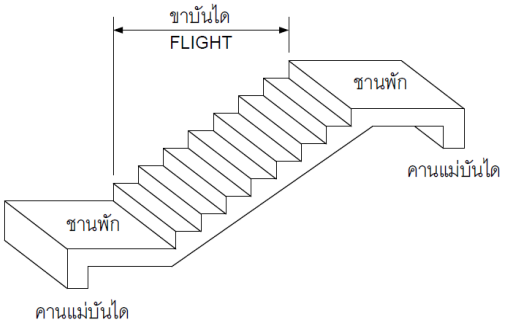
รูปที่ 4.2 (ก)-(ฌ) แบบบันไดชนิดต่างๆ

ที่มา: ชาญชัย จารุจินดา, 2537

บันไดเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายแผ่นพื้นใช้เชื่อมต่อทางขึ้นลงระหว่างชั้นในอาคาร โดยมีขั้นบันไดส่วนลูกนอนกว้างประมาณ 25–30 เซนติเมตร และลูกตั้งสูงประมาณ 15–20 เซนติเมตร รูปแบบของบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กอาจเป็นแบบพาดทางช่วงกว้าง หรือพาดทางช่วงยาวระหว่างคานที่รองรับ หรือบันไดยื่นจากคาน ดังรูปที่ 5.11 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กจะใช้หลักการเดียวกับการออกแบบแผ่นพื้น กล่าวคือ บันไดจะต้องสามารถต้านทานโมเมนต์ดัด แรงเฉือน และโมเมนต์บิด (ถ้ามี) นอกจากนี้ สิ่งที่ควรคำนึงคือการเสริมเหล็กปลายบันไดที่เชื่อมต่อกับคานหรือแผ่นพื้นระหว่างชั้นจะต้องต่อเนื่องสอดคล้อง สามารถส่งถ่ายแรงและรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานได้อย่างปลอดภัย

4.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของบันได

จากการศึกษาและการทำงานออกแบบก่อสร้างอาคารงานพบว่าโดยทั่วไปบันไดจะประกอบด้วย ส่วนที่เป็นพื้นเอียงที่มีขั้นบันไดเรียกว่า ขาบันได (Flight) ส่วนคานที่เป็นจุดรองรับเรียกว่า แม่บันได และ ชานพัก (Landing) คือส่วนของบันไดที่เป็นแผ่นพื้นใน แนวราบระหว่างชั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3

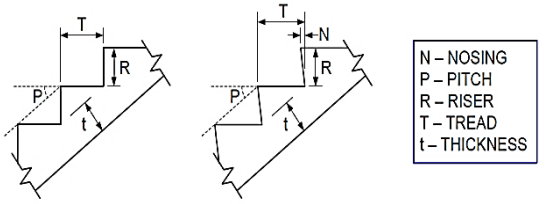


รูปที่ 4.3 องค์ประกอบของบันได

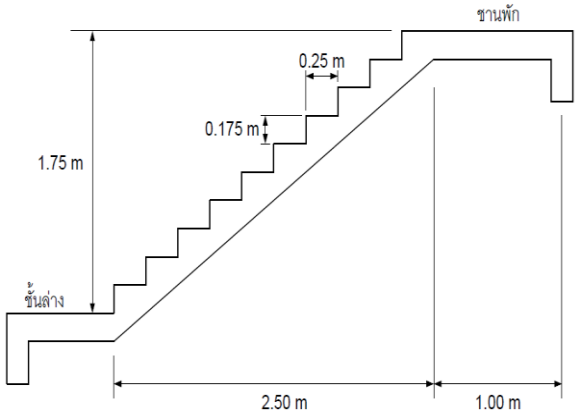
ที่มา: สาโรจน์ ดำรงศิลป์.2559

4.3 การคำนวณหาจำนวนขั้นบันได

การคำนวณจำนวนขั้นบันไดจะขึ้นกับระยะความสูงระหว่างชั้นและระยะห่างระหว่างแม่บันไดโดยพยายามให้บันไดทุกขั้นมีขนาดเท่ากันและมีขนาดที่เหมาะสม ยกตัวอย่างเช่นความสูงระหว่างชั้น คือ 3.5 เมตร ครึ่งความสูงคือ 3.5/2 x 1.75 เมตร จะได้ 10 ขั้น สูงขั้นละ 17.5 ซม. ลูกนอนขั้นละ 25 ซม. จะต้องใช้ระยะในแนวราบ 10x0.25 = 2.5 เมตร และความกว้างชานพัก 1 เมตร การคำนวณขั้นบันไดแต่ละขั้นบันไดจะประกอบด้วยระยะในแนวดิ่งเรียกว่า “ลูกตั้ง (Riser)” และระยะในแนวราบเรียกว่า “ลูกนอน (Thread)” ความสูงของลูกตั้งจะอยู่ในช่วง 15-20 ซม. ส่วนความยาวลูกนอนจะอยู่ระหว่าง 25-30 ซม. ในกรณีที่มีระยะไม่พอหรือต้องการความสวยงามอาจมี “จมูกบันได (Nosing)” อีก 2.5 ซม. และความลาดชันของบันได (Pitch) ขาบันไดล่างจะมีลักษณะดังดังแสดงในรูปที่ 4.4



(ก)



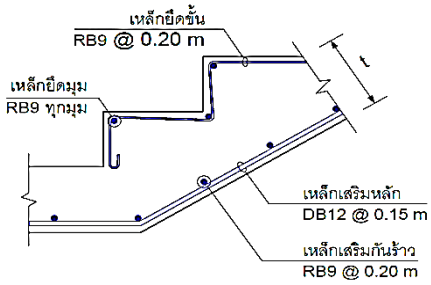
(ข)

รูปที่ 4.4 (ก)-(ข) องค์ประกอบของการคำนวณขั้นบันได

ที่มา: สาโรจน์ ดำรงศิลป์, 2559

4.4 การเสริมเหล็กบันได

เหล็กเสริมหลักบันได จะเป็นเส้นอยู่ล่างสุดเพื่อให้มีความลึกประสิทธิผลในการต้านทานโมเมนต์ดัด ส่วนเหล็กกันร้าวจะเป็นจุดวงกลมวางบนเหล็กเสริมหลัก เหล็กยึดขั้นประกอบด้วยเหล็กที่มุมบันไดเป็นจุดและเหล็กถักยึดเหล็กมุมโดยใช้ระยะห่างเท่ากับเหล็กเสริมกันร้าว เหล็กเสริมในพื้นบันไดซึ่งมีลักษณะคล้ายในพื้นปกติคือมีลักษณะเป็นตะแกรง โดยเหล็กเสริมหลักจะอยู่ในทิศทางขนานกับช่วงการรับน้ำหนักระหว่างแม่บันไดที่รองรับ ส่วนเหล็กเสริมอีกทิศทางจะใช้เพื่อป้องกันการแตกร้าวและช่วยยึดเหล็กทางหลักให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการในกรณีของบันไดพาดทางช่วงยาวระหว่างคานแม่บันไดต่างระดับความสูง



รูปที่ 4.5 การเสริมเหล็กบันได

ที่มา: สาโรจน์ ดำรงศิลป์,2559

4.5 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบบันได

กฎหมายเรื่องบันไดสำหรับบ้านพักอาศัย มีกำหนดไว้ใน กฎกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ข้อ 23 ซึ่งกำหนดบันไดสำหรับอาคารอยู่อาศัยไว้ดังนี้

ข้อ 23 บันไดของอาคารอยู่อาศัยถ้ามีต้องมีอย่างน้อยหนึ่งบันไดที่มีความกว้างสุทธิไม่น้อยกว่า 80 เซนติเมตร ช่วงหนึ่งสูงไม่เกิน 3 เมตร ลูกตั้งสูงไม่เกิน 20 เซนติเมตร ลูกนอนเมื่อหักส่วนที่ขั้นบันไดเหลื่อมกันออกแล้วเหลือความกว้างไม่ น้อยกว่า 22 เซนติเมตร และต้องมีพื้นหน้าบันไดมีความกว้างและยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของบันได บันไดที่สูงเกิน 3 เมตร ต้องมีชานพักบันไดทุกช่วง 3 เมตร หรือน้อยกว่านั้น และชานพักบันไดต้องมีความกว้างและยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของบันได ระยะดิ่งจากขั้นบันไดหรือชานพักบันไดถึงส่วนต่ำสุดของอาคารที่อยู่เหนือขึ้นไปต้องสูงไม่ น้อยกว่า 1.90 เมตร ขอบเขตระยะต่าง ๆ ของบันได ได้แก่ ความกว้าง ความกว้างสุทธิ และช่วงบันได

ข้อกำหนดนี้ใช้สำหรับบันไดที่ใช้งานปกติโดยทั่วไปสำหรับบ้าน (ไม่ว่าท่านจะเรียกเป็น บันไดหลัก บันไดรอง บันไดทางเข้าบ้าน หรือไม่ว่าจะอยู่ภายในหรือภายนอกบ้าน) ข้อกำหนดในข้อนี้ไม่ใช้กับบันไดหนีไฟ หรือบันไดสำหรับผู้พิการ ทุพพลภาพหรือคนชราซึ่งมีกฎหมายกำหนดไว้อีกโดยเฉพาะ จากข้อกฎหมายข้างต้นสามารถสรุปและขยายความได้ดังนี้

1) บันไดบ้าน ถ้ามีต้องมีอย่างน้อยหนึ่งบันได

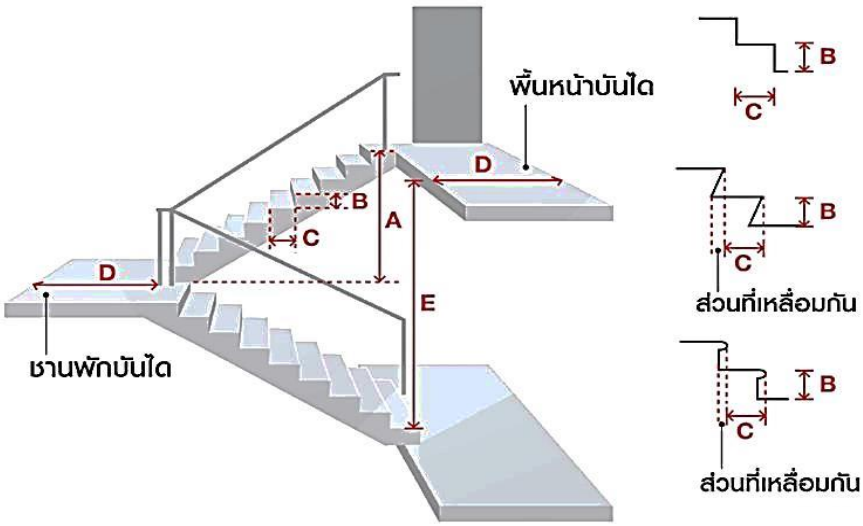
บันไดบ้าน ถ้ามีต้องมีอย่างน้อยหนึ่งบันไดโดยบันไดที่ต้องมีอย่างน้อยหนึ่งบันไดนั้น จะต้องมีระยะต่าง ๆ เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดด้วย หากบ้านของท่านมีบันไดหลายบันได แต่บันไดทั้งหมดที่มีนั้นมีระยะต่าง ๆ ไม่เป็นไปตามกฎหมาย ถ้าอยู่ระหว่างยื่นขออนุญาตก่อสร้างท่านก็จะไม่ได้รับอนุญาตจนกว่าจะแก้ไขแบบให้ถูกต้อง

2) บันไดบ้านอาศัย ต้องกว้างสุทธิไม่น้อยกว่า 80 เซนติเมตร

กฎกระทรวงนั้นใช้คำว่า *“ความกว้างสุทธิ”* ซึ่งหมายความว่า ความกว้างที่วัดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยปราศจากสิ่งใด ๆ กีดขวาง แม้จะไม่ได้กำหนดว่าวัดที่จุดใดต้องวัด *“ในจุดที่กว้างน้อยที่สุดและจะต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 80 เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม ในข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องการควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544 ข้อ 38 ก็มีการกำหนดเรื่องบันไดไว้เช่นกัน โดยเนื้อหาเกือบทั้งหมดเหมือนกับกฎกระทรวง แต่มีที่แตกต่างไป คือ กำหนดให้บันไดมีความกว้างไม่น้อยกว่า 90 เซนติเมตร”* ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครฯ ใช้คำว่า *“ความกว้าง”* และให้ความหมายของความกว้างว่า หมายถึง ระยะที่วัดตามความยาวลูกนอนบันได แปลว่าการวัดความกว้างบันไดจะต้องวัดที่ลูกนอนบันได ดังในตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 ระยะต่างๆ ของบันได ตามคุณลักษณะขององค์ประกอบตามที่กฎกระทรวงกำหนด

คุณลักษณะ องค์ประกอบตามที่กฎกระทรวงกำหนด	อาคารอยู่อาศัย (ไม่รวมถึงอาคารอยู่อาศัยรวม)
1.ความสูงช่วงบันได (A)	≤ 3.00 เมตร หากเกินต้องมีชานพัก ยกเว้นบันไดโค้ง
2.ความสูงลูกตั้ง (B)	≤ 20 เซนติเมตร
2.ความกว้างลูกนอนโดยหักส่วนเหลื่อม (C)	≥ 22 เซนติเมตร เฉลี่ย ≥ 22 ซม. สำหรับบันไดโค้งเกิน 90 องศา
3.ความกว้างและความยาวพื้นหน้าบันไดและชานพักบันได (D)	≥ ความกว้างบันได
4.ระยะดิ่งจากขั้นบันไดหรือชานพักถึงส่วนต่ำสุดเหนือขึ้นไป (E)	≥ 1.9 เมตร



รูปที่ 4.6 มิติของบันได ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ข้อ 23

ที่มา: SCG group , 2558

ข้อสังเกต ระยะต่าง ๆ ที่กำหนดในกฎหมายนั้นเป็น เกณฑ์ขั้นต่ำ ซึ่งไม่ได้หมายความว่า หากทำตามที่กฎหมายกำหนดแล้วจะสะดวกสำหรับการใช้งาน อาทิ ความสูงลูกตั้งและความกว้างลูกนอน ถ้าจะให้แนะนำก็ควรจะมีลูกตั้งสูงระหว่าง 15 – 17.5 เซนติเมตร ส่วนลูกนอนถ้าทำได้ควรกว้าง 30 เซนติเมตร ทั้งเพื่อให้ทุกคนในบ้านเดินขึ้น-ลงสบายไม่สูงเกินไปและเดินได้เต็มฝ่าเท้า หรือระยะดิ่งจากขั้นหรือชานพักบันได ถ้าเป็นไปได้ก็ควรทำให้มีความสูงมากกว่า 1.90 เมตร สำหรับคนในบ้านที่ตัวสูง ๆ จะเดินขึ้นหรือลงแล้วไม่รู้สึกเฉียดหัว

1) ข้อบัญญัติทั่วไปของบันไดอาคารพาณิชย์ โรงงาน และอาคารสาธารณะ

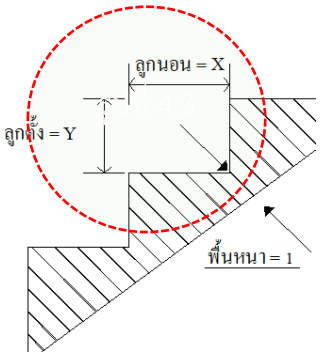
ขนาดบันได

- ความกว้าง ไม่น้อยกว่า 1.50 ม.
- ความสูง ไม่เกินช่วงละ 4.00 ม. (เกินต้องมีชานพัก)
- ขนาดขั้นบันได

ลูกตั้งไม่เกิน 19 ซม. (*Y*)

ลูกนอนไม่น้อยกว่า 24 ซม. (*X*)

(ช่วงสูงไม่น้อยกว่า 2.10 ม.)

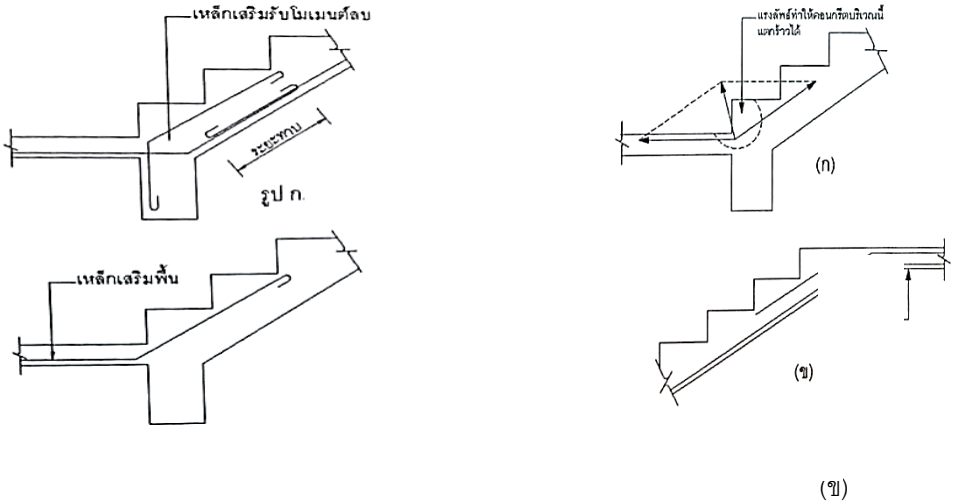


- บันไดเวียน

ส่วนแคบของบันไดเวียนต้องไม่น้อยกว่า 10 ซม.

4.6 การคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก และการจัดเหล็กเสริม

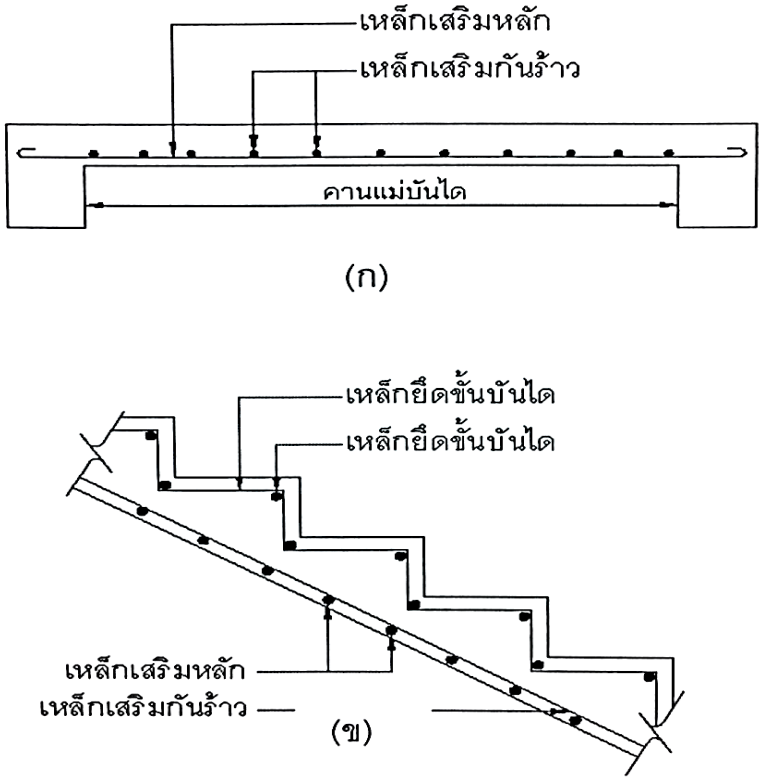
ในการออกแบบบันไดจะมีลักษณะเหมือนการออกแบบพื้น ดังนั้นวิธีการเสริมเหล็กที่เป็นเหล็กเสริมหลักก็อาศัยแนวทางเหมือนกับการเสริมเหล็กพื้น และเพื่อความสะดวกในการก่อสร้างจึงจำเป็นต้องพิจารณาจุดที่จะต่อเหล็ก รวมทั้งดัดงอเหล็ก ณ ตำแหน่งที่สำคัญ ๆ ดังกล่าวดังต่อไปนี้ (ชาญชัย, 2537 : 84 – 87) ระยะทาบเหล็ก(Tension Lap) ระหว่างเหล็กพื้นกับเหล็กบันได จะต้องเป็นไปตามการจัดวางเหล็กตามหลักเกณฑ์ ถ้าพิจารณาดูเหนือจดที่รองรับระหว่างบันได และพื้นจะเกิดโมเมนต์ลบซึ่งจะเกิดแรงดึงที่ผิวบน สำหรับบันไดเสริมเหล็กเพื่อรับโมเมนต์ คงอยู่ในคานหรือยื่นลงไปที่ผิวล่างของพื้น เพื่อให้เกิดแรงยึดเหนี่ยว ที่เพียงพอดังแสดง ตำแหน่งการจัดวางเหล็กตามหลักเกณ เห็นว่าบริเวณนี้จะเกิดโมเมนต์ลบซึ่ง ลบจะต้องฝังอยู่ในคานหรือยืน ดังในรูปที่ 4.7 (ก) และ (ข)



รูปที่ 4.7 (ก)-(ข) ตัวอย่างการเสริมเหล็กบันไดช่วงต่อชานพัก

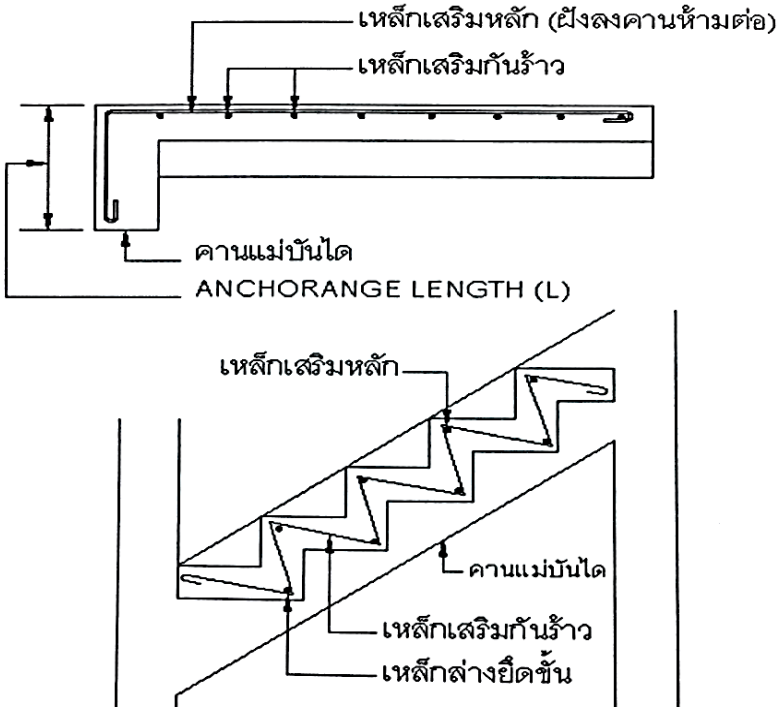
ที่มา: ชาญชัย จารุจินดา, 2537

จากรูปเนื่องจากบันไดส่วนใหญ่ มักจะมีชานพักบันได (Landing) ฉะนั้นบันได จะมีการหักงอระหว่างบันไดกับชานพักบันได ดังในรูปที่ 4.8 (ก) ซึ่งจะต้องเสริมเหล็กที่จุดนี้อย่างระมัดระวังเพราะแรงดึงในเหล็กเสริมนี้จะทำให้เกิดแรงลัพธ์ในด้านทแยงมุมดังในรูป รูปที่4.8 (ข) ซึ่งจะดึงคอนกรีตในบริเวณนั้นแตกร้าวได้ บันได คสล. แบบมีคานรับสองคาน บันไดในลักษณะนี้เป็นบันไดแบบพาด ทางช่วง กว้างมีคานรับสองคาน การเสริมเหล็กสำหรับบันไดแบบนี้ เสริมแบบพื้นเสริมเหล็กทางเดียว (one way slab) เหล็กเสริมหลักจะพาดอยู่บนคานที่อยู่สองข้างขั้นบันได (ดูรูป 4.8 ก.) ส่วนเหล็กเสริมตามความยาวของบันไดซึ่งทำหน้าที่เป็นเหล็กเสริมกันร้าว (Temperature Steel) จะวางอยู่บนเหล็กเสริมหลัก(Main Steel) การออกแบบบันไดชนิดนี้เปรียบเสมือน การออกแบบพื้นเสริมเหล็กทางเดียวที่มีแม่แบบบันไดเป็นฐานรอง ซึ่งมีช่วงเท่ากับความกว้างของบันได พื้นบันไดแบบนี้จะมีความหนาน้อยกว่าแบบอื่น



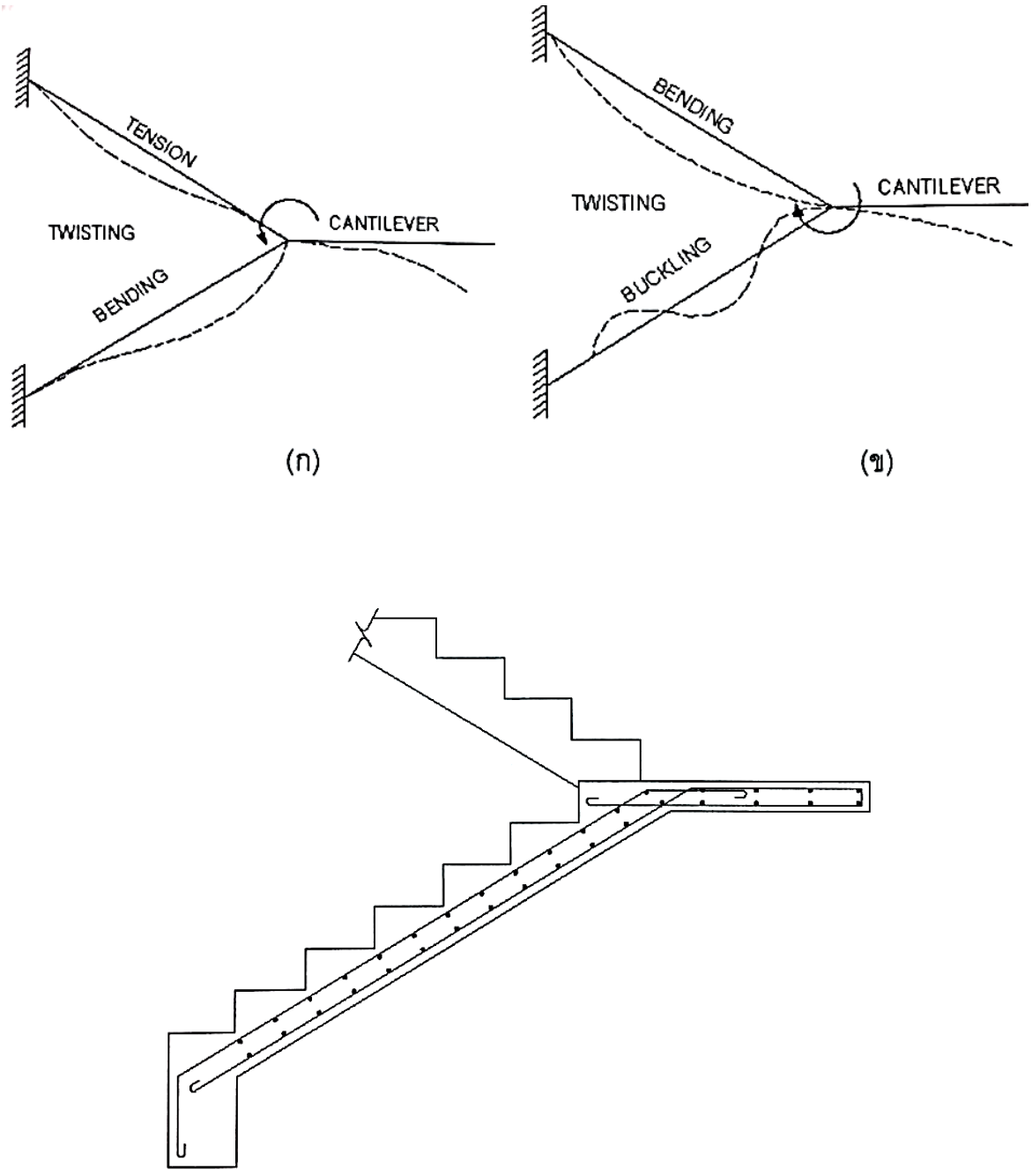
รูปที่ 4.8 (ก)-(ข) การเสริมเหล็กบันไดแบบมีคานรับ สองคาน

บักการเสริมเหล็กบันไดแบบมีคานรับ สองคาน จะมีลักษณะของคานยื่นฉะนั้นบันไดแต่ละขั้นจึงติดเสมือนคานการเสริมเหล็กต้องเสริมเหมือนคานยื่น เหล็กที่รับแรงดึงหรือเหล็กเสริมหลักจะต้องมีแรงยึดเหนี่ยวกับคานแม่บันไดได้อย่างเพียงพอ ความยาวของเหล็กเสริมหลักที่ยื่นเข้าไปในคานแม่บันได จะต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และมีเหล็กเสริมกันร้าวใส่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับเหล็กเสริมดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การเสริมเหล็กบันไดแบบคานยื่น

บันได คสล. แบบชานพักลอย ลักษณะของบันไดชนิดนี้เป็นบันไดแบบชานพักลอย (Jack - Stairs) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วไม่ค่อยนิยมกัน เนื่องจากบันไดชนิดนี้ราคาแพงมากเมื่อเทียบกับ บันไดชนิดอื่น ๆ เพราะจะต้องเสริมเหล็กเพื่อรับแรงที่เกิดขึ้นมากกว่าปกติ ตัวชานพักบันไดเปรียบเสมือนพื้นยื่น เมื่อมีน้ำหนักกดบนบันไดช่วงบนและครึ่งหนึ่งของ ชานพักทำให้เกิดโมเมนต์ดัดขึ้นที่บันไดช่วงบน เกิดโมเมนต์บิดระหว่างบันไดช่วงบนและบันไดช่วง ล่างและในเวลาเดียวกันจะ เกิดการบิด (Twisting) ขึ้นในบันไดช่วงล่าง ดังรูปเมื่อมีน้ำหนักกดบันไดช่วงล่าง และครึ่งหนึ่งของชานพัก จะทำให้เกิดแรงดึงในบันไดช่วงบน เกิดโมเมนต์บิดระหว่าง ราวบนและบันไดช่วงล่าง และเกิดโมเมนต์ดัดในบันไดช่วงล่างดังรูป เนื่องจากบันไดหลาย ๆ ชนิดในเวลาเดียวกัน ดังนั้นจะต้องเสริมเหล็กถึงสองชั้นคือที่ท้องบันไดและที่ต้องรับแรงหลาย ๆ ชนิดในเวลา ชานพัก นอกจากเหล็กเสริมหลักสองชนะ เสริมหลักอีกสองชั้น ดังนั้นจะมีเหล็กเสริมถึง สะดวกต่อการเทคอนกรีต บันไดชนิดนี้จึงการเหล็กเสริมหลักสองชั้นแล้ว ยังต้องมีเหล็กเสริมกันร้าวในทิศทางที่ตั้งฉากกับเหล็กดังนั้นจะมีเหล็กเสริมถึง 4 ชั้นด้วยกัน ซึ่งจะทำให้การเสริมเหล็กแออัดไม่คอนกรีต บันไดชนิดนี้จึงต้องมีความหนามากและคานที่รับบันไดจะต้องออกแบบให้รับโมเมนต์บิดได้อีกด้วย โดยทั่วไปแล้ว การสิ้นเปลืองทั้งตัวบันไดเองและคานรับบันได ดังแสดงการเสริมเหล็กบันไดแบบชานพักและพฤติกรรมการรับแรง ดังในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 (ก)-(ข) การเสริมเหล็กบันไดแบบชานพัก

ที่มา: ชาญชัย จารุจินดา, 2537

4.6.1 ขั้นตอนการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก (เหมือนพื้นทางเดียว)

ขั้นตอนการออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กมีดังต่อไปนี้

1) พิจารณาชนิดบันได
2) เขียนรูปเพื่อวิเคราะห์การกระทำของน้ำหนัก (ให้คิดต่อความกว้าง 1 ม. และ อยู่ในแนวราบ)
3) สมมุติความหนาพื้นบันได (t) จากมาตรฐาน วสท. หาค่า d ที่ออกแบบ = (t – ระยะหุ้ม)
4) คำนวณน้ำหนักกระทำบนบันได (W)

$$W = DL + LL$$ กก./ม. (3.1)

5) วิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ดัดกระทำสูงสุดกับพื้นบันไดคำนวณแบบเดียวกับพื้นทางเดียวและพื้นยื่น

$$M_{max} = \frac{WL^2}{8}$$ กก.-ม. (ช่วงเดียว) (3.2)

หรือ

$$M_{max} = \frac{WL^2}{2}$$ กก.-ม.(บันไดยื่น) (3.3)

6) ตรวจสอบความลึกประสิทธิผล (d) ของบันได

$$d = \sqrt{\frac{M_{max}(100)}{Rb}}$$ ซม. (≤ d ที่ออกแบบ) (3.4)

7) คำนวณหาปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมหลักรับแรงดึง (A_S) ที่ปลอดภัยต่อบันไดกว้าง 1 ม.

$$As = \frac{M_{max}(100)}{f_s \cdot j \cdot d}$$ ซม.^{2} (3.5)

กำหนดขนาดและระยะห่างเหล็กเสริมหลัก (เช่น DB 12 มม. @ 0.25 ม.)

8) คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกันร้าว ($A_S{}^t$)

$$As' = 0.0025\ x\ b\ x\ t$$ ซม.^{2} (3.6)

กำหนดขนาดและระยะห่างเหล็กเสริมรอง (เช่น RB 9 มม. @ 0.20 ม.)

9) วิเคราะห์หาค่าแรงเฉือนกระทำกับพื้นบันได

$$V_d = \frac{WL}{2} - (Wd)$$ กก. (ช่วงเดียว) (3.7)

หรือ

$$V_d = WL - (Wd)$$ กก. (บันไดยื่น) (3.8)

10) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่ปลอดภัย

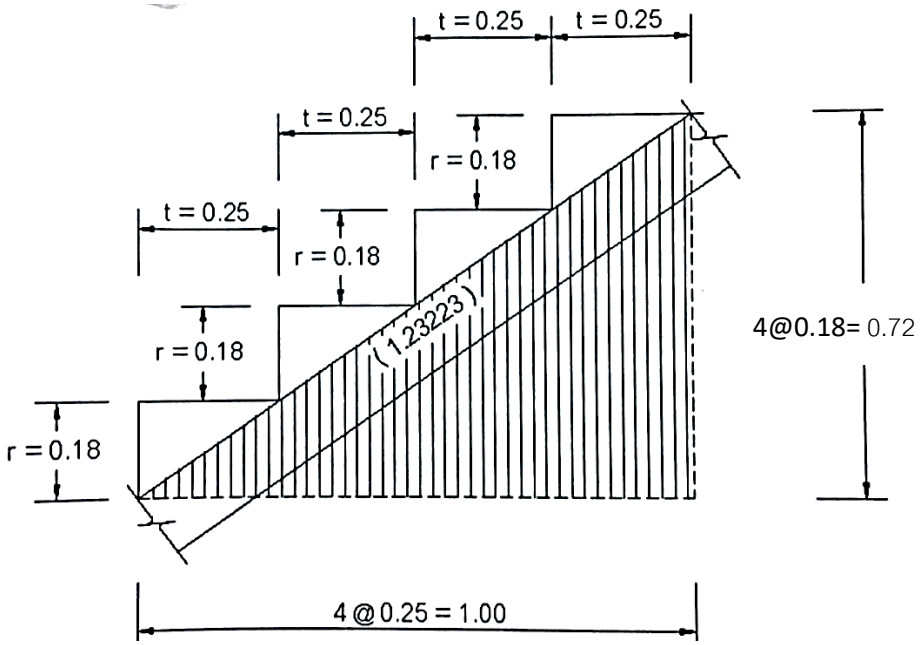
$$V_c = 0.29\sqrt{f_c{}'}\,(b \cdot d) > V_d$$ กก. (3.9)

11) ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยวที่ปลอดภัย

$u_a >$ $$u = \frac{V}{\sum o \cdot j \cdot d}$$ ./ซม.^{2} (3.10)

4.6.2 รายละเอียดการคิดน้ำหนักบันไดจากสภาพจริง

ในการคำนวณคอนกรีตเสริมเหล็ก เราใช้หลักในการคำนวณเหมือนกับพื้นเสริมเหล็กทางเดียวทุกประการโดยใช้ความกว้างเพียง1.00ม. เหมือนกัน เนื่องจากบันไดมีลักษณะเป็นพื้นเอียงในการคำนวณความยาว(L) ของบันได ให้วัดตามแนวราบและส่วนใหญ่แล้วบันไดจะมีลักษณะเป็นช่วงเดียว และทำการก่อสร้างภายหลังจากโครงสร้างส่วนอื่น ๆ ในการคำนวณคิดน้ำหนักของบันไดและน้ำหนักของพื้นที่รองรับขั้นบันได ดังแสดงในรูปที่ 4.9 สามารถคิดได้โดยใช้สูตร ดังนี้



รูปที่ 4.11 รายละเอียดการคิดน้ำหนักบันไดจากสภาพจริง

ที่มา: ชาญชัย จารุจินดา, 2537

1) น้ำหนักขั้นบันได

1.1) $12(r) = 12(18) = 216$ กก./ม^2

1.2) $\left\{\frac{1}{2}(0.18 \times 0.25 \times 2400)\right\} 4 = 216$ กก./ม^2

2) น้ำหนักพื้นบันได

2.1) $\frac{24(s)}{t}\sqrt{r^2+t^2} = \frac{24(10)}{25}\sqrt{18^2+25^2} = 295.73$ กก./ม^2

2.2) $\sqrt{1^2+0.72^2} = 1.23223 = 1.23223(0.10)(2400) = 295.73$ กก./ม^2

ในการคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กตามเอกสารฉบับนี้จะนำเสนอพร้อมตัวอย่างการคำนวณบันไดประต่างดังนี้

4.7 การคำนวณและออกแบบบันได

ตัวอย่างการคำนวณและออกแบบบันไดคอนกรีต ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบในชุดโมดูลนี้ประกอบด้วยการออกแบบโครงสร้างหลักๆ ที่สำคัญของบันได้ อาทิ บันไดพาดช่วงกว้างระหว่างคานแม่บันได บันไดพาดช่วงยาว และบันไดยื่น ดังต่อไปนี้

4.7.1 บันไดพาดช่วงกว้างระหว่างคานแม่บันได

ลักษณะรูปแบบของบันไดเหมือนกับพื้นเสริมเหล็กทางเดียวซึ่งมีคานรองรับสองข้างของความกว้างบันได ดังรูปที่ 5.11 (ก) ดังนั้น การคำนวณออกแบบจึงเหมือนกับการออกแบบพื้นเสริมเหล็กทางเดียว โดยพิจารณาหาแรงภายในต่าง ๆ ทางด้านสั้นแบบพื้นช่วงเดียว และเสริมเหล็กต้านทานโมเมนต์ดัด (As) ด้านล่างตั้งฉากกับคานแม่บันได ส่วนเหล็กเสริมต้านทานการแตกร้าว (Ast) วางด้านบนขนานกับคานแม่บันได และฝังยึดกับคานที่รองรับ ลักษณะโครงสร้างของบันไดชนิดนี้จะคล้ายกับแผ่นพื้นช่วงเดียวฑรรมดา โดยบันไดนี้จะพาดอยู่บนคานรองรับที่ระดับชั้น ลักษณะของท้องบันไดอาจเป็นแบบท้องเรียบหรือแบบพับผ้า ก็ได้นอกจากจะออกแบบบันไดในลักษณะดังกล่าวข้างต้นแล้วเป็นตัวต้านทานโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นการวิเคราะห์ โครงสร้างของบันไดทั้งสองลักษณะจะแตกต่างกันซึ่งจะได้อธิบายโดยการแสดงวิธีออกแบบใน ตัวอย่างที่ 4.1 และ 4.2

ตัวอย่างที่ 4.1 จงออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กกว้าง 2.00 เมตร วางพาดช่วงกว้างระหว่างคานแม่บันไดสองข้าง ลูกนอนบันไดกว้าง 0.25 เมตร ลูกตั้งบันไดสูง 0.15 เมตร

กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 2,400 กก./ซม.^{2}
LL = 300 กก./ม.^{2} วัสดุปูพื้น = 40 กก./ม.^{2} ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

วิธีทำ

ความหนาบันไดต่ำสุด (ลักษณะเดียวกับพื้นช่วงเดียว)

$t = L/20 : (2.00/20)$ = 0.10 ม. เลือกใช้ 0.10 ม.

น้ำหนักที่กระทำกับบันได

น้ำหนักพื้นบันได : $0.10 \times \frac{\sqrt{25^2+15^2}}{25} \times 2{,}400$ = 280 กก./ม.^{2}

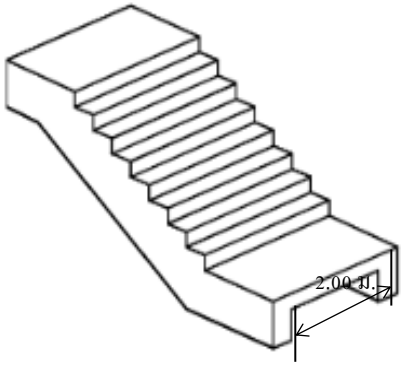
น้ำหนักขั้นบันได : 0.50 (0.15)2,400 = 180 กก./ม.^{2}

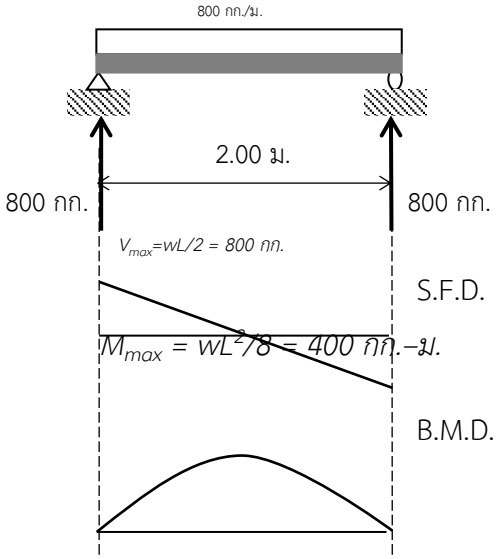
น้ำหนักวัสดุปูพื้น = 40 กก./ม.^{2}

น้ำหนักบรรทุกจร = 300 กก./ม.^{2}

น้ำหนักรวม : w = 800 กก./ม.^{2}

วิเคราะห์โครงสร้าง : ออกแบบต่อความกว้างพื้นทุก ๆ 1.00 เมตร





ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$n = 11$, $k = 0.397$, $j = 0.867$, $R = 12.39$ กก./ซม.^{2}

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : *Mc*

$$Mc = Rbd^2 = 12.39(1.0)7.0^2 = 607.11 \text{ กก.–ม.} > M_{max}$$

ปริมาณเหล็กเสริม : *As*

$$As = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{400\times100}{1{,}200(0.867)7.5} = 5.12 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.10 ม. (*As* = 6.36ซม.^{2})

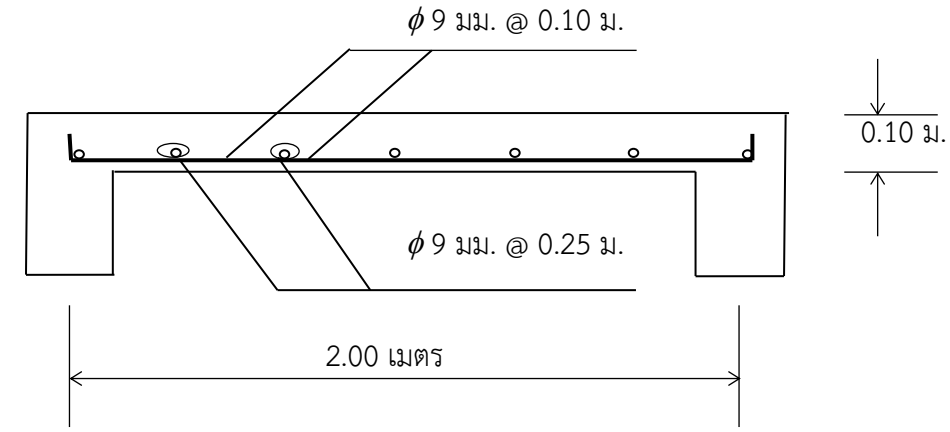
$$As^t = 0.0025bt = 0.0025(100)10 = 2.50 \text{ ซม.}^2$$

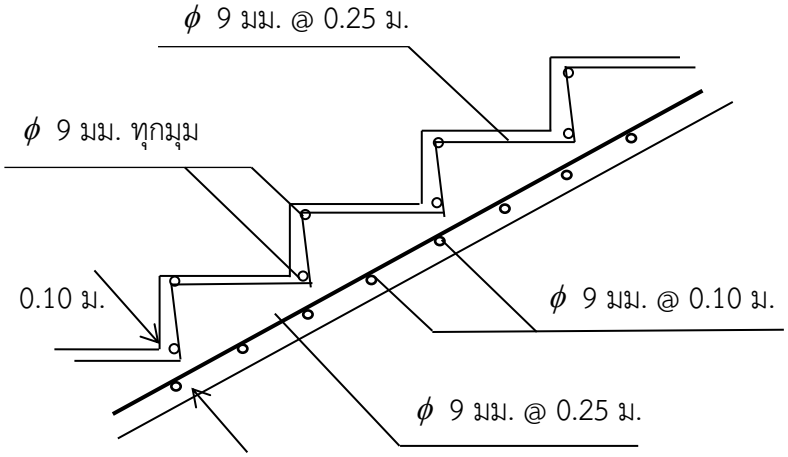
เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.25 ม. (*As* = 2.54 ซม.^{2})

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือน : *v*

$$v = \frac{V}{bd} = \frac{800}{(100)(7.0)} = 1.14 \text{ กก./ซม.}^2 < 0.29\sqrt{fc'}$$

รายละเอียดการเสริมเหล็ก





ตัวอย่างที่ 4.2 ให้ออกแบบบันไดช่วงเดียวซึ่งมีระยะในแนวราบ 3.00ม. บันไดรับน้ำหนักบรรทุกจร 300 กก./ม^2 ระยะตั้งของขั้นบันได 18.ซม. และระยะนอนของขั้นบันได 25 ซม. กำหนดให้ $f'_c =$ 35 กก./ซม.^{2} $f_c = 60$ กก./ซม.^{2} $f_s = 1200$ กก./ซม.^{2}

(ก) ออกแบบบันไดท้องเรียบ (ติดต่อความกว้างของบันได 1ม) เลือกใช้ความหนาของแผ่นพื้นบันได 13 ซม. , d = 10.5 ซม.

น้ำหนักคงที่ของบันไดแนวราบ = $0.13 \times 2400 \times \left(\frac{30.8}{25}\right) = 384$ กก./ม

น้ำหนักคงที่ของขั้นบันได = $\left(\frac{1}{2} \times 0.18 \times 0.25 \times 2400\right) \times 4 = 216$ กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจร= 300 กก/ม.

น้ำหนักรวม = 900 กก/ม.

โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น $M = \frac{wL^2}{8} = \frac{1}{8} \times 900 \times 3.00^2$ = 1012 กก.-ม.

โมเมนต์ต้านทานของคอนกรีต $M_c = Rbd^2 = 9.84 \times 1.00 \times 10.5^2 = 1085$ กก.-ม.

ค่า M_cมากกว่าค่า M เล็กน้อยแสดงว่าความหนาของพื้นที่เลือกไว้ใช้ได้

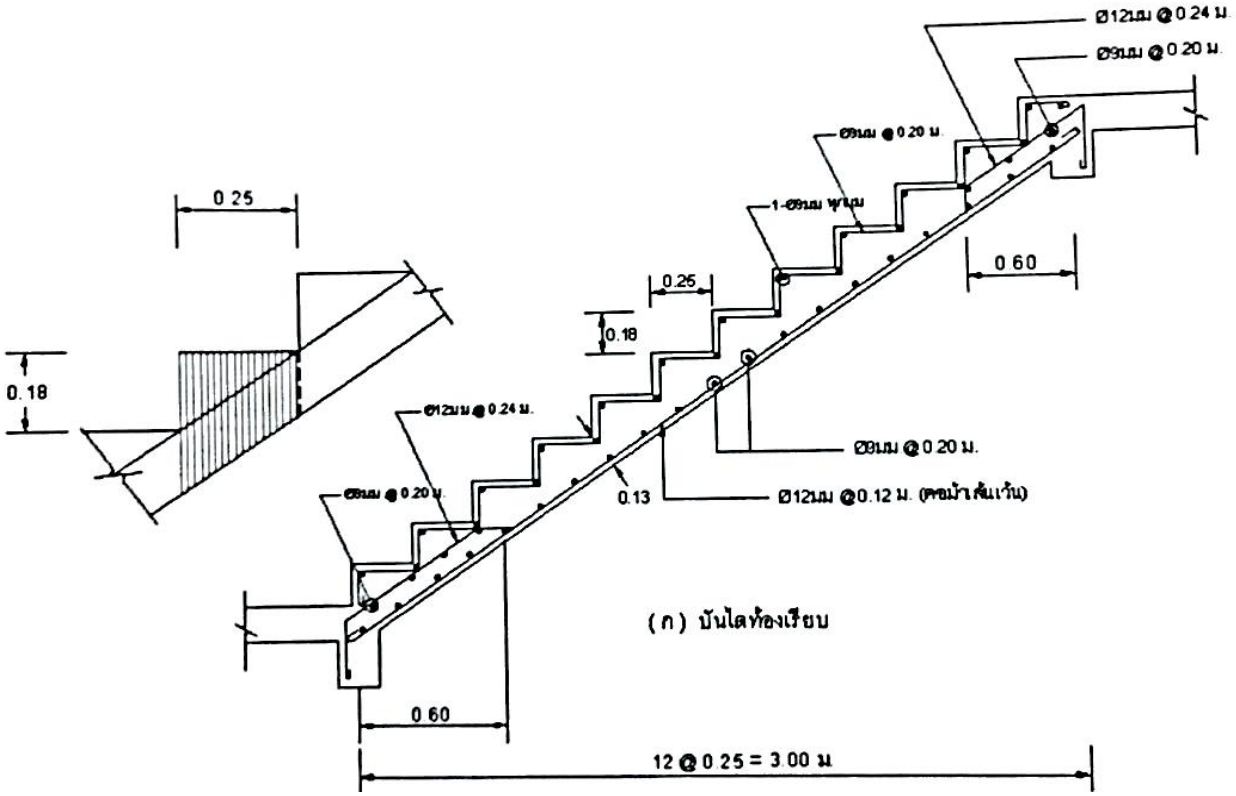
เหล็กเสริมหลัก $A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{1012}{1200 \times 0.875 \times 0.105} = 9.18$ ซม.^{2}

ใช้เหล็กเสริม RB 12 มม. @ 0.12 ม. A_s = 9.4 ซม.^{2} จะได้ค่า $\sum_o = 3.14$ ซม.

ใช้เหล็กเสริม RB9 @ 0.20 ม. $A_s = 3.2$ ซม.^{2}

หน่วยแรงยึดหน่วง $u = \frac{v}{\sum_o jd} = \frac{1.5 \times 900}{31.4 \times 0.875 \times 10.5} = 4.7$ ซม.^{2}

หน่วยแรงยึดหน่วยที่ยอมให้สำหรับเหล็กเส้นกลม RB12 มม. $f'_c = 135$ กก./ซม.^{2} , $u = 11$ กก./ซม^2



รูปขยายการติดตั้งเหล็กเสริมผลการออกแบบบันไดท้องเรียบ

(ข) ออกแบบเป็นบันไดพับผ้า (ความกว้างของบันได 1ม .)

เลือกใช้ความหนาของบันได 12 ซม. = d =9.5 ซม.

น้ำหนักคงที่ของบันได= 4(0.25+0.18)×0.12×2400=495 กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจร = 300 กก./ม.

น้ำหนักรวม 795 กก./ม.โมเมนต์ที่เกิดขึ้น $M = \frac{1}{8} \times 795 \times 3.00^2 = 849$ กก.-ม.

โมเมนต์ต้านทานคอนกรีต $M_c = Rbd^2 = 9.84 \times 1.00 \times 9.5^2 = 888$ กก.-ม.

ค่า M_c มากกว่าค่า M เล็กน้อยแสดงว่าความหนาของพื้น ที่เลือกไว้ใช้ได้

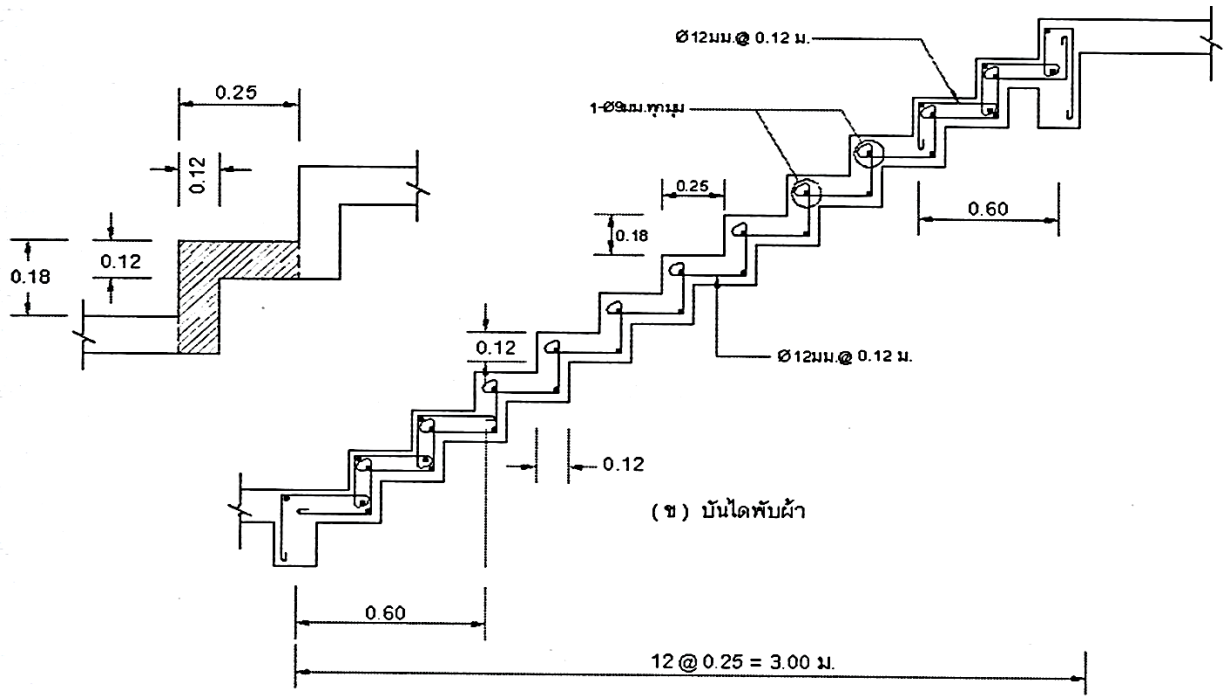
เหล็กเสริมหลัก $A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{894}{1200 \times 0.875 \times 0.095} = 9.0$ ซม^2

ใช้เหล็กเสริม RB 12 มม. @ 0.12 A_s = 9.4 ซม.^{2}, $\sum_o = 3.14$ ซม.

หน่วยแรงยึดหน่วง $u = \frac{v}{\sum_o jd} = \frac{1.5 \times 795}{31.4 \times 0.875 \times 9.5} = 4.6$ กก./ซม^2

หน่วยแรงยึดหน่วยที่ยอมให้สำหรับเหล็กเส้นกลม RB12 มม.

$f'_c = 135$ กก./ซม^2 $u = 11$ กก./ซม^2



รูปขยายแสดงการติดตั้งเหล็กเสริมผลการออกแบบบันไดพับผ้า

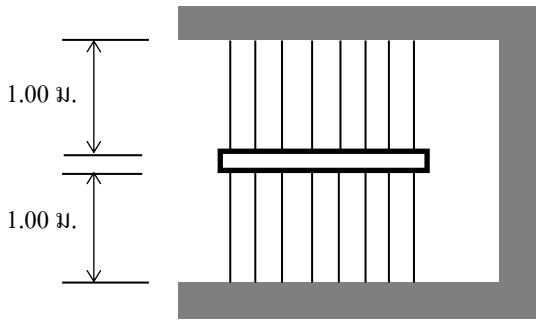
4.7.2 บันไดพาดช่วงยาว

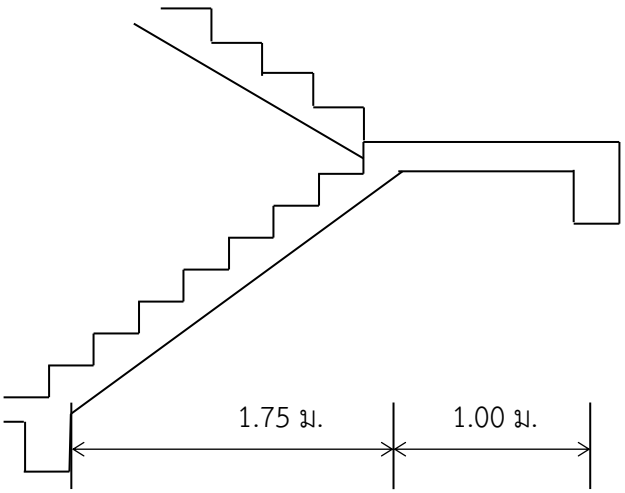
ลักษณะรูปแบบของบันไดเป็นแผ่นพื้นเสริมเหล็กทางเดียวพาดช่วงยาวระหว่างคานรองรับ กับคานชานพักบันได ซึ่งท้องบันไดอาจเป็นแบบเรียบหรือแบบพับผ้าก็ได้ ดังนั้น การคำนวณออกแบบจึงเหมือนกับการออกแบบพื้นเสริมเหล็กทางเดียว โดยพิจารณาหาแรงภายในแผ่นพื้นจากช่วงยาวระหว่างคานรองรับโดยใช้ระยะแนวราบ เสริมเหล็กลักษณะเดียวกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว และฝังยึดเข้ากับคานที่รองรับ

ตัวอย่างที่ 4.3 จงออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กวางพาดช่วงยาว โดยมีช่วงยาวระหว่างคานรองรับ 2.75 เมตร ดังรูป ลูกนอนบันไดกว้าง 25 เซนติเมตรลูกตั้งสูง 20 เซนติเมตร

กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2}

LL = 300 กก./ม.^{2} วัสดุปูพื้น = 60 กก./ม.^{2} ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ





วิธีทำ

ความหนาบันไดต่ำสุด : $t = L/20$

$t = 2.75/20$ = 0.13 ม. เลือกใช้ 0.15 ม. (d = 0.125 m.; *Covering*: 2.5 cm.)

น้ำหนักที่กระทำกับบันได

น้ำหนักพื้นบันได : $0.15 \times \frac{\sqrt{20^2 + 25^2}}{25} \times 2{,}400$ = 461 กก./ม.^{2}

น้ำหนักขั้นบันได : 0.50 (0.20)2,400 = 240 กก./ม.^{2}

น้ำหนักวัสดุปูพื้น = 60 กก./ม.^{2}

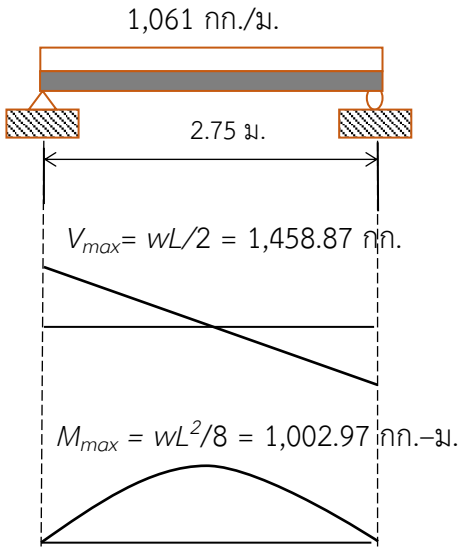
น้ำหนักบรรทุกจร = 300 กก./ม.^{2}

น้ำหนักรวม : w = 1,061 กก./ม.^{2}

ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$n = 11$, $k = 0.345$, $j = 0.885$, $R = 10.99$ กก./ซม.^{2}

วิเคราะห์โครงสร้าง : ออกแบบต่อความกว้างพื้นทุกๆ 1.00 เมตร



โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : *Mc*

$Mc = Rbd^2 = 10.99(1.0)12.5^2$

= 1,717.18 กก.–ม. > M_{max}

หรือตรวจสอบความลึกประสิทธิผล (*d*) ที่ต้องการ

$$d = \sqrt{\frac{M_{\max}}{Rb}} = \sqrt{\frac{1{,}002.97\times 100}{10.99\times 100}}$$

= 9.55 ซม. < 12.5 ซม. ok

ปริมาณเหล็กเสริม : *As*

$$As = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{1{,}002.97\times 100}{1{,}500(0.885)12.5} = 6.04 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ DB 12 มม. @ 0.175 ม. (As = 6.45 ซม.^{2}, $\sum_o$ = 21.54 ซม.)

$As^t = 0.0025bt : 0.0025(100)15 = 3.75$ ซม.^{2}

เลือกใช้ ϕ 9 มม. @ 0.15 ม. (As = 4.24 ซม.^{2})

เส้นรอบรูปที่ต้องการ

$$\sum_o = \frac{V}{u.jd} = \frac{1{,}458.87}{34.04(0.885\times 12.5)},$$

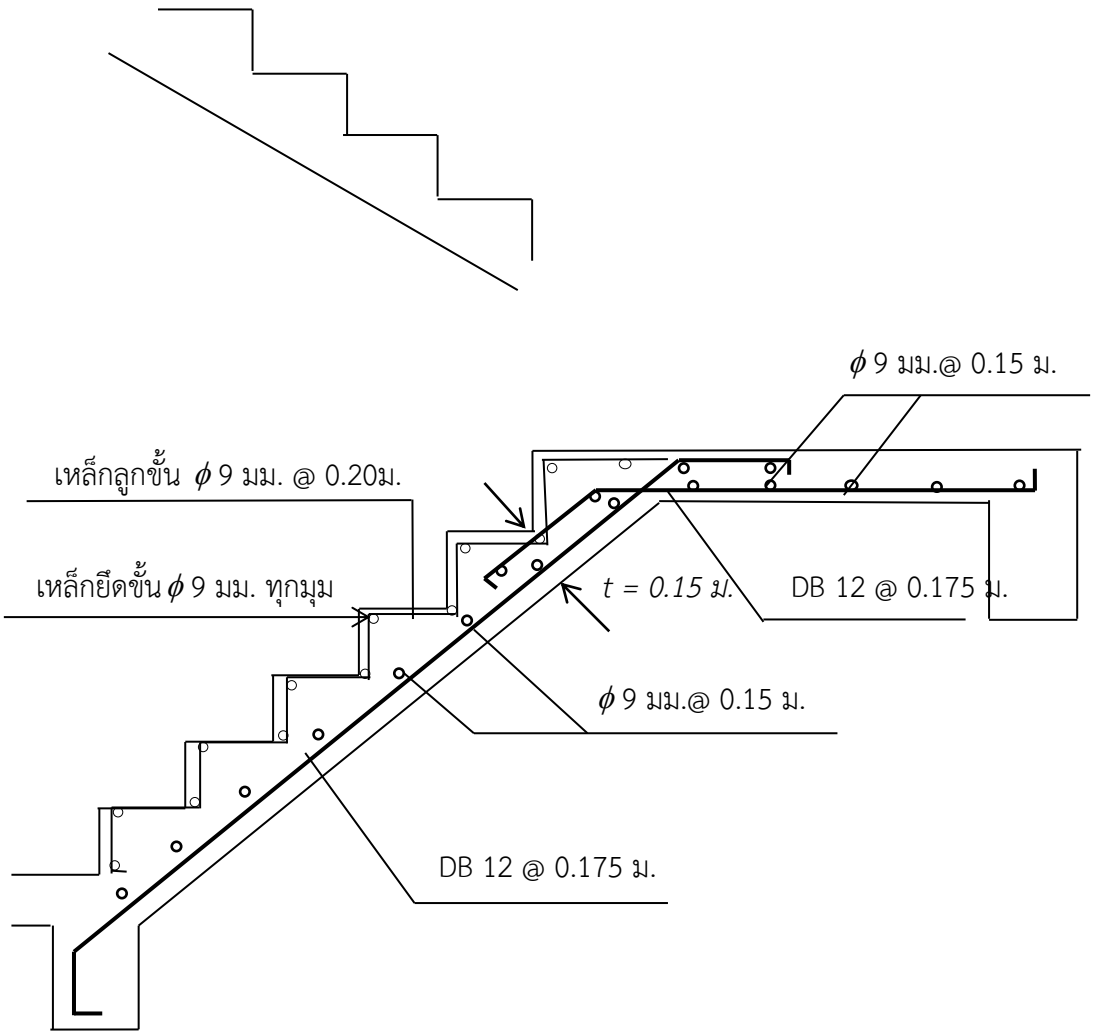
$$u = \frac{3.23\sqrt{fc'}}{d_b} = 34.04 \text{ กก./ซม.}^2$$

= 3.87 ซม. < 21.54 ซม. ใช้ได้

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือน : *v*

$$v = \frac{V}{bd} = \frac{1{,}458.87}{(100)(12.5)} = 1.16 \text{ กก./ซม.}^2 < 0.29\sqrt{fc'}$$

รายละเอียดการเสริมเหล็ก



ตัวอย่างที่ 4.4 ให้ออกแบบบันไดช่วงเดียวแบบพับผ้าที่มีตานแม่บันไดทั้งสองข้างโดยมีความยาวช่วงในแนวราบ 3.50 ม. ความกว้างของบันได 2.00ม. ระยะดั้งของขั้นบันได18 ซม. และระยะนอนของขั้นบันได 25 ซม.

กำหนดให้ $f'_c = 135$ กก./ซม.^{2} $f_c = 60$ กก./ซม.^{2} $f_s = 1200$ กก./ซม^2 น้ำหนักบรรทุกจร = 400 กก./ม^2

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบบันได

เลือกใช้ความหนาของขั้นบันได 8 ซม.

ออกแบบโดยใช้ลูกตั้งของขั้นบันไดเป็นคานที่มีระยะช่วงคาน = 2.00 ม.

น้ำหนักคงที่ของบันไดต่อขั้น $= 0.08(0.15 + 0.25) \times 2400 = 82$ กก./ม

น้ำหนักบรรทุกจรต่อขั้น = $0.25 \times 400 = 100$ กก./ม

น้ำหนักรวม = 182 กก./ม

โมเมนต์ดัด M = $\frac{1}{8} \times 182 \times 2.00^2 = 91$ กก.-ม.

โมเมนต์ต้านทานคอนกรีต $M_c = Rbd^2 = 9.84 \times 0.08 \times 23^2 = 416$ กก.-ม.

เหล็กเสริมรับโมเมนต์ $A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{91}{1200 \times 0.875 \times 0.23} = 0.38$ ซม^2

ใช้เหล็กเสริม 1RB9 มม., A_s = 0.64 ซม^2

ขั้นตอนที่2 ออกแบบคานบันได

เลือกใช้คานขนาดหน้าตัด 15×35 ซม^2

น้ำหนักคงที่ในแนวราบ $= 0.15 \times 0.35 \times 2400 \left(\frac{30.8}{25}\right) = 155$ กก./ม.

น้ำหนักคงที่ในแนวราบ = 883 กก./ม.

น้ำหนักรวม = 4 ×182 = 728 กก./ม.

โมเมนต์ดัด M = $\frac{1}{8} \times 883 \times 3.50^2 = 1352$ กก.-ม.

โมเมนต์ต้านทานของคอนกรีต $M_c = Rbd^2 = 9.84 \times 0.15 \times 32^2 = 1511$ กก.-ม.

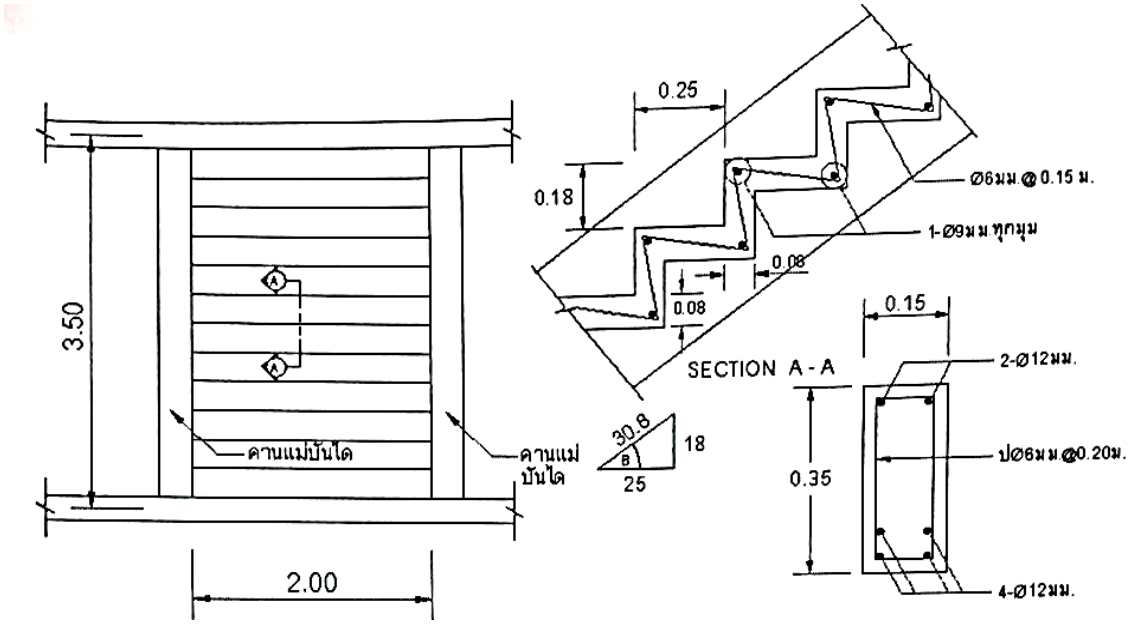
เหล็กเสริมรับโมเมนต์ $A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{1352}{1200 \times 0.875 \times 0.32} = 4.02$ ซม^2

ใช้เหล็กเสริม 4RB12 มม. A_s = 4.52 ซม^2

แรงเฉือน $v = 833 \left(\frac{3.5}{2} - 0.32\right) = 1263$ กก.

$V = \frac{1263}{15 \times \times 32} = 2.63$

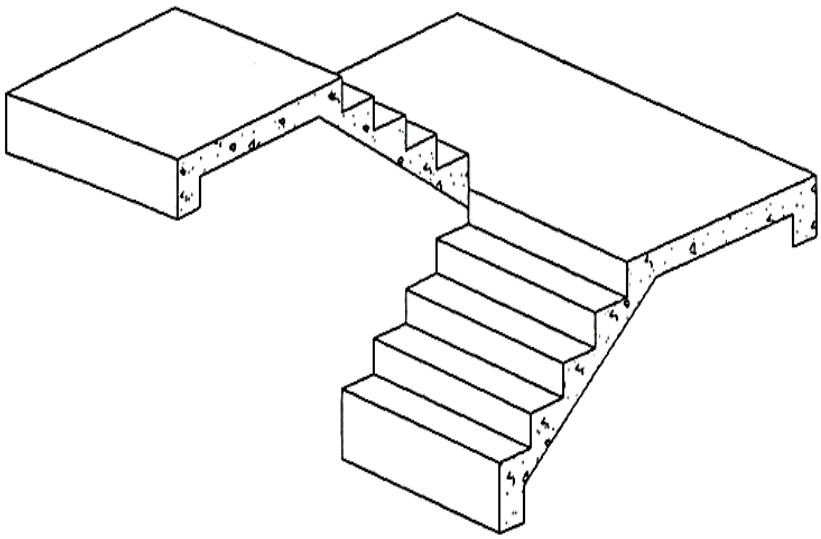
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ $v_c = 0.29\sqrt{f}_c$ = 3.37 กก./ซม^2



รูปขยายแสดงการติดตั้งเหล็กเสริมผลการออกแบบคานบันได

4.7.3 บันไดแบบมีชานพักระหว่างขั้น (Half flight with landing stairs)

ลักษณะโครงสร้างของขั้นบันไดชนิดนี้จะคล้ายกับบันไดช่วงเดียว เพียงแต่ว่ามีชานพักบันไดระหว่างชั้น เพื่อเปลี่ยนทิศทางการขึ้นของบันไดดังแสดงในรูปที่ 4.4 การที่มีการเปลี่ยนทิศทางการขึ้นจะลดช่วงระยะของบันได



รูปที่ 4.12 ลักษณะของบันไดที่มีชานพักระหว่างชั้น

ที่มา: วิรัตน์ ธรรมภรณพิลาส, 2528 และกัมปนาท บุญกัน ปรับปรุง 2558

ตัวอย่างที่ 4.5 ให้ออกแบบบันไดที่มีชานพักระหว่างขั้นดังแสดงในรูปข้างล่างบันไดจะต้องรับน้ำหนักบรรทุกจร 300 กก./ม.^{2}

กำหนดให้ $f'_c = 135$ กก./ซม.^{2} $f_c = 60$ กก./ซม.^{2} $f_s = 1200$ กก./ซม^2

เลือกใช้ความหนาของแผ่นพื้นบันได 15 ซม,d = 12.5 ซม.

น้ำหนักคงที่ของแผ่นพื้นบันไดตามแนวราบ = $0.15 \times 2400 \left(\frac{30.8}{25}\right) = 444$ กก./ม^2

น้ำหนักคงที่ของขั้นบันได = $\left(\frac{1}{2} \times 0..18 \times 0.25 \times 2400\right) \times 4 = 216$ กก./ม^2

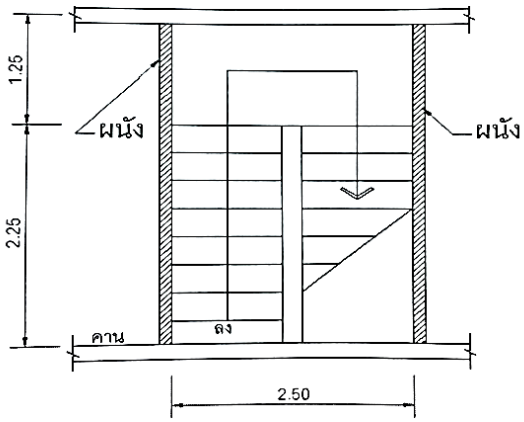
น้ำหนักบรรทุกจร = 300 กก./ม^2

น้ำหนักบรรทุกคของชานพักบันได = 960 กก./ม^2

น้ำหนักคงที่ของชานพักบันได = 15×2400 = 360 กก./ม^2

น้ำหนักบรรทุกจร = 300 กก./ม^2

น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดของชานพัก = 660 กก./ม^2



ออกแบบโดยติดต่อความกว้างของบันได 1ม. โมเมนต์ดัดสุดเกิดที่หน้าตัดซึ่งแรงเฉือนเท่ากับศูนย์

$M_{max} = (1613 \times 1.68) - \left(\frac{1}{2} \times 960 \times 1.68^2\right)$ =1355 กก.-ม.

$M_c = Rbd^2 = 9.84 \times 1.00 \times 12.5^2$ = 1537 กก./ม.

โมเมนต์ต้านทานของคอนกรีตมีค่ามากกว่าโมเมนต์ดัดสุงสุด

ดังนั้นจึงไม่ต้องเสริมเหล็กรับแรงดึง

เหล็กเสริมหลัก $A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{1355}{1200 \times 0.875 \times 0.125} = 10.3$ ซม.^{2}

ใช้เหล็กเสริม RB12 มม. @ 0.10 ม. A_s = 11.3 ซม.^{2}

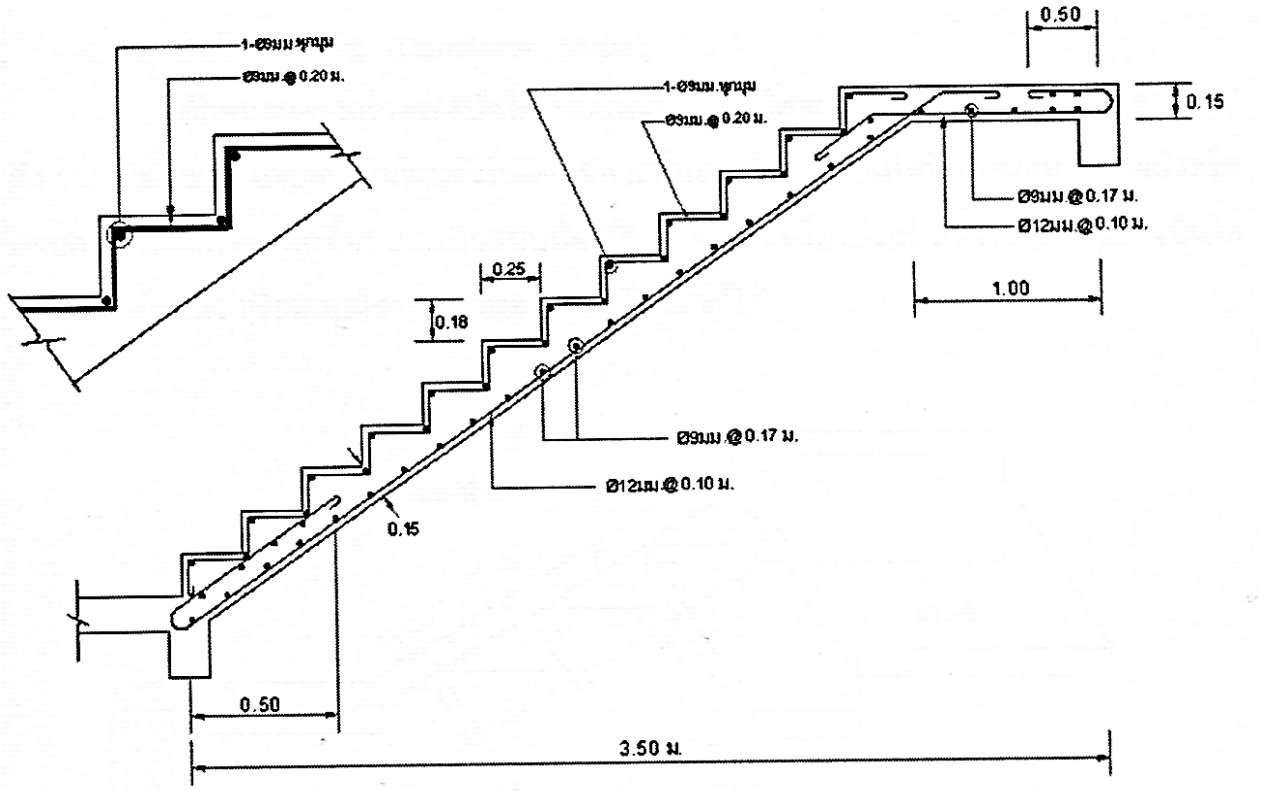
เหล็กกันร้าว $A_t = 0.0025bt = 0.0025 \times 100 \times 15 = 3.7$

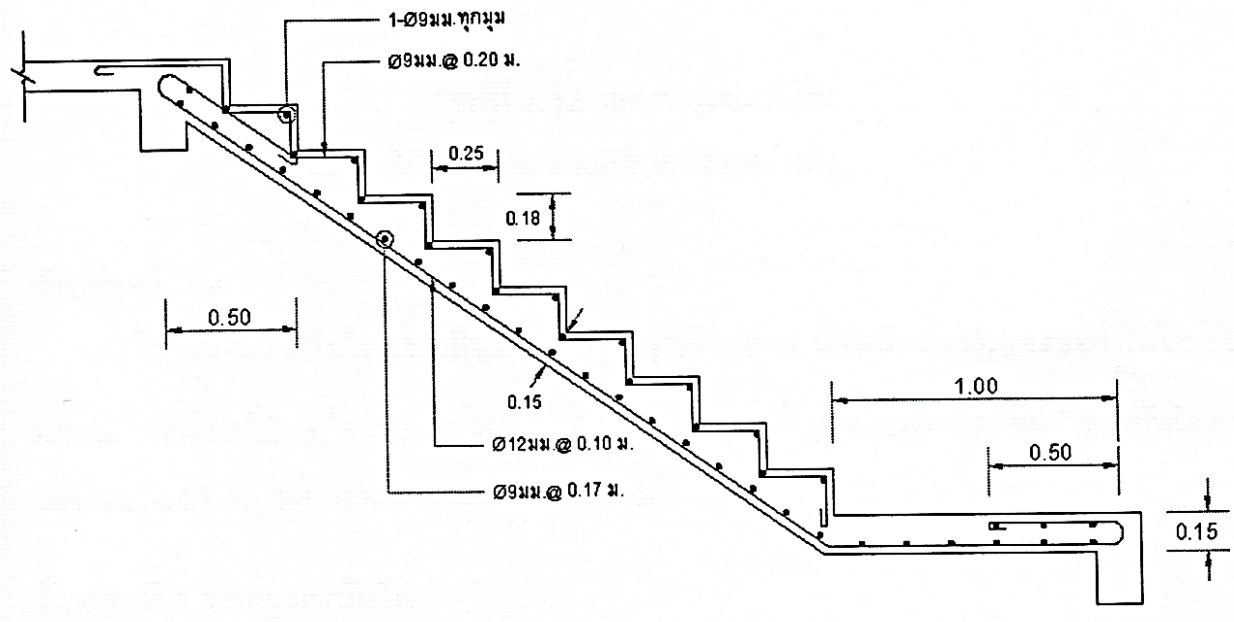
ให้เหล็กเสริมRB9 มม. @ 0.17 ม. A_s = 3.7 ซม.^{2}

แรงเฉือนวิกฤติที่หน้าตัดห่าง d จากฐานรองรับ V=1613 – (960 × 0.125) =1493 กก.

$V = \frac{v}{bd} = \frac{1493}{100 \times 12.5} = 1.2$ กก./ซม.^{2}

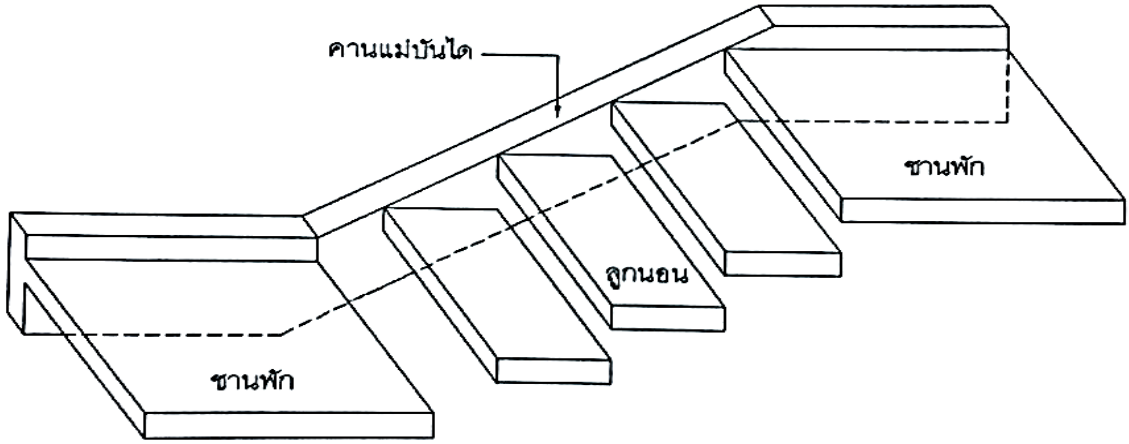
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้สำหรับแผ่นพื้น $v_c = 0.53\sqrt{f_c} = 6.16$กก./ซม.^{2}


1-Ø9มม.ทุกมุม
Ø9มม.@ 0.20 ม.
0.50
0.15
Ø9มม.@0.17 ม.
Ø12มม.@0.10 ม.
0.25
0.18
1.00
0.15
0.50
3.50 ม.


1-Ø9มม.ทุกมุม
Ø9มม.@ 0.20 ม.
0.25
0.18
0.50
0.15
1.00
0.50
Ø12มม.@ 0.10 ม.
Ø9มม.@ 0.17 ม.
0.15

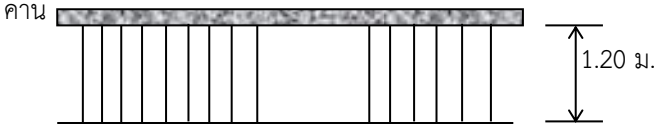
4.7.4 บันไดแบบยื่น (Cantilever stairs)

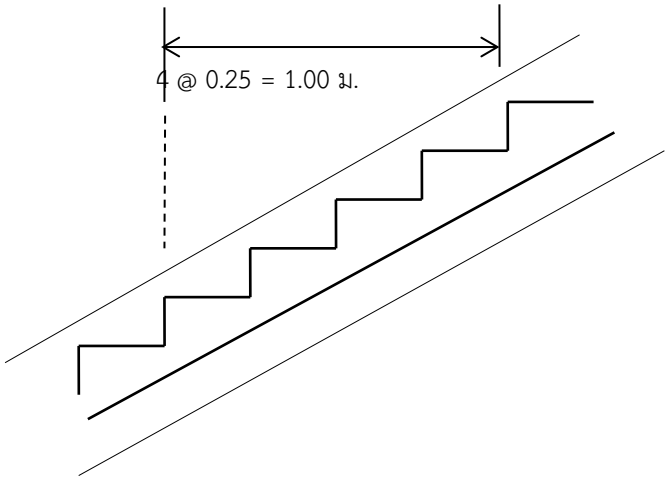
บันไดอีกแบบจะยื่นออกมาจากคานแม่บันไดเพียงข้างเดียว ซึ่งมักจะฝังอยู่ในผนัง โดยอาจเป็นบันไดท้องเรียบหรือพับผ้าก็ได้ แต่การออกแบบเป็นบันไดพับผ้าจะทำให้คานมีน้ำหนักเบากว่าจึงเป็น ที่นิยมมากกว่า โดยในบางกรณีผนังด้านที่รับน้ำหนักขั้นบันไดวิศวกรอาจออกแบบเป็นผนังรับน้ำหนักทั้งแผงก็ได้ ขึ้นอยู่กับการคำนวณทางวิศวกรรมที่เหมาะสม สำหรับวัสดุพื้นผิวของขั้นบันไดโดยมากนิยมโชว์ผิวคอนกรีตเปลือยตามสไตล์ลอฟท์ หรือปิดผิวด้านบนด้วยไม้ หรือหินที่มีผิวหน้าไม่ลื่นนักเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้ ลักษณะโครงสร้างของบันไดแบบยื่นนั้น ขั้นบันไดจะยื่นออกมาจากผนังหรือคาน บันไดแบบนี้จะพบเห็นโดยทั่วไปโดยเฉพาะบันไดหนีไฟขั้นบันไดที่ยื่นออกมาจากผนังหรือคานคอนกรีตเสริมเหล็กนี้อาจจะเป็นแบบท้องเรียบพับผ้าหรือเป็นแบบขั้นลอยส่วนช่วงบันไดอาจเป็นช่วงเดียว หรือแบบมีชานพัก หรือแบบบันไดเวียนก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ลักษณะตัวอย่างบันไดแบบยื่น
ที่มา: วิรัตน์ ธรรมภรณพิลาส, 2528

ตัวอย่างที่ 4.6 บันไดยื่นท้องเรียบกว้าง 1.20 ม. ปลายยื่นจากคาน ดังรูป
กำหนดให้ f_c' = 210 กก./ซม.^{2} f_y = 2,400 กก./ซม.^{2} w_{LL} = 300 กก./ม.^{2}
$w_{วัสดุปูพื้น}$ = 74 กก./ม.^{2} ลูกตั้งบันไดสูง 18 ซม. และลูกนอนกว้าง 25 ซม.





วิธีทำ ความหนาบันไดต่ำสุด (ลักษณะเดียวกับพื้นยื่น)

$$t = L/10 : (1.20/10) = 0.12 \text{ ม.}$$ เลือกใช้ 0.125 ม.

น้ำหนักที่กระทำกับบันได

น้ำหนักพื้นบันได : $0.125 \times \frac{\sqrt{25^2 + 18^2}}{25} \times 2{,}400$ = 370 กก./ม.^{2}

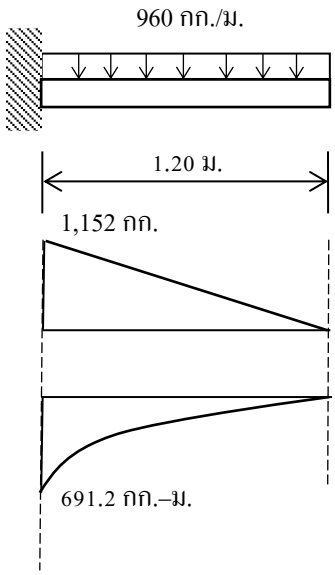
น้ำหนักขั้นบันได : 0.50 (0.18x0.24)2,400(4) = 216 กก./ม.^{2}

น้ำหนักวัสดุปูพื้น = 74 กก./ม.^{2}

น้ำหนักบรรทุกจร = 300 กก./ม.^{2}

น้ำหนักรวม: w = 960 กก./ม.^{2}

วิเคราะห์โครงสร้าง : ออกแบบต่อความกว้างพื้นทุกๆ 1.00 เมตร



วิเคราะห์โครงสร้าง

V_{max} = 1,152 กก.

$\bar{M}_{max}$ = 691.2 กก.–ม.

ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$n = 9$, $k = 0.414$

$j = 0.861$, $R = 16.84$ กก./ซม.^{2}

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : Mc

$$Mc = Rbd^2 = 16.84(1.0)10^2$$

= 1,684.24 กก.–ม. > M_{max}

ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง :

$$As = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{691.2 \times 100}{1{,}200(0.861)10} = 6.68 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้เหล็ก ϕ 12 มม. @ 0.15 ม. (As = 7.53 ซม.^{2})

ปริมาณเหล็กเสริมกันร้าว :

$$As^t = 0.0025bt = 0.0025 \times 100 \times 12.5 = 3.125 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้เหล็ก ϕ 9 มม. @ 0.20 ม. (As = 3.18 ซม.^{2})

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น : v

$$v = \frac{V}{bd} = \frac{1{,}152}{(100)(10)} = 1.15 \text{ กก./ซม.}^2 < 0.29\sqrt{fc'} \ (4.20 \text{ กก./ซม.}^2)$$

ระยะฝังเหล็กเสริมในคานคอนกรีต : L (u = 11 กก./ซม.^{2})

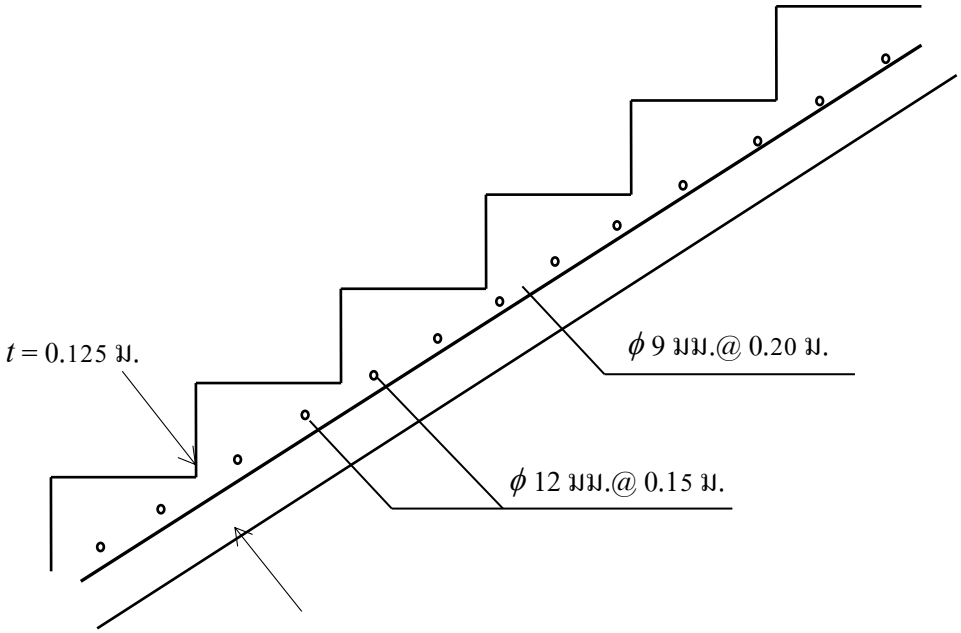
$$L = \frac{d_b.fs}{4u} = \frac{1.2(1{,}200)}{4(11.0)}$$

= 32.72 ซม. ใช้ ระยะฝังจริง 35 ซม.

หน่วยแรงยึดหน่วง : u

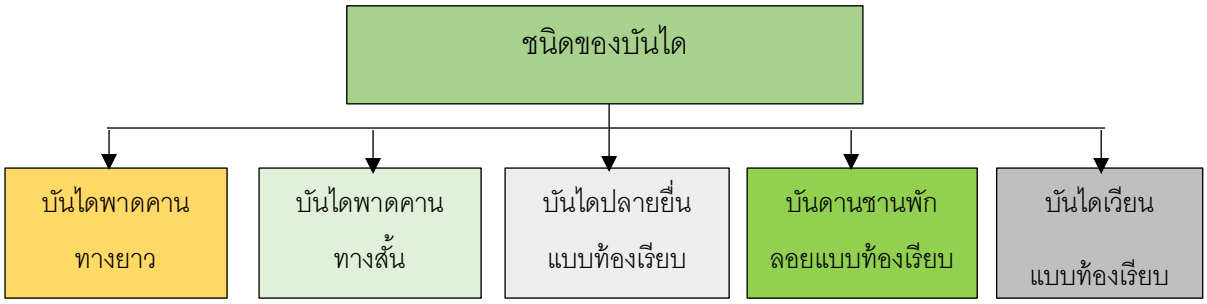
$$\frac{1.145\sqrt{fc'}}{d_b} \le 11 \text{ ; กก./ซม.}^2$$

รายละเอียดการเสริมเหล็ก

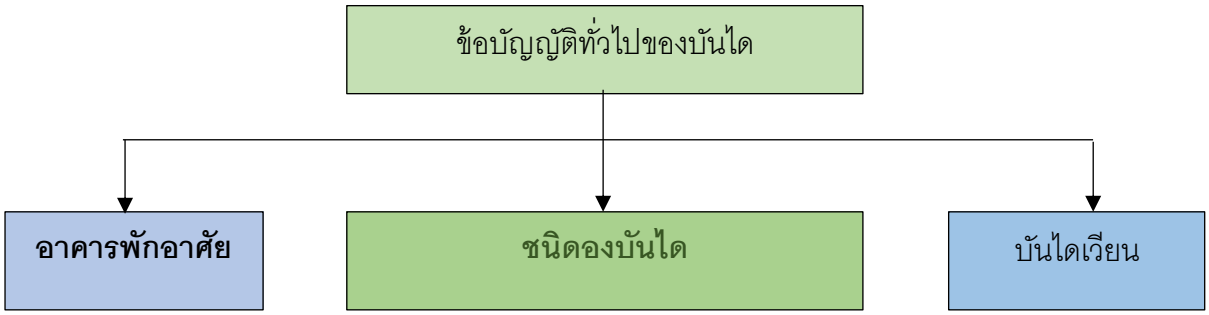


สรุป การออกแบบบันไดคอนกรีตเหล็กเสริม

1. ชนิดของบันได



2. ข้อบัญญัติทั่วไปของบันได



3.ขั้นตอนการคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเหล็กเสริม

3.1 พิจารณาชนิดบันได

3.2 เขียนรูปเพื่อวิเคราะห์การกระทำองน้ำหนัก

3.3 สมมุติความหนาพื้นบันได จากมาตรฐาน วสท.

3.4 คำนวณน้ำหนักกระทำบนบันได

3.5 วิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ดัดกระทำสูงสุดกับพื้นบันได

3.6 ตรวจสอบความลึกประสิทธิผล ของบันได

3.7 คำนวณหาปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมหลักรับแรงดึง

3.8 คำนวณหาพื้นที่หน้าตักเหล็กเสริมกันร้าว

3.9 วิเคราะห์หาค่าแรงเฉือนที่ปลอดภัย

3.10 ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่ปลอดภัย

3.11 ตรวจสอบแรงยึดเหนียวที่ปลอดภัย

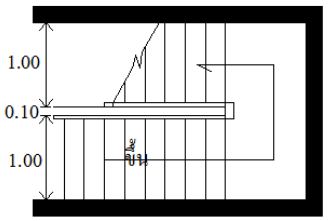
แบบทดสอบหลังเรียน วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลที่ 4 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

คำสั่ง: จงเติมคำลงในช่องว่างในการคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเหล็กเสริม โดยขั้นบันไดมีลูกนอนกว้าง 0.26 ม. ลูกตั้งสูง 0.17 ม. และระยะความยาวดังรูปแสดง กำหนดให้ค่าต่างๆ ดังนี้

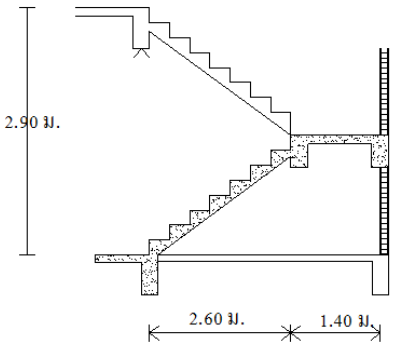
1. บันไดมีน้ำหนักจร = (300+รหัส) =_____ กก./ม.^{2}
2. หน่วยแรงที่ยอมให้ fc' = (120+รหัส) =_____ กก./ซม.^{2}

fs = 1500 กก./ซม.^{2} n = 10 j = 0.70 R = 9 กก./ซม.^{2}

ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก 2 ซม. (40 คะแนน)



แปลนและรูปตัดบันได



จากรูปจงตอบคำถามโดยแสดงวิธีทำลงในช่องว่างที่กำหนดให้

3. ชนิดของบันได คือ_____
4. ลูกตั้ง คือ _____ =_____ ซม.
5. ลูกนอน คือ _____=_____ ซม.
6. วสท.กำหนดให้ความหนาไม่น้อยกว่า t ≥ _____
7. สมมุติให้ความหนา t = _____ = _____ ซม.
8. สูตรหาน้ำหนักขั้น = _____ กก./ม.^{2}
9. แทนค่าหาน้ำหนักขั้น =_____ = _____ กก./ม.^{2}
10. สูตรน้ำหนักแผ่นพื้น =_____ กก./ม.

แบบฝึกหัดหลังเรียน ชุดที่ 2

โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

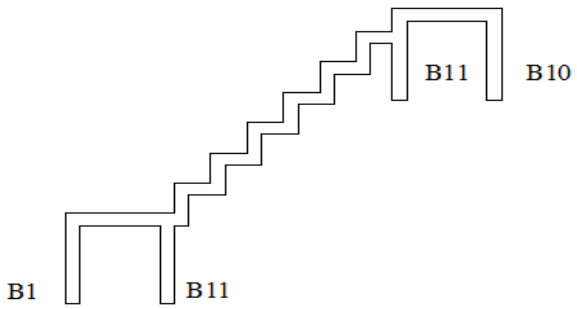
ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

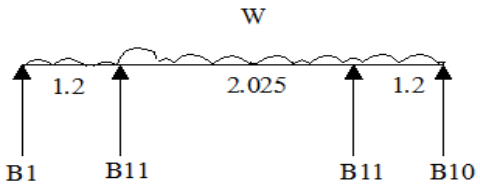
คำชี้แจง จงแสดงวิธีการคำนวณเติม สูตร และ แทนค่าพร้อมหน่วยลงในช่องว่าง

1. จงออกแบบบันไดคอนกรีตเหล็กเสริมชนิดพับผ้า มีขั้นบันไดขนาดลูกนอนกว้าง 0.22 ม. และ ลูกตั้งสูง 0.19 ม. มีระยะความยาวดังรูป ของอาคารที่พักอาศัย โดยกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้

fc' = 170 กก./ซม.^{2} fc = 64 กก./ซม.^{2} fs = 1200 กก./ซม.^{2}

R = 9.8 กก./ซม.^{2} j = 0.77 **LL = 300+รหัส =_____กก./ซม.^{2}**





วิธีทำ

1. ขั้นบันได

- ลูกตั้ง คือ_____=_____ซม.
- ลูกนอน คือ_____=_____ซม.

2. สมมุติ ออกแบบความหนาพื้นบันได

- วสท. กำหนดให้ ความหนาไม่น้อยกว่า t = ___

แทนค่า t = _____=_____ใช้_____ซม.

3.ค่าน้ำหนักกระทำกับพื้นบันได

- น้ำหนักตัวบันได สูตร DL =_____

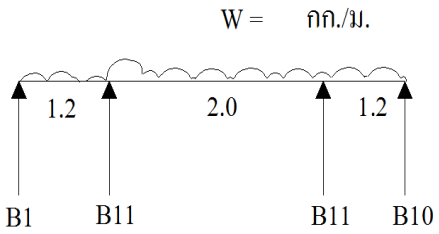
แทนค่า DL =_____=_____กก./ม.^{2}

- ค่าน้ำหนักจรLL =_____+_____=_____กก./ม.^{2}
- น้ำหนักทั้งหมดW =_____+_____=_____กก./ม.^{2}

4. วิเคราะห์แรงกระทำพื้นบันได

- ให้คิดบันไดกว้าง b =_____ม.
- ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด สูตร $^{+}M_{max}$ =_____

ค่า $^{+}M_{max}$ =_____=_____กก.-ม.



5. ตรวจสอบความหนาพื้นบันไดที่ออกแบบ

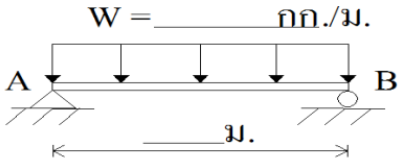
- ค่า d_d

=_____=_____ซม.

- สูตร d

=_____

แทนค่า d =_____=_____ซม



- ความหนาที่ออกแบบ ปลอดภัยหรือไม่ =_____

เพราะ _____ ≥ _____หรือ_____ ≥ _____

สรุปเลือกใช้บันไดหนา_____ม. ปลอดภัย

6. ออกแบบเหล็กเสริมหลักรับแรงดึง (A_S)

- คิดต่อบันไดกว้าง b =_____ม.
- พื้นที่เหล็กรับแรงดึง ต้านทานโมเมนต์สูงสุดที่ปลอดภัย

สูตร A_S =_____ซม.^{2}

แทนค่า A_S =_____=_____ซม.^{2}

- ออกแบบให้มีเหล็กเสริมหลัก

ขนาด_____มม. จำนวน_____เส้น

มีพื้นที่เหล็กเสริม A_S =_____ซม.^{2}

- **สรุปเลือกใช้เหล็กเสริม*หลัก*** _____มม. @_____ม.

7. การออกแบบเหล็กเสริมกันร้าว (A_s^t)

- สูตร A_s' =_____ ซม.^{2}

  แทนค่า A_s^t =_____=_____ ซม.^{2}

- เลือกออกแบบเหล็กกันร้าว ขนาด _____ มม.

  จำนวน_____เส้น มีพื้นที่เหล็กเสริมรวม A_s = _____ ซม.^{2}

  ระยะห่างเหล็กเสริม @ _____ ม. เลือกใช้ @_____ม. (ว.ส.ท.)

- สรุปเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก _____มม. @_____ม.

8. ตรวจสอบการรับแรงเฉือน (V)

- สูตร แรงเฉือนที่คอนกรีตรับได้ V_c =_____

  แทนค่า V_c =_____=_____กก.

  สูตร แรงเฉือนกระทำสูงสุด Vmax =_____

  แทนค่า V =_____=_____กก.

- การรับแรงเฉือนกระทำของบันได ปลอดภัย หรือ ไม่ = _____

  เพราะ _____≥_____ หรือ _____≥_____กก.

9. ตรวจสอบการยึดเหนียว เหล็กเส้นกลม 12 มม.

- สูตร หน่วยแรงยึดเหนียวที่ยอมให้ u_a =_____≤_____กก./ซม.^{2}

แทนค่า u_a =_____= _____กก./ซม.^{2}

- สูตรหน่วยแรงยึดเหนียวที่เกิดขึ้นในพื้นบันได u =_____

แทนค่า u =_____=_____กก./ซม.^{2}

- การรับแรงการยึดเหนียวกระทำขงบันได ปลอดภัย หรือ ไม่ =_____

เพราะ _____ ≥ _____ หรือ _____ ≥ _____กก./ซม.^{2}

10. จงเขียนรูปขยายขนาดและการเสริมเหล็กของพื้นบันไดให้ชัดเจน

10.1 ขนาดพื้นบันได

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- ขนาด, จำนวน และ ตำแหน่งเหล็กเสริมหลัก

- ขนาด, จำนวน และ ตำแหน่งเหล็กเสริมกันร้าว

- ขนาด, จำนวน และ ตำแหน่งเหล็กเสริมกันร้าว

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.

ใบงานที่ 4.1 แบบฝึกหัด
โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

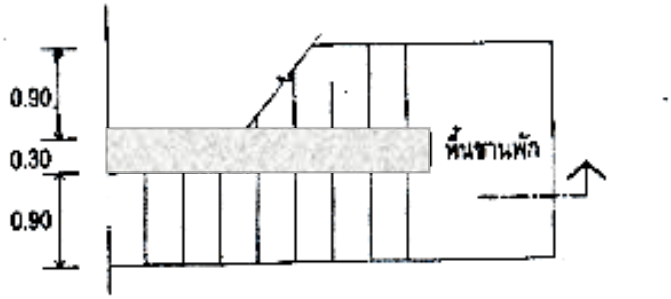
คำชี้แจง ให้นักศึกษาคำนวณและออกแบบบันไดต่อไปนี้

แปลนบันไดดังรูป

มีน้ำหนักจร 400+รหัส น.ศ.=_____กก./ม.^{2} จงออกแบบบันไดยื่นแบบท้องเรียบมีลูกนอน 0.24 ม.และลูกตั้งสูง 0.18 ม. คอนกรีตหุ้มเหล็ก 2 ซม. มาตรฐาน วสท. (20 คะแนน)

กำหนดให้ค่า fc' = 100+รหัสน.ศ.=_____กก./ซม.^{2} fs = 1200 และ 1500 กก./ซม.^{2}

R = 9.00 กก./ซม.^{2} j = 0.80



วิธีทำ ชนิดบันไดยื่นแบบท้องเรียบ

1. สมมุติ ออกแบบให้บันไดหนา

t = _____ = _____ = _____ม. ใช้ _____ม.

2. น้ำหนักกระทำบนบันได $W = DL + LL$

สูตร ตัวบันได DL =_____ กก./ม.^{2}

แทนค่า DL =_____+_____=_____+_____=_____กก./ม.^{2}

W =_____=_____กก./ม.

3. ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด

M_{max} =_____=_____=_____กก.-ม.

4. ตรวจสอบความลึกประสิทธิผล ค่าความลึกประสิทธิผลที่ออกแบบ

d_d =_____=_____ซม.

สูตร ค่าความลึกประสิทธิผล d = _____

แทนค่า d =_____=_____ซม.

ความหนาที่ออกแบบ ปลอดภัย หรือ ไม่ =_____

เพราะ _____ ≥ _____ หรือ _____ ≥ _____

สรุปเลือกใช้บันไดยื่นหนา _____ม.

5. พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมหลัก (A_S)

As =_____=_____=_____

จำนวนเหล็กหลัก _____เส้น -_____มม. @_____ม. (As =_____ซม.^{2}

สรุป เลือกใช้เหล็กหลัก_____ มม. @ _____ม.

6. คำนวณหาปริมาณเหล็กกันร้าว

สูตร $As' =$ _____ซม.^{2}

แทนค่า As' =_____=_____-ซม.^{2}

เลือกออกแบบเหล็กกันร้าว ขนาด _____ มม.

จำนวน _____เส้น มีพื้นที่เหล็กเสริมรวม As =_____ซม.^{2}

ระยะห่างเหล็กเสริม @_____มม.

สรุป เลือกใช้เหล็กกันร้าว @_____มม.

7.ตรวจสอบการยึดเหนียว (u)

สูตร หน่วยแรงยึดเหนียวที่ยอมให้ u_a = _____ **≤** _____กก./ซม.^{2}

แทนค่า u_a =_____=_____ใช้ _____ กก./ซม.^{2}

สูตร ระยะล้วงลึกที่ต้องการ L = _____ ซม.

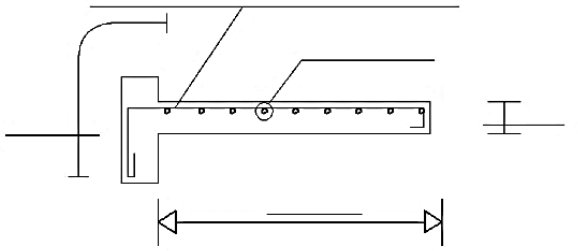
แทนค่า L = _____ =_____ ซม. ใช้ _____ ซม. (วสท.)

8. จงเขียนรูปขยายขนาดและการเสริมเหล็กของพื้นบันไดให้ชัดเจน

ขนาดพื้นบันได

ขนาด, จำนวน และ ตำแหน่งเหล็กเสริมหลัก

ขนาด, จำนวน และ ตำแหน่งเหล็กเสริมกันร้าว



รูปตัดแสดงขนาดบันไดยื่นคอนกรีตเสริมเหล็ก

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.

ใบงานที่ 4.2 กิจกรรมกลุ่ม

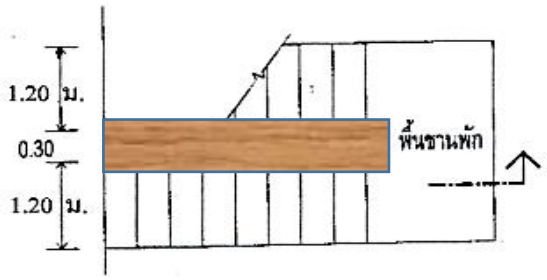
โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

คำชี้แจง

1. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มละ 3-5 คน คัดลอกเนื้อหาหน่วยที่ 5 เรื่อง การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำเป็นรายงานกลุ่ม
2. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มละ 3-5 คน ทำการบ้านเรื่อง การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำเป็นรายงานกลุ่ม (รหัสนักศึกษาใช้ตัวแทนกลุ่มระบุ)

แบบแปลนบันไดของอาคาร ตามรูปข้างล่างนี้ ให้ (LL+รหัส =_____) มีลูกนอนกว้าง 0.30 ม. และลูกตั้งสูง 0.17 ม. ใช้มาตรฐาน วสท. จงออกแบบบันไดยื่นแบบพับผ้าที่ยื่นออกจากกำแพงคอนกรีต กำหนดให้ใช้ค่าต่างๆ ดังนี้

fc' (กก./ซม.^{2})	fc (กก./ซม.^{2})	fs (กก./ซม.^{2})	R (กก./ซม.^{2})	j
180+รหัสน.ศ. =_____.		1200	14.09	0.87
		1500	12.47	0.88



.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ/สกุล.....เลขที่.....กลุ่ม.....ชั้น/ปี.....

ลำดับที่	พฤติกรรมที่ประเมิน	ระดับคะแนน					หมายเหตุ
		5	4	3	2	1	
1	ความตรงต่อเวลา						**ความหมายของระดับคะแนน**
2	ความมีระเบียบวินัย						ระดับการปฏิบัติมาก = 5
3	ความซื่อสัตย์สุจริต						ระดับการปฏิบัติดี = 4
4	ความสนใจใฝ่รู้						ระดับการปฏิบัติปานกลาง = 3
5	ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์						ระดับการปฏิบัติน้อย = 2
6	การละเว้นสิ่งเสพติดและการพนัน						ระดับการปฏิบัติน้อย = 1
7	ความรับผิดชอบต่อหน้าที่และงานที่ได้รับมอบหมาย						**การสรุปผล**
8	มารยาทไทย						ระดับดีมาก = 41-50
9	ความสามัคคีในหมู่คณะ						ระดับดี = 31-40
10	ความมีจิตสำนึกที่เห็นแก่ส่วนรวม						ระดับปานกลาง = 21-30
รวมคะแนน							ระดับน้อย = 11-20
รวมคะแนนทั้งหมด							ระดับปรับปรุง = 0-10

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ประเมิน

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายบุคคล

ที่	คะแนน / ชื่อ-สกุล	การรับฟังความคิดเห็น	การเสนอความคิดเห็น	การยอมรับคนอื่น	การสร้างบรรยากาศในกลุ่ม	รวมคะแนน	ระดับการมีส่วนร่วม
		5	5	5	5	20	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

2. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายกลุ่ม

คะแนน / กลุ่ม	การนำเสนอผลงาน		การบันทึกผลงาน			รวมคะแนน	ระดับคุณภาพของผลงาน
	ขั้นนำ	ขั้นเสนอ	ขั้นสรุป	ถูกต้อง	เรียบร้อย		
	10	10	10	10	10	50	
1							
2							
3							
4							
5							

ระดับของคะแนนย่อย 5 = มากที่สุด 4 = ค่อนข้างมาก 3 = ปานกลาง 2 = ค่อนข้างน้อย 1 = น้อยที่สุด

เกณฑ์การประเมินผล 20-15 = มาก 8-14 = ปานกลาง 7-1 = น้อย

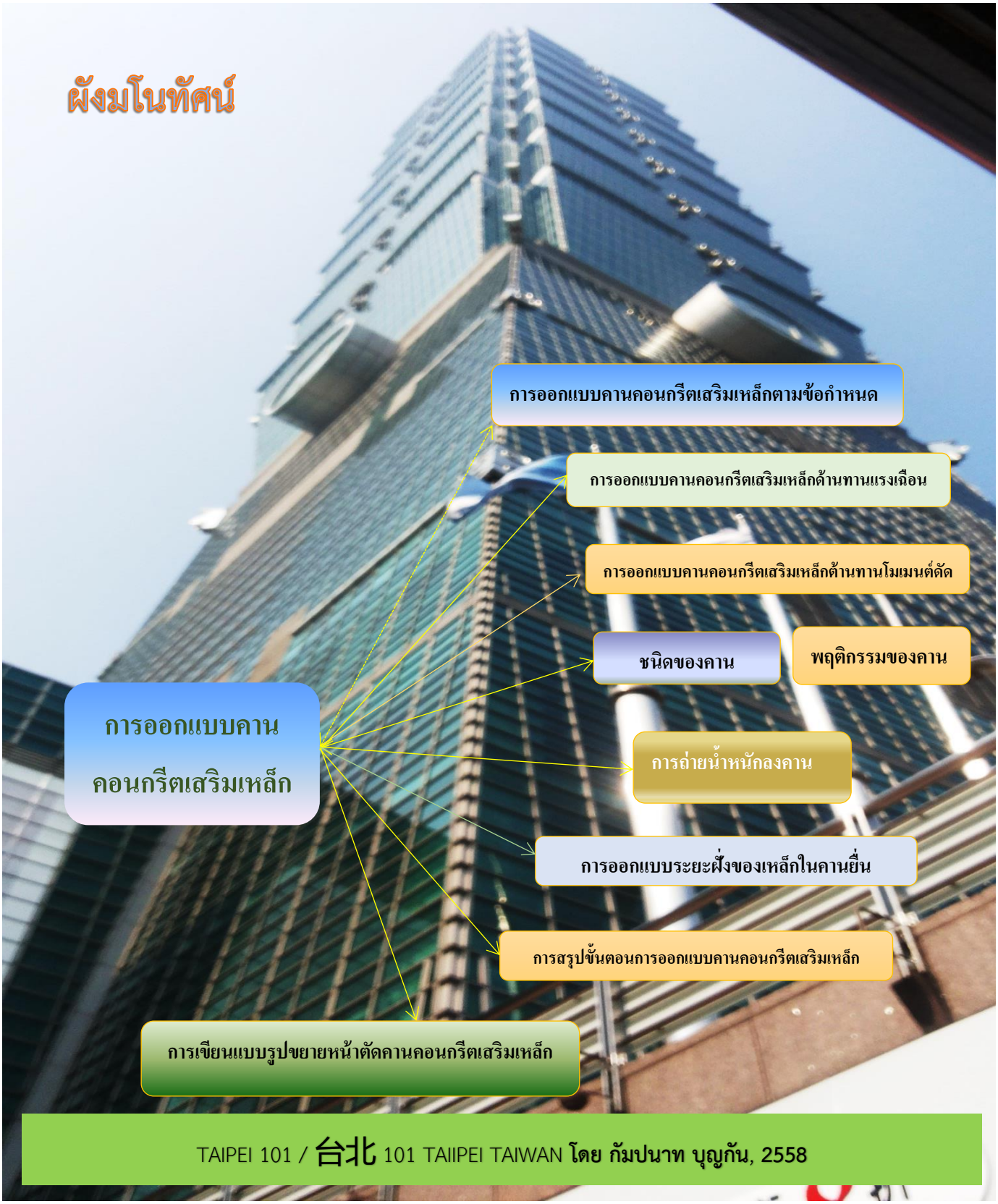
ลงชื่อผู้ประเมิน.....

(.....)

ผู้ประเมิน

โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Beam Design)



บทนำ

คาน (Beam) เป็นองค์อาคารส่วนหนึ่ง ซึ่งโดยปกติแล้วจะอยู่ในแนวราบ ทำหน้าที่ รับน้ำหนักบรรทุกต่างๆซึ่งส่งถ่ายมาจากพื้น ผนังหรือกำแพง เป็นลักษณะของน้ำหนักแผ่กระจาย หรือมีน้ำหนักที่ลงเป็นจุดในกรณีที่มีคานซอย แล้วน้ำหนักจากคานซอยถ่ายต่อไปยังคานหลักและจากคานหลักจะถ่ายน้ำหนักโดยตรงไปยังเสาอีกต่อหนึ่ง น้ำหนักที่มากระทำบนคานจะทำให้เกิดแรงดัด (Bending) และแรงเฉือน (Shear) ในตัวคาน ในบางกรณีน้ำหนักที่กระทำบนคานไม่สมดุลกับแนวที่ตั้งฉากกับแกนของ คาน จะทำให้คานเกิดแรงบิด (Torsion) ขึ้น ด้วย ในโมดูลนี้จะคำนวณการออกแบบโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้วิธีทฤษฎีอีลาสติก ในการคำนวณออกแบบเสา

Beam is a building element Which is usually on a horizontal plane which serves to carry loads from the ground Wall or wall Is a characteristic of radiating weight Or with a weight that is the point in the case of an alley beam Then the weight from the alley beams transferred to the main beam and from the main beams will transfer the weight directly to the pole again The weight acting on the beam causes bending and shear in the beam. In some cases, the weight on the beam is unbalanced with the axis perpendicular to the axis of the beam causing the torsion of torque.). In this unit, the calculation of the design of reinforced concrete beams using the elastic theory method

คำแนะนำขั้นตอนตอนการใช้บทเรียน โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete of Beam Design)

คำแนะนำการใช้บทเรียนโมดูล

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล

ศึกษาคำแนะนาการใช้บทเรียนโมดูล

ศึกษาจุดประสงค์ของบทเรียนโมดูล

ทดสอบก่อนเรียน

ศึกษาเนื้อหาในบทเรียนโมดูล ทำกิจกรรมการเรียน บทเรียนโมดูล และทดสอบหลังเรียน

ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75

เรียนบทเรียนโมดูลหน่วยต่อไป

ไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75

เรียนซ่อมเสริมโดยใช้โมดูลเดิม โดยนักเรียนเลือกปฏิบัติดังนี้

1. ปรึกษาครูผู้สอน
2. ให้เพื่อนช่วย
3. เพิ่มเวลาในการศึกษาบทเรียน

องค์ประกอบบทเรียน

โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Beam Design)

1. ผังมโนทัศน์
2. แผนการจัดการเรียนรู้
3. ขอบเขตของเนื้อหา โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. ความรู้พื้นฐานของผู้เรียน
5. จุดประสงค์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรมจากการวิเคราะห์หลักสูตร
6. การประเมินผลก่อนเรียน

7. กิจกรรมจัดการเรียนการสอน
8. แบบทดสอบก่อนเรียน โมดูลที่ 5
9. แผนการจัดการเรียนรู้
10. เนื้อหาสาระ
11. บทสรุป

12. แบบทดสอบหลังเรียน โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
13. ใบงานที่ 1.1 แบบฝึกหัด
14. ใบงานที่ 1.2 กิจกรรมกลุ่ม
15. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

คู่มือและคำแนะนำการใช้บทเรียน

โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

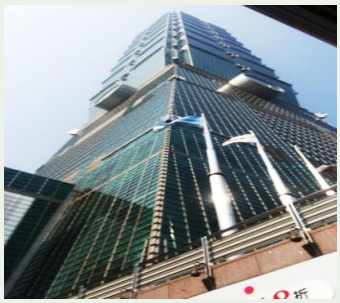
(Reinforced Concrete of Beam Design)

คำชี้แจง: ผู้เรียนควรมีความรู้พื้นฐาน บทเรียนโมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยจะต้องสอบผ่านการประเมิน ผลในโมดูลที่ 4 ก่อนจะเรียนในโมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. ผู้เรียน ทำความเข้าใจศึกษาการเรียนการสอนด้วย บทเรียนโมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ผู้เรียน ทำแบบทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนก่อนเรียน บทเรียนโมดูลที่ 5 จำนวน 10 ข้อ
2. ผู้เรียน ตรวจคำตอบจากแบบเฉลยการทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนก่อนเรียนโมดูลที่ 5 โดยครูผู้สอนมอบให้แก่ผู้เรียน
4. ผู้เรียน ศึกษาจุดประสงค์การเรียนแต่ละตอนให้มีความรู้ ความเข้าใจ ในเนื้อหาสาระ
5. ผู้เรียน รับเอกสารเนื้อหาสาระประกอบการเรียน บทเรียนโมดูลที่ 5 จากครูผู้สอน
6. ผู้เรียน ต้องเข้าร่วมกิจกรรมการจัดการเรียนการสอน ตามเอกสารประกอบการเรียนในบทเรียนแต่ละโมดูลการเรียนรู้

7. กิจกรรมเลือก คือกิจกรรมที่มีไว้สำหรับผู้เรียนที่สอบประเมินผลไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75 โดยให้นักเรียนทำกิจกรรมเลือกตามจุดประสงค์ที่ไม่ผ่าน
8. ผู้เรียน ศึกษาทำความเข้าใจอย่างถี่ถ้วนในใบความรู้ บทเรียนโมดูลที่ 5
9. ผู้เรียน ทำแบบฝึกหัด กิจกรรมกลุ่ม บทเรียนโมดูลที่ 5
10. ผู้เรียน ทำแบบทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนหลังเรียน บทเรียนโมดูลที่ 5 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน

11. ผู้เรียนผ่านเกณฑ์ประเมินร้อยละ 75 สามารถเรียน บทเรียนโมดูลที่ 5 ต่อไปได้ แต่ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์ประเมินร้อยละ 75 ผู้เรียนต้องเรียนซ่อมเสริมใน บทเรียนโมดูลที่ 5 จนกว่าจะผ่าน
12. การเรียนซ่อมเสริม โดยผู้เรียนต้องศึกษาเนื้อหาสาระและทำกิจกรรมการเรียน และทำแบบทดสอบหลังเรียนซึ่งเป็นแบบทดสอบชุดเดียวกับแบบทดสอบก่อนเรียนอีกครั้งจนกว่าจะผ่าน เกณฑ์ร้อยละ 75
13. ผู้เรียนจัดเก็บเอกสารและสื่อการเรียน ตัวอย่างหุ่นจำลองโครงสร้าง ในทุก ๆ บทเรียนโมดูลให้เรียบร้อย



ขอบเขตของเนื้อหาการเรียนรู้

โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Beam Design)

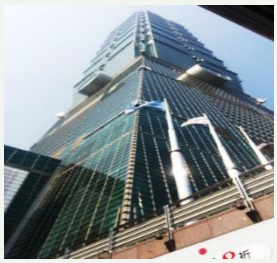
ขอบเขตของเนื้อหาบทเรียนในโมดูลที่ 5 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาสาระความรู้ต่อไปนี้

จำแนกประเภททางโครงสร้างของคาน

การถ่ายน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างคาน

การคำนวณออกแบบหน้าตัดคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

การเขียนรายละเอียดการเสริมเหล็กของหน้าตัดคานคอนกรีต



การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน

โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Beam Design

คำชี้แจง : การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน ให้ผู้เรียนทดสอบพื้นฐานความรู้ของตนเองก่อนเรียน

1) จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กสองช่วงยาว 4.00 เมตร รับน้ำหนักรวม น.น.คานแล้ว

ดังรูป กำหนดให้ค่า fc = 72 กก./ซม.^{2} fc' = 180 กก./ซม.^{2} n=10 คอนกรีตหุ้มเหล็ก 5 ซม.

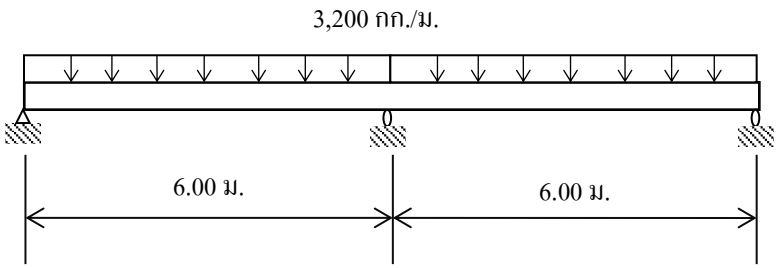
เหล็กข้ออ้อย fs = 1,500 กก./ซม.^{2} R = 10.40 กก./ซม.^{2} k = 0.324 j = 0.892

เหล็กเส้นกลม fs = 1,200 กก./ซม.^{2} R = 11.81 กก./ซม.^{2} k = 0.375 j = 0.875

3)จงออกแบบคานต่อเนื่องรับน้ำหนักบรรทุกแผ่สม่ำเสมอ 3,200กก./ม. (ไม่รวมน้ำหนักคาน) ดังรูป

กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2}

ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ



ผลการวิเคราะห์หลักสูตรด้านจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Beam Design)

1. จุดประสงค์การเรียนรู้

1.1 เพื่อให้มีความรู้ความใจเกี่ยวกับการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

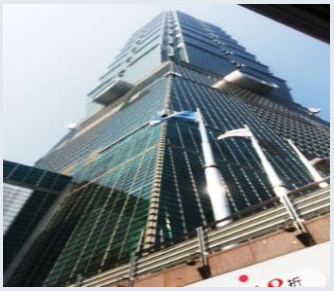
2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

2.1 จำแนกประเภททางโครงสร้างของคานได้ถูกต้อง

2.2 อธิบายวิธีการถ่ายน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างคานได้ถูกต้อง

2.3 แสดงวิธีการคำนวณออกแบบหน้าตัดคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้ถูกต้อง

2.4 แสดงการเขียนรายละเอียดการเสริมเหล็กของหน้าตัดคานคอนกรีตได้ถูกต้อง



องค์ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้
โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
(Reinforced Concrete of Beam Design)

ข้อสรุป องค์ประกอบแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังต่อไปนี้

1. แนวคิด/จุดประสงค์หน่วยการเรียน/สมรรถนะ

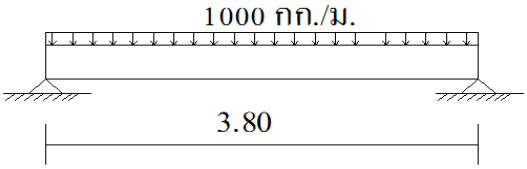
- คำชี้แจงการใช้บทเรียนโมดูล
- แผนผังมโนทัศน์ประจำหน่วยการเรียน
- แผนการจัดการเรียนรู้
- แนวคิด/จุดประสงค์หน่วยการเรียน/สมรรถนะ
- เค้าโครงสาระสำคัญการเรียนรู้ โมดูลที่ 5

2. กิจกรรมการเรียนรู้/สื่อการประเมินผล

- แบบทดสอบก่อนเรียน
- เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
- ใบความรู้
- แบบฝึกหัด
- เฉลยแบบฝึกหัด
- ใบมอบหมาย
- แบบทดสอบหลังเรียน
- เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน
- แบบประเมินคุณธรรม /จริยธรรม/ ค่านิยม และคุณลักษณะอังพึงประสงค์
- แบบประเมินพฤติกรรมรายบุคคล
- เอกสารอ้างอิง

แบบทดสอบก่อนเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

คำชี้แจง จากรูปที่ 1 จงตอบคำถามต่อไปนี้ลงในช่องว่างและเติมเครื่องหมายถูก ✓ลงในช่องสี่เหลี่ยมที่ท่านคิดว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้อง



รูปที่ 1

1. คานดังรูปจัดเป็นโครงสร้างประเภท _____
2. โมเมนต์ดัดสูงสุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง ☐ ฐานรองรับ ☐ กึ่งกลางความยาวคาน
3. ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด (M_{max}) ที่เกิดขึ้น มีค่าเป็น ☐ บวก ☐ ลบ
4. หน้าตัดคานเกิดแรงเค้นอัดสูงสุดที่ ☐ ขอบผิวบนคาน ☐ ขอบผิวล่างคาน
5. ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด (M_{max}) คำนวณจากสมการ _____
6. ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด (M_{max}) ที่คำนวณได้ มีค่า =_____ กก.-ม.
7. ค่าแรงเฉือนสูงสุด (V_{max}) คำนวณจากสมการ _____
8. ค่าแรงเฉือนสูงสุด (V_{max}) ที่คำนวณได้ มีค่า =_____ กก.
9. ตำแหน่งที่เกิด M_{max} เสริมเหล็กรับแรงดึงที่ ☐ ชิดผิวบนคาน ☐ ชิดผิวล่างคาน
10. ตำแหน่งที่เกิด M_{max} เสริมเหล็กรับแรงอัดที่ ☐ ชิดผิวบนคาน ☐ ชิดผิวล่างคาน

-	แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	โมดูลที่ 5
	รหัสวิชา 3121-2102	สอนครั้งที่ 1-2
	โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	จำนวน 6 ชั่วโมง

1. หัวข้อเรื่อง

1.1 ปฐมนิเทศเกี่ยวกับขอบเขตเนื้อหา จุดประสงค์ วิธีการสอน กิจกรรมการสอน หลักเกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

1.2 ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนเมื่อเรียนจบสาระการเรียน

2. สาระการเรียนรู้

2.1 กำหนดขอบเขต เนื้อหาวิชา จุดประสงค์ วิธีการสอน กิจกรรมการสอน

2.2 กำหนดหลักเกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 เพื่อให้มีความรู้ความใจเกี่ยวกับการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 จำแนกประเภททางโครงสร้างของคานได้ถูกต้อง

4.2 อธิบายวิธีการถ่ายน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างคานได้ถูกต้อง

4.3 แสดงวิธีการคำนวณออกแบบหน้าตัดคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้ถูกต้อง

4.4 แสดงการเขียนรายละเอียดการเสริมเหล็กของหน้าตัดคานคอนกรีตได้ถูกต้อง

	แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	**โมดูลที่ 5**
	รหัสวิชา 3121-2102	**สอนครั้งที่ 1-2**
	โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	**จำนวน 6 ชั่วโมง**

5. กิจกรรมการเรียนการสอน

ครู	นักเรียน
5.1 นำเข้าสู่บทเรียน	5.1 ฟังบรรยายเข้าสู่บทเรียน
5.2 ทดสอบความรู้ก่อนเรียนงานคานคอนกรีต	5.2 ทำข้อสอบก่อนเรียน
5.3 มอบใบความรู้งานคานคอนกรีต	5.3 อ่านทำความเข้าใจในใบความรู้
5.4 บรรยายพร้อมแสดงสื่อประกอบการยกตัวอย่างและสอดแทรกแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง	5.4 ตั้งใจฟังบรรยาย พร้อมซักถามข้อสงสัยและตอบคำถามของครูผู้สอน
5.5 ให้แบบฝึกหัดการออกแบบคานคอนกรีต	5.5 ทำแบบฝึกหัด
5.6 ให้ใบมอบงาน เกี่ยวกับคานคอนกรีต	5.6 ทำงานตามมอบหมายงานโดยใช้กิจกรรมกลุ่ม
5.7 ทดสอบหลังเรียน	5.7 ทำข้อสอบหลังเรียน

6. งานที่มอบหมาย

6.1 ก่อนเรียนให้ใบความรู้การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

6.2 ขณะเรียนให้ศึกษาในใบความรู้ พร้อมแบ่งกลุ่มทำกิจกรรมพัฒนาองค์ความรู้และบุคลิกภาพ

6.3 หลังเรียน ให้ค้นคว้าเขียนรายงานเกี่ยวกับการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กและนำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์

7. สื่อการสอน

7.1 สิ่งพิมพ์

7.2 โสต แผ่นใส และแผ่นสไลด์

7.3 ตัวอย่างผลงานการการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กหรือหุ่นจำลองการนำไปใช้ในงานก่อสร้าง

8. การประเมินผล

8.1 ก่อนเรียน

ให้ทำข้อสอบก่อนเรียน

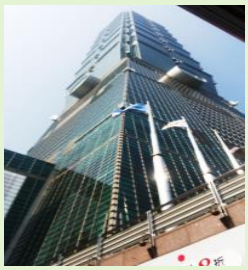
8.2 ระหว่างเรียน

ประเมินความสนใจ และความเข้าใจในการตอบข้อซักถาม

8.3 หลังเรียน

ใบมอบงาน

แบบฝึกหัด แบบทดสอบหลังเรียน และตรวจทานความถูกต้อง



โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Beam Design)

เนื้อหาสาระบทเรียนโมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

คาน ทำหน้าที่รับน้ำหนัก ที่ส่งถ่ายมาจากพื้น ผนัง หรือกำแพง ซึ่งน้ำหนักที่ตกกระทบจะทำให้เกิดแรงดัดและแรงเฉือน กรณีที่น้ำหนักกระทำบนคานไม่สมดุลกับแนวที่ตั้งฉากกับแกนของคานจะทำให้คานเกิดแรงบิดน้ำหนักที่มากระทำบนคานจะทำให้เกิดแรงดัด (Bending) และแรงเฉือน (Shear) ในตัวคาน ในบางกรณีน้ำหนักที่กระทำบนคานไม่สมดุลกับแนวที่ตั้งฉากกับแกนของ คาน จะทำให้คานเกิดแรงบิด (Torsion) ขึ้นด้วย ในโมดูลนี้จะคำนวณการออกแบบโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้วิธีทฤษฎีอีลาสติก ในการคำนวณออกแบบเสา

จุดประสงค์การเรียนการสอน

จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้มีความรู้ความใจเกี่ยวกับการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. จำแนกประเภททางโครงสร้างของคานได้ถูกต้อง
2. อธิบายวิธีการถ่ายน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างคานได้ถูกต้อง
3. แสดงวิธีการคำนวณออกแบบหน้าตัดคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้ถูกต้อง
4. แสดงการเขียนรายละเอียดการเสริมเหล็กของหน้าตัดคานคอนกรีตได้ถูกต้อง

เนื้อหาสาระ

5. การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

5.1 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงคานและการวิเคราะห์โครงสร้าง

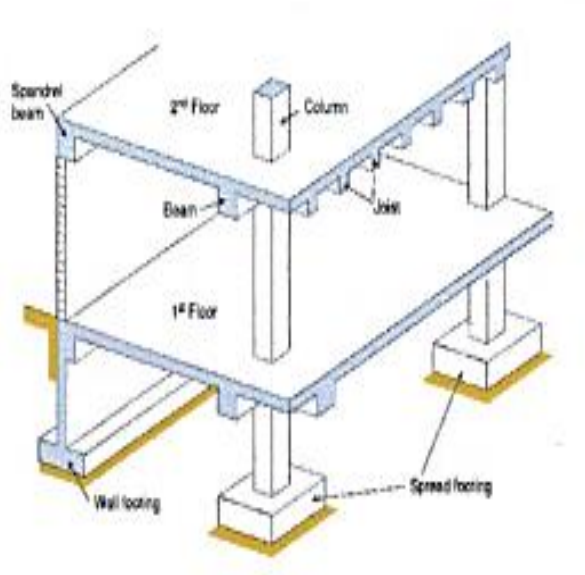
5.2 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กต้านทานโมเมนต์ดัด

1.คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

2.คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

5.3 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กต้านทานแรงเฉือน

5.4 การเขียนรายละเอียดการเสริมเหล็กของหน้าตัดคานคอนกรีต



รูปที่ 5.1 โครงสร้างอาคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

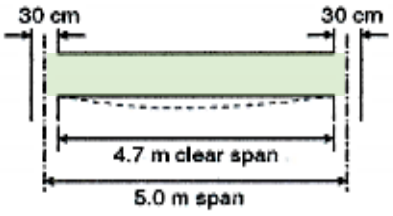
คาน (Beam) เป็นองค์อาคารส่วนหนึ่ง ซึ่งโดยปกติแล้วจะอยู่ในแนวราบ ทำหน้าที่ รับน้ำหนักบรรทุกต่างๆซึ่งส่งถ่ายมาจากพื้น ผนังหรือกำแพง เป็นลักษณะของน้ำหนักแผ่กระจาย หรือมีน้ำหนักที่ลงเป็นจุดในกรณีที่มีคานซอย แล้วน้ำหนักจากคานซอยถ่ายต่อไปยังคานหลักและจากคานหลักจะถ่ายน้ำหนักโดยตรงไปยังเสาอีกต่อหนึ่ง น้ำหนักที่มากระทำบนคานจะทำให้เกิดแรงดัด (Bending) และแรงเฉือน (Shear) ในตัวคาน ในบางกรณีน้ำหนักที่กระทำบนคานไม่สมดุลกับแนวที่ตั้งฉากกับแกนของคาน จะทำให้คานเกิดแรงบิด (Torsion) ขึ้นอีกด้วย ในหน่วยนี้จะคำนวณการออกแบบโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้วิธีทฤษฎีอีลาสติก

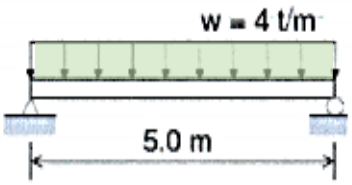
5.1 ชนิดของโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

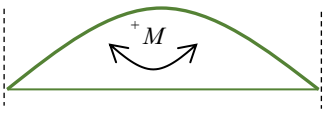
โดยทั่วไปตามการวิเคราะห์โครงสร้างคานแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ คานที่คำนวณหาตัวไม่รู้ค่าในทางสถิตยศาสตร์ (โครงสร้างอย่างง่าย)กับคานที่คำนวณหาตัวไม่รู้ค่าไม่ได้ในทางสถิตศาสตร์ (โครงสร้างอย่างง่าย) ซึ่งมีชื่อเรียกตามลักษณะของฐานรองรับต่างๆดังนี้

5.1.1 คานช่วงเดียว (Simple beam)

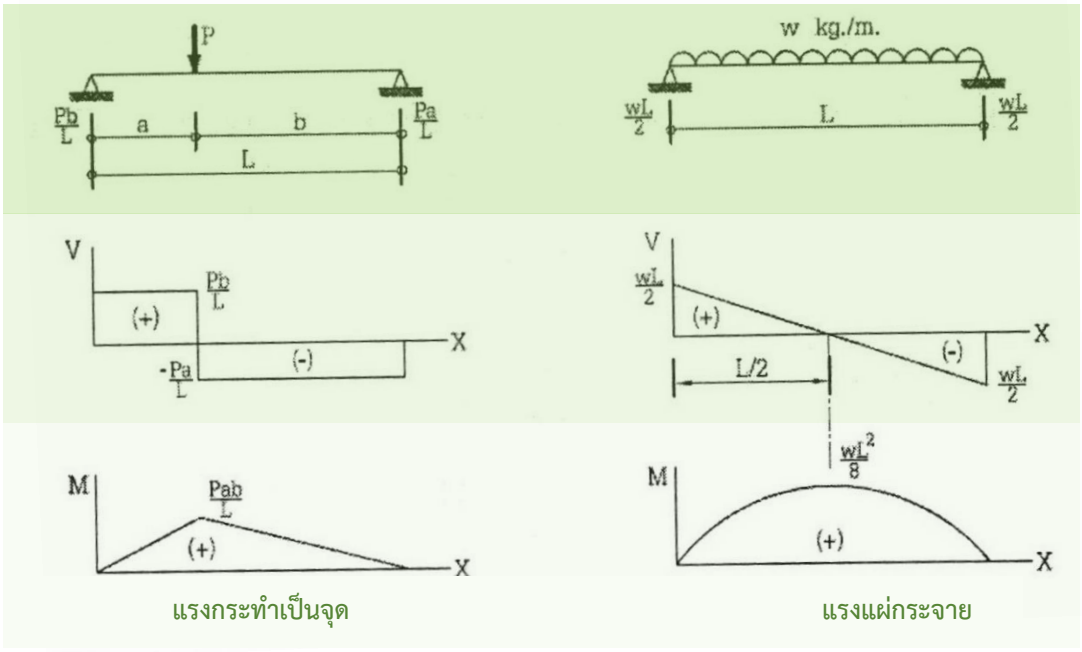
คานช่วงเดียว คือ คานที่วางระหว่างเสาเพียงสองต้น เป็นคานแบบง่าย Simple Beam เป็นคานที่มีจุดรองรับเพียง 2 จุดและเป็นแบบยึดหมุน เช่น ด้านหนึ่งเป็นแบบลูกกลิ้ง (roller) และปลายอีก ด้านเป็นแบบบานพับ (hinge) ดังแสดงใน รูปที่ 5.2







(ก)

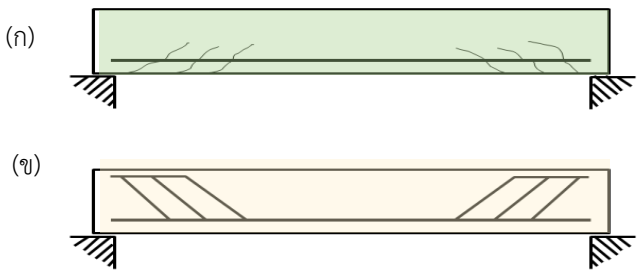


(ก) (ข)

รูปที่ 5.2 (ก)-(ข) พฤติกรรมการรับแรง แรงเฉือน โมเมนต์ดัด ในคานช่วงเดียว

ที่มา: สมศักดิ์ คำปลิว, 2547 และ กัมปนาท บุญกัน ปรับปรุง, 2558

เมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกจะเกิดแรงภายในโครงสร้าง ได้แก่ แรงตามแนวแกน แรงเฉือน และโมเมนต์ดัด แรงภายในเหล่านี้ทำให้คานเกิดการโก่งตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โมเมนต์ดัดมีผลอย่างมากต่อการโก่งตัวของคานเมื่อเทียบกับแรงภายในอื่น ๆ ลักษณะการโก่งตัวของคานช่วงเดียวภายใต้โมเมนต์ดัดจะเกิดกับเหล็กเสริมซึ่งเป็นเหล็กล่างตลอดแนวคาน เนื่องจากโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น จากน้ำหนักกระทำจะเป็นโมเมนต์บวก ซึ่งผิวล่างของคานใต้แนวแกนสะเทินเป็นแรงดึงทั้งหมด นอกจากเสริมเหล็กต้านทานแรงอัดแรงดึงแล้ว ต้องเสริมเหล็กเพื่อต้านทานแรงเฉือนด้วย จึงมีการกำหนดให้คอนกรีตต้านทานแรงอัด และใช้เหล็กต้านทานแรงดึงและแรงอัด และใส่เหล็กปลอกหรือเหล็กคอม้าเพื่อต้านทานแรงเฉือนหรือแรงดึงทแยงในคาน ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 (ก)-(ข) ตัวอย่างรอยแตกร้าว และการเสริมเหล็กคอกม้าต้านแรงดึงแนวทแยง

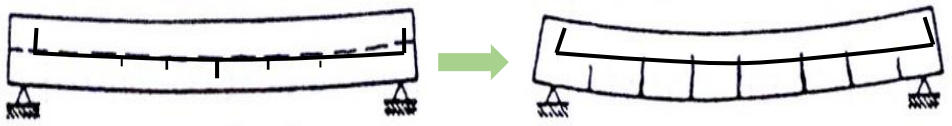
ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

เมื่อพิจารณาการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบช่วงเดียวภายใต้น้ำหนักบรรทุก พบว่าการแตกร้าวเริ่มเกิดที่บริเวณท้องคานตำแหน่งที่เกิดโมเมนต์ดัดสูงสุด ดังรูปที่ 5.4 (ก) ซึ่งเป็นผลจากการโก่งตัวของคานทำให้เกิดแรงดึงที่บริเวณดังกล่าว คอนกรีตมีคุณสมบัติต้านทานแรงอัดได้ดี แต่ต้านทานแรงดึงได้น้อย เมื่อหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นสูงกว่าค่าโมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีต (Modulus of Rupture : $fr = 2.0\sqrt{fc'}$, กก./ซม.^{2}) จึงทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าว โดยเหล็กเสริมจะทำหน้าที่รับแรงดึงที่เกิดขึ้น และเมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น แรงดึงในเหล็กเสริมก็จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งหน่วยแรงดึงของเหล็กเสริมถึงจุดคราก ส่งผลให้การแตกร้าวของคอนกรีตมากขึ้น ดังรูปที่ 5.4 (ข) เมื่อคานรับน้ำหนักเกินกว่าน้ำหนักบรรทุกใช้งาน หน่วยแรงของวัสดุจะเกินกว่าขีดจำกัดยืดหยุ่นโดยคานคอนกรีตเสริมเหล็กจะเกิดการโก่งตัวอย่างมากและมีพฤติกรรมไม่ยืดหยุ่น จนกระทั่งเกิดการวิบัติเมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด สรุปได้ว่าการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กมีสาเหตุเนื่องจากโมเมนต์ดัดมีสองลักษณะขึ้นอยู่กับปริมาณเหล็กเสริมในคานคอนกรีต ดังต่อไปนี้

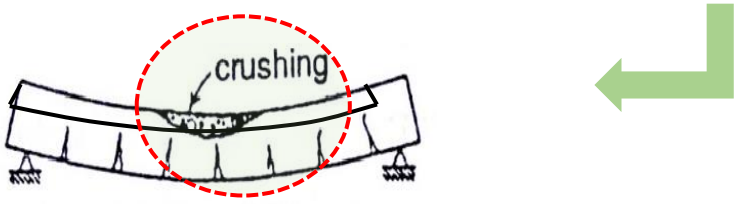
1) กรณีที่เสริมเหล็กไม่มาก หรือคานเสริมเหล็กต่ำกว่าสภาวะสมดุล (Under–reinforced concrete beams) การวิบัติของคานจะเกิดขึ้นที่ด้านรับแรงดึง โดยเหล็กเสริมรับแรงดึงจะถึงจุดครากก่อนที่คอนกรีตจะถูกอัดจนแตก

2) กรณีที่เสริมเหล็กมากเกินไป หรือคานเสริมเหล็กเกินกว่าสภาวะสมดุล (Over–reinforced concrete beams) การวิบัติของคานจะเกิดขึ้นที่ด้านรับแรงอัด โดยคอนกรีตจะถูกอัดจนแตกก่อนที่เหล็กเสริมรับแรงดึงจะถึงจุดคราก ดังรูปที่ 5.5 (ค) เป็นการวิบัติแบบฉับพลันทันทีทันใดจัดว่าอันตรายอย่างยิ่ง (วินิต ช่อวิเชียร, 2545)

3) กรณีที่เสริมเหล็กแบบสมดุล (Balanced–reinforced concrete beams) จะทำให้คอนกรีตและเหล็กเสริมเกิดการวิบัติไปพร้อมกันเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดด้านขนาดพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่มีจำหน่ายในท้องตลาด จึงไม่สามารถเสริมเหล็กพอดีกับที่คำนวณได้จริงเพื่อให้เกิดสภาวะสมดุลได้



(ก) หน่วยแรงดึง > *fr* (ข) หน่วยแรงดึงถึงจุดคราก (*fy*)

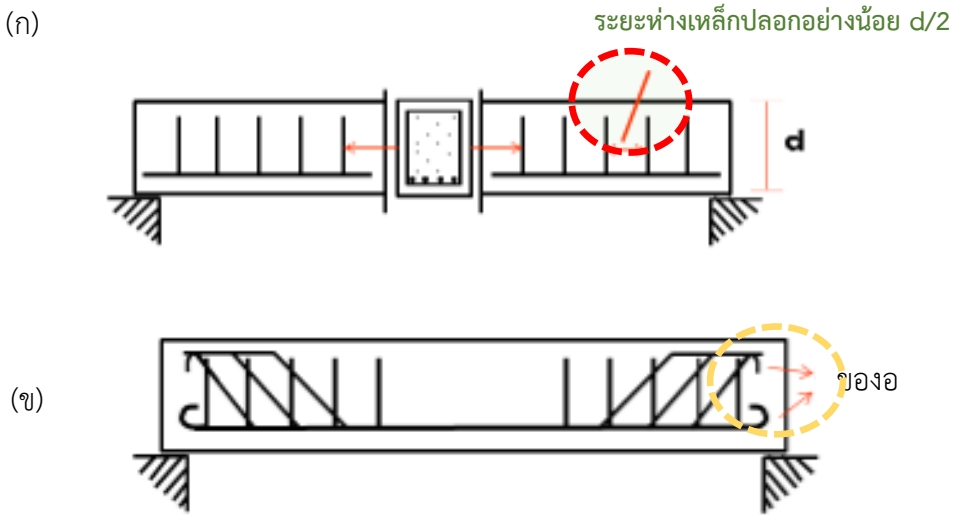


(ค) การวิบัติของคาน

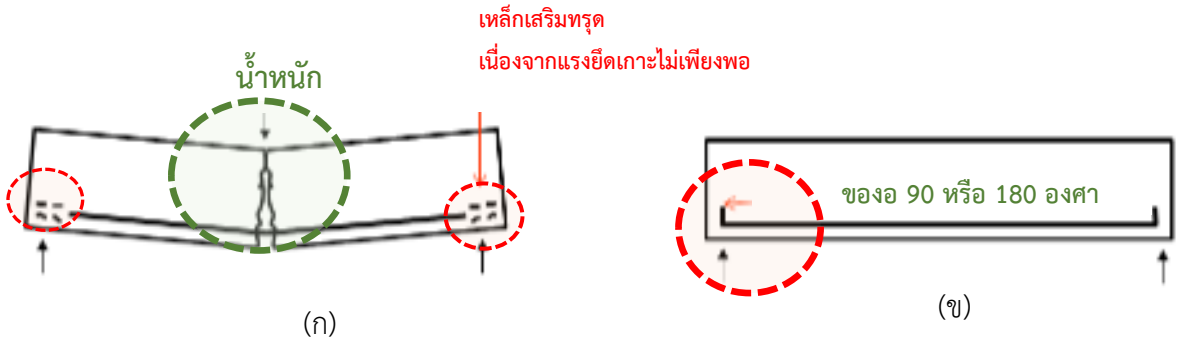
รูปที่ 5.4 การวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบช่วงเดียวภายใต้น้ำหนักบรรทุก

ที่มา: วินิต ช่อวิเชียร, 2545

จากหัวข้อ 3) การป้องกันรอยแตกร้าว ด้วยการเสริมเหล็กปลอกเป็นที่นิยมใช้กว่าการต้านทานแรงดึงทแยงโดยเหล็กคอกม้า ดังในรูปที่ 5.5 เพราะต้านทานแรงได้ดีกว่า แต่มีเงื่อนไขว่า ระยะห่างของเหล็กปลอกต้องไม่มากกว่าครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิผลของคาน *(d/2)* บางครั้งอาจใช้วิธีร่วมกันก็ได้



รูปที่ 5.5 (ก)-(ข) ระยะห่างเหล็กปลอก และการงอขอปลายเหล็กเสริม
ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549



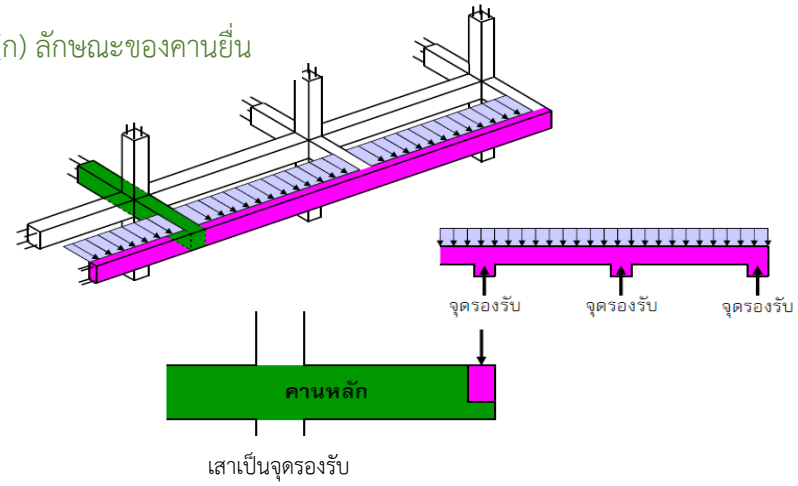
รูปที่ 5.6 (ก)-(ข) การเลื่อนตัวออกของเหล็กเสริมกรณีไม่ได้งอปลาย และการงอขอที่ปลาย
ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

ความแข็งแรงของคาน คอนกรีตเสริมเหล็กคานช่วงเดียว จะขึ้นอยู่กับแรงยึดเกาะ Bond ระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมคานอีกด้วย น้ำหนักที่กระทำกับคานมากทำให้คานเกิดแรงดึงมากตามคาน อาจมีโอกาสแตกร้าวเสียหายได้ หากเหล็กเสริมต้านทานแรงดึง ถูกแรงดึง ดึงให้เหล็กรูดหรือเลื่อนตัว จึงควรให้ใช้เหล็กงอขอที่ปลาย เพื่อเพิ่มการยึดเกาะกับคอนกรีตได้ดีกว่าเหล็กตรงธรรมดา นอกจากนี้ ยังสามารถเลือกใช้เหล็กเสริมจำนวนเล็กหลาย ๆ เส้น เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับคอนกรีตเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างเหล็กเสริม กับคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูง และกำหนดรายละเอียดการงอขอที่ปลาย อย่างไรก็ตาม เหล็กเสริมส่วนบน (เหล็กรับแรงอัด) ไม่สามารถป้องกันคานแตกร้าวในส่วนที่เกิดแรงดึงได้ ดังแสดงใน รูปที่ 5.6 (ก)-(ข) ในข้างต้น

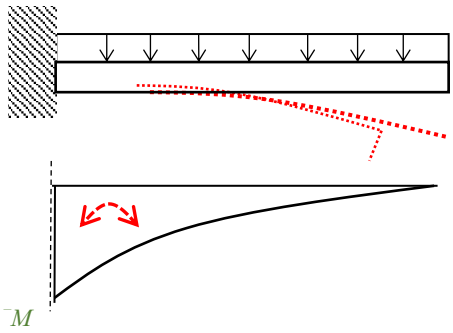
5.1.2 คานยื่น (Cantilever beam)

คานช่วงเดียว มีลักษณะยื่นออกมากจากด้านยึดแน่น (Fix support) เป็นคานปลายด้านหนึ่งเป็นอิสระ อาทิ เสาหรือ Shear Wall โดยมี Support ในการรองรับคานเพียงจุดเดียว ณ ด้านใดด้านหนึ่ง และ Support จะต้องถูกออกแบบให้สามารถรองรับแรงดัดที่ทำให้คานโก่งตัวลงได้ (Fix support) ดังแสดงใน รูปที่ 5.8

(ก) ลักษณะของคานยื่น

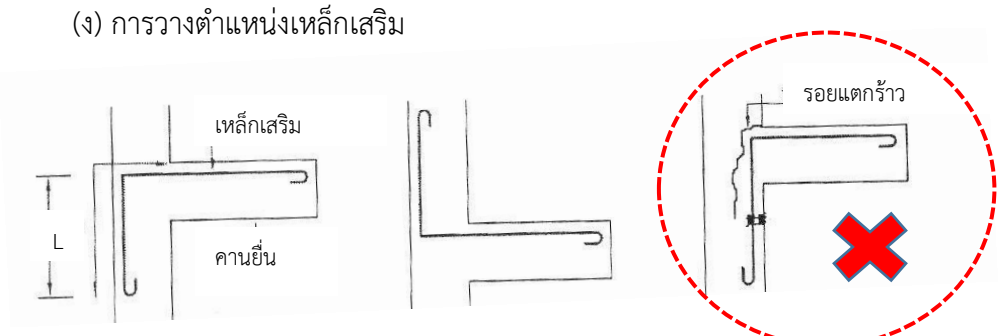


(ข) ลักษณะการโก่งตัวของคานยื่นและการเสริมเหล็ก



(ค) ลักษณะของคานยื่น

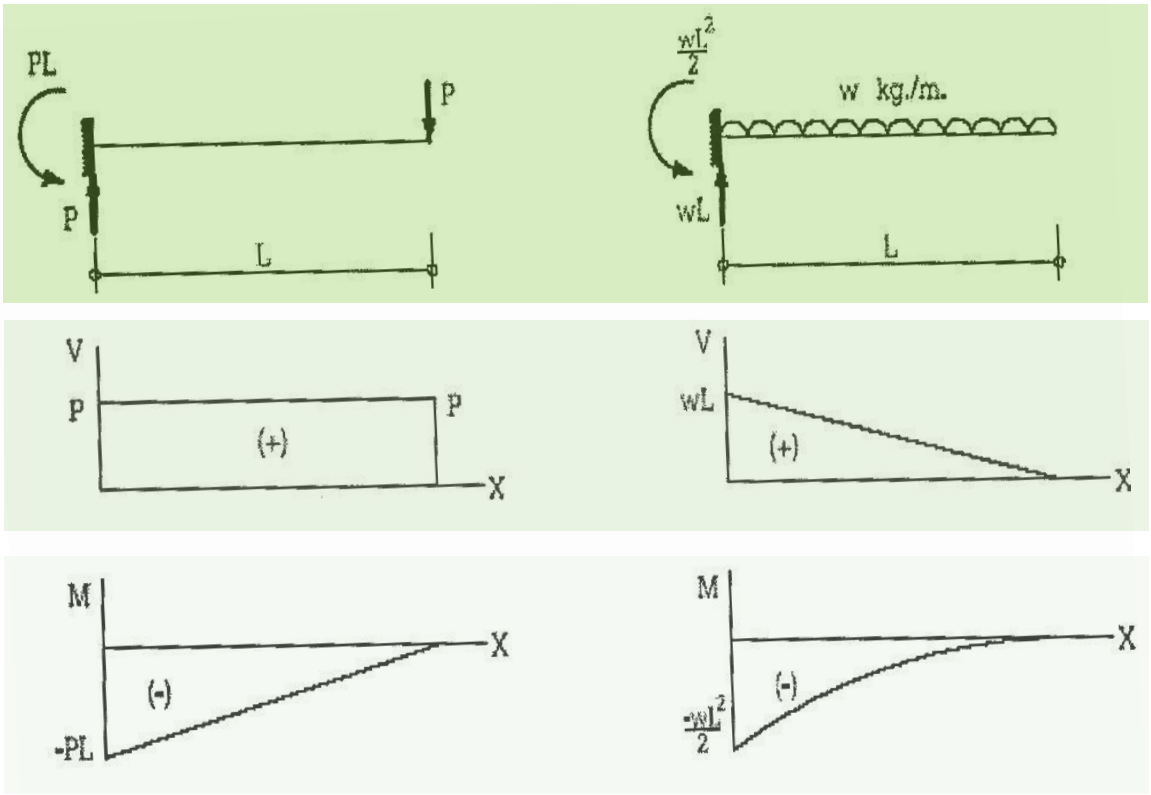
(ง) การวางตำแหน่งเหล็กเสริม



รูปที่ 5.7 (ก)-(ง) ลักษณะพฤติกรรมคานยื่น

ที่มา: สมศักดิ์ คำปลิว, 2547 มงคล จิรวัชรเดช, 2549

SCG Experience,2559 และกัมปนาท บุญกัน ปรับปรุง, 2558



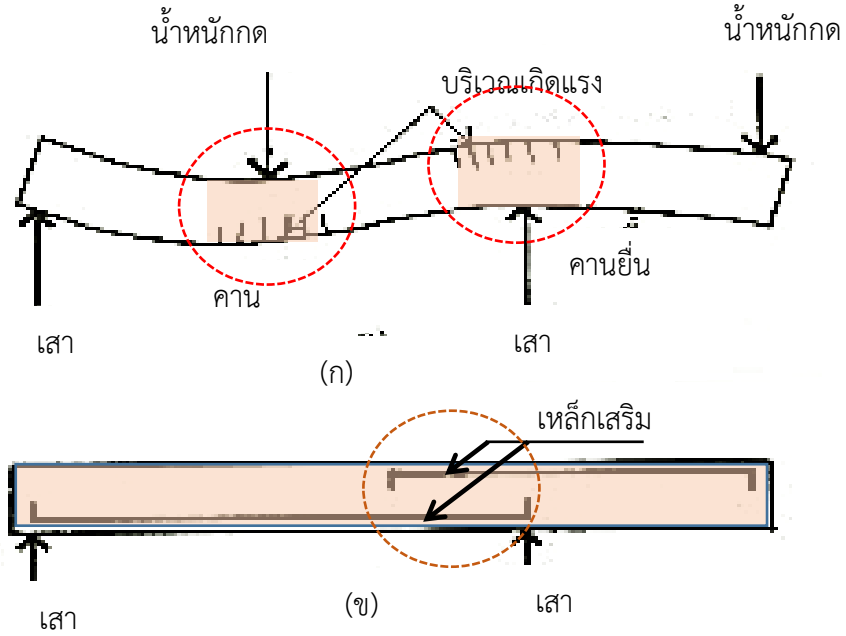
รูปที่ 5.8 พฤติกรรมผลการรับแรงของคานยื่น

ที่มา: สมศักดิ์ คำปลิว, 2547

คานยื่นรับน้ำหนักบรรทุกแผ่สม่ำเสมอตลอดความยาวคาน ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดเกิดขึ้นที่ฐานรองรับและมีทิศทางเป็นลบ (^{-}M) ส่งผลให้คานโก่งตัว ดังรูปที่ 5.8 บริเวณหลังคานด้านบนใกล้ฐานรองรับเกิดแรงดึง ส่วนท้องคานด้านล่างเกิดแรงอัด การแตกร้าวของคานยื่นจะเกิดขึ้นบริเวณหลังคานด้านบนที่เกิดแรงดึง ดังนั้น การเสริมเหล็กรับแรงดึงจึงเสริมด้านบนหลังคานบริเวณฐานรองรับ ดังรูปที่ 5.9 (ค) การออกแบบขนาดความลึก (Depth) ของคานปลายยื่นดังกล่าว จะมีผลในการออกแบบ เพื่อรับน้ำหนักที่กระทำลงบนคานด้วย ยิ่งมีน้ำหนักที่ถ่ายลงบนคานปลายยื่นมาก การเสริมเหล็กจะต้องฝังเข้าไปในคานช่วงใน ซึ่งจะมัดกับเสาที่รองรับ หรือผังลงไปในเสา ความยาวของเหล็กที่ผังเข้าไปในคานตัวถัดไปดังรูปที่ 5.8 (ข) และ (ค) จะต้องมีความยาวเพียงพอที่จะไม่ทำให้หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจริงระหว่างเหล็กเสริมคอนกรีตมากกว่าค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ตามมาตรฐานของ ว.ส.ท. ดังในรูปที่ 5.9 ซึ่งเป็นพฤติกรรมการรับแรงของคานยื่น

5.1.3 คานช่วงเดียวปลายยื่น (Overhanging beams)

คานช่วงเดียวปลายยื่น (คานที่ระยะพาดมากกว่า 2 ช่วงขึ้นไป) วางอยู่บน Support อย่างน้อย 2 ตำแหน่ง โดยมีส่วนปลายคานด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน ยื่นออกมาจาก Support ตัวริม ทำให้น้ำหนักกระทำลงบนคานช่วงที่ยื่น สามารถกระจายน้ำหนักให้คานต่อเนื่องช่วงอื่น ๆ ช่วยรับน้ำหนักร่วมกันได้เป็นคานช่วงเดียวที่มีปลายยื่นออกเลยจุดรองรับ

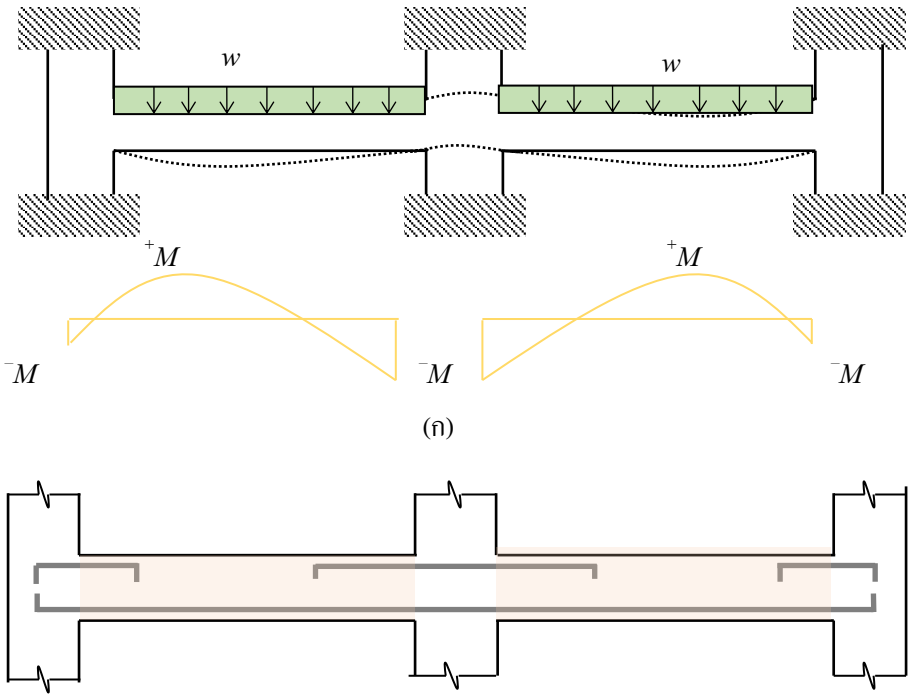


รูปที่ 5.9 (ก)-(ข) ลักษณะพฤติกรรมคานช่วงเดียวปลายยื่น และการวางเหล็กเสริม

ที่มา : สาขาวิชาช่างก่อสร้าง วท.เชียงใหม่, 2556 และ กัมปนาท บุญกัน ปรับปรุง, 2558

5.1.4 คานต่อเนื่อง (Continuous beam)

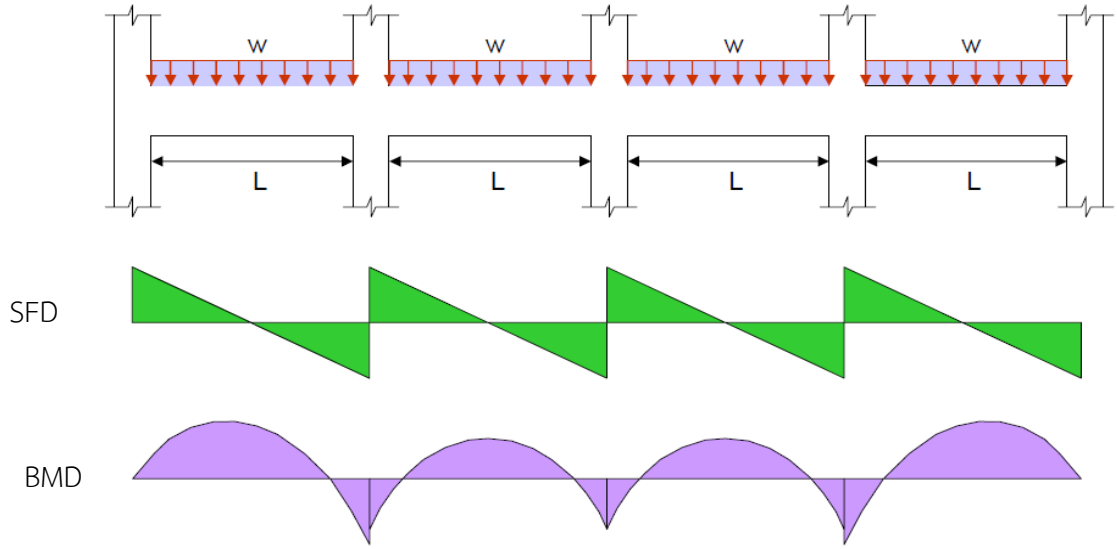
คานต่อเนื่อง เป็นคานที่มีจุดรองรับมากกว่า 2 จุดต่อเนื่อง ขึ้นไป หรือมีจุดรองรับอย่างน้อย 3 จุด สำหรับคาน คสล. ที่ต่อเนื่องกัน ดังแสดงในรูปที่ 510



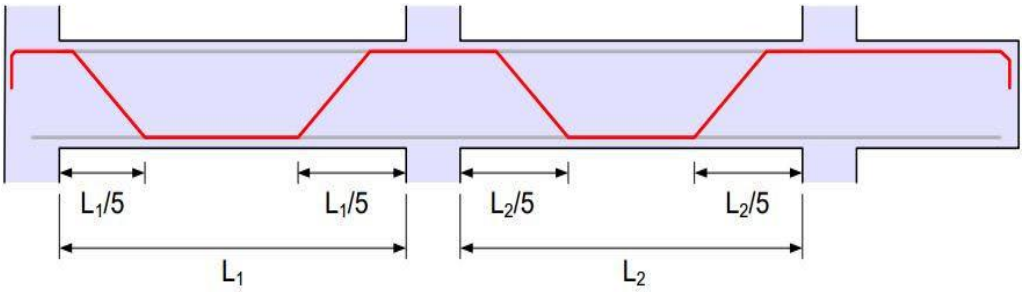
รูปที่ 5.10 ลักษณะการโก่งตัวของคานต่อเนื่องและการเสริมเหล็ก

ที่มา: สาโรจน์ ดำรงศิลป์, 2559

คานต่อเนื่องที่เป็นโครงสร้างอินดิเทอร์มิเนท ดังแสดงในรูปที่ 5.11 ในทางปฏิบัติจะต้องหล่อคอนที่หล่อคอนกรีตเป็นเนื้อเดียวกันตลอด ซึ่งคานตั้งแต่ 2 ช่วงขึ้นไปคานประเภทนี้เป็นโครงสร้างอินดิเทอร์มิเนท (การคำนวณค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด จะยุ่งยากซับซ้อน โดยมาตรฐาน ว.ส.ทจึงอนุโลมให้ใช้ค่าการคำนวณโดยประมาณค่า) ซึ่งเหล็กเสริมประเภท จะแบ่งออกเป็นสองลักษณะคือ เหล็กล่างบริเวณกลางของช่วงคาน และเหล็กบนบริเวณใกล้หัวเสา เนื่องจากช่วงกลางคนจะเกิดโมเมนต์บวก ซึ่งจะทำให้ผิวล่างของคานเป็นแรงดึง ส่วนบริเวณหัวเสาหรือจุดรองรับ จะเป็นโมเมนต์ลบ ทำให้ผิวบนคานที่เกิดโมเมนต์ลบนี้เป็นแรงดึง ซึ่งเป็นพฤติกรรมของคานต่อเนื่องโดยทั่วไป



(ก) พฤติกรรมด้านผลการรับแรง

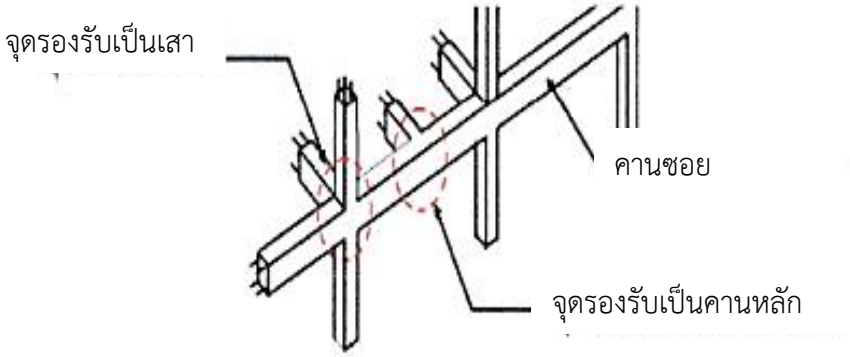


(ข) ตัวอย่างการวางตำแหน่งเหล็กเสริม

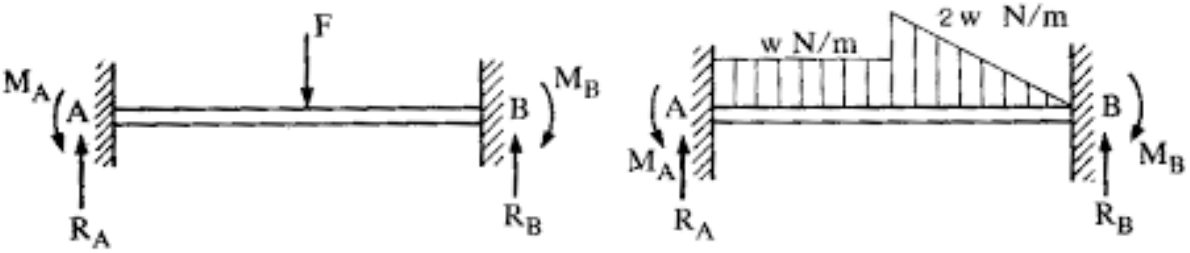
รูปที่ 5.11 (ก)-(ข) ลักษณะการโก่งตัวของคานต่อเนื่องคานต่อเนื่องเป็นโครงสร้างอินดิเทอร์มิเนท
ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

5.1.5 คานยึดแน่น (Fixed-ended beam)

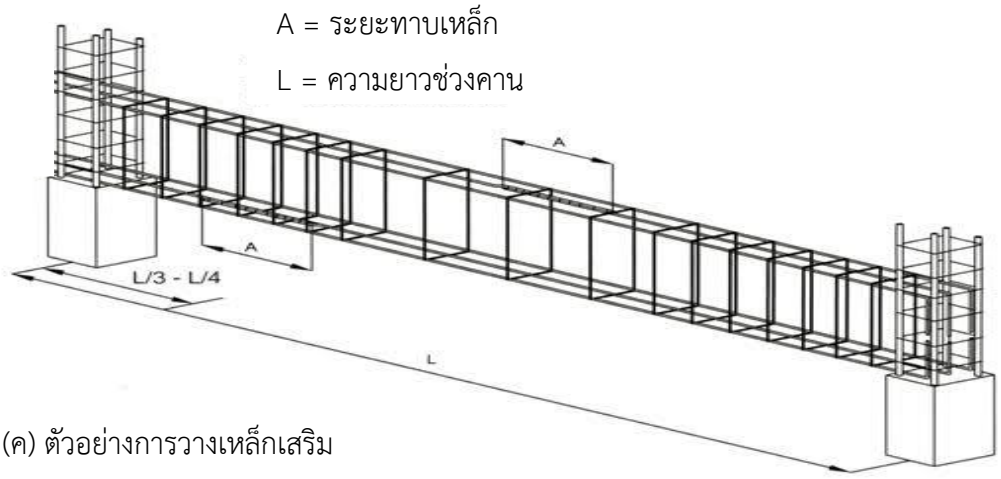
คานยึดแน่น เป็นคานย่อยที่มีปลายทั้ง 2 ด้านยึดแน่นกับคานหลัก ดังแสดงในรูปที่ 5.12



(ก) ตำแหน่งจุดยึดคาน



(ข) ลักษณะพฤติกรรมการรับแรง



(ค) ตัวอย่างการวางเหล็กเสริม

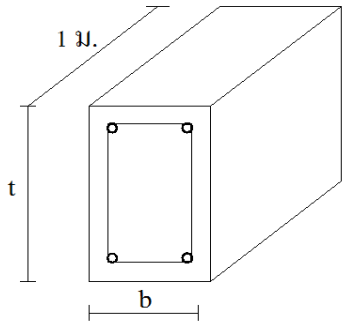
รูปที่ 5.12 (ก)-(ค) ตัวอย่างคานยึดแน่น

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

5.2 ลักษณะการถ่ายน้ำหนักลงคาน

เป็นการถ่ายน้ำหนักของตัวคานเองและโครงสร้างที่วางอยู่บนคาน โดยทั่วไปจะมีน้ำหนักจากตัวคานเอง,ผนัง,พื้น กรณีพื้นต้องพิจารณาตามลักษณะชนิดพื้น คือ พื้นทางเดียว พื้นสองทาง พื้นยื่น หรือพื้นสำเร็จรูป เมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกจะเกิดแรงภายในโครงสร้าง ได้แก่ แรงตามแนวแกน แรงเฉือน และโมเมนต์ดัด แรงภายในเหล่านี้ทำให้คานเกิดการโก่งตัว ดังรูปที่ 5.13-5.15 โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โมเมนต์ดัดมีผลอย่างมากต่อการโก่งตัวของคานเมื่อเทียบกับแรงภายในอื่นๆ ลักษณะการโก่งตัวของคานช่วงเดียวภายใต้โมเมนต์ดัด จะเห็นว่าโมเมนต์ดัดสูงสุดเกิดขึ้นที่กึ่งกลางคานและมีทิศทางเป็นบวก (^{+}M) โดยคานจะแอ่นตัวลง ทำให้บริเวณหลังคานด้านบนเกิดแรงอัด ส่วนท้องคานด้านล่างเกิดแรงดึง คอนกรีตซึ่งต้านทานแรงดึงได้น้อยจึงส่งผลให้คานเกิดการแตกร้าวที่บริเวณกึ่งกลางด้านล่าง ดังนั้น จึงต้องเสริมเหล็กบริเวณด้านล่างเพื่อทำหน้าที่รับแรงดึง

5.2.1 น้ำหนักตัวคาน (B)



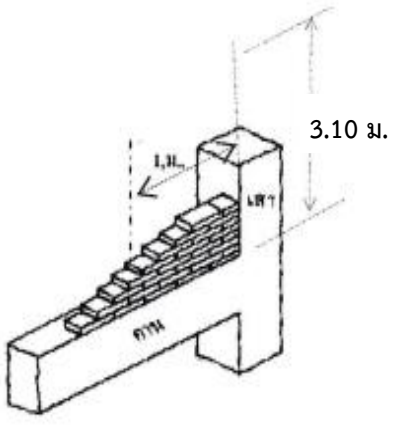
รูปที 5.13 ตัวอย่างน้ำหนักตัวคาน

เนื้อคอนกรีต 1 ม.^{3} หนัก (w = 2,400 กก./ม.^{3})

ตัวอย่างที่ 5.1 หาน้ำหนัก คาน B1 ขนาด 0.15 x 0.50 ม.

B1	=	b x t x w	กก./ม.
B1	=	0.15 x 0.50 x 2,400	กก./ม.
B1	=	180	กก./ม.

5.2.2 น้ำหนักผนังที่วางบนคาน (W)



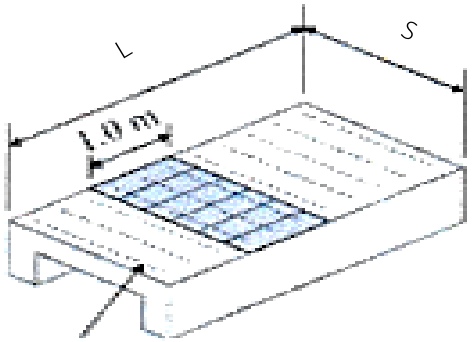
ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่น 1 ม.^{2} หนัก (w = 180 กก./ม.^{2})

(น้ำหนักประเภทของผนังก่ออิฐจากมาตรฐาน วสท.)

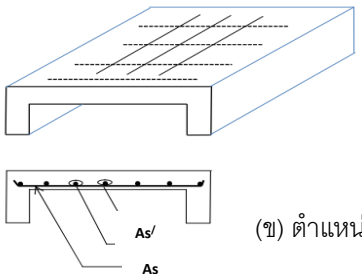
ตัวอย่างที่ 5.2 ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นบนคานสูง 3.10 ม.

W	=	สูง x w	กก./ม.
W	=	3.10 x 180	กก./ม.
W	=	558	กก./ม.

รูปที่ 5.14 น้ำนักตัวผนังก่ออิฐครึ่งแผ่น



(ก) ลักษณะการถ่ายน้ำหนัก ตัวพื้นทางเดียว



(ข) ตำแหน่งเหล็กเสริม

5.2.3 การถ่ายน้ำหนักพื้นที่วางบนคาน (S)

1) พื้นทางเดียว เมื่อ ถ่ายน้ำหนักพื้นลงคานด้านยาวเท่านั้นส่วนคานด้านสั้น ไม่รับน้ำหนักพื้น แบ่งครึ่งด้านสั้นของพื้นตลอดแนว

น้ำหนักพื้น = น้ำหนักพื้น คสล. + น้ำหนักบรรทุกจร

$$W = DL + LL$$

ถ่ายน้ำหนักลงคาน = ด้านสั้นพื้น/2 (น้ำหนักพื้น)

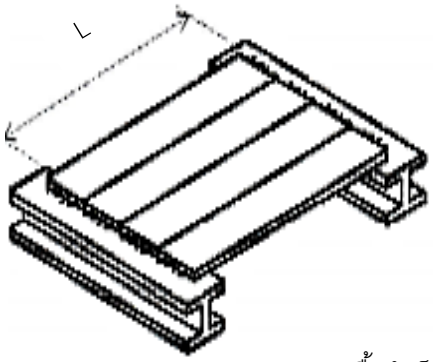
$$W_S = \left(\frac{S}{2}\right) W$$

ตัวอย่างที่ 5.3 สมมุติพื้น (S1) ขนาด 1.50 x 4.50 x 0.12 ม. เป็นพื้นทางเดียว

เมื่อ $\frac{L}{S} = \left(\frac{4.5}{1.5}\right) = 3 > 2$ **น้ำหนักพื้น (1 ม.^{2})**

W = DL + LL = (0.12 x 2400) + 200 = 488 กก./ม.^{2}

$W_S = \left(\frac{S}{2}\right) W = \left(\frac{1.5}{2}\right) 488$ = 366 กก./ม.



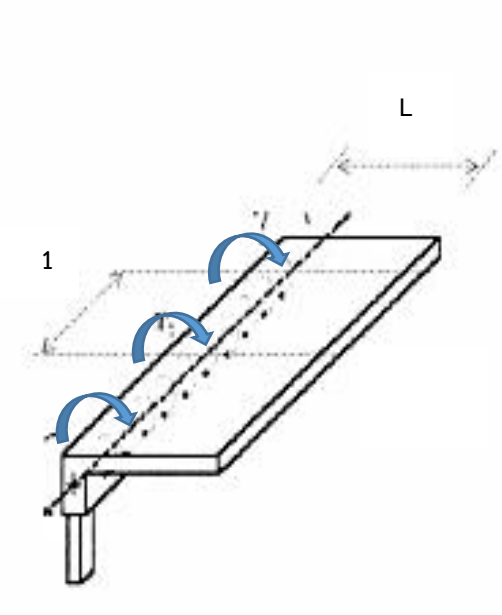
(ค) ตัวอย่างพื้นสำเร็จรูป

2) พื้นสำเร็จรูป ลักษณะเดียวกับพื้นทางเดียว

การถ่ายน้ำหนักพื้นลงคานด้านที่แผ่นพื้นวางบนคานเท่านั้น โดยแบ่งครึ่งด้านความยาวของแผ่นพื้นสำเร็จรูป

ถ่ายน้ำหนักลงคาน = ด้านยาวแผ่นพื้น/2 (น้ำหนักพื้น) กก./ม.

รูปที่ 5.15 (ก)-(ค) ลักษณะของพื้นแต่ละประเภทในการพิจาณาแรง



รูปที่ 5.16 น้ำหนักพื้นยื่นถ่ายลงคาน

3) พื้นยื่นวางบนคาน (S′)

เมื่อ L = ด้านที่พื้นกันสาดยื่น

น้ำหนักลงคาน = ด้านกว้างพื้น x (น้ำหนักพื้น)

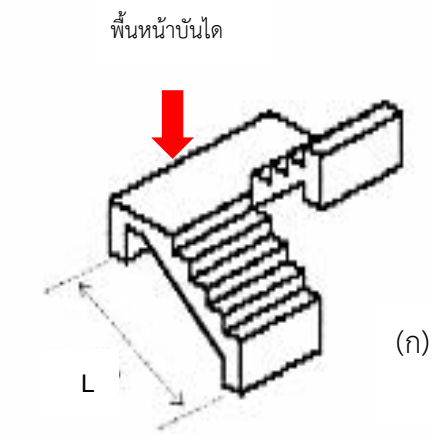
$W_{s'}$ = L. W กก./ม.

ตัวอย่างที่ 5.4 สมมุติพื้น (S') ขนาด 1.50 x 4.00 x 0.12 ม.

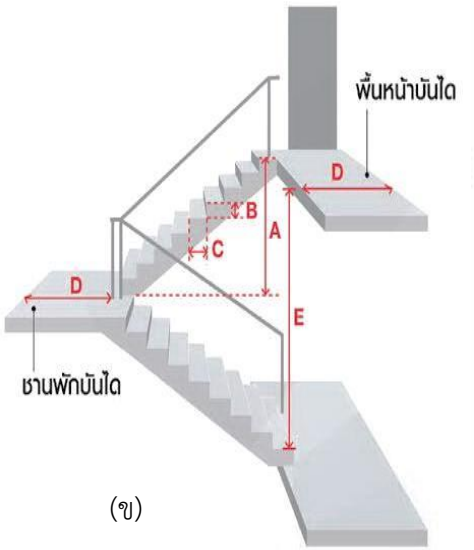
น้ำหนักพื้น S' W = DL + LL

= 288 + 200

$W_{s'}$ = 1.50 x 488 = 732 กก./ม.



(ก)



(ข)

4) พื้นบันไดพาดคานล่าง – บน มีลักษณะเดียวกับ

พื้นทางเดียว โดยแบ่งครึ่งด้านความยาวของบันไดพาดคาน (L)

น้ำหนักลงคาน = ยาวบันได/2 (น้ำหนักพื้นบันได) กก./ม.

น้ำหนักบันไดต่อพื้นที่ 1 ม.^{2}

DL บันได = น.น. ขั้น + น.น.พื้นบันได

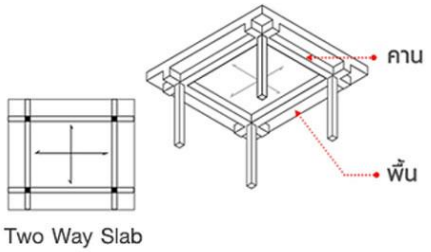
DL บันได = กก./ม.^{2}

เมื่อ B = ความสูงลูกตั้ง ซม.

t = ความหนาพื้นบันได ซม.

C = ความกว้างลูกนอน ซม.

รูปที่ 5.17 (ก) น้ำหนักบันไดถ่ายลงคาน และ (ข) ขนาดลูกตั้ง ลูกนอน บันได

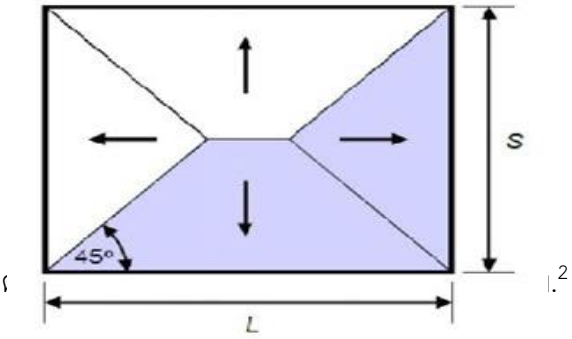


Two Way Slab

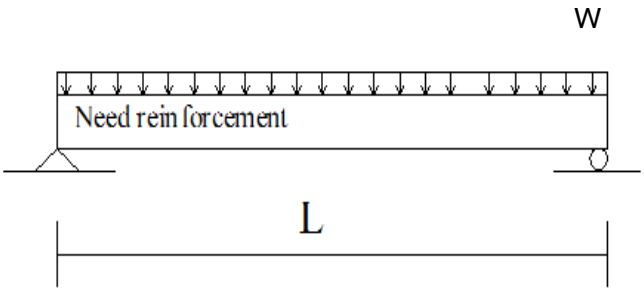
5) พื้นสองทาง $\frac{L}{S} > 2$

การถ่ายน้ำหนักพื้นลงสู่คานทั้ง 4 ด้าน ด้วยการแบ่งพื้นที่ของแผ่นพื้นเป็นมุม 45° ทั้งทางด้านสั้นและด้านยาวของแผ่นพื้น รูปที่ 5.18

กรณีที่ 1 ถ่ายน้ำหนักพื้นเพื่อหาค่าโมเมนต์ดัดในคาน

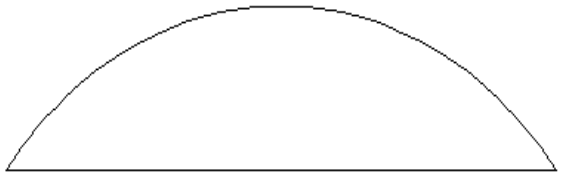


(ก)



+Mmax = $Wl^2/8$

(ข)



คานด้านสั้นรับ

$$W_S = \frac{WS}{3}$$ กก./ม.

คานด้านยาวรับ

$$W_S = \left(\frac{WS}{3}\right)\left(\frac{3-\left(\frac{S}{L}\right)^2}{2}\right)$$ กก./ม.

รูปที่ 5.18 (ก)-(ข) น้ำหนักตัวพื้นสองทางลงคานและพฤติกรรมการรับแรง

5.3 พฤติกรรมของคานเมื่อรับน้ำหนัก

เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกว่าส่วนใดเกิดแรงอัด แรงดึง แรงเฉือนหรือแรงบิด เพื่อที่จะได้เสริมเหล็กให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง สำหรับคานส่วนที่รับน้ำหนักบรรทุกกระทำนั้น การรับน้ำหนักบรรทุกอาจมีลักษณะเปลี่ยนแปลง คานที่รับน้ำหนักนั้นก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย บางครั้งอาจเปลี่ยนแปลงไปจนเป็นลักษณะตรงกันข้ามก็เป็นได้ คานคอนกรีตเสริมเหล็ก มีพฤติกรรมในการรับโมเมนต์ดัด และแรงเฉือนเป็นหลัก โดย โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูปของแรงอัด และแรงดึง ส่วนแรงเฉือน ก็จะเกิดขึ้นทั้งในแนวราบ และแนวดิ่ง เนื่องจากคอนกรีตมีคุณสมบัติที่สามารถรับแรงอัดได้ดีแต่รับแรงดึงได้ต่ำมาก จึง ออกแบบให้คอนกรีตรับแรงอัดเป็นหลัก ส่วนเหล็กเสริมทางยาวมีคุณสมบัติรับแรงดึงได้สูง จึง ออกแบบให้เหล็กเสริมรับแรงดึงเป็นหลัก ในเวลาเดียวกัน คานนอกจากจะเกิดแรงอัดและแรงดึง และแรงเฉือนแล้ว ยังอาจเกิดแรงบิดขึ้นอีกด้วย เพื่อป้องกัน

การเสียหายของคานเนื่องจากแรงเฉือน และแรงบิด จึงใช้เหล็กเสริมทางตั้งเข้าช่วยซึ่งเรียกว่า “เหล็กปลอก" หรือ "เหล็กลูกตั้ง” (Stirrups) เหล็กนี้ทำหน้าที่เป็นเหล็กรับแรงเฉือน และช่วยในการรับแรงบิดอีกด้วย เช่น ส่วนที่ต้องรับแรงอัดกลับกลายเป็นรับแรงดึง เป็นต้น

โมเมนต์ที่พยายามดัดหรือหมุนส่วนของ โครงสร้าง โค้งหรือโก่งตัว บนส่วนของโครงสร้างจะได้จากผลรวมทาง พีชคณิตของโมเมนต์ที่ได้จากการกระทำของแรงหรือน้ำหนักภายนอกที่อยู่ทางด้านใดด้านหนึ่งของ หน้าตัดนั้น รอบแกนที่ตั้งได้ฉากกับระนาบของแรงซึ่งผ่านศูนย์ถ่วงของหน้าตัดนั้น เมื่อเกิดโมเมนต์ดัดกระทำทำให้คานมีลักษณะการดัดดังนี้

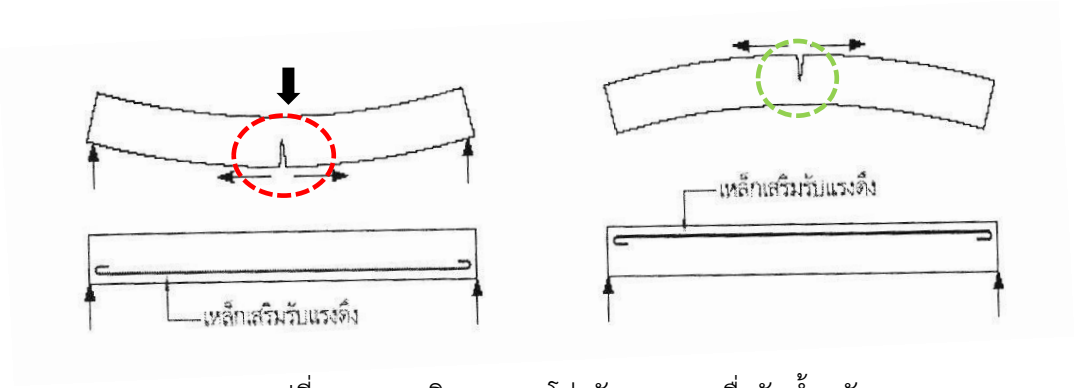
โมเมนต์ดัดบวก (^{+}M) = โมเมนต์ที่ทำให้ขอบบนคานเกิดแรงอัด และขอบล่างเกิดแรงดึง

โมเมนต์ดัดลบ (^{-}M) = โมเมนต์ที่ทำให้ขอบบนคานเกิดแรงดึง และขอบล่างเกิดแรงอัด

ซึ่งคานเป็นองค์อาคารในแนวราบมีหน้าที่รับน้ำหนักจากพื้นและผนังแล้วส่งถ่ายลงสู่เสา จากแบบแปลน ในแต่ละชั้นจะแสดงคานอยู่ที่ขอบของพื้น หรือรองรับอยู่ใต้ผนัง คานหลักจะวิ่งผ่านหัวเสาที่เป็นจุดรองรับ และคานย่อยจะพาดอยู่ระหว่างคานหลักที่เป็นจุดรองรับ โมเมนต์ดัดที่พยายามทำให้คานแอ่น หรือโก่งตัวโดยที่ส่วนบนเหนือแนวแกน สะเทินของคานมีอาการถูกอัด ส่วนล่างใต้แนวแกนสะเทินของคานมีอาการถูกดึงถือว่ามีค่าเป็น บวก แต่โมเมนต์ดัด ที่พยายามทำให้คานแอ่น หรือโก่งตัว ในรูปข้าต้น ในกรณีของห้องใต้ดิน คานที่ถ่ายน้ำหนักจากพื้นห้องใต้ดิน ซึ่งพื้นจะต้องรับแรงดันของน้ำและรับ น้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายลงพื้น ถ้าน้ำหนักบรรทุกจากด้านบนมีมากกว่าก็จะเกิดแรงดึง ที่กลางคาน ส่วนล่าง แต่ถ้าน้ำหนักบรรทุกน้อยกว่าแรงดันของน้ำ ก็จะเกิดแรงในลักษณะกลับกัน ดังรูปที่ 5.20 พฤติกรรมของคานเมื่อมีพฤติกรรมการดัดภายในตัวคานโมเมนต์ดัด กระทำสรุปได้ดังนี้

1) **การโค้งงอที่ด้านล่างของคานนูนออก** หรือโมเมนต์ดัดทำให้คานส่วนบนเป็นแรงอัด และด้านล่างเป็นแรงดึง เครื่องหมายของโมเมนต์เป็นบวก (M^{+})

2) **การโค้งงอที่ด้านนูนออกอยู่ข้างบน** หรือโมเมนต์ดัดที่ทำให้คานส่วนบนเป็นแรงดึง คานส่วนล่างเป็นแรงอัด เครื่องหมายของโมเมนต์มีค่าเป็นลบ (M^{-})

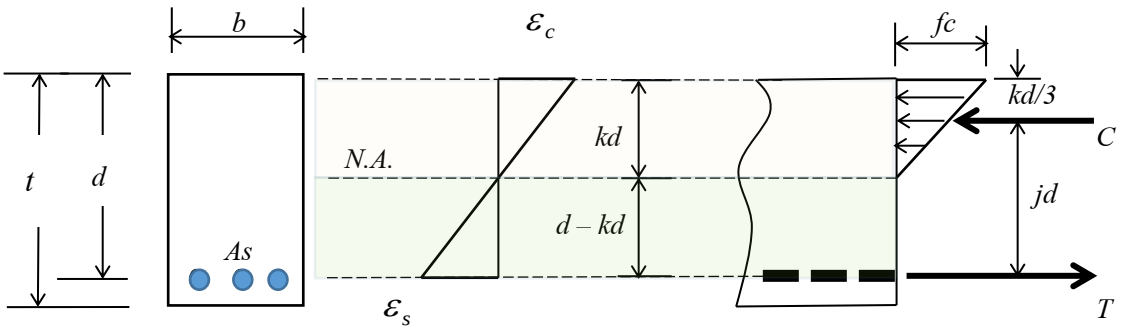


รูปที่ 5.19 พฤติกรรมการโก่งตัวของคานเมื่อรับน้ำหนัก

ที่มา: วินิต ช่อวิเชียร, 2545

5.4 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

คานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบช่วงเดียวภายใต้โมเมนต์ดัด ผิวคานด้านบนจะถูกอัดส่วนท้องคานจะถูกดึง จากสมมติฐานในการออกแบบข้อที่ 1 รูปตัดทั้งก่อนและหลังการรับโมเมนต์ดัดยังคงเป็นระนาบ ดังรูปการกระจายหน่วยการยืดหดตัวและหน่วยแรงบนหน้าตัดคาน และการกระจายหน่วยการยืดหดตัวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่างจากแกนสะเทิน (Neutral axis, N.A.) โดยหน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีต (ε_c) เกิดขึ้นที่ผิวด้านบนของคานมีระยะห่างเท่ากับ kd จากแนวแกนสะเทิน และหน่วยการยืดตัวของเหล็กเสริม (ε_s) เกิดขึ้นที่ด้านล่างของคานตำแหน่งเหล็กเสริมรับแรงดึง สมมติฐานข้อที่ 2 และข้อที่ 4 กลสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริมเป็นไปตามกฎของฮุค (Hook's law) การกระจายหน่วยแรงอัดของคอนกรีตและแรงภายในบนหน้าตัดโดยไม่คิดกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีต



(ก) รูปตัดคาน (ข) การกระจายของหน่วยการยืดหดตัว (ค) การกระจายหน่วยแรง และแรงภายในบนหน้าตัด

การกระจายหน่วยการยืดหดตัวและหน่วยแรงบนหน้าตัดคาน

ที่มา: วินิต ช่อวิเชียร, 2545

อธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้ในรูป ดังนี้

As : พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง

b : ความกว้างของคาน *t* : ความลึกของคาน

C : แรงอัดที่รับโดยคอนกรีต *T* : แรงดึงที่รับโดยเหล็กเสริม

fc : หน่วยแรงอัดของคอนกรีต *fs* : หน่วยแรงดึงของเหล็กเสริม

d : ความลึกประสิทธิผลของคาน

kd : ระยะจากผิวบนของคอนกรีตด้านรับแรงอัดถึงแนวแกนสะเทิน

jd : ระยะจากแนวแรงอัด (*C*) ถึงแนวแรงดึง (*T*)

พิจารณาสภาวะสมดุลของแรงภายในบนหน้าตัดคาน รูป (ค) แรงอัดที่รับโดยคอนกรีต (*C*) เท่ากับ แรงดึงที่รับโดยเหล็กเสริม (T)

แรงอัดที่รับโดยคอนกรีต : $C = \frac{1}{2} fc.kd.b$ (5.1)

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : $Mc = C.jd$

$$Mc = \frac{1}{2} fc.kd.b.jd \quad (5.2)$$

ถ้าให้ $R = \frac{1}{2} fc.k.j$ โดยที่ค่า R เป็นค่าคงที่สำหรับการออกแบบ ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$Mc = R.bd^2 \quad (5.3)$$

และนิยมใช้สมการ (5.3) ตรวจสอบหาขนาดหน้าตัดที่เหมาะสม โดยให้ $Mc = M_{max.}$

$$d = \sqrt{\frac{M_{\max}}{R.b}} \quad (5.4)$$

แรงดึงที่รับโดยเหล็กเสริม : $T = As.fs$ (5.5)

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยเหล็กเสริม : $Ms = T.jd$

$$Ms = As.fs.jd \quad (5.6)$$

และสามารถใช้สมการ (5.6) คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม โดยแทนค่า $Ms = M_{max.}$

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม : $As = \frac{M_{\max}}{fs.jd}$ (5.7)

5.5 ข้อกำหนดเกี่ยวกับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

มาตรฐาน ว.ส.ท. ให้ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนี้

5.5.1 ความลึกต่ำสุดของคาน (t)

ในกรณีที่ไม่ได้คำนวณระยะโก่ง หากใช้ความลึกน้อยกว่านี้ต้องคำนวณระยะโก่งตัวของคาน แต่ทั้งนี้ต้องไม่ทำให้ความแข็งแรงขององค์อาคารนั้นด้อยลง

ลักษณะ	ความลึกต่ำสุด (*t*)
คานช่วงเดียว	L/16
คานปลายต่อเนื่องข้างเดียว	L/18.5
คานปลายต่อเนื่องสองข้าง	L/21
คานยื่น	L/8

5.5.2 คานลึกคานช่วงเดียว

คานช่วงเดียวที่มีอัตราส่วนความลึกต่อระยะช่วง มากกว่า 4/5 และคานต่อเนื่องที่อัตราส่วนความลึกต่อระยะช่วงมากกว่า 2/5 ให้ถือว่าเป็นคานลึก ในการคำนวณออกแบบถือว่าความเครียดที่เกิดขึ้นไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากแกนสะเทิน และต้องคำนึงถึงการโก่งงอตามขวาง ตลอดจนผลเกี่ยวเนื่องอื่นๆ ด้วย สำหรับคานปกติทั่วไปควรมีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกประสิทธิผล (b/d) ระหว่างช่วง 0.25 ถึง 0.60

5.5.3 เหล็กเสริมน้อยสุดสำหรับองค์อาคารรับแรงดัด

เหล็กเสริมน้อยสุดสำหรับองค์อาคารรับแรงดัด (ρ_{min}) จะต้องมีปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงไม่น้อยกว่า $14/fy$ เพื่อป้องกันการวิบัติที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันทันทีเมื่อเกิดการแตกร้าวด้านรับแรงดึง โดยค่า ρ คืออัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมต่อพื้นที่หน้าตัดคาน $\rho = A_s/bd$

5.5.4 คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม *(Covering)*

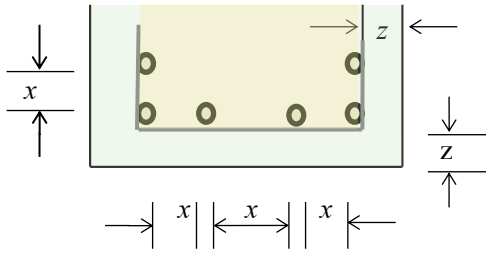
คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม เป็นระยะที่วัดจากผิวคอนกรีตถึงผิวนอกของเหล็กปลอกและการจัดวางเหล็กเสริมต้องคำนึงถึงความสามารถเทได้ของคอนกรีตโดยสะดวก กรณีที่คานเสริมเหล็กมากกว่าหนึ่งชั้นควรวางเหล็กที่มีขนาดใหญ่กว่าไว้ด้านล่าง และวางเหล็กแต่ละชั้นให้สมมาตรกัน โดยมีระยะห่างระหว่างชั้นไม่น้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5.2

$x \geq 1.34$ เท่าขนาดโตสุดของหิน

$x \geq 2.5$ ซม.

$z \geq 3.0$ ซม. เมื่ออยู่ในร่มและไม่สัมผัสดิน

$z \geq 4.0$ ถูกแดด ฝน และสัมผัสดิน



(ก) ระยะที่วัดจากผิวคอนกรีตถึงผิวนอกของเหล็กปลอก

(ข) ตัวอย่างระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมและการหนุนลูกปูนในแบบหล่อ

รูปที่ 5.20 (ก)-(ข) คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม

5.6 ขั้นตอนในการคำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

ขั้นตอนในการคำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว ในการคำนวณมีขั้นตอนในการปฏิบติดังนี้

1) เขียนแบบจำลองทางโครงสร้าง และหาน้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้าง เลือกขนาดหน้าตัดคานเพื่อหาน้ำหนักคงที่ของคาน โดยสมมติขึ้นจากการพิจารณา ชนิดของคานที่ออกแบบ ความลึกขั้นต่ำของคานที่ไม่ต้องตรวจสอบการโก่งตัวของคาน และอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกประสิทธิผล (b/d) ที่เหมาะสม แล้วทำการวิเคราะห์โครงสร้าง (หาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด; $M_{max.}$)

2) เลือกวัสดุ กำลังอัดของคอนกรีต (fc') เลือกชนิดของเหล็กเสริม (เหล็กกลมผิวเรียบ หรือเหล็กข้ออ้อย) จะได้กำลังที่จุดครากของเหล็กเสริม (fy)

3) คำนวณหาค่าคงที่ สำหรับการออกแบบ : n, k, j และค่า R

4) ตรวจสอบขนาดหน้าตัดคานที่เหมาะสม ได้จาก 2 กรณี (เลือกกรณีใด กรณีหนึ่ง)

4.1) เปรียบเทียบค่า $Mc = Rbd^2$ กับค่า M_{max}

ถ้า $Mc < M_{max}$ หมายถึงโมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีตน้อยกว่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจริง แสดงว่าขนาดหน้าตัดคานเล็กไปให้เพิ่มขนาดหน้าตัดคานให้ใหญ่ขึ้น

ถ้า $Mc > M_{max}$ หมายถึงโมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีตมากกว่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจริง แสดงว่าใช้ได้ แต่ถ้า $Mc > M_{max}$ มากๆ แสดงว่าหน้าตัดคานใหญ่เกินไป

4.2) ค่าความลึกประสิทธิผลที่ต้องการ (d) ให้ค่า $Mc = M_{max.}$: $d = \sqrt{\frac{M_{max}}{R.b}}$

5) คำนวณหาปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม $As = \frac{M_{max}}{fs.jd}$

6) ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุด ต้องมีปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงไม่น้อยกว่า $\frac{14}{fy}$ เพื่อป้องกันการวิบัติที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันทันทีเมื่อเกิดการแตกร้าวด้านรับแรงดึง โดยที่ ค่า ρ คืออัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมต่อพื้นที่หน้าตัดคาน ($\rho = \frac{As}{bd}$)

7) เลือกขนาด และจำนวนของเหล็กเสริม ที่ใช้ให้เหมาะกับขนาดหน้าตัดคาน พร้อมเขียนรายละเอียดแสดงรายการเหล็กเสริม

8) ตัวอย่างการคำนวณ คานคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงเดียว

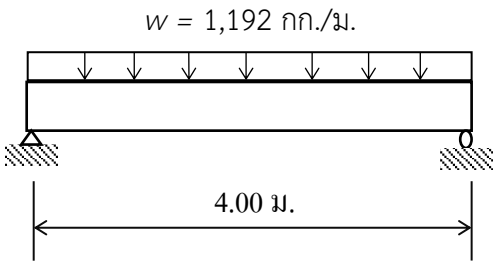
ตัวอย่างที่ 5.6 คานคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงเดียวยาว 4.00 ม. รับน้ำหนักบรรทุกแบบสม่ำเสมอ 1,000 กก./ม. กำหนดให้ : ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2}

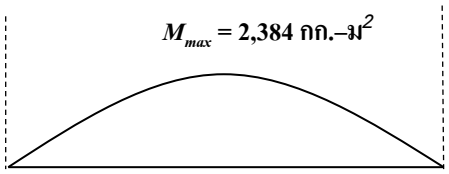
วิธีทำ สมมติขนาดคาน : 0.20x0.40 ม. (ความลึกต่ำสุดสำหรับคานช่วงเดียว : *L/16*)

น้ำหนักคาน : 0.20x0.40x2,400 = 192 กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกรวม (*w*) = 1,000 + 192 => 1,192 กก./ม.



วิเคราะห์โครงสร้าง : $M_{max} = wL^2/8$ => 1,192 (4^2) / 8



ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$$n = \frac{Es}{Ec} = \frac{2.04\times10^6}{15{,}100\sqrt{fc'}} = 10.68 \quad = 11$$

$$k = \frac{1}{1+\frac{fs}{n.fc}} = \frac{1}{1+\frac{1{,}500}{11(72)}} \quad = 0.345$$

$$j = 1-\frac{k}{3} = 1-\frac{0.345}{3} \quad = 0.885$$

$$R = \frac{1}{2} fc.k.j = 0.5\ (72)\ 0.345\ (0.885) = 10.99 \text{ กก./ซม.}^2$$

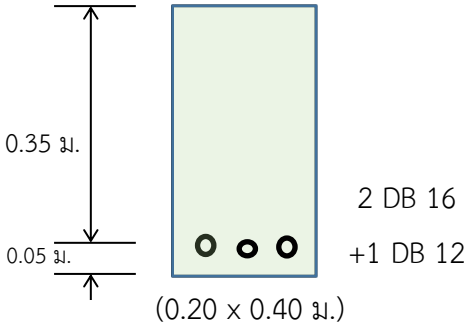
รายการสรุปผลการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงเดียว

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : *Mc*	ความลึกประสิทธิผล (*d*) ที่ต้องการ
$Mc = Rbd^2 = 10.99(0.20)35^2$ = 2,692.55 กก.–ม. > M_{max} **ok**	$d = \sqrt{\frac{M_{max}}{Rb}} = \sqrt{\frac{2{,}384\times100}{10.99\times20}}$ = 32.93 ซม. < 35.0 ซม. ***ok***

$$As = \frac{M_{max}}{fs.jd} = \frac{2{,}384\times100}{1{,}500(0.885)35}$$

= 5.13 ซม.^{2}

เลือก : 2 DB 16 + 1 DB 12 (As = 5.15 ซม.^{2})



ข้อสังเกตในการออกแบบ

1) การออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว ค่าโมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีตมากกว่าโมเมนต์สูงสุดที่เกิดขึ้นในคานซึ่งได้จากการวิเคราะห์โครงสร้าง : $Mc > M_{max}$ (2,384 กก.–ม.) โดย $Mc = Rbd^2$ ดังนั้น *Mc* จึงขึ้นอยู่กับ bd^2 หากใช้วิธี Trial and error ในการออกแบบ โดยเลือกความกว้างของคาน (*b*) คงที่เท่ากับ 0.20 ม. และให้ค่าความลึกต่ำสุดเป็นระยะ *d* เริ่มต้น (ความลึกต่ำสุดสำหรับคานช่วงเดียวที่ไม่ต้องตรวจสอบการโก่งตัวเท่ากับ *L/16* = 400/16 ≥ 25 ซม.) จะได้ค่าโมเมนต์ที่ต้านทาน โดยคอนกรีต : *Mc* ดังนี้แสดงในตารางที่ 5.1

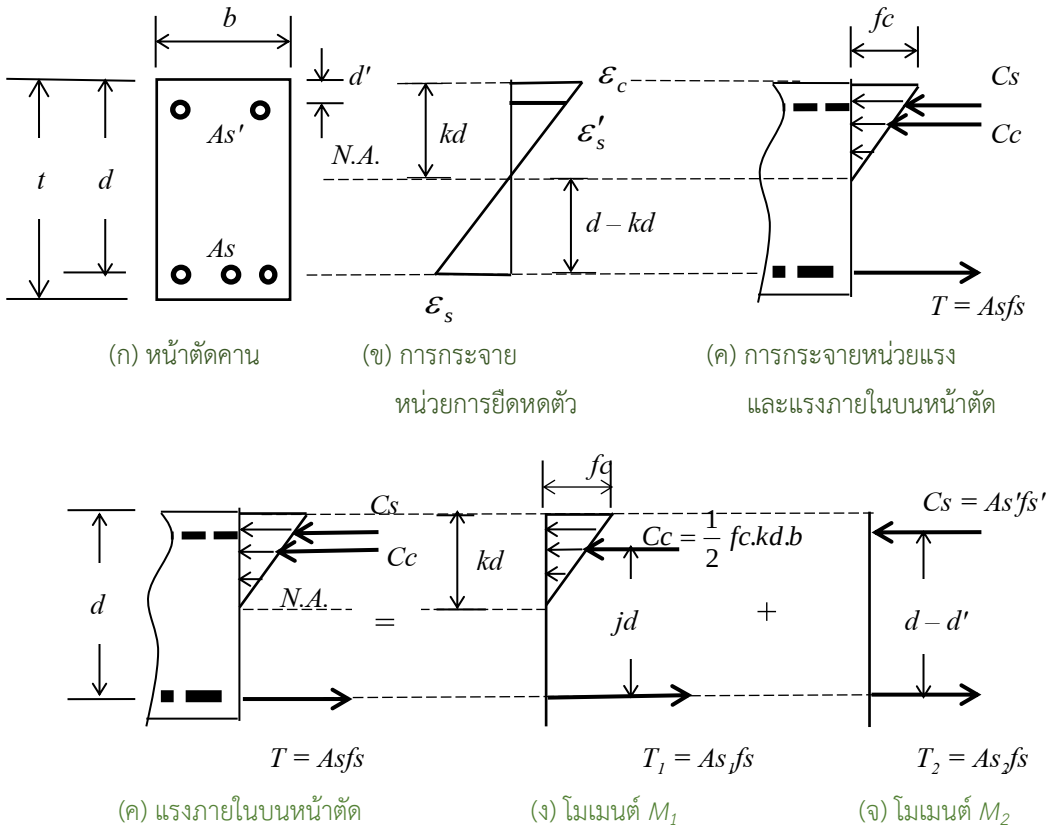
ตารางที่ 5.1 ค่าโมเมนต์ที่ต้านทาน โดยคอนกรีต : Mc

R (กก./ซม.^{2})	*b* (ม.)	*d* (ซม.)	$Mc = Rbd^2$ (กก.–ม.)
10.99	0.20	25	1,373.75 < M_{max}
		30	1,978.20 < M_{max}
		35	2,692.55 > M_{max}

2) ปริมาณเหล็กเสริม จากรายการคำนวณได้ปริมาณเหล็กเสริมดังนี้ 2DB16 + 1DB 12 (*As* = 5.15 ซม.^{2}) ใช้ต้านทานโมเมนต์สูงสุดซึ่งเกิดขึ้นที่กึ่งกลางคานประมาณ 2,384 กก.–ม. ซึ่งน้อยกว่าโมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต (*Ms* < *Mc*) ดังนั้น จึงเป็นการเสริมเหล็กต่ำกว่าสมดุล (*Under-reinforced concrete beams*) และมีอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมต่อพื้นที่หน้าตัดคาน ($\rho = \frac{As}{bd}$) เท่ากับ 0.00735 ซึ่งมากกว่าเหล็กเสริมน้อยสุดสำหรับองค์อาคารรับแรงดัด ($\rho_{min} = \frac{14}{fy}$) เป็นไปตามข้อกำหนด

5.7 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด กรณีค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในคานมีค่ามากจะส่งผลให้คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวมีขนาดใหญ่ การลดขนาดหน้าตัดคานลงในขณะที่ความสามารถรับโมเมนต์ดัดของคานยังคงเดิม ทำได้โดยเสริมเหล็กรับแรงอัด (*As'*) ดังรูปที่ 5.21 (ก) ซึ่งเป็นการเพิ่มกำลังต้านทานแรงอัดโดยเหล็กเสริมร่วมกับคอนกรีต (*Cs+Cc*) ดังรูปที่ 5.21 (ค) และจากสภาวะสมดุลของแรงภายในบนหน้าตัดจะทำให้เหล็กเสริมรับแรงดึงเพิ่มขึ้น (*T=Asfs*) ความต้านทานโมเมนต์ดัดของคานเสริมเหล็กรับแรงอัดคือ : $M=M_1+M_2$ โดยโมเมนต์ M_1 พิจารณาจากความสมดุลของแรงอัดที่รับโดยคอนกรีต ($Cc=\frac{1}{2}fc.kd.b$) กับแรงดึงที่รับโดยเหล็กเสริม ($T_1=As_1fs$) ดังรูปที่ 5.21 (ง) ซึ่งเทียบได้กับสภาวะสมดุลของแรงภายในบนหน้าตัดคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว ดังนั้น โมเมนต์ $M_1=Cc.jd$ หรือ $M_1=\frac{1}{2}fc.kd.b.jd = Rbd^2$ หรือสรุปได้ว่า $M_1=Mc$ และโมเมนต์ M_2 พิจารณาจากความสมดุลของแรงที่รับโดยเหล็กเสริมรับแรงอัด ($Cs=As'fs'$) กับเหล็กเสริมรับแรงดึง ($T_2=As_2fs$) ดังรูปที่ 5.21 (จ) ต่อไปนี้



(ก) หน้าตัดคาน (ข) การกระจายหน่วยการยืดหดตัว (ค) การกระจายหน่วยแรงและแรงภายในบนหน้าตัด

(ค) แรงภายในบนหน้าตัด (ง) โมเมนต์ M_1 (จ) โมเมนต์ M_2

รูปที่ 5.21 การกระจายของหน่วยการยืดหดตัวและหน่วยแรงบนหน้าตัดคาน

ที่มา: วินิต ช่อวิเชียร, 2545

อธิบายสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ ดังนี้

b : ความกว้างของคาน
fc : หน่วยแรงอัดของคอนกรีต
As : พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง
As' : พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด
d : ความลึกประสิทธิผลของคาน
d´ : ระยะหุ้มเหล็กเสริมรับแรงอัด
fs : หน่วยแรงดึงของเหล็กเสริม
fs' : หน่วยแรงอัดของเหล็กเสริม
Cc : แรงอัดที่รับโดยคอนกรีต
Cs : แรงอัดที่รับโดยเหล็กเสริมรับแรงอัด
T : แรงดึงทั้งหมดที่รับโดยเหล็กเสริมรับแรงดึง
kd : ระยะจากผิวบนของคอนกรีตด้านรับแรงอัดถึงแนวแกนสะเทิน
jd : ระยะจากแนวแรงอัด (*C*) ถึงแนวแรงดึง (*T*)

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงของคานเสริมเหล็กรับแรงอัด: $As=As_1+As_2$ ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้านทานโมเมนต์ดัดของคาน : $M=M_1+M_2$ โดยคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม As_1 และ As_2 ดังนี้

จากรูปที่ 5.13 (ง) : $M_1 = As_1 fs.jd$ โดยที่ $M_1 = Mc = Rbd^2$

$$As_1 = \frac{M_1}{fs.jd} \tag{5.8}$$

จากรูปที่ 5.13 (จ) : $M_2 = As_2 fs(d - d')$ โดยที่ $M_2 = M_{max} - Mc$

$$As_2 = \frac{M_2}{fs(d-d')} \tag{5.9}$$

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด : *As'*

จากรูปที่ 5.13 (จ) : $M_2 = As' fs'(d - d')$
ค่า M_2 จากสมการ (5.9) : $As_2 fs(d - d') = As' fs'(d - d')$ (5.9)

จากรูปที่ 5.13 (ข) : การกระจายหน่วยการยืดหดตัวของเหล็กเสริม (ε_s , ε'_s) จะได้หน่วยแรงอัดของเหล็กเสริม $fs' = fs\frac{kd-d'}{d-kd}$ และมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้หน่วยแรงอัดของเหล็กเสริมมีค่าเป็นสองเท่าแต่น้อยกว่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม ดังนั้น $fs' = 2\,fs\frac{kd-d'}{d-kd} \le f_{allow}$

$$As' = \frac{1}{2} As_2 \left(\frac{(1-k)}{(k-\frac{d'}{d})} \right) \tag{5.10}$$

5.8 ขั้นตอนในการคำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

ขั้นตอนในการคำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด มีดังต่อไปนี้

1) เขียนแบบจำลองทางโครงสร้าง หาน้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้าง

เลือกขนาดหน้าตัดคานเพื่อหาน้ำหนักคงที่ของคาน โดยสมมติขึ้นจากการพิจารณา ชนิดของคานที่ออกแบบ ความลึกขั้นต่ำของคานที่ไม่ต้องตรวจสอบการโก่งตัวของคาน และอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกประสิทธิผล (b/d) ที่เหมาะสม แล้วทำการวิเคราะห์โครงสร้าง (หาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด; $M_{max.}$)

2) เลือกวัสดุ

กำลังอัดของคอนกรีต (fc') และชนิดของเหล็กเสริม (เหล็กเส้นกลม หรือเหล็กข้ออ้อย) จะได้กำลังครากของเหล็กเสริม (fy)

3) คำนวณหาค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

n, k, j และค่า R

4) คำนวณค่าโมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต

$Mc = Rbd^2$ กำหนดให้

$Mc > M_{max}$: ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

$Mc < M_{max}$: ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

5) คำนวณหาปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง

$$As = As_1 + As_2$$

โดย $As_1 = \frac{Mc}{fs.jd}$ และ $As_2 = \frac{M_2}{fs(d-d')}$

6) คำนวณหาปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัด

$$As' = \frac{1}{2} As_2 \left(\frac{(1-k)}{(k-\frac{d'}{d})} \right)$$

7) เลือกขนาดและจำนวนของเหล็กเสริม

ให้เหมาะกับขนาดหน้าตัดคาน พร้อมเขียนรายละเอียดแสดงรายการเหล็กเสริม

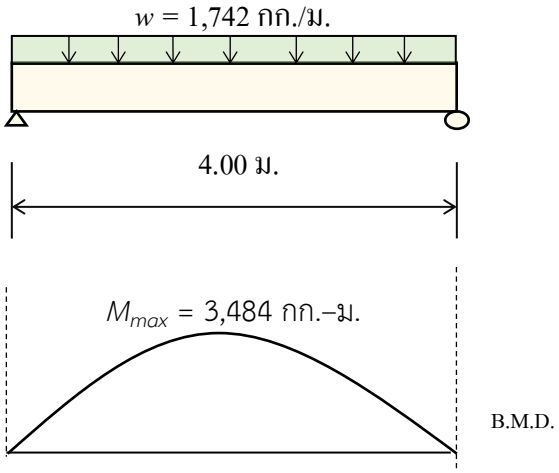
ตัวอย่างที่ 5.7 คานคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงเดียวยาว 4.00 ม. รับน้ำหนักบรรทุกแบบสม่ำเสมอ 1,550 กก./ม.
กำหนดให้ : ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

f_c' = 160 กก./ซม.^{2} f_y = 3,000 กก./ซม.^{2}

วิธีทำ สมมติขนาดคาน : 0.20x0.40 ม. (ความลึกต่ำสุดคานช่วงเดียว : *L/16*)

น้ำหนักคาน : 0.20x0.40x2,400 = 192 กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกรวม (*w*) = 1,550 + 192 => 1,742 กก./ม.



ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง : $M_{max} = wL^2/8$ => $1{,}742\,(4^2)\,/\,8$

ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$$n = \frac{Es}{Ec} = \frac{2.04\times10^6}{15{,}100\sqrt{fc'}} = 10.68 \quad = 11$$

$$k = \frac{1}{1+\frac{fs}{n.fc}} = \frac{1}{1+\frac{1{,}500}{11(72)}} \quad = 0.345$$

$$j = 1-\frac{k}{3} = 1-\frac{0.345}{3} \quad = 0.885$$

$$R = \frac{1}{2} fc.k.j = 0.5\,(72)\,0.345\,(0.885) = 10.99 \text{ กก./ซม.}^2$$

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : *Mc*

$$Mc = Rbd^2 = 10.99(0.20)34^2$$

= 2,540.88 กก.–ม. < M_{max}

ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

เหล็กเสริมรับแรงดึง : *As*

$$As_1 = \frac{Mc}{fs.jd} = \frac{2{,}540.88\times100}{1{,}500(0.885)34} \quad = 5.63 \text{ ซม.}^2$$

$$As_2 = \frac{M_{max} - M_C}{fs(d-d')} = \frac{943.12\times100}{1{,}500(34-5)} \quad = 2.17 \text{ ซม.}^2$$

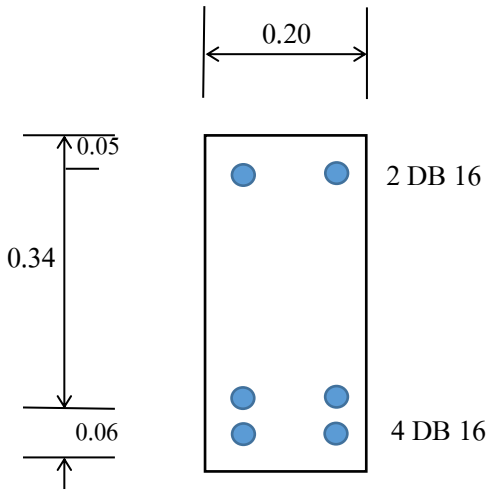
$$As = As_1 + As_2 \quad = 7.80 \text{ ซม.}^2$$

เลือก : 4 DB 16 (*As* = 8.04 ซม.^{2})

เหล็กเสริมรับแรงอัด : *As´*

$$As' = \frac{1}{2}As_2\frac{(1-k)}{(k-\frac{d'}{d})} = \frac{1}{2}(2.17)\frac{(1-0.345)}{(0.345-\frac{5}{34})}$$

= 3.59 ซม.^{2} เลือก : 2 DB 16 (*As* = 4.02 ซม.^{2})



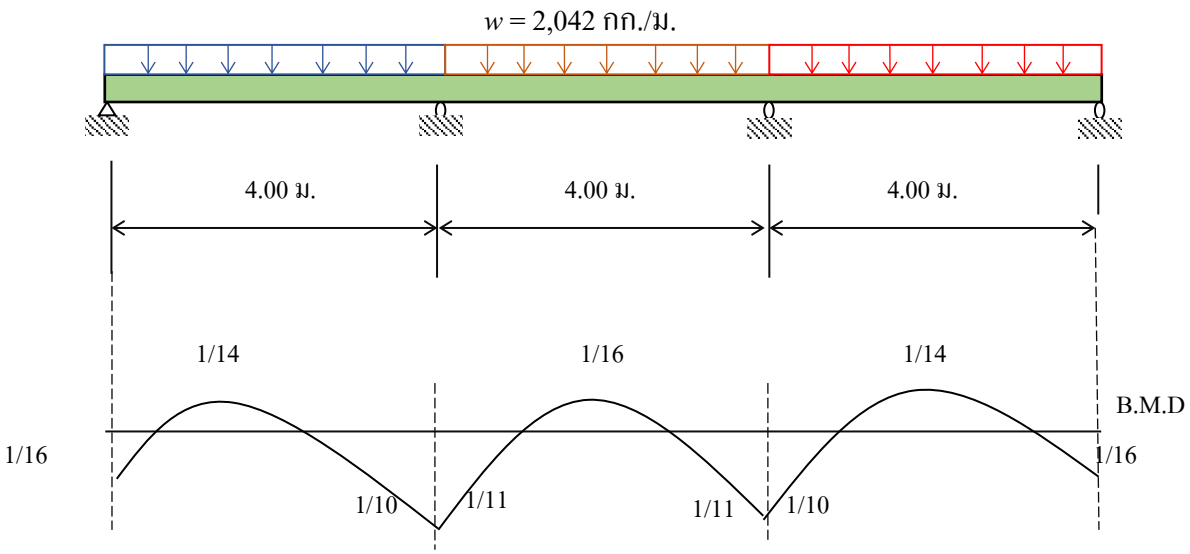
ตัวอย่างที่ 5.8 คานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบต่อเนื่อง 3 ช่วง ความยาวช่วงคานเท่ากับ 4.00 ม. (วัดจากกึ่งกลางเสา) รับน้ำหนักบรรทุกแบบสม่ำเสมอ 1,850 กก./ม. ตลอดความยาวคาน

กำหนดให้ : fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2} ขนาดเสาเท่ากับ 0.20 x 0.20 เมตร ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

วิธีทำ สมมติขนาดคาน : 0.20x0.40 ม. (ความลึกต่ำสุดคานต่อเนื่อง : $L/21$)

น้ำหนักคาน : 0.20x0.40x2,400 = 192 กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกรวม (w) = 1,850 + 192 => 2,042 กก./ม.



วิเคราะห์โครงสร้าง $M = Cof.(wL'^2)$ L' = 4.00 – 0.20 => 3.80 ม.

ค่าโมเมนต์สูงสุด M_{max}

$$^{+}M_{\max} = \frac{1}{14}wL'^2 = \frac{1}{14}(2{,}042)3.8^2 = 2{,}106.17 \text{ กก.–ม.}$$

$$^{-}M_{\max} = \frac{1}{10}wL'^2 = \frac{1}{10}(2{,}042)3.8^2 = 2{,}948.64 \text{ กก.–ม.}$$

และ $$^{-}M = \frac{1}{16}wL'^2 = \frac{1}{16}(2{,}042)3.8^2 = 1{,}842.90 \text{ กก.–ม.}$$

ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$$n = 11, \quad k = 0.345, \quad j = 0.885, \quad R = 10.99 \text{ กก./ซม.}^2$$

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : *Mc*

$$Mc = Rbd^2 = 10.99(0.20)34^2$$

= 2,540.88 กก.–ม.

Mc > M_{max} : ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

Mc < M_{max} : ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

พิจารณาช่วงคานที่มีค่าโมเมนต์เป็นบวก :

Mc = 2,540.88 กก.–ม., $^{+}M_{\max} = 2{,}106.17$ กก.–ม.

Mc > M_{max} : ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

$$As = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{2{,}106.17\times100}{1{,}500(0.885)34} = 4.66 \text{ ซม.}^2$$

เลือก : 2 DB 16 + 1 DB 12 (*As* = 5.15 ซม.^{2})

พิจารณาช่วงคานที่มีค่าโมเมนต์เป็นลบ (คานช่วงใน) :

Mc = 2,540.88 กก.–ม., $^{-}M_{\max} = 2{,}948.64$ กก.–ม.

Mc < M_{max} : ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

$$As_1 = \frac{Mc}{fs.jd} = \frac{2{,}540.88\times100}{1{,}500(0.885)34} = 5.62 \text{ ซม.}^2$$

$$As_2 = \frac{M_{\max} - M_C}{fs(d-d')} = \frac{407.76\times100}{1{,}500(34-5)} = 0.93 \text{ ซม.}^2$$

$$As = As_1 + As_2 = 6.55 \text{ ซม.}^2$$

เลือก : 4 DB 16 (*As* = 8.08 ซม.^{2})

$$As' = \frac{1}{2}As_2\frac{(1-k)}{(k-\frac{d'}{d})} = \frac{1}{2}(0.93)\frac{(1-0.345)}{(0.345-\frac{5}{34})} = 1.54 \text{ ซม.}^2$$

เลือก : 2 DB 12 (*As* = 2.26 ซม.^{2})

พิจารณาช่วงคานที่มีค่าโมเมนต์เป็นลบ (คานช่วงริมนอก) :

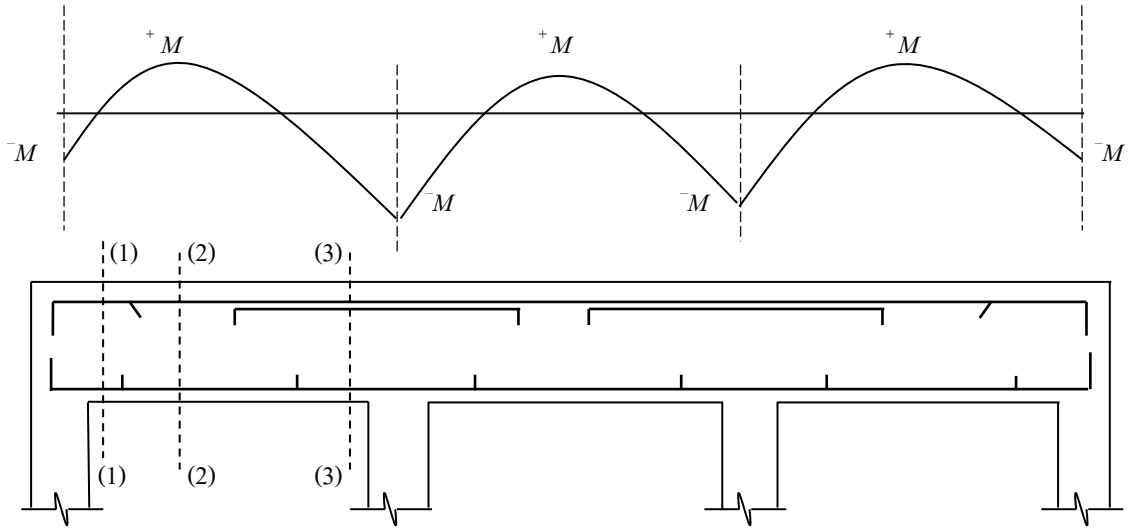
Mc = 2,540.88 กก.–ม., $^{-}M = 1{,}842.90$ กก.–ม.

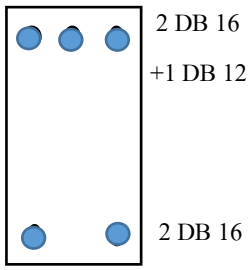
Mc > M_{max} : ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

$$As = \frac{M_{max}}{fs.jd} = \frac{1{,}842.90 \times 100}{1{,}500(0.885)34} = 4.08 \text{ ซม.}^2$$

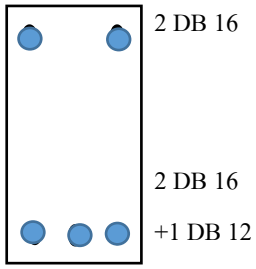
เลือก : 2 DB 16 + 1 DB 12 (As = 5.15 ซม.^{2})

รายละเอียดการเสริมเหล็ก

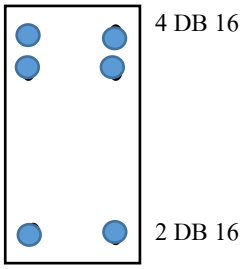




(1)–(1)



(2)–(2)



(3)–(3)

ข้อสังเกตจากทำรายการคานวณ

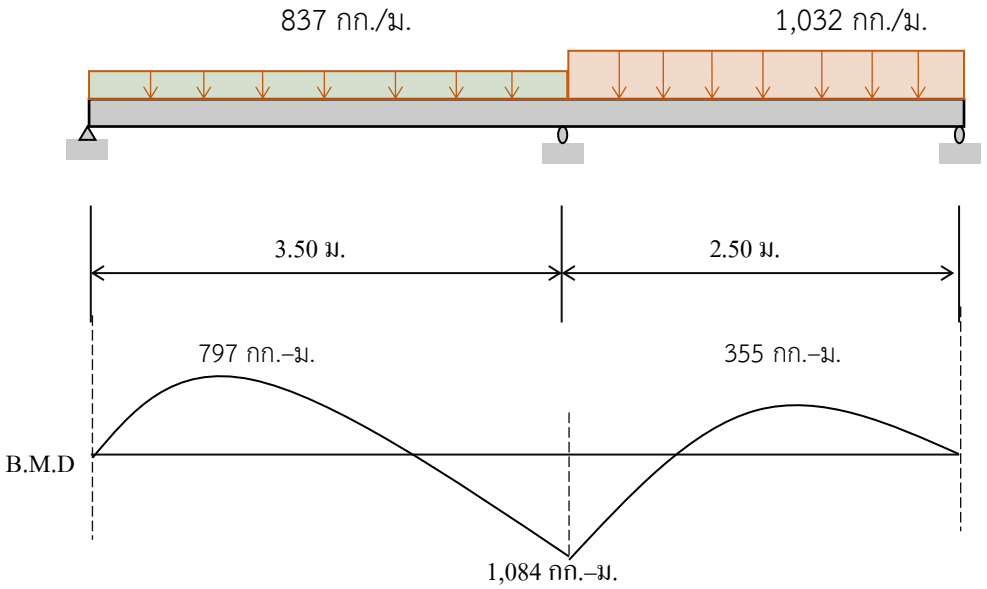
ในทางทฤษฎี หน้าตัดแนวที่ (3)–(3) เป็นคานช่วงในรับโมเมนต์ลบ (^{-}M) ต้องการเหล็กเสริมรับแรงดึงจำนวน 4 DB 16 (วางด้านบน) และเหล็กเสริมรับแรงอัดจำนวน 2 DB 12 (วางด้านล่าง) แต่รายละเอียดการเสริมเหล็ก แสดงการเสริมเหล็กล่าง 2 DB 16 ซึ่งเกินกว่าความต้องการ เพราะเหตุใด

ในทางปฏิบัติ การเสริมเหล็กควรคำนึงถึงความต่อเนื่องสอดคล้อง เพื่อให้ทำงานได้สะดวกรวดเร็ว ดังนั้น จึงเลือกใช้เหล็ก 2 DB 16 เป็นเหล็กเสริมหลักวางตามมุมทั้งสี่ตลอดความยาวคาน แล้วใช้เหล็ก DB 12 เป็นเหล็กเสริมพิเศษวางเพิ่มในช่วงต่างๆ ให้ได้พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามต้องการ

ตัวอย่างที่ 5.9 จงคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบต่อเนื่อง 2 ช่วง รับน้ำหนักบรรทุกจากพื้นรวมทั้งน้ำหนักคานเท่ากับ 837 กก./ม. และ 1,032 กก./ม. ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ (BMD) ดังแสดงตามรูปข้างล่าง

กำหนดให้ : fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2} ขนาดคานเท่ากับ 0.15x0.35 เมตร

ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ



วิธีทำ

ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$n = 11,$ $k = 0.345,$ $j = 0.885,$ $R = 10.99$ กก./ซม.^{2}

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต Mc

$$Mc = Rbd^2 = 10.99(0.15)30^2$$

= 1,483.65 กก.–ม. > M_{max}

: ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

พิจารณาช่วงคานที่มีค่าโมเมนต์เป็นบวก

$$^{+}As = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{797\times100}{1{,}500(0.885)30} = 2.00 \text{ ซม.}^2$$

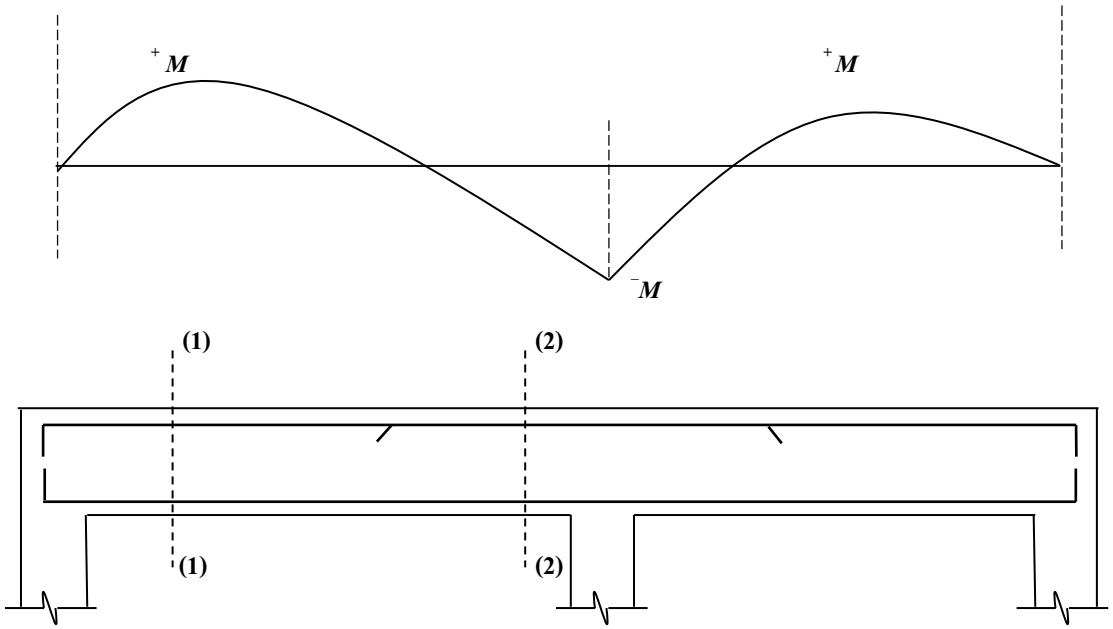
เลือก : 2 DB 12 (As = 2.26 ซม.^{2})

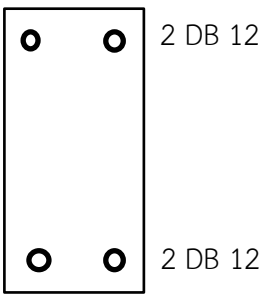
พิจารณาช่วงคานที่มีค่าโมเมนต์เป็นลบ

$$^{-}As = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{1{,}084\times100}{1{,}500(0.885)30} = 2.72 \text{ ซม.}^2$$

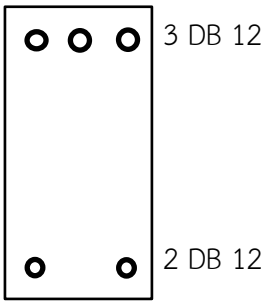
เลือก : 3 DB 12 (As = 3.39 ซม.^{2})

รายละเอียดการเสริมเหล็ก





(1)–(1)

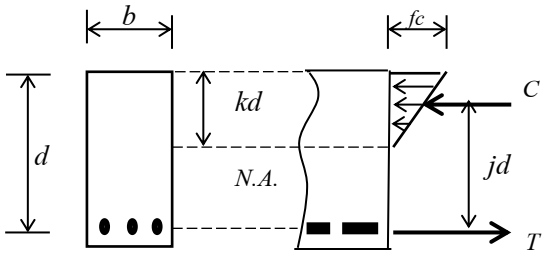


(2)–(2)

5.9 การตรวจสอบความสามารถในการต้านทานโมเมนต์ดัดของคาน

การตรวจสอบความสามารถในการต้านทานโมเมนต์ดัดของคาน เมื่อทราบถึงขนาดหน้าตัดคานและพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม ถ้าต้องการตรวจสอบความสามารถในการต้านทานโมเมนต์ดัด หรือการรับน้ำหนักบรรทุกของคาน ก็ทำได้ โดยเริ่มจาก การหาค่า *k* หรือระยะ *kd* ซึ่งจะทำให้ทราบถึงตำแหน่งของแกนสะเทิน (*N.A.*) และแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

5.9.1 คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

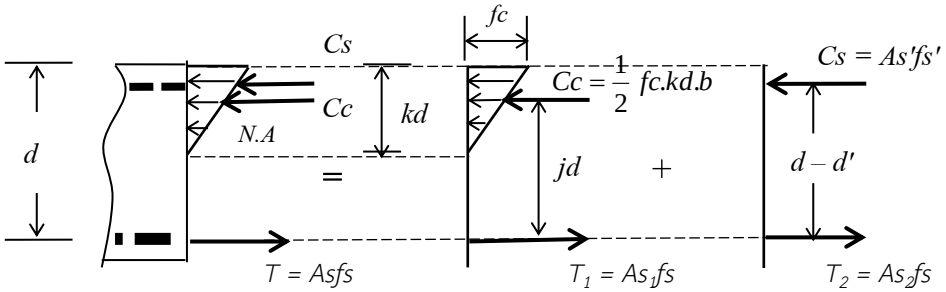


จากรูปได้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$k = \sqrt{(\rho n)^2 + 2\rho n} - \rho n \qquad (5.11)$$

$$\rho = \frac{As}{bd} \text{ และ } n = \frac{E_s}{E_c} \qquad (5.12)$$

5.9.2 คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด



จากรูปได้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$k = \sqrt{2n[\rho + 2\rho'(\frac{d'}{d})] + n^2(\rho + 2\rho')^2} - n(\rho + 2\rho') \qquad (5.13)$$

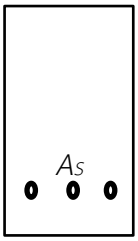
$$\rho = \frac{As}{bd}, \qquad \rho' = \frac{As'}{bd} \qquad \text{และ} \quad n = \frac{E_s}{E_c}$$

ทั้งสองกรณีในหัวข้อ 5.91 และ 5.92 พบว่าจะต้องตรวจสอบหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงดึงและเหล็กเสริมรับแรงอัด ซึ่งเป็นตัวควบคุมความปลอดภัยในการรับน้ำหนักและถือเป็นหลักเกณฑ์ในการคำนวณออกแบบวิธีหน่วยแรงใช้งาน กล่าวคือหน่วยแรงของวัสดุที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกขณะใช้งาน (Working stress, f) ไม่เกินค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable stress, f_{allow})

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงดึง $fs = n.fc\dfrac{d-kd}{kd} \le f_{allow}$ (5.14)

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงอัด $fs' = 2\,fs\dfrac{kd-d'}{d-kd} \le f_{allow}$ (5.15)

ตัวอย่างที่ 5.10 คานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 0.20x0.40 ม. (b = 0.20 ม., d = 0.35 ม.) เสริมเหล็กรับแรงดึง (2 DB 16 + 1 DB 12 : As = 5.15 ซม.^{2}) ดังรูป จงหาโมเมนต์ต้านทานโดยปลอดภัยของคาน



กำหนดให้ : fc' = 160 กก./ซม.^{2}

fy = 3,000 กก./ซม.^{2}

n = 11 ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

วิธีทำ As = 5.15 ซม.^{2},

$$\rho = \frac{As}{bd} = \frac{5.15}{(20)35} = 0.00858$$

$$k = \sqrt{(\rho n)^2 + 2\rho n} - \rho n = 0.35$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 0.883$$

$$kd = (0.35 \times 0.35) = 0.122$$

1. ตรวจสอบหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม : สมมติว่า fc เท่ากับหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (fc = 0.45fc')

$$fs = n.fc\frac{d-kd}{kd} = 11(72)\left[\frac{0.35-0.122}{0.122}\right]$$

= 1,480 กก./ซม.^{2} < f_{allow}

2. โมเมนต์ที่ต้านทานโดยเหล็กเสริม : $Ms = As.fs.jd$

$$= 5.15 \times 1{,}480 \times 0.883 \times 0.35$$

= 2,355.57กก.-ม.

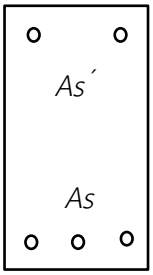
3. โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : $Mc = \frac{1}{2} fc.k.j.bd^2$

$= \frac{1}{2} \times 72 \times 0.35 \times 0.883 \times 0.20 \times 35^2$

= 2,725.82 กก.-ม.

สรุปผล โมเมนต์ต้านทานโดยปลอดภัยของคานเท่ากับ 2,355.57 กก.-ม. และคานเสริมเหล็กต่ำกว่าสมดุล (Mc > Ms)

ตัวอย่างที่ 5.11 คานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 0.20x0.40 ม. (b = 0.20 ม., d = 0.35 ม., d' = 0.05 ม.) เสริมเหล็กรับแรงดึง 3 DB 20 และเหล็กเสริมรับแรงอัด 2 DB 16 (As = 9.42 ซม.^{2} และ As' = 4.02 ซม.^{2}) ดังรูป จงหาโมเมนต์ต้านทานโดยปลอดภัยของคาน



กำหนดให้ : fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2}

n = 11 ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

วิธีทำ As = 9.42 ซม.^{2}, $\rho = \frac{As}{bd} = \frac{9.42}{(20)35}$ = 0.01346

As' = 4.02 ซม.^{2}, $\rho' = \frac{As'}{bd} = \frac{4.02}{(20)35}$ = 0.00574

$$k = \sqrt{2n(\rho + \frac{2\rho' d'}{d}) + n^2(\rho + 2\rho')^2} - n(\rho + 2\rho') = 0.363$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 0.879$$

ตรวจสอบหน่วยแรงที่เกิดขึ้น : สมมติว่า fc เท่ากับหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ ($fc = 0.45fc'$)

หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริม : $fs = n.fc\frac{1-k}{k} = (11 \times 72)\frac{1-0.363}{0.363}$

= 1,389.81 กก./ซม.^{2} < f_{allow}

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงอัด : $fs' = 2fs\frac{kd - d'}{d - kd}$

= 960.61 กก./ซม.^{2} < fs

ดังนั้นโมเมนต์ต้านทานโดยปลอดภัยของคานถูกควบคุมโดยหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงดึง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,389.81 กก./ซม.^{2}

$$M_1 = Mc = \frac{1}{2} fc.kj.bd^2 = \frac{1}{2} \times 72 \times 0.363 \times 0.879 \times 0.20 \times 35^2 = 2{,}814.25 \text{ กก.-ม.}$$

$$As_1 = \frac{M_1}{fs.jd} = \frac{2{,}814.25 \times 100}{1{,}389.81(0.879)35} = 6.58 \text{ ซม.}^2$$

$$As_2 = As - As_1 = 9.42 - 6.58 = 2.84 \text{ ซม.}^2$$

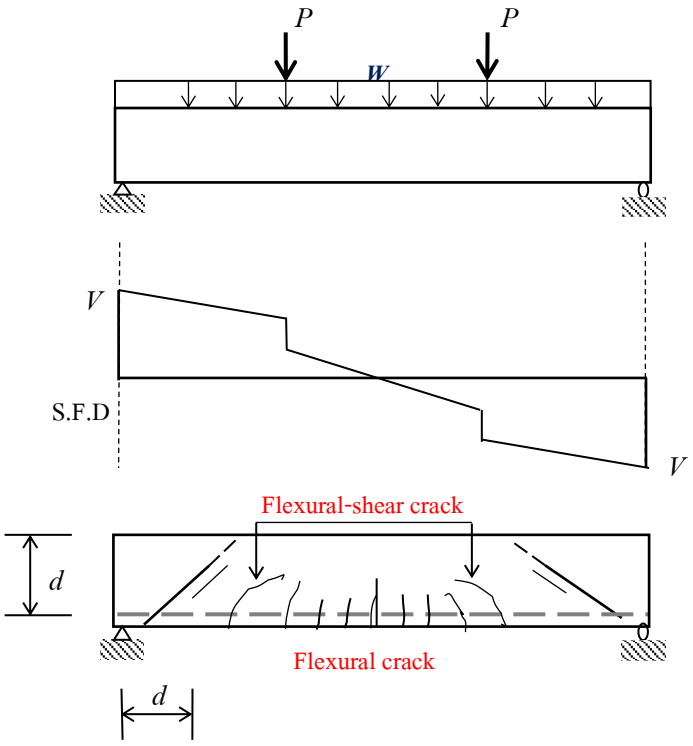
$$M_2 = As_2\, fs(d - d') = 2.84 \times 1{,}389.81(0.35 - 0.05) = 1{,}184.11 \text{ กก.-ม.}$$

สรุป โมเมนต์ต้านทานโดยปลอดภัยของคาน

$$M_1 + M_2 = 2{,}814.25 + 1{,}184.11 = \mathbf{3{,}998.36} \text{ กก.-ม.}$$

5.10 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงเฉือน

คานคอนกรีตภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน ส่งผลให้เกิดหน่วยแรงดึงที่อาจเกิดจากแรงดึงโดยตรง หรือเกิดจากโมเมนต์ดัด แรงเฉือน และแรงบิด ดังจะเห็นได้จากคานช่วงเดียวรูปที่ 5.22 การแตกร้าวจากการดัด (Flexural crack) ซึ่งเป็นผลจากหน่วยแรงดึงที่เกิดจากโมเมนต์ดัด จึงเรียกว่าการแตกร้าวจากการเฉือนร่วมกับการดัด (Flexural–shear crack) บริเวณฐานรองรับซึ่งแรงเฉือนมีค่ามากจะพบการแตกร้าวแนวเฉียงที่แกนสะเทินเกิดจากแรงดึงทแยง และนำไปสู่การวิบัติของคานคอนกรีตที่ไม่เสริมเหล็กต้านทานแรงเฉือน ดังนั้นในการคำนวณออกแบบมาตรฐาน ว.ส.ท. 6103 (ACI Code,1963) ให้ใช้แรงเฉือนสูงสุดที่ตำแหน่งห่างจากขอบฐานรองรับเท่ากับความลึกประสิทธิผลของคาน (V_d) และถือเป็นแนวหน้าตัดวิกฤตสำหรับแรงเฉือน

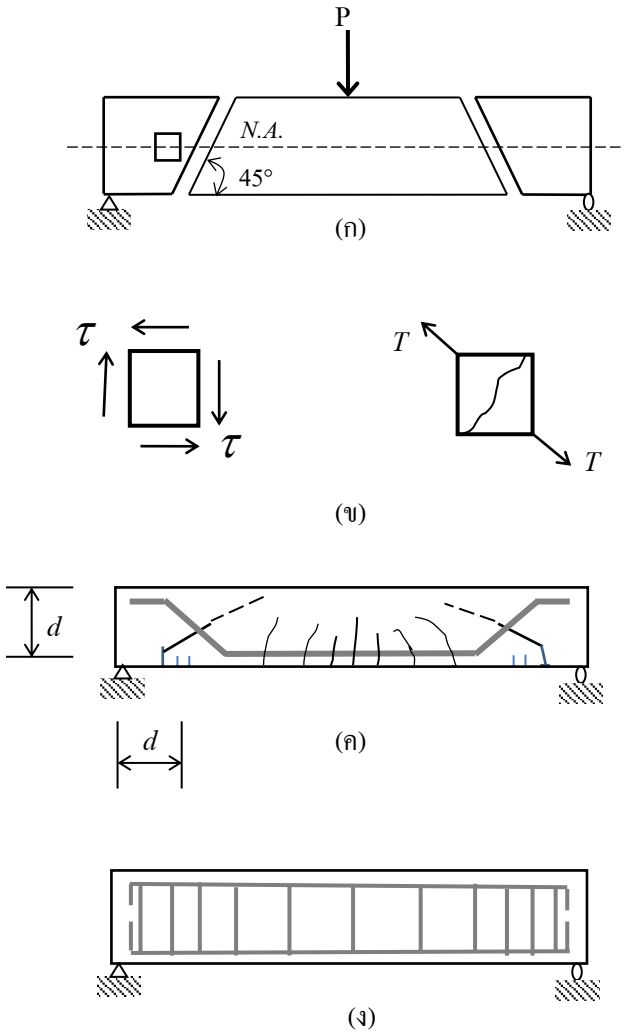


รูปที่ 5.22 การแตกร้าวของคานภายใต้น้ำหนักบรรทุก

ที่มา: ว.ส.ท. 6103 (ACI Code,1963)

5.10.1 แรงเฉือนและแรงดึงทแยงในคาน

การวิบัติของคานภายใต้แรงเฉือนเกิดขึ้นที่ตำแหน่งห่างจากขอบฐานรองรับเท่ากับความลึกประสิทธิผลของคาน โดยแนววิบัติทำมุมเฉียง 45 องศากับแนวราบ เมื่อพิจารณาชิ้นส่วนเล็กๆ ที่ตำแหน่งแนวแกนสะเทิน ดังรูปที่ 5.23 (ก) จะเห็นว่าจุดดังกล่าวอยู่ภายใต้การกระทำของหน่วยแรงเฉือนอย่างเดียว (Pure shear) ส่งผลให้เกิดแรงดึงทแยงในคาน (Diagonal tension) ดังรูปที่ 5.23 (ข) เมื่อแรงดึงที่เกิดขึ้นเกินกว่าแรงดึงที่คอนกรีตรับได้จึงเกิดการแตกร้าวและเกิดการวิบัติที่บริเวณดังกล่าว (สถาพร โภคา, 2544) การเสริมเหล็กต้านทานแรงเฉือนทำได้โดยให้พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงโดยตรงตามทิศทางของแรงดึง คือ เสริมตั้งฉากกับแนวแตกร้าวที่ทำมุม 45 องศากับแนวราบ ที่เรียกว่าเหล็กคอม้า ดังรูปที่ 5.23 (ค) แต่ปัจจุบันนิยมเสริมเหล็กลูกตั้งหรือเหล็กปลอก (Vertical stirrup) เพื่อต้านทานแรงเฉือน ซึ่งทำได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว โดยวางเป็นระยะตามแนวความยาวคาน ดังรูปที่ 5.23 (ง)



รูปที่ 5.23 การวิบัติของคานภายใต้แรงเฉือนและการเสริมเหล็กต้านทานแรงเฉือน
ที่มา: สถาพร โภคา, 2544

5.10.2 เหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือน

เหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือน กำลังต้านทานแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็กเกิดจากการรับแรงร่วมกันของวัสดุทั้งสอง นั่นคือ กำลังต้านทานแรงเฉือนโดยคอนกรีตและเหล็กเสริม สามารถเขียนเป็นสมการที่ 5.16 ดังนี้

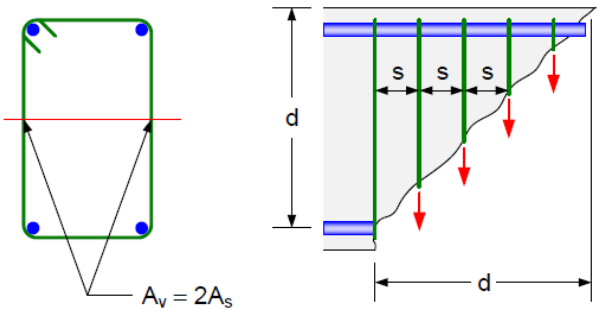
$$V = Vc + V' \qquad (5.16)$$

โดยที่ V = แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคาน หาได้จากการวิเคราะห์โครงสร้าง

Vc = กำลังต้านทานแรงเฉือนโดยคอนกรีต ว.ส.ท. กำหนดให้หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีต $Vc = 0.29\sqrt{fc'}$ ดังนั้น $Vc = v_c b.d = 0.29\sqrt{fc'}b.d$

V' = กำลังต้านทานแรงเฉือนโดยเหล็กเสริม ($V' = V - Vc$)

การพิจารณากำลังเฉือนของเหล็กปลอกดิ่งระยะห่าง **s** ถ้าโดยสมมุติว่ารอยร้าวจากการเฉือนเอียงทำ มุม 45 องศา จะถูกต้านทานโดยเหล็กปลอกจำนวน n = d/s ดังแสดงในรูปที่ 5.24



รูปที่ 5.24 กำลังเฉือน Vs จากเหล็กรับแรงเฉือน

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

ในกรณีที่ออกแบบให้เหล็กเสริมรับแรงโดยตรง ซึ่งใช้ชุดเหล็กคอม้าประกอบด้วยเหล็กหลายเส้น หรือใช้เหล็กปลอกที่ทำมุม 45 องศากับแนวราบ (มุม α = 45°) โดยวางเรียงระยะห่างเท่ากัน มาตรฐาน ว.ส.ท. 6304 (ค) กำหนดให้กำลังต้านทานแรงเฉือนโดยเหล็กเสริมคำนวณได้ ดังนี้

$$V' = \frac{Av.fv.d(\sin\alpha + \cos\alpha)}{s} \qquad (5.17)$$

การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือน ดังนี้

$$Av = \frac{V'.s}{fv.d(\sin\alpha + \cos\alpha)} \qquad (5.18)$$

ในกรณีที่ออกแบบเป็นเหล็กปลอกที่ทำมุม 90 องศากับแนวราบ (มุม α = 90°) โดยวางเรียงระยะห่างเท่ากัน ว.ส.ท. 6303 (ก) กำหนดให้คำนวณพื้นที่หน้าตัดเหล็กปลอก ดังนี้

$$Av = \frac{V'.s}{fv.d} \qquad (5.19)$$

หรือเลือกขนาดเหล็กปลอก และคำนวณหาระยะห่างของเหล็กปลอก ดังนี้

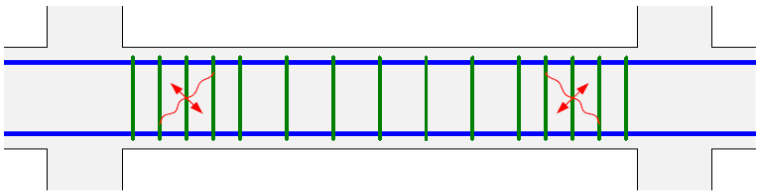
$$s = \frac{Av.fv.d}{V'} \qquad (5.20)$$

โดยที่ s = ระยะห่างของเหล็กปลอก

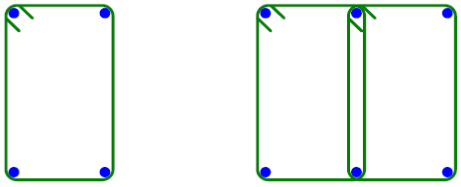
Av = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือน (เหล็กปลอก)

fv = หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของเหล็กเสริม ($fv = 0.5\,fy$)

d = ความลึกประสิทธิผลของคาน



(ก)

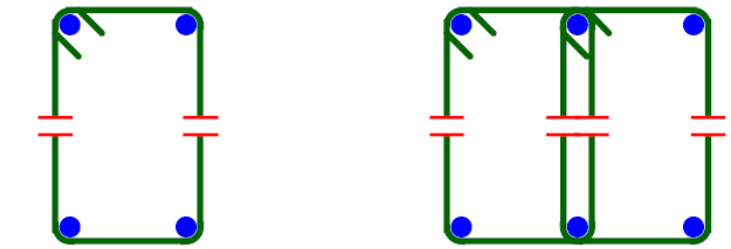


(ข)

รูปที่ 5.25 (ก)-(ข) การใช้เหล็กปลอกตั้งเพื่อต้านทานแรงเฉือน

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

ในการพิจารณาพื้นที่รับแรงเฉือน Av ของแต่ละปลอก จะคิดพื้นที่ตามจ้านวนเหล็กปลอกในแนวดิ่ง ที่ถูกระนาบเฉือนตัดผ่านโดยทั่วไปถ้าเป็นปลอกเดี่ยวดัง ในรูปที่ 5.26 (ก) จะคิดสองเส้นคือ Av = 2As เรียกว่าสองขา หรือถ้ามี 2 ปลอกจะมี สี่ขา พื นที่ Av = 4As เมื่อ As คือพื้นที่หน้าตัดเหล็กปลอก 1 เส้น



(ก) ปลอกเดี่ยว $A_v = 2A_s$ (ข) 2 ปลอก $A_v = 4A_s$

รูปที่ 5.26 พื้นที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือน
ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

5.10.3 ข้อกำหนดมาตรฐาน ว.ส.ท. การคำนวณออกแบบเหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือน

ข้อกำหนดมาตรฐาน ว.ส.ท. การคำนวณออกแบบเหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือนการคำนวณออกแบบเหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือนให้เป็นไปตามเกณฑ์บังคับ มาตรฐาน ว.ส.ท. 6305 - 6306 ดังนี้

1) หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคาน $v < 1.32\sqrt{fc'}$ หรือแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในคาน $V < 1.32\sqrt{fc'}b.d$ กรณีเกินกว่าที่กำหนด ต้องเปลี่ยนขนาดหน้าตัดคานให้ใหญ่ขึ้น

2) หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีต $v_c = 0.29\sqrt{fc'}$ หรือกำลังต้านทานแรงเฉือนโดยคอนกรีต $Vc = 0.29\sqrt{fc'}b.d$

3) หน่วยแรงเฉือนที่ต้านทานโดยเหล็กเสริม $v' < 1.03\sqrt{fc'}$ หรือกำลังต้านทานแรงเฉือนโดยเหล็กเสริม $V' < 1.03\sqrt{fc'}b.d$

4) ณ ที่ใดต้องใช้เหล็กเสริมรับแรงเฉือน ต้องจัดระยะห่างของเหล็กเสริม (s) ไม่เกิน $\frac{d}{2}$ และถ้าหน่วยแรงเฉือน (v) เกินกว่า $0.795\sqrt{fc'}$ ระยะห่างของเหล็กเสริม (s) ไม่เกิน $\frac{d}{4}$ หรือพิจารณาจากแรงเฉือน (V) ที่เกิดขึ้นในคาน ระยะห่างของเหล็กปลอก (s) ต้องไม่เกินค่าที่กำหนด ดังนี้

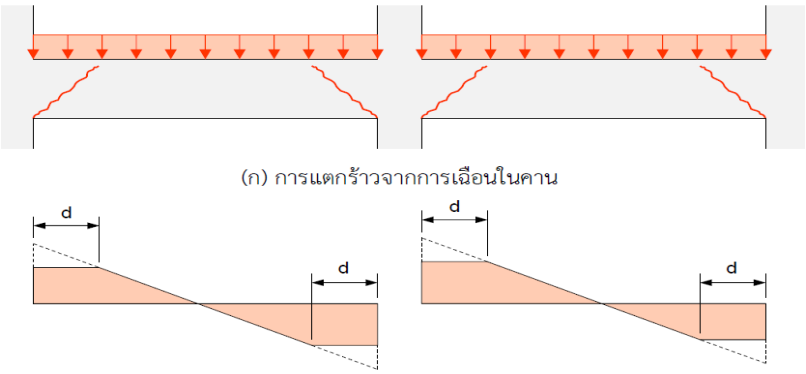
(ก) กรณี $V \le 0.795\sqrt{fc'}b.d$ ต้องไม่เกิน $\frac{d}{2}$

(ข) กรณี $V > 0.795\sqrt{fc'}b.d$ ต้องไม่เกิน $\frac{d}{4}$

5) กรณีที่กำลังต้านทานแรงเฉือนโดยคอนกรีตมากกว่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริงในคาน $(Vc > V)$ ในทางทฤษฎีหมายความว่า คานคอนกรีตมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะรับแรงเฉือนได้ อย่างไรก็ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้เสริมเหล็กปลอกในปริมาณต่ำสุด เท่ากับ $Av = 0.0015b.s$ หรือ เสริมเหล็กปลอกระยะห่างเท่ากับ $s = \frac{Av}{0.0015b}$

5.10.4 หน้าตัดวิกฤตสาหรับออกแบบรับแรงเฉือน

หน้าตัดวิกฤตสาหรับออกแบบรับแรงเฉือน ในคานทั่วไปซึ่งรับน้ำหนักแผ่ดังในรูปที่ 5.27(ก) รอยแตกร้าวจากการเฉือนจะเกิดขึ้นที่บริเวณจุด รองรับเอียงทำมุมประมาณ 45 องศา น้ำหนักบรรทุกที่อยู่ภายในระยะ d จากผิวเสาที่รองรับจะถูกถ่ายลง เสารองรับโดยตรงจึงไม่มีผลต่อการรับแรงเฉือนในคาน ดังนั้น ACI จึงกำหนดให้ใช้ค่าแรงเฉือน Vu ที่ระยะ d จากจุดรองรับเป็นค่าวิกฤตที่จะใช้ในการคำนวณออกแบบ แผนภูมิแรงเฉือนจึงมีลักษณะ ดังในรูป 5.27 (ข) และในรูปที่ 5.27 (ค)-(ง) แสดงกรณีอื่นซึ่งมีต้าแหน่งวิกฤตสำหรับ แรงเฉือนที่ต่างกันไป

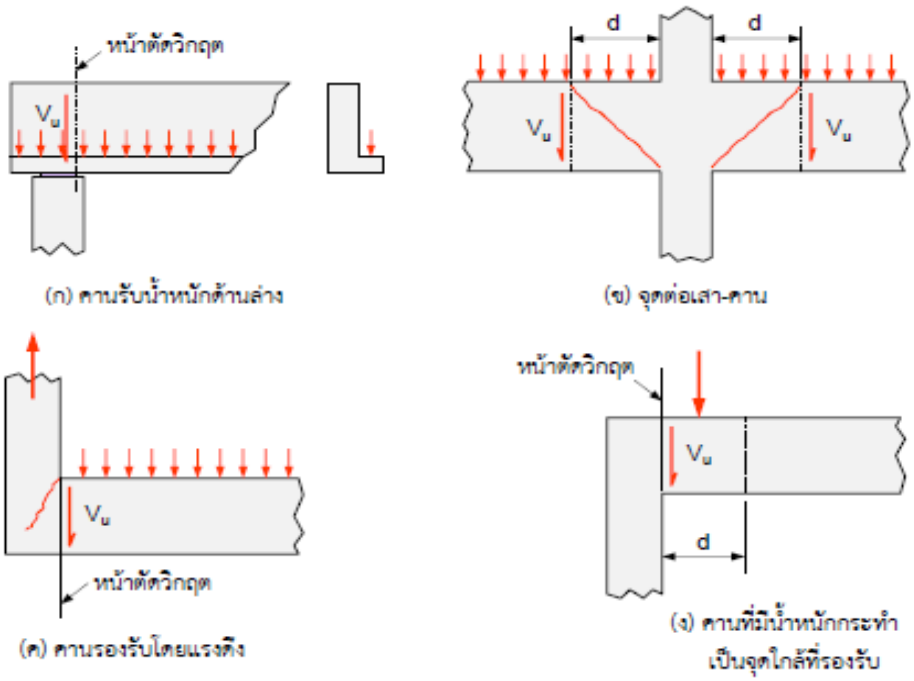


(ก) การแตกร้าวจากการเฉือนในคาน

(ข) แผนภูมิแรงเฉือน

รูปที่ 5.27 (ก)-(ข) แรงเฉือนประลัย *Vu* ที่ใช้ในการออกแบบ

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2542



(ก) คานรับน้ำหนักด้านล่าง

(ข) จุดต่อเสา-คาน

(ค) คานรองรับโดยแรงดึง

(ง) คานที่มีน้ำหนักกระทำเป็นจุดใกล้ที่รองรับ

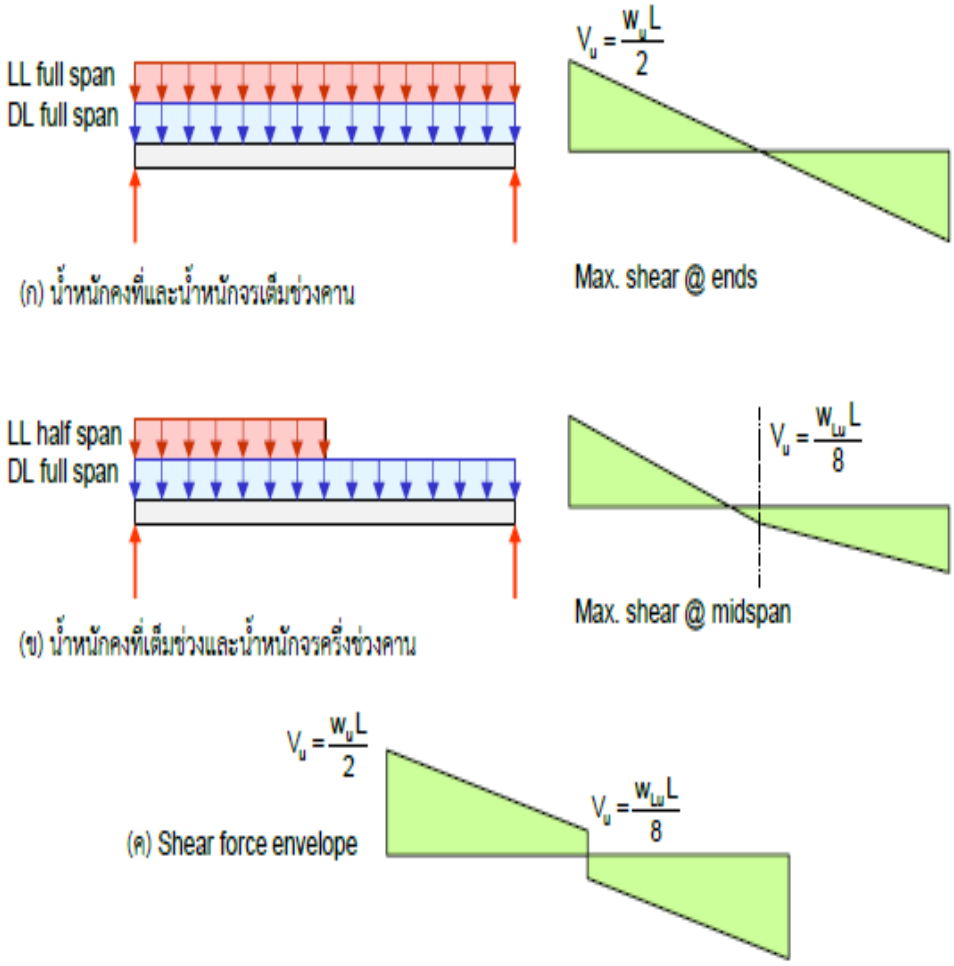
รูปที่ 5.27 (ก)-(ง) หน้าตัดวิกฤตสำหรับออกแบบการเฉือนแบบต่าง ๆ

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

5.10.5 แรงเฉือนที่กลางช่วงของคานรับน้ำหนักแผ่

ในอาคารปกติน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรจะถูกสมมุติเป็นน้ำหนักแผ่คงที่น้ำหนัก บรรทุกคงที่ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงจะแผ่ลงตลอดช่วงคาน แต่น้ำหนักจรจะแผ่เต็มช่วงดังใน รูปที่ 5.28 (ก) ซึ่งจะทำให้ค่าแรงเฉือนที่ปลายมีค่ามากที่สุด หรืออาจแผ่ครึ่งช่วงดังในรูปที่ 5.28 (ข) ซึ่ง จะให้แรงเฉือนที่กลางช่วงมากที่สุด ส่วนแรงเฉือนที่หน้าตัดอื่นจะประมาณโดยใช้ shear force envelope ดังในรูปที่ 5.28 (ค) การหาแรงเฉือนที่กลางช่วงคานเนื่องจากน้ำหนักจรครึ่งช่วงคานคือ

$$V_{u\ midspan} = \frac{W_{LU}\, L}{8} \qquad (5.21)$$

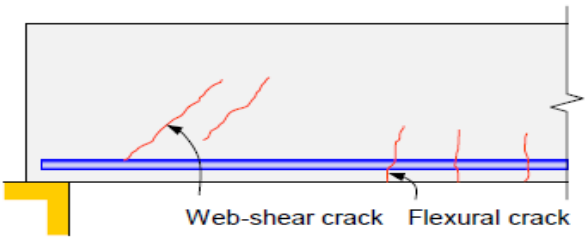


รูปที่ 5.28 การพิจารณาการรับน้ำหนักของคานเพื่อออกแบบแรงเฉือน

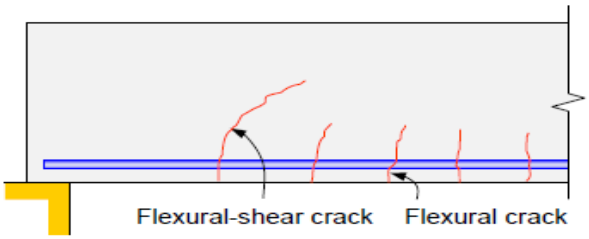
ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

5.10.6 การแตกร้าวของคานที่ไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือน

คอนกรีตซึ่งมีกำลังดึงจะเกิดการแตกร้าวขึ้นเมื่อหน่วยแรงดึงมีค่าเกินกำลังดึง ในคานคอนกรีตซึ่งรับน้ำหนักบรรทุก หน่วยแรงดึงอาจเกิดจากแรงดึงโดยตรง, การดัด, การเฉือน, การบิด, หรือการร่วมกระทำของแรงเหล่านี้ ตำแหน่งและทิศทางของรอยแตกร้าวจะขึ้นกับหน่วยแรงหลัก (Principal stress) และมีชื่อเรียกต่างกันไปตามตำแหน่งและลักษณะของรอยร้าวดังแสดงในรูปที่ 5.29 รอยร้าวเอียงทำมุมประมาณ 45 องศา ซึ่งมักจะอยู่บริเวณแกนสะเทินดังในรูปที่ 5.29 (ก) เรียกว่า รอยร้าวเอวเฉือน (Web-shear cracks) เกิดขึ้นเมื่อหน่วยแรงดึงทแยงที่เกิดขึ้นมีค่าถึงกำลังดึงคอนกรีต ในบางกรณีที่แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดมีค่ามากที่บริเวณเดียวกัน จะเกิดรอยแยกแรงดึงจาก การดัดก่อนขยายตามแนวเอียงตามทิศทางของหน่วยแรงดึง รอยร้าวลักษณะนี้เรียกว่ารอยร้าวดัดเฉือน (Flexural-shear cracks) ดังในรูปที่ 5.29 (ข)



(ก) รอยร้าวเอวเฉือน (Web-shear cracks)



(ข) รอยร้าวดัดเฉือน (Flexural-shear cracks)

รูปที่ 5.29 (ก)-(ข) ชนิดรอยแตกร้าวในคานที่ไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือน

ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

โดย Web-shear crack จะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีแรงเฉือนมากและโมเมนต์ดัดน้อยมักไม่ค่อยเกิดขึ้นใกล้จุดดัดกลับ (Inflection point) ในคานต่อเนื่อง ส่วน Flexural-shear crack เป็นแบบที่พบได้ทั่วไป โดยจะเป็นรอยร้าวเอียงต่อจาก รอยร้าวดิ่งจากการดัด ความต้านทานแรงเฉือนในคอนกรีตเสริมเหล็กดังแสดงในรูปที่ 5.17 เกิดขึ้นจากกลไกดังต่อไปนี้

1. ความต้านทานแรงเฉือนของหน้าตัดคอนกรีตไม่แตกร้าว V_{cz}
2. การล็อคตัวระหว่างกันของมวลรวม V_a ในแนวสัมผัสกับรอยร้าว และคล้ายกับแรงเสียดทานระหว่างผิวคอนกรีตในแต่ละด้านของรอยร้าว
3. ความต้านทานของเหล็กเสริมหลักต่อแรงเฉือน V_d
4. ผลของความโค้งในคานลึก
5. ความต้านทานแรงเฉือนของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน V_s จากเหล็กปลอก

5.10.7 กำลังรับแรงเฉือนของคานไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือน

จากการทดสอบกำลังเฉือนในคานคอนกรีตไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือนจำนวนมาก พบว่ากำลังเฉือนระบุ (Nominal shear strength) สามารถคำนวณ ด้วยสูตรดังนี้

$$\frac{Vn}{bd\sqrt{f_c'}} = 0.5 + 176\frac{\rho V_n d}{M_n\sqrt{f_c'}} \leq 0.93 \text{ กก/ซม}^2 \qquad (5.22)$$

ACI Code,1963 สร้างความสัมพันธ์ของสมการที่ (5.22) ว่าเป็นกำลังเฉือนของคาน ไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือน ดังนั้นจึงนิยาม Vc เป็นกำลังของคานคอนกรีตดังกล่าว โดยใช้ความกว้าง ของเอวคาน bw แทน b จะได้ว่า

$$V_c = (0.5\sqrt{f_c'} + 176\frac{\rho V_u d}{M_n})b_w d \leq \sqrt{f_c'} b_w d \qquad (5.23)$$

ซึ่งก็คือสูตรโดยละเอียดที่ ACI และ ว.ส.ท. ใช้ในมาตรฐาน การใช้แรงเฉือนประลัย Vu และโมเมนต์ประลัย Mu แทนที่จะเป็น Vn = Vu/Ø และ Mn = Mu/Ø มีความแตกต่างเล็กน้อย เพราะอัตราส่วน Vu/Mu ยังคงเท่ากับ Vn/Mn อยู่โดยประมาณแม้ว่าแฟกเตอร์ลดกำลัง Ø ของแรงเฉือนและโมเมนต์จะต่างกัน อัตราส่วนเสริมเหล็ก ρ_w = As/(bw d) ที่ใช้ในสูตรของ ACI ซึ่ง bw จะเป็นความกว้างของเอว คานสำหรับหน้าตัดตัว T แทนที่จะเป็นความกว้างของปีกคาน

การคำนวณด้วยมือ แล้วจะทำได้ลำบากเพราะค่า ρ_w, V_u และ M_u จะมีค่าไม่คงที่ตลอดช่วงคาน ทำให้ต้องคำนวณ Vc เป็นช่วง ๆ ดังนั้น ACI จึงยอมให้ใช้สูตรพื้นฐานดังนี้

$$V = 0.53\sqrt{f_c'}\, b_w \qquad (5.24)$$

สำหรับองค์อาคารที่มีแรงอัดตามแนวแกนร่วมด้วย

$$V = 0.53(1+0.0071\frac{N_u}{A_g})\sqrt{f_c'}\, b_w d \qquad (5.25)$$

สำหรับองค์อาคารที่มีแรงดึงตามแนวแกนร่วมด้วย

$$V = 0.53(1+0.029\frac{N_u}{A_g})\sqrt{f_c'}\, b_w d \qquad (5.26)$$

เมื่อ Nu คือแรงประลัยตามแนวแกน (มีค่าเป็นลบเมื่อเป็นแรงดึง) (ก.ก.)

A_g คือพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของคาน $b_w d$ (ซม.^{2})

;

5.10.8 ขีดจำกัดของปริมาณเหล็กรับแรงเฉือน

เหล็กรับแรงเฉือนน้อยที่สุด ปริมาณของเหล็กรับแรงเฉือนต้องไม่มากหรือน้อยจนเกินไปเพื่อให้มั่นใจจะเกิดการครากของเหล็ก เมื่อถึงก้าลังเฉือนวิบัติ ACI Code ต้องการให้ปริมาณเหล็กรับแรงเฉือนน้อยที่สุดเท่ากับ

$$\text{minAv} = 0.2\sqrt{f_c'}\,\frac{b_w d}{f_y} \geq 3.5\frac{b_w d}{f_y}) \qquad (5.27)$$

เมื่อ bw คือความกว้างเอวคาน และ s คือระยะห่างเหล็กปลอก ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนน้อย ที่สุดนั้นต้องใช้เมื่อ Vu มีค่าเกิน $\phi V_f / 2$ ยกเว้นในกรณีของ

- พื้นและฐานราก
- พื้นอนกรีตระบบตง(Floor joist construction)
- คานซึ่งมีความลึกไม่เกิน 25 ซม., 2.5 เท่าความหนาปีกส้าหรับคานรูปตัว T, หรือ ครึ่งหนึ่งของความกว้างเอว, เลือกค่าที่มากกว่า

ในทางปฏิบัติจะเพิ่มความหนาพื้น, ฐานราก, หรือคานตื้น เพื่อเพิ่มกำลังเฉือนขององค์ อาคาร การใช้เหล็กปลอกอาจไม่มีประสิทธิภาพในหน้าตัดที่ไม่ลึกพอ เนื่องจากพื้นที่รับแรงอัดมีความ ลึกน้อยจนไม่เพียงพอให้เกิดการยึดเหนี่ยวกับเหล็กปลอก โดยทั่วไปเรามักเลือกเหล็กปลอกเป็น RB9 หรือ DB10 เป็นแบบปลอกปิด (สองขา Av = 2As) ท้าให้ได้ค่า Av คงที่ไม่สะดวกต่อกำหนดเปลี่ยนแปลงในการออกแบบ การเลือกเหล็กเสริมรับ แรงเฉือนจึงมักทำโดยการกำหนดระยะห่างระหว่างปลอก เช่นในกรณีของปริมาณเหล็กน้อยที่สุด เมื่อนำสมการที่ (5.27) มาจัดรูปใหม่จะได้สมการสำหรับระยะห่างมากที่สุด S_{max} คือ

$$S_{max} = \frac{A_v f_y}{2.0\sqrt{f_c'}\ bw} \leq \frac{A_v f_y}{3.5\ bw} \qquad (5.28)$$

5.10.9 ระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุด

นอกจากค่า S_{max} ที่คำนวณจากสมการ (5.28) แล้ว ACI ยังกำหนดค่าระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุด $S_{max} = d/2$ และไม่น้อยกว่า 60 ซม. และเมื่อ V_s มีค่าเกิน $1.1\sqrt{f_c'}\ b_w d$ ให้ลดค่า S_{max} นี้ลง ครึ่งหนึ่ง ดังนั้น

- เมื่อ $V_s \leq 1.1\sqrt{f_c'}\ b_w d$ ให้ใช้ค่า $S_{max} = d/2 \leq 60$ ซม..
- เมื่อ $1.1\sqrt{f_c'}\ b_w d < V \leq 2.1\sqrt{f_c'}\ b_w d$ ให้ใช้ค่า $S_{max} = d/4 \leq 30$
- เมื่อ $V_s > 1.1\sqrt{f_c'}\ b_w d$ ให้เพิ่มขนาดหน้าตัด

5.10.9 เหล็กรับแรงเฉือนมากที่สุด

เพื่อป้องกันการวิบัติแบบ shear-compression ซึ่งคอนกรีตจะถูกบดอัดจนพังทลายด้วยแรงอัดที่บริเวณวิกฤตที่ส่วนบนของรอยร้าวทแยง ACI กำหนดให้ V_s ต้องมีค่าไม่เกิน ถ้าเกิน ต้องเพิ่มขนาดหน้าตัดเพื่อให้ $V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$ มีค่าน้อยลงจนไม่เกินขีดจำกัด

ตัวอย่างที่ 5.12 จงคำนวณหาระยะห่างเหล็กปลอก รับแรงเฉือน (V) เท่ากับ 4,700 กก.
กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 2,400 กก./ซม.^{2}
ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ
ขนาดหน้าตัดคานเท่ากับ 0.20 x 0.45 เมตร (b = 0.20 ม., d = 0.40 ม.)

วิธีทำ V = 4,700 กก. : ตรวจสอบ $V < 1.32\sqrt{fc'}b.d$

$$Vc = 0.29\sqrt{fc'}bd = 0.29\sqrt{160}(20)(40) = 2{,}934.59 \text{ กก.}$$

$$V' = V - Vc = 4{,}700 - 2{,}934.59 = 1{,}765.41 \text{ กก.}$$

ตรวจสอบระยะห่างของเหล็กปลอก (s) ตามเกณฑ์บังคับ มาตรฐาน ว.ส.ท.

แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคาน : $V = 4{,}700$ กก. $< 0.795\sqrt{fc'}b.d$

ดังนั้น ระยะห่างเหล็กปลอก : $s = \frac{Av.fv.d}{V'} \le \frac{d}{2}$

กรณีเลือกใช้เหล็กปลอกขนาด ϕ 6 มม. Av = 0.565 ซม.^{2}

$$s = \frac{Av.fv.d}{V'} = \frac{0.565(1{,}200)40}{1{,}765.41}$$

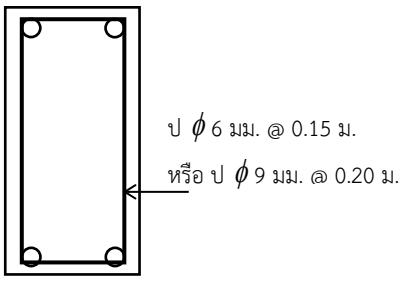
$$= 15.36 \text{ ซม.}$$

ใช้เหล็กปลอก ϕ6 มม. @ 0.15 ม.

กรณีเลือกใช้เหล็กปลอกขนาด ϕ 9 มม. Av = 1.272 ซม.^{2}

$$s = \frac{Av.fv.d}{V'} = \frac{1.272(1{,}200)40}{1{,}765.41}$$

$$= 34.58 \text{ ซม.}$$



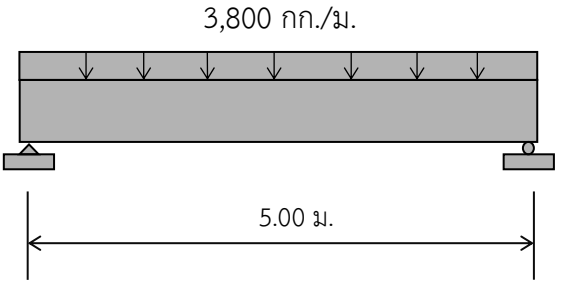
ใช้เหล็กปลอก ϕ9 มม. @ 0.20 ม. (ข้อกำหนด : $s \le \frac{d}{2}$)

ตัวอย่างที่ 5.13 คานคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงเดียวยาว 5.00 ม. รับน้ำหนักแบบสม่ำเสมอเท่ากับ 3,800 กก./ม.ตลอดความยาวคาน จงหาขนาดและระยะห่างของเหล็กปลอกโดยละเอียด

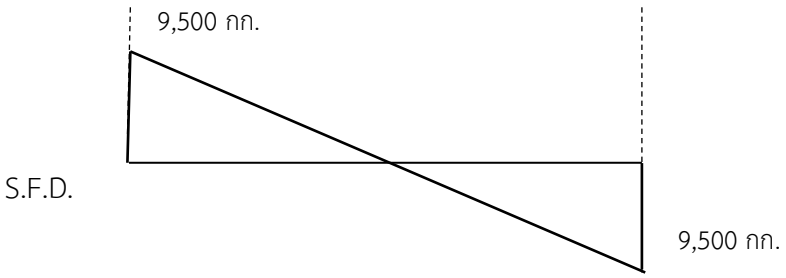
กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 2,400 กก./ซม.^{2}

ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

ขนาดหน้าตัดคานเท่ากับ 0.20 x 0.50 เมตร (b = 0.20 ม., d = 0.43 ม.)



วิธีทำ



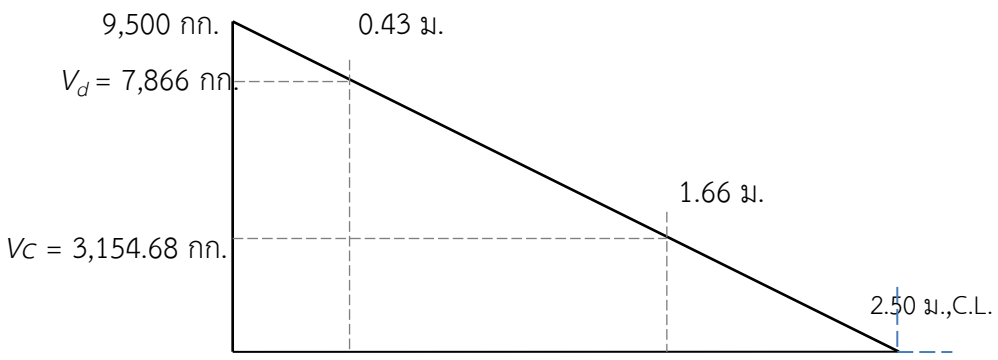
แรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤต (*ตำแหน่งห่างจากฐานรองรับเท่ากับระยะ d = 0.43 ม.*)

$V_d = 9{,}500 - (3{,}800 \times 0.43)$ = 7,866.00 กก. < $0.795\sqrt{fc'}bd$

$Vc = 0.29\sqrt{fc'}bd = 0.29\sqrt{160}(20)(43)$ = 3,154.68 กก.

$V' = V_d - Vc = 7{,}866 - 3{,}154.68$ = 4,711.32 กก.

พิจารณารูป S.F.D. จากรูปสามเหลี่ยมคล้ายจะเห็นว่าค่า Vc = 3,154.68 กก. อยู่ที่ระยะ 1.66 ม. จากฐานรองรับ ดังนั้น ที่ระยะดังกล่าวถึงกลางคานในทางทฤษฎีไม่ต้องเสริมเหล็กปลอกก็ได้



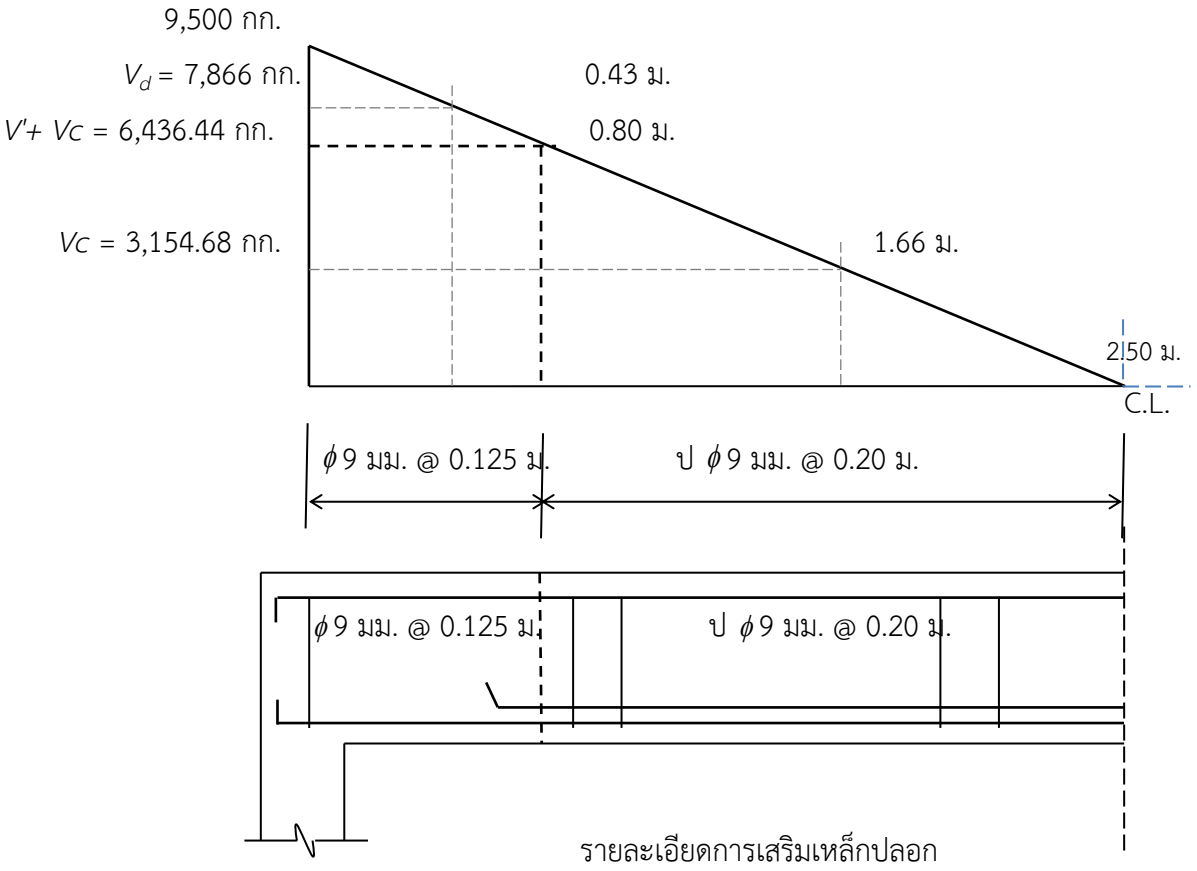
อย่างไรก็ตาม มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้เสริมเหล็กปลอกในปริมาณต่ำสุด ถ้าเลือกใช้เหล็กปลอก ϕ 9 มม. @ 0.20 ม. ซึ่งเหล็กปลอกที่เสริมในปริมาณต่ำสุดจะรับแรงเฉือนได้

$$V' = \frac{Av.fv.d}{S} = \frac{1.272(1{,}200)43}{20} = 3{,}281.76 \text{ กก.}$$

รวมแรงเฉือนที่คอนกรีตและเหล็กปลอกรับได้ : $V = Vc + V'$ = 3,281.76 + 3,154.68 = 6,436.44 กก. และเมื่อกลับไปพิจารณารูป S.F.D. จะเห็นว่าค่า $V'+Vc$ = 6,436.44 กก. อยู่ที่ระยะ 0.80 ม. จากฐานรองรับ ดังนั้น ในช่วงที่เหลือจากฐานรองรับถึงระยะ 0.80 ม. เลือกใช้เหล็กปลอก ϕ 9 มม. คำนวณระยะห่างเหล็กปลอกได้ ดังนี้

$$s = \frac{Av.fv.d}{V'} = \frac{1.272(1{,}200)43}{4{,}711.32} = 13.93 \text{ ซม.}$$

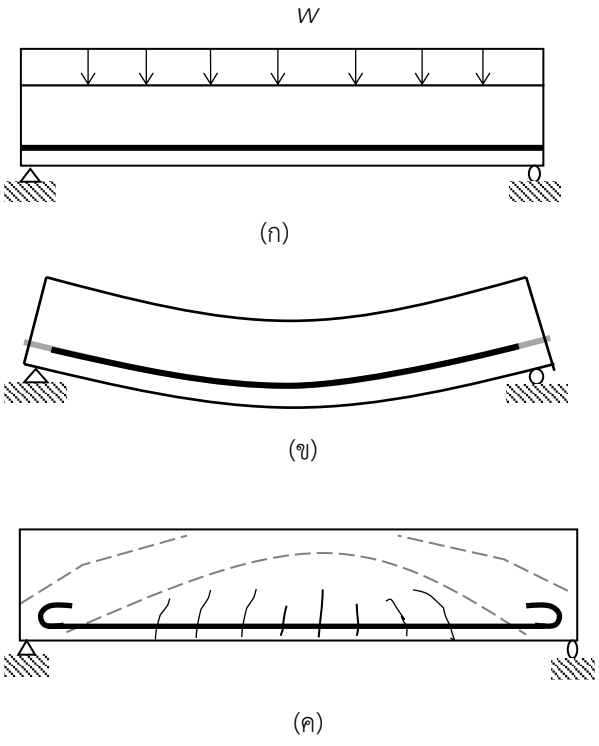
เลือกใช้เหล็กปลอก ϕ 9 มม. @ 0.125 ม.



รายละเอียดการเสริมเหล็กปลอก

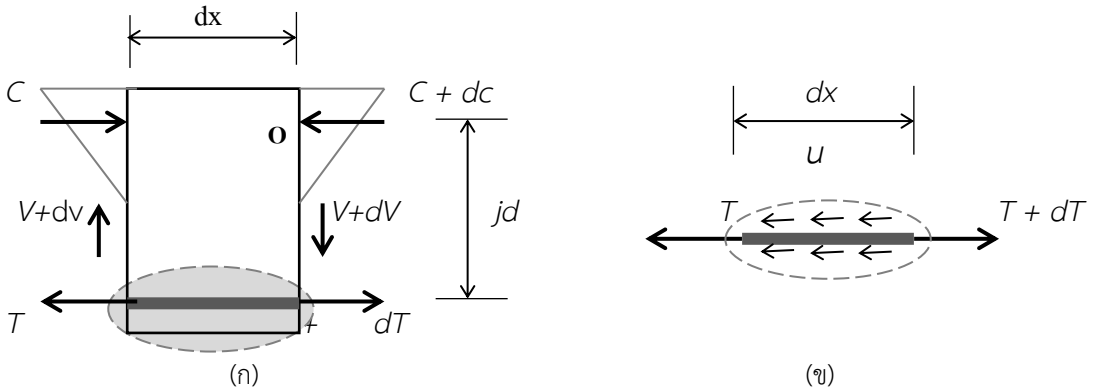
5.11 แรงยึดหน่วง (Bond)

แรงยึดหน่วง คานคอนกรีตเสริมเหล็กประกอบด้วยวัสดุสองชนิด คือ คอนกรีต และเหล็กเสริม เมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน มาตรฐาน ว.ส.ท. 6501 ดังรูปที่ 5.30 (ก) พบว่า แรงภายในต่างๆ ที่เกิดขึ้นในคานส่งผลให้คานเกิดการโก่งตัว และอาจทำให้เกิดการรูดของเหล็กเสริม ดังรูปที่ 5.30 (ข) จากสมมติฐานข้อที่ 3 ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน การยึดหน่วงระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมเป็นไปอย่างสมบูรณ์ หน่วยการยืดหดตัวของคอนกรีตและเหล็กเสริม ณ ตำแหน่งเดียวกัน มีค่าเท่ากัน เพื่อให้เป็นไปตามสมมติฐาน *มาตรฐาน ว.ส.ท. 6501 (ข) กำหนดให้ที่หน้าตัดใดๆ ต้องมีความยาวระยะฝัง การยึดปลาย หรือมีของอสำหรับเหล็กเสริมรับแรงดึงที่เพียงพอ เนื่องจากผลของการโก่งตัวของคาน* จากรูปที่ 5.30 (ค) จะเห็นว่าบริเวณท้องคานเกิดแรงดึงทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวจึงสูญเสียแรงยึดหน่วงระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม ดังนั้น การยึดปลายหรือการงอปลายเหล็กเสริมจะป้องกันการรูดของเหล็กเสริมและช่วยเพิ่มแรงยึดหน่วงระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมที่สูญเสียไป



รูปที่ 5.30 การยึดปลายหรือการงอปลายเหล็กเสริม
ที่มา: วินิต ช่อวิเชียร, 2545

ในองค์อาคารรับแรงดัดที่มีเหล็กเสริมรับแรงดึงขนานกับผิวที่รับแรงอัด หน่วยแรงยึดหน่วงอันเกิดจากแรงดัดที่หน้าตัดใดๆ พิจารณาจากความยาวคานระยะ *dx* ดังรูปที่ 5.31 (ก) และหน่วยแรงยึดหน่วงกับแรงดึงในเหล็กเสริม ดังรูปที่ 5.31 (ข)



รูปที่ 5.31 หน่วยแรงยึดหน่วง
ที่มา: วินิต ช่อวิเชียร, 2545

รูปที่ 5.19 (ก) พิจารณา $\sum M_o = 0$ $\circlearrowleft +$

$$dT.jd - Vdx = 0$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{V}{jd} \qquad \text{..... } (a)$$

รูปที่ 5.19 (ข) พิจารณา $\sum Fx = 0$ $\rightarrow +$

$$dT - u.\sum{}_o.dx = 0$$

$$\frac{dT}{dx} = u.\sum{}_o \qquad \text{..... } (b)$$

แทนค่าสมการ (*b*) ลงใน (*a*) จะได้

$$u = \frac{V}{\sum{}_o.jd} \qquad (5.22)$$

โดยที่ u = หน่วยแรงยึดหน่วง

V = แรงเฉือน

$\sum_o$ = เส้นรอบรูปของเหล็กเสริม

d = ความลึกประสิทธิผลของคาน

หน่วยแรงยึดหน่วง (*u*) ที่คำนวณได้ต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้ ในกรณีที่หน่วยแรงยึดหน่วงที่เกิดจากแรงดัดในเหล็กเสริมรับแรงอัด หรือในเหล็กเสริมรับแรงดึง ซึ่งหน่วยแรงยึดหน่วงเกิดจากการยึดปลายมี

ค่าน้อยกว่า 0.8 ของค่าที่ยอมให้ ไม่ต้องนำมาพิจารณา และมาตรฐาน ว.ส.ท. 6501 (ค) กำหนดหน่วยแรงยึดหน่วงที่ยอมให้ในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 หน่วยแรงยึดหน่วงที่ยอมให้

ตำแหน่ง	เหล็กกลมผิวเรียบ : RB	เหล็กข้ออ้อย : DB
เหล็กเสริมรับแรงดึง : เหล็กบน* เหล็กอื่นๆ นอกจากเหล็กบน	$\frac{1.145\sqrt{fc'}}{d_b} \le 11$; กก./ซม.^{2} $\frac{1.615\sqrt{fc'}}{d_b} \le 11$; กก./ซม.^{2}	$\frac{2.29\sqrt{fc'}}{d_b} \le 25$; กก./ซม.^{2} $\frac{3.23\sqrt{fc'}}{d_b} \le 35$; กก./ซม.^{2}
เหล็กเสริมรับแรงอัด : เหล็กบนและเหล็กอื่นๆ	$0.86\sqrt{fc'} \le 11$; กก./ซม.^{2}	$1.72\sqrt{fc'} \le 28$; กก./ซม.^{2}

* เหล็กบน: เหล็กเสริมตามแนวนอนที่มีคอนกรีตหล่ออยู่ใต้เหล็กเกินกว่า 30 เซนติเมตร ขึ้นไป

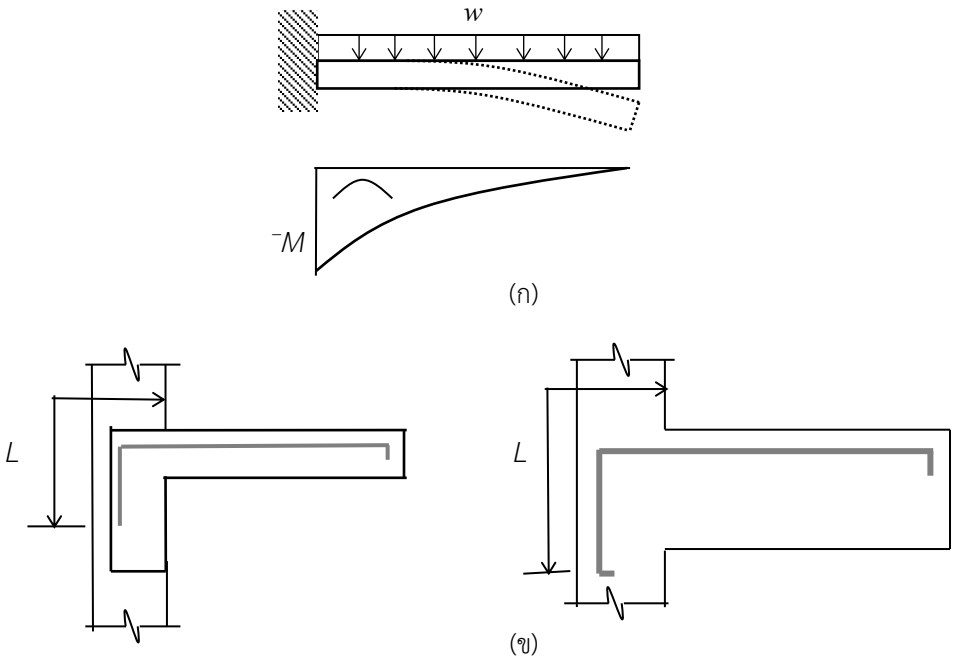
พฤติกรรมทางโครงสร้างของพื้นยื่นหรือคานยื่นภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งาน พื้นยื่นหรือคานยื่นจะโก่งตัวตามทิศทางของโมเมนต์ลบ ($^-$M) ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ฐานรองรับ ดังรูปที่ 5.32 (ก) การแตกร้าวของคอนกรีตเกิดขึ้นที่หลังคานบริเวณฐานรองรับ เนื่องจากแรงดึงที่เกิดจากการดัดโค้งของคาน ทำให้เกิดการสูญเสียแรงยึดหน่วงระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมที่บริเวณดังกล่าว ดังนั้น นอกจากการเสริมเหล็กรับแรงดึงเพื่อต้านทานโมเมนต์ดัดแล้ว ต้องเพิ่มความยาวระยะฝังของเหล็กเสริมในการออกแบบพื้นหรือคานยื่นด้วย ดังรูปที่ 5.32 (ข) เพื่อทดแทนแรงยึดหน่วงระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมที่สูญเสียไปและป้องกันการวิบัติจากการรูดของเหล็กเสริม ความยาวระยะฝังของเหล็กเสริมพิจารณาจาก แรงยึดหน่วงระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม ที่เพียงพอต่อแรงดึงของเหล็กเสริม แรงยึดหน่วงคำนวณจากหน่วยแรงยึดหน่วง (u) คูณกับพื้นที่ ซึ่งก็คือผลคูณของเส้นรอบรูป ($\sum_o$) กับความยาวระยะฝัง (L) ส่วนแรงดึงของเหล็กเสริม คือพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม (As) คูณกับหน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม (fs) ดังนี้

แรงยึดหน่วง $\sum_o .L.u = \pi d_b .L.u$ (5.23)

และแรงดึงในเหล็กเสริม $Asfs = \frac{\pi d_b^{\,2}}{4} fs$ (5.24)

เมื่อแรงยึดหน่วงเท่ากับแรงดึงของเหล็กเสริม $\pi d_b .L.u = \frac{\pi d_b^{\,2}}{4} fs$ (5.25)

ความยาวระยะฝัง $L = \frac{d_b\, fs}{4u}$ (5.26)

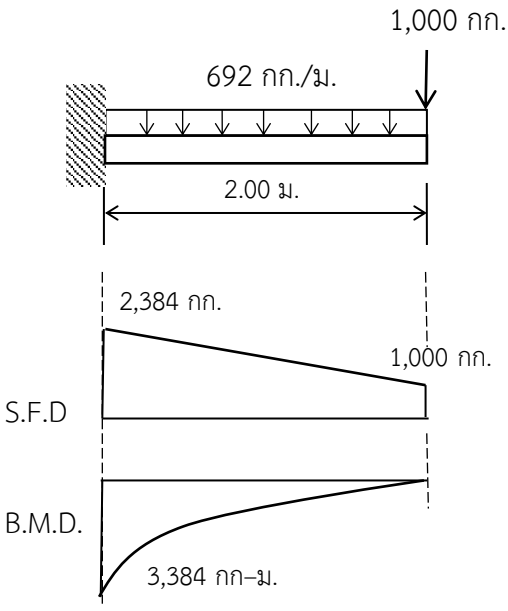


รูปที่ 5.32 ความยาวระยะฝังของเหล็กเสริม

ตัวอย่างที่ 5.14 จงออกแบบคานยื่น ระยะยื่นจากเสา 2.00 ม. รับน้ำหนักแบบสม่ำเสมอเท่ากับ 500 กก./ม.และน้ำหนักกระทำเป็นจุดที่ปลายคานเท่ากับ 1,000 กก. ดังรูป พร้อมทั้งหาระยะฝังเหล็กเสริม (L)

กำหนดให้ f_c' = 160 กก./ซม.^{2} f_y = 3,000 กก./ซม.^{2}

ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ



วิธีทำ ความลึกต่ำสุดของคานยื่น : $L/8$ = 0.25 ม.

เลือกขนาดหน้าตัดคาน : 0.20x0.40

(d = 0.33 ม., d' = 0.05 ม.)

น้ำหนักคาน : 0.20x0.40x2,400 = 192 กก./ม.

น้ำหนักรวม : 500 + 192 = 692 กก./ม.

วิเคราะห์โครงสร้าง

V_{max} = 2,384 กก.

V_d = 2,155.64 กก.

$^-M_{max}$ = 3,384 กก–ม.

ค่าคงที่ในการออกแบบ

$$n = 11, \qquad k = 0.345, \qquad j = 0.885, \qquad R = 10.99 \text{ กก./ซม.}^2$$

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : *Mc*

$$Mc = Rbd^2 = 10.99(0.20)33^2 = 2{,}393.62 \text{ กก–ม.} < 3{,}384 \text{ กก–ม.}$$

Mc < M_{max} : ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

$$As_1 = \frac{Mc}{fs.jd} = \frac{2{,}393.62 \times 100}{1{,}500(0.885)33} = 5.46 \text{ ซม.}^2$$

$$As_2 = \frac{M_{\max} - M_C}{fs(d-d')} = \frac{990.38 \times 100}{1{,}500(33-5)} = 2.35 \text{ ซม.}^2$$

$$As = As_1 + As_2 = 7.81 \text{ ซม.}^2$$

เลือก : 4 DB 16 (*As* = 8.04 ซม.^{2})

$$As' = \frac{1}{2} As_2 \frac{(1-k)}{(k - \frac{d'}{d})} = \frac{1}{2}(2.35) \frac{(1-0.345)}{(0.345 - \frac{5}{33})}$$

$$= 3.97 \text{ ซม.}^2$$

เลือก : 2 DB 16 (*As* = 4.02 ซม.^{2})

แรงเฉือนที่แนวหน้าตัดวิกฤต : V_d = 2,155.64 กก.

แรงเฉือนที่ต้านทานโดยคอนกรีต : $Vc = 0.29\sqrt{fc'}bd = 0.29\sqrt{160}(20)(33)$

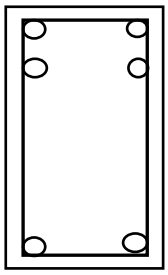
= 2,421.03 กก. > V_d

ดังนั้น เสริมเหล็กปลอกในปริมาณต่ำสุด : *Av = 0.0015 b_ws*

เลือกใช้เหล็ก ϕ 6 มม.

$$s = \frac{Av}{0.0015 b_w} = \frac{0.565}{0.0015(20)} = 18.83 \text{ ซม.} \leq \frac{d}{2}$$

เลือกใช้เหล็กปลอก ϕ 6 มม. @ 0.15 ม.



ตรวจสอบหน่วยแรงยึดหน่วง : u

$$u = \frac{V_d}{\sum_o . jd} = \frac{2{,}155.64}{20.10(0.885 \times 33)}$$

$$= 3.67 \text{ กก./ซม.}^2$$

หน่วยแรงยึดหน่วงที่ยอมให้ : u_a

$$u_a = \frac{2.29\sqrt{fc'}}{d_b} = \frac{2.29\sqrt{160}}{1.6}$$

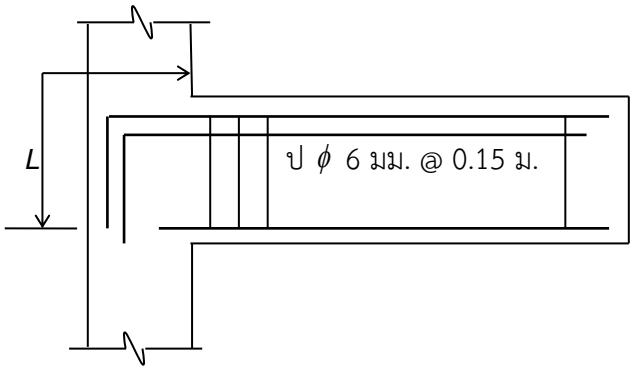
$$= 18.10 \text{ กก./ซม.}^2 < 25.0 \text{ กก./ซม.}^2 \quad \text{ใช้ได้}$$

ระยะฝังเหล็กเสริมในคอนกรีต : L

$$L = \frac{d_b . fs}{4u} = \frac{1.6(1{,}500)}{4(18.10)}$$

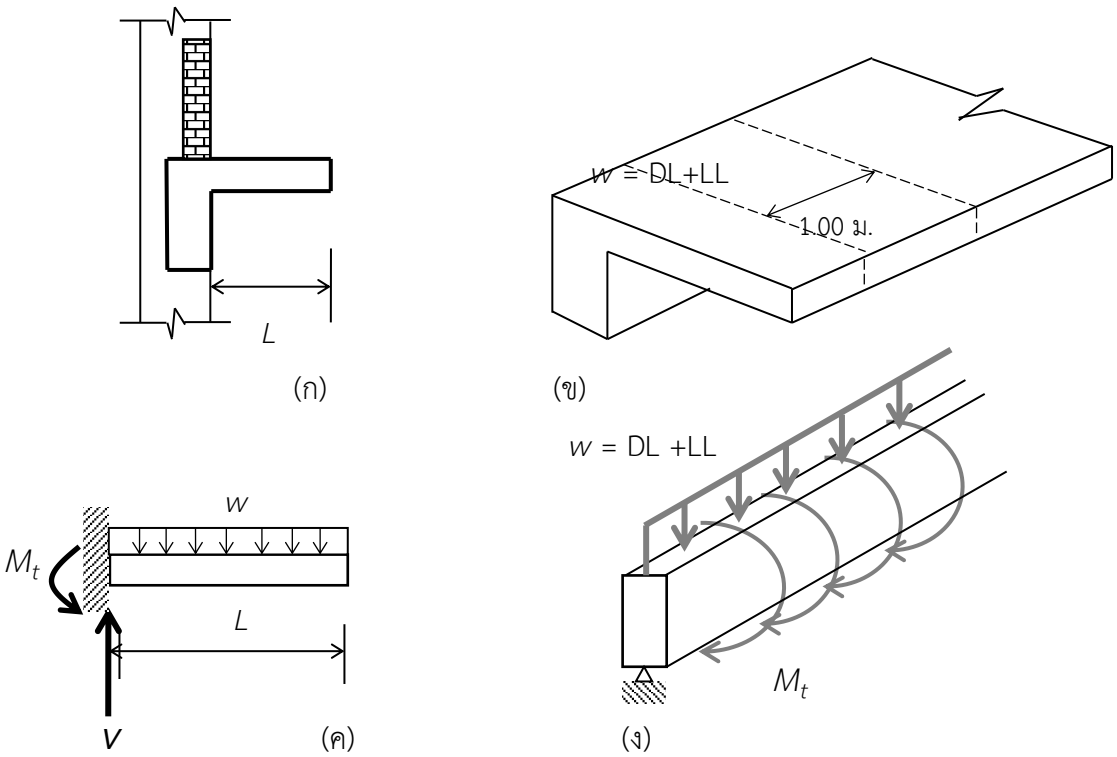
$$= 33.14 \text{ ซม.}$$

$$= 0.35 \text{ ม.}$$



5.12 แรงบิด (Torsion)

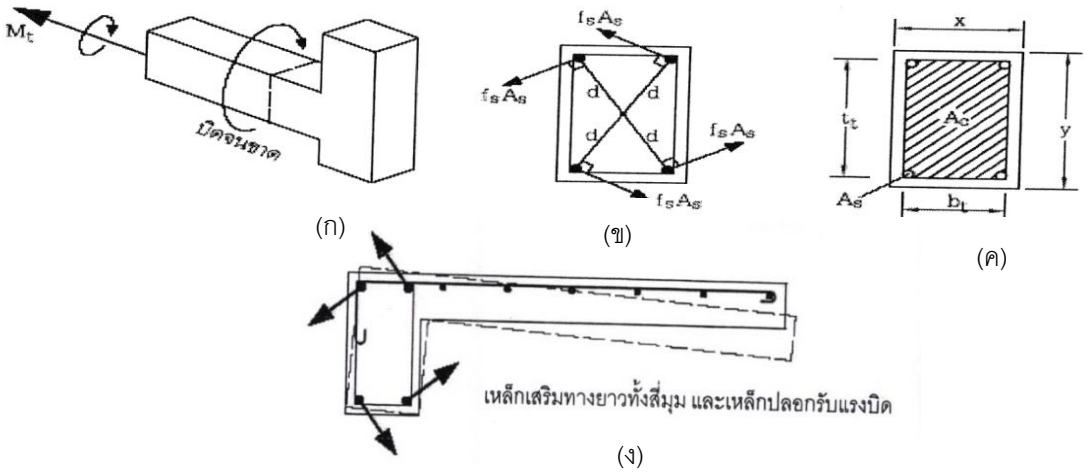
แรงบิดในหน้าตัดคานเกิดจากน้ำหนักบรรทุกกระทำเยื้องศูนย์ห่างออกจากแนวแกนขององค์อาคาร เช่น คานรับพื้นระเบียง หรือคานรับพื้นกันสาด ดังรูปที่ 5.21 ซึ่งจะเห็นได้ว่าพื้นยื่นรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ (DL) และน้ำหนักบรรทุกจร (LL) เป็นน้ำหนักแผ่แบบสม่ำเสมอแล้วถ่ายน้ำหนักไปยังคานที่เป็นฐานรองรับแบบยึดแน่นให้กับพื้นยื่น การรับน้ำหนักของคานรับพื้นยื่นจึงมีทั้งแรงตามแนวดิ่ง และโมเมนต์ดัดกระทำตามความยาวคาน ซึ่งโมเมนต์ดัดกระทำตามความยาวคานนี้เองก็คือแรงบิดหรือโมเมนต์บิดที่ต้องนำมาพิจารณาคำนวณออกแบบ เมื่อองค์อาคารถูกโมเมนต์บิดกระทำจะทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนขึ้นสำหรับคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า หน่วยแรงเฉือนสูงสุดเกิดขึ้นที่กึ่งกลางของหน้าตัดคานแต่ละด้านแล้วค่อยๆ ลดลงจนเป็นศูนย์ที่มุมทั้งสี่ อย่างไรก็ตาม ส่วนใหญ่มักจะพบองค์อาคารที่ถูกแรงบิดกระทำร่วมกับแรงอื่นๆ เช่น โมเมนต์ดัดและแรงเฉือน ดังนั้นการออกแบบคานรับพื้นยื่นจะต้องออกแบบให้สามารถต้านทานโมเมนต์ดัด และแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกอยู่แล้ว ในกรณีที่มีโมเมนต์บิดเกิดร่วมด้วยก็ให้ทำการตรวจสอบว่าขนาดหน้าตัดคาน เหล็กเสริมตามยาว และเหล็กปลอกที่เสริมต้านทานโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนแล้วนั้น เพียงพอที่จะต้านทานโมเมนต์บิดหรือไม่ ถ้าไม่เพียงพอก็จำเป็นต้องเสริมเหล็กปลอกและเหล็กตามแนวยาวเพิ่มขึ้นเพื่อให้คานสามารถต้านทานโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นได้



รูปที่ 5.33 (ก)-(ง) โมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง

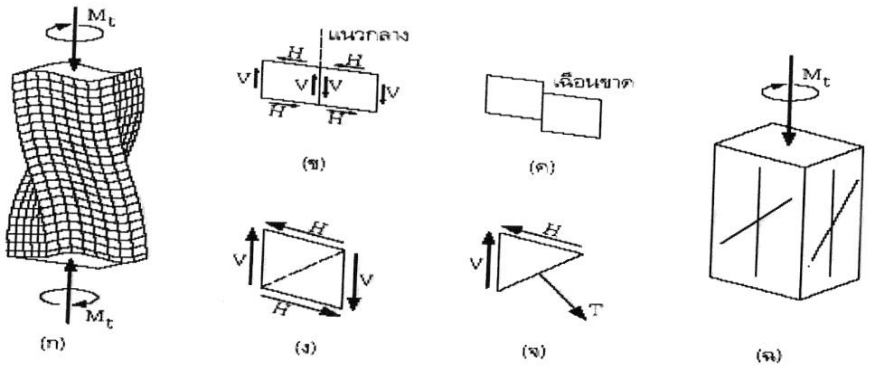
ที่มา: สาโรจน์ ดำรงศิลป์,2559

พฤติกรรมของคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขณะรับโมเมนต์บิดนั้น เป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก ขอให้พิจารณารูปที่ 5.33(n) คานกำลังรับโมเมนต์บิด *Mt* เราคิดว่า *Mt* ทำให้คานขาดออกจาก กันในระนาบตั้งฉากกับ *Mt* เมื่อตัดมาพิจารณาตามรูปที่ 5.33(ข) เหล็กเสริมที่มุมทั้งสี่จะรับ แรงเฉือนสูงสุด *fS* AS และห่างจากศูนย์กลาง 4 จะเกิดโมเมนต์บิดต้านทานกับ Mt ที่มากระทำ เป็น 4*fS* ASd เลข 4 คูณข้างหน้าเพราะมี 4 มุม แสดงการเกิดแรงดึงทแยงเนื่องจากแรงเฉือนจากโมเมนต์บิด ดังแสดงใน รูปที่ 5.4 และ 5.35



รูปที่ 5.34 (ก)-(ง) การรับโมเมนต์บิดโดยพิจารณาการขาดในระนาบหน้าตัด

ที่มา : สมศักดิ์ คำปลิว, 2547



รูปที่ 5.35 (ก)-(ฉ) แสดงการเกิดแรงดึงทแยงเนื่องจากแรงเฉือนจากโมเมนต์บิด
ที่มา : สมศักดิ์ คำปลิว, 2547

5.12.1 ขั้นตอนในการตรวจสอบแรงบิดสูงสุด

ขั้นตอนในการตรวจสอบแรงบิดสูงสุด เริ่มจากการพิจารณาแรงบิดสูงสุดที่เกิดขึ้นในคานที่ระยะห่างจากฐานรองรับเท่ากับความลึกประสิทธิผลของคาน และคำนวณหน่วยแรงบิดตามลำดับ ดังนี้

1) หน่วยแรงบิดสำหรับรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปตัดตัวที และรูปตัดตัวแอล (ว.ส.ท. 6402)

(ก) หาค่าได้จาก

$$v_t = \frac{3.5M_t}{\sum x^2 y} \qquad (5.27)$$

โดย v_t : หน่วยแรงบิด, M_t : โมเมนต์บิด

x, y : ด้านสั้นและด้านยาวของหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตามลำดับ

2) หน่วยแรงบิดที่ยอมให้ไม่เกิน $1.32\sqrt{fc'}$ (กก./ซม.^{2}) และหน่วยแรงบิดรวมกับหน่วยแรงเฉือนยอมให้ไม่เกิน $1.65\sqrt{fc'}$ (กก./ซม.^{2})

3) เมื่อหน่วยแรงบิดโดยลำพัง หรือหน่วยแรงบิดรวมกับหน่วยแรงเฉือน เกินกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีต ($v_c = 0.29\sqrt{fc'}$) ต้องเสริมเหล็กส่วนที่เกินนี้ (ว.ส.ท. 6404)

3.1) เสริมเหล็กปลอกหรือเหล็กลูกตั้ง ต้านทานแรงบิด คำนวณจาก

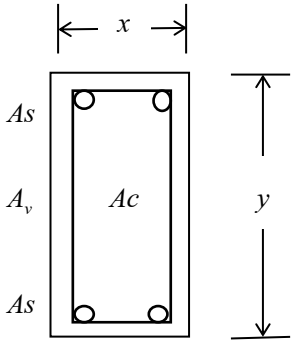
$$A_v = \frac{M_t.s}{2A_c.f_v}$$ หรือ

3.2) เสริมเหล็กปลอกเกลียว ต้านทานแรงบิด คำนวณจาก

$$A_v = \frac{M_t.s}{2\sqrt{2}A_c.f_v}$$ และ

3.3) เสริมเหล็กตามแนวยาวจัดวางตามมุม ขนาดไม่เล็กกว่า ϕ 12 มม. คำนวณจาก

$$As = \frac{M_t.z}{2A_c.fs}$$



โดย As : พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามยาว

A_v : พื้นที่หน้าตัดของเหล็กลูกตั้งหรือเหล็กปลอก และเหล็กปลอกเกลียว

Ac : พื้นที่หน้าตัดคอนกรีตภายในวงเหล็กลูกตั้งหรือวงเหล็กปลอก

s : ระยะห่างเหล็กลูกตั้งหรือเหล็กปลอกเกลียว

z : ค่าเฉลี่ยระยะระหว่างเหล็กเสริมตามยาว

f_v : หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของเหล็กปลอก

fs : หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมตามยาว

5.12.2 ปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุด

ปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุด ในบางกรณีโมเมนต์ดัดที่มากระทำมีค่าน้อยมากและขนาดหน้าตัดที่ถูกกำหนดมามีขนาดใหญ่กว่าที่ต้องการมาก ทำให้ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการที่คำนวณออกมามีค่าน้อยมาก หน่วยแรงดึงจะมีค่าน้อยกว่าค่าโมดูลัสแตกหักของคอนกรีตหาได้จากความสัมพันธ์ $fr = 2.0\sqrt{fc'}$ คานดังกล่าวจึงถูกใช้งานในสภาวะที่คอนกรีตไม่เกิดการแตกร้าวนั่นคือเหล็กเสริมยังไม่ได้ทำงาน คานจะรับน้ำหนักโดยก้าลังของหน้าตัดคอนกรีตล้วนจนถึงจุดที่คอนกรีตเริ่มแตกร้าว M_{cr} ซึ่งถ้าเหล็กเสริมที่ใช้มีน้อยเกินไป เมื่อถึงจุดที่คอนกรีต แตกร้าวหน้าตัดจะเปลี่ยนเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยก้าลัง M_n ที่น้อยกว่าก้าลัง M_{cr} ก็จะทำให้เกิดการวิบัติแบบกะทันหันได้ เพื่อป้องกันภาวะวิบัติดังกล่าว ACI ก้าหนดปริมาณเหล็กเสริมน้อยสุด ส้าหรับต้านทานการดัดเท่ากับ

$$A_{s,\ min} = \frac{0.8\sqrt{fc'}}{f_y} b_w d \qquad (2.28)$$

และไม่น้อยกว่า $14\ b_w d / f_y$ หรืออัตราส่วนเหล็กเสริมน้อยที่สุด $\rho_{min} = 0.8\frac{\sqrt{fc'}}{fr} \geq \frac{14}{f_y}$ โดยค่าแรกของสมการจะใช้กับคอนกรีตกำลังสูงกว่า 300 ก.ก./ซม.^{2} ค่าอัตราส่วนน้อยที่สุดทั้งสอง เท่ากันที่ แสดงว่า fc' 306 ก.ก./ซม.^{2}

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y} \text{ เมื่อ } fc' < 306 \text{ ก.ก./ซม.}^2 \qquad (2.29)$$

$$\rho_{min} = 0.8\frac{\sqrt{fc'}}{fr} \text{ เมื่อ } fc' \geq 306 \text{ ก.ก./ซม.}^2 \qquad (2.29)$$

ในกรณีหน้าตัดคานสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้ใช้ความกว้างคาน b = b_w สำหรับหน้าตัดรูปตัว T ที่ปีกรับแรง ดึง ให้ ใช้ค่า $A_{s,min}$ เมื่อ b_w และ b คือความกว้างของเอวคานและปีกคานตามลำดับ และเป็นค่าที่น้อยกว่าระหว่าง สมการต่อไปนี้

$$A_{s,min} = \frac{1.6\sqrt{fc'}}{fy} b_w d \qquad (2.30)$$

$$A_{s,min} = \frac{0.8\sqrt{fc'}}{fy} bd \geq \frac{14}{f_y} bd \qquad (2.31)$$

5.12.3 การตรวจสอบหน้าตัดมีกำลังรับโมเมนต์ดัด

เป็นการตรวจสอบหน้าตัดเพื่อดูว่าหน้าตัดมีกำลังรับโมเมนต์ดัด Mn เพียงพอในการต้านทานโมเมนต์ภายนอกที่มากระทำ Mu หรือ $\phi M_n \geq Mu$ ขั้นตอนมีดังนี้

1) คำนวณโมเมนต์ที่มากระท้าจากภายนอก Mu

$$Mu = 1.4M_D + 1.7M_L$$

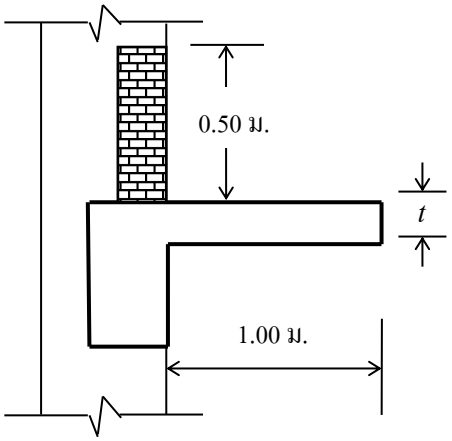
2) คำนวณก้าลังโมเมนต์ดัด Mn ของหน้าตัด

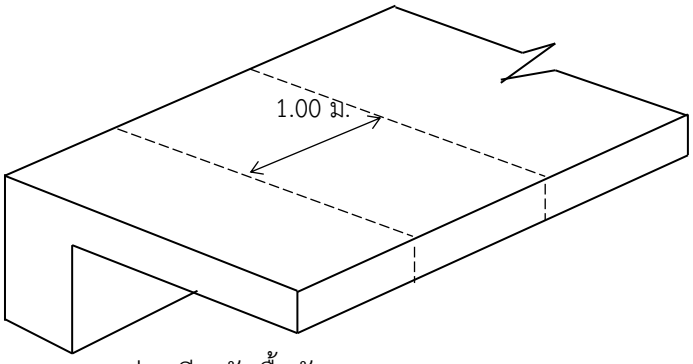
- ตรวจสอบอัตราส่วนเหล็กเสริม $\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$
- คำนวณค่า $a = \dfrac{Af_y}{0.85f_c' b}$
- คำนวณกำลังโมเมนต์ดัด $M_n = A_s f_y (d-a/2)$

3) ตรวจสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด $\phi M_n \geq Mu$

ตัวอย่างที่ 5.15 จงออกแบบคานช่วงเดียวความยาว 4.00 ม. รับพื้นกันสาดหนา (t) 0.10 ม. ระยะยื่นจากคาน 1.00 ม. น้ำหนักบรรทุกจร (LL) 100 กก./ม.^{2} และคานรับผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นสูง 0.50 ม. ตลอดความยาวคาน ดังรูป กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2}

ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ





คานช่วงเดียวรับพื้นกันสาดยาว 4.00 ม.

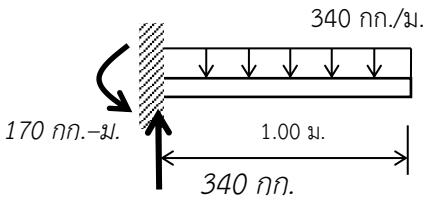
วิธีทำ

น้ำหนักที่กระทำกับพื้น :

w_{DL} : 0.10 x 2,400 = 240 กก./ม.^{2}

w_{LL} = 100 กก./ม.^{2}

น้ำหนักรวม : w = 340 กก./ม.^{2}



น้ำหนักที่กระทำบนคานในแนวดิ่ง : (เลือกขนาดคาน 0.15x0.35 ม.)

น้ำหนักจากพื้นลงคาน = 340 กก./ม.

น้ำหนักผนัง : 180 x 0.50 = 90 กก./ม.

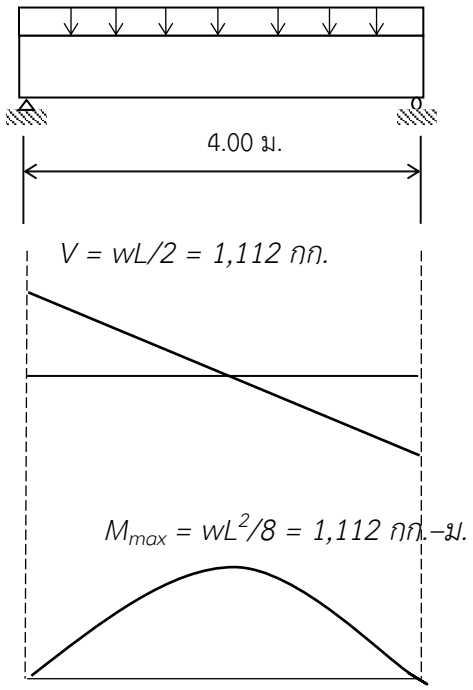
น้ำหนักคาน : 0.15 x 0.35 x 2,400 = 126 กก./ม.

รวมน้ำหนักที่กระทำบนคาน : w = 556 กก./ม. 556 กก./ม.

โมเมนต์บิดที่กระทำตลอดความยาวคาน : M_t = 170 กก.–ม.

การออกแบบคานต้านทานโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน วิเคราะห์โครงสร้าง

556 กก./ม,



ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$$n = 11, \quad k = 0.345, \; j = 0.885$$

$$R = 10.99 \text{ กก./ซม.}^2$$

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : Mc

เลือกขนาดคาน 0.15x0.35 ม.

(d = 0.28 ม. , d' = 0.05 ม.)

$$Mc = Rbd^2 = 10.99(0.15)28^2$$

= 1,292.42 กก.–ม.

$Mc > M_{max}$: ***คานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว***

$$As = \frac{M_{max}}{fs.jd} = \frac{1{,}112 \times 100}{1{,}500(0.885)28}$$

= 2.99 ซม.^{2}

เหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือน (เหล็กปลอก)

แรงเฉือนที่แนวหน้าตัดวิกฤต : V_d = 1,112 – (556x0.28) = 956.32 กก.

แรงเฉือนที่ต้านทานโดยคอนกรีต : $Vc = 0.29\sqrt{fc'}bd = 0.29\sqrt{160}(15)(28)$

= 1,540.66 กก. > V_d

ดังนั้น เสริมเหล็กปลอกในปริมาณต่ำสุด : $Av = 0.0015\, b_w s \le \frac{d}{2}$

เลือกใช้เหล็ก ϕ 6 มม. : $s = \frac{Av}{0.0015 b_w} = \frac{0.565}{0.0015(15)}$ = 25.11 ซม.

เลือกใช้เหล็กปลอก ϕ 6 มม. @ 0.14 ม.

ตรวจสอบขนาดหน้าตัดคานที่ออกแบบมีขนาดเพียงพอที่จะต้านแรงบิดได้หรือไม่โมเมนต์บิดสูงสุดเกิดขึ้นที่ระยะห่างจากฐานรองรับเท่ากับ d (d = 0.28 ม.)

$$M_t = 170(\frac{4}{2} - 0.28) = 292.4 \text{ กก.–ม.}$$

หน่วยแรงบิดที่เกิดขึ้น

$$v_t = \frac{3.5M_t}{\sum x^2 y} = \frac{3.5(292.4\times100)}{(15^2)\times35} = 12.99 \text{ กก./ซม.}^2 < v = 1.32\sqrt{fc'}$$

ขนาดหน้าตัดคาน 0.15x0.35 ม. สามารถต้านทานโมเมนต์บิดได้

หน่วยแรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤต

$$v_d = \frac{V_d}{bd} = \frac{956.32}{(15)\times28} = 2.27 \text{ กก./ซม.}^2$$

หน่วยแรงบิดรวมกับหน่วยแรงเฉือน : 12.99 + 2.27 = 15.26 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงบิดรวมกับหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

$$v = 1.65\sqrt{fc'} = 1.65\sqrt{160} = 20.87 \text{ กก./ซม.}^2 > 15.26 \text{ กก./ซม.}^2$$

ขนาดหน้าตัดคาน 0.15x0.35 ม. สามารถต้านทานแรงเฉือนรวมได้

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีต

$$v_c = 0.29\sqrt{fc'} = 0.29\sqrt{160} = 3.66 \text{ กก./ซม.}^2 < 15.26 \text{ กก./ซม.}^2$$

ต้องเสริมเหล็กปลอกและเหล็กเสริมตามยาวรับหน่วยแรงส่วนเกิน เลือกเหล็กปลอกขนาด ϕ 9 มม. (Av = 0.636 ซม.^{2})

$$s = \frac{2AcAvfv}{M_t} = \frac{2(290)0.636(1{,}200)}{(292.4\times100)} = 15.13 \text{ ซม.}$$

เลือกใช้เหล็กปลอก ϕ 9 มม. @ 0.125 ม.

เหล็กเสริมตามยาวที่ต้องเพิ่มในแต่ละมุม

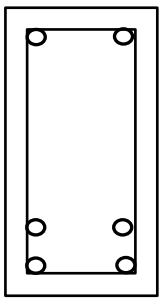
$$As = \frac{M_t z}{2Acfs} = \frac{(292.4\times100)19.5}{2(290)1{,}500} = 0.655 \text{ ซม.}^2$$

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงทั้งหมด (เหล็กล่าง) : 2.99 + 2 (0.655) = 4.30 ซม.^{2}

เลือก : 4 DB 12 (As = 4.52 ซม.^{2})

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมบนทั้งหมด (เหล็กบน) : 2 (0.655) = 1.31 ซม.^{2}

เลือก : 2 DB 12 (As' = 2.26 ซม.^{2})



2 DB 12

ป ϕ 9 มม. @ 0.125 ม.

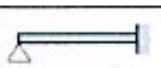
ขนาดหน้าตัดคาน 0.15x0.35 ม.

4 DB 12

5.13 สรุปข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบคาน

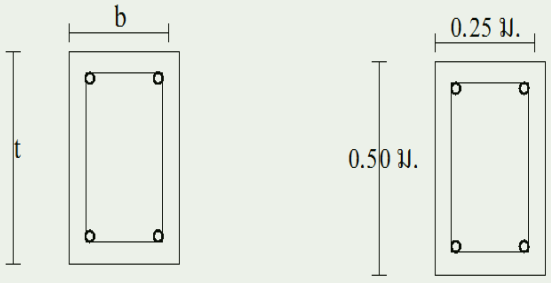
5.13.1 ขนาดของคาน

โดยทั่วไปการกำหนดความลึกของคาน ผู้ออกแบบจะกำหนดโดยถือมาตรฐานของ วสท. เป็นหลักขนาดหน้าตัดคาน จะต้องมีส่วนสัดความกว้างและความลึกมากพอที่จะต้านทานการโก่งของคานได้ โดยยอมให้ได้ไม่เกิน $\frac{L}{360}$ ความลึกของคานไม่ควรน้อยกว่าค่าดังต่อไปนี้

				
ชนิดคาน	ช่วงเดียว	หลายช่วง	ยึดแน่น	ปลายยื่น
BEAM	L/16	L/18.5	L/21	L/8

นอกจากกฎของ วสท. แล้ว เราอาจพิจารณาความลึกของคาน โดยถือกฎโดยทั่วไปของคานที่มีความยาวไม่มากนักและรับน้ำหนักปกติ ซึ่งงแนวทางในการปฏิบัติเบื้องต้นสรุปมีดังนี้

1) คานควรมีความลึก (t) ประมาณ $\frac{1}{10}$ ของช่วงความยาวของคาน
2) คานควรมีความกว้าง (b) นิยมใช้กันอยู่ ระหว่าง $\frac{1}{3}$ ถึง $\frac{2}{3}$ ของความลึกคาน (t)
3) ขนาดของคานจะต้องสัมพันธ์กับความลึกของคาน หรือขนาดของเสาที่รองรับ โดยคานจะต้องไม่ลึกกว่าคานหลัก และความกว้างจะต้องไม่เกินขนาดของเสา
4) การเสริมเหล็กแกนนอนต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า Ø 12 มม. และเสริมทั้งสี่มุมหน้าตัดคาน
5) ต้องมีเหล็กปลอกรัดรอบตลอดความยาวคาน
6) เหล็กเสริมรับแรงดึง จะต้องมีปริมาณค่าของเปอร์เซ็นต์เหล็ก (P) ไม่น้อยกว่า $\frac{14}{f_y}$



$t = \frac{L}{10} = \frac{5}{10} \approx$ 0.5 ม.

$b = \frac{1.5}{3}t = \frac{1.5}{3}$ 0.5 ≈ 0.25

เลือกแบบขนาดคาน 0.25 x 0.50

5.13.2 การจัดเหล็กเสริมในคาน

การจัดเหล็กเสริมของคานเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ถ้าวางเหล็กผิดที่คานจะเกิดเสียหายทันที หรือมิฉะนั้นจะทำให้เกิดปัญหาในระหว่างการก่อสร้างได้ โดยบางครั้งไม่สามารถวางเหล็กได้ตามที่ออกแบบไว้ได้ ดังนั้นควรคำนึงในการจัดเหล็กเสริมในคาน ดังต่อไปนี้

คานช่วงเดียวเหล็กเสริมหลักจะเป็นเหล็กล่างตลอดคาน ยกเว้นคานที่ใช้เหล็กเสริมรับแรงอัดด้วยเหล็กเสริมจะมีทั้งเหล็กล่างและเหล็กบน

1) คานต่อเนื่อง เหล็กเสริมหลักที่เป็นเหล็กล่างจะอยู่บริเวณช่วงกลางคาน ส่วนเหล็กเสริมหลักที่เป็นเหล็กบน จะอยู่บริเวณใกล้กับเสา
2) คานยื่นเหล็กเสริมหลักจะเป็นเหล็กบนตลอดช่วงคาน และจะต้องฝังเข้าไปในคานช่วงใน หรือในเสาให้มีความยาวเพียงพอที่จะไม่ทำให้หน่วยแรงยึดเหนี่ยวเกิดขึ้นจริงมากกว่าที่ยอมให้
3) ระยะห่างของเหล็กเสริมวัดจากผิวเหล็กถึงผิวเหล็ก ต้องไม่น้อยกว่า 2.5 ซม.
4) กรณีเหล็กเสริมมากกว่า 1 ชั้น ระยะช่องว่างระหว่างผิวเหล็กแต่ละชั้น จะต้องไม่น้อยกว่า 2.5 ซม. ไม่มากกว่า 2.5 ซม. และต้องเรียงเหล็กแต่ละชั้นให้ตรงกัน
5) ปลายของเหล็กเสริม จะต้องเสริมให้เลยตำแหน่งที่ไม่ได้รับแรง เป็นระยะไม่น้อยกว่าความลึกของคาน หรือ 12 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม และจะต้องงอปลายเหล็กด้วย
6) เหล็กเสริมสำหรับโมเมนต์บวก ต้องยื่นเข้าไปในที่รองรับเสาหรือคานหลักไม่น้อยกว่า 15 ซม. เป็นจำนวนไม่น้อยกว่า 1 ใน 3 ของคานช่วงเดียว และไม่น้อยกว่า 1 ใน 4 ของคานต่อเนื่อง
7) เหล็กเสริมสำหรับโมเมนต์ลบ ไม่น้อยกว่า 1 ใน 3 จะต้องให้เลยจุดดัดกลับของโมเมนต์ เป็นระยะไม่น้อยกว่าความลึกของคาน

5.13.3 คำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

จากการออกแบบโดยวิธีทฤษฎีอีลาสติกในโมดูลการเรียนรู้ที่ 2 และการหาค่าความต้านทานแรงเฉือนของคาน ประกอบกับข้อกำหนดการจัดเหล็กเสริมในคาน เราสามารถนำมาคำนวณออกแบบขนาดและเหล็กเสริมเพื่อต้านทานหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักกระทำในคานได้อย่างปลอดภัย ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. หาค่าและชนิดของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับคาน		(w or P)	กก/ม., กก.
2. วิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นกับคาน		($^{-}M_{max}$, $^{+}M_{max}$)	กก.-ม.
3. หาค่าโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต		(M_C)	กก.-ม.
4. หาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงอย่างเดียว	เมื่อ	$M_C > M_{max}$ (A_S)	ซม.^{2}
5. หาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงและแรงอัด	เมื่อ	$M_C < M_{max}$ (A_S and As')	ซม.^{2}
6. วิเคราะห์ค่าแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นกับคาน		(V_{max})	กก.
7. หาค่าแรงเฉือนที่คอนกรีตรับได้โดยปลอดภัย		(V_C)	กก.
8. ออกแบบขนาดหน้าตัดและระยะห่างของเหล็กปลอกคาน		(S)	ซม.

5.14 ตัวอย่างโจทย์ระคนบทเรียนโมดูลที่ 5 การคำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

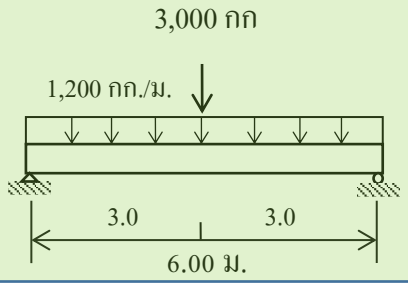
ตัวอย่างที่ 5.4 คานช่วงเดียวยาว 6.00 เมตร รับน้ำหนักบรรทุกแผ่สม่ำเสมอ 1,200กก./ม. (ไม่รวมน้ำหนักคาน) และน้ำหนักลงเป็นจุด 3,000 กก.ที่กึ่งกลางคาน ดังรูป

กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2}

ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

ก) ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

ข) ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด



วิธีทำ

ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$$n = \frac{Es}{Ec} = \frac{2.04\times10^6}{15{,}100\sqrt{fc'}} = 10.68 \quad = 11$$

$$k = \frac{1}{1+\frac{fs}{n.fc}} = \frac{1}{1+\frac{1{,}500}{11(72)}} \quad = 0.345$$

$$j = 1-\frac{k}{3} = 1-\frac{0.345}{3} \quad = 0.885$$

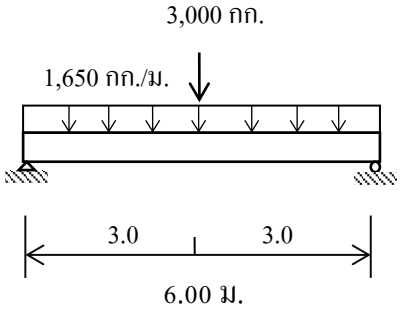
$$R = \frac{1}{2} fc.k.j = 0.5\ (72)\ 0.345\ (0.885) = 10.99 \text{ กก./ซม.}^2$$

ก) ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

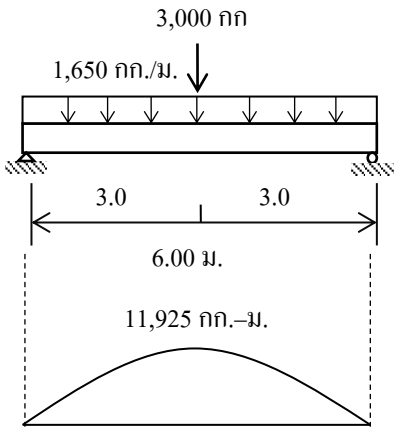
สมมติขนาดคาน : 0.25x0.75 ม. (ความลึกต่ำสุดสำหรับคานช่วงเดียว : *L/16*)

น้ำหนักคาน : 0.25x0.75x2,400 = 450 กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกรวม (*w*) = 1,200 + 450 => 1,650 กก./ม.



วิเคราะห์โครงสร้าง



Uniform load : $M_{max} = wL^2/8$

Point load : $M_{max} = PL/4$

Moment max. at center

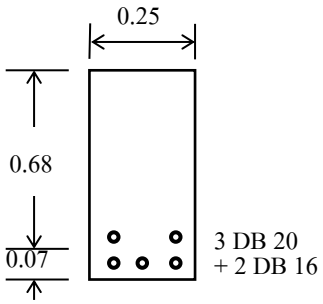
โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต :*Mc*	ความลึกประสิทธิผล (*d*) ที่ต้องการ
$Mc = Rbd^2 = 10.99(0.25)68^2$ = 12,704.44 กก.–ม. > M_{max} *ok*	$d = \sqrt{\frac{M_{max}}{Rb}} = \sqrt{\frac{11{,}925\times100}{10.99\times25}}$ = 65.94 ซม. < 68.0 ซม. *ok*

ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง : *As*

$$As = \frac{M_{max}}{fs.jd} = \frac{11{,}925\times100}{1{,}500(0.885)68}$$

= 13.25 ซม.^{2}

เลือก : 3 DB 20 + 2 DB 16 (*As* = 13.44 ซม.^{2})



การออกแบบโดยใช้วิธี Trial and error

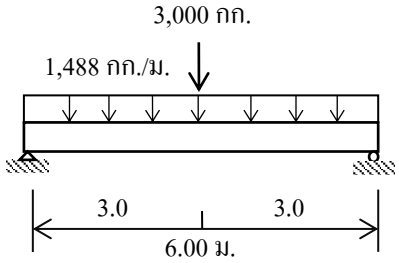
R (กก./ซม.^{2})	*b* (ม.)	*d* (ซม.)	$Mc = Rbd^2$ (กก.–ม.)
10.99	0.25	58	9,242.59 < M_{max}
		63	10,904.82 < M_{max}
		68	12,704.44 > M_{max}

ข) ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

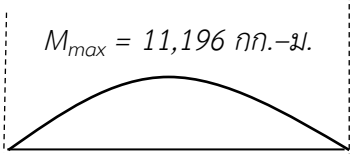
สมมติขนาดคาน : 0.20x0.60 ม. (ความลึกต่ำสุดคานช่วงเดียว : *L/16*)

น้ำหนักคาน : 0.20x0.60x2,400 = 288 กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกรวม (*w*) = 1,200 + 288 => 1,488 กก./ม.



วิเคราะห์โครงสร้าง :



โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : *Mc*

$$Mc = Rbd^2 = 10.99(0.20)53^2$$

= 6,162.94 กก.–ม. < M_{max} : ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

เหล็กเสริมรับแรงดึง : *As*

$$As_1 = \frac{Mc}{fs.jd} = \frac{6{,}162.94\times100}{1{,}500(0.885)53} = 8.76 \text{ ซม.}^2$$

$$As_2 = \frac{M_{\max} - M_C}{fs(d-d')} = \frac{5{,}033.06\times100}{1{,}500(53-5)} = 6.99 \text{ ซม.}^2$$

$$As = As_1 + As_2 = 15.75 \text{ ซม.}^2$$

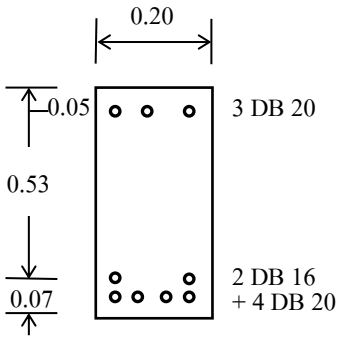
เลือก : 4 DB 20 + 2 DB 16 (As = 8.04 ซม.^{2})

เหล็กเสริมรับแรงอัด : As'

$$As' = \frac{1}{2}As_2\frac{(1-k)}{(k-\frac{d'}{d})} = \frac{1}{2}(6.99)\frac{(1-0.345)}{(0.345-\frac{5}{34})}$$

= 9.13 ซม.^{2}

เลือก : 3 DB 20 (As = 9.42 ซม.^{2})

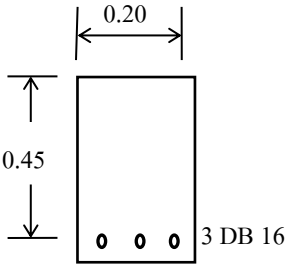


2. จงคำนวณหาความต้านทานโมเมนต์ดัดปลอดภัยของคานเสริมเหล็ก ดังรูป

กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2} n = 11

ใช้ข้อกำหนดตามมาตรฐาน ว.ส.ท.

ก)



วิธีทำ

As = 6.03 ซม.^{2}

$$\rho = \frac{As}{bd} = \frac{6.03}{(20)45} = 0.0067$$

$$k = \sqrt{(\rho n)^2 + 2\rho n} - \rho n = 0.317$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 0.894$$

$$kd = (0.317 \times 0.45) = 14.275$$

ตรวจสอบหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม : สมมติ fc เท่ากับหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (fc = 0.45fc')

$$fs = nfc\frac{d-kd}{kd} = 11(72)\left[\frac{45-14.275}{14.275}\right]$$

= 1,704.67 กก./ซม.^{2} > f_{allow}

หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมเกินกว่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (> 0.50fy) ดังนั้น ตรวจสอบกำลังอัดของคอนกรีต : สมมติให้ fs = 0.50fy = 1,500 กก./ซม.^{2}

$$fc = fs\frac{kd}{d-kd} \times \frac{1}{n} = 1{,}500\left[\frac{14.275}{45-14.275}\right]\frac{1}{11}$$

= 63.35 กก./ซม.^{2} < fc_{allow} ใช้ได้

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : $Mc = \frac{1}{2}\, fckjbd^2$

$$= \frac{1}{2}(63.35)0.317(0.894)0.20(45)^2$$

= 3,635.53 กก.-ม.

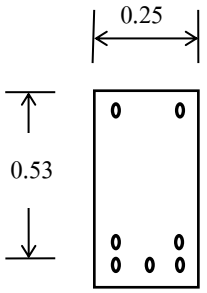
โมเมนต์ที่ต้านทานโดยเหล็กเสริม : $Ms = Asfs.jd$

$$= 6.03(1{,}500)0.894(0.45)$$

= 3,638.80 กก.-ม.

โมเมนต์ต้านทานโดยปลอดภัยของคานเท่ากับ 3,635.53 *กก.-ม.*

ข)



วิธีทำ

As = 10.05 ซม.^{2}

$$\rho = \frac{As}{bd} = \frac{10.05}{(25)53} = 0.00758$$

As' = 4.02 ซม.^{2},

$$\rho' = \frac{As'}{bd} = \frac{4.02}{(25)53} = 0.00303$$

$$k = \sqrt{2n(\rho + \frac{2\rho' d'}{d}) + n^2(\rho + 2\rho')^2} - n(\rho + 2\rho') = 0.30$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 0.90$$

ตรวจสอบหน่วยแรงที่เกิดขึ้น : สมมติ fc เท่ากับหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ ($fc = 0.45fc'$)

หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริม : $fs = nfc\frac{1-k}{k} = (11\times 72)\frac{1-0.30}{0.30}$

= 1,848 กก./ซม.^{2} > f_{allow}

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงอัด : $fs' = 2\,fs\frac{kd-d'}{d-kd}$

= 881.4 กก./ซม.^{2} < fs_{allow}

ดังนั้นโมเมนต์ต้านทานโดยปลอดภัยของคานถูกควบคุมโดยโมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีตร่วมกับเหล็กเสริมรับแรงอัด : สมมติให้ $fs = 0.50fy$ = 1,500 กก./ซม.^{2}

$$fc = fs\frac{kd}{d-kd}\times\frac{1}{n} = 1{,}500\left[\frac{14.275}{45-14.275}\right]\frac{1}{11}$$

= 58.44 กก./ซม.^{2} < fc_{allow} ใช้ได้

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีตร่วมกับเหล็กเสริมรับแรงอัด

$$M = C.jd + As'(d-d') = \frac{1}{2}(fc)kd.b(jd) + As'(d-d')$$

$$= \frac{1}{2}(58.44)(0.30\times 53)0.25(0.9\times 53) + 4.02(881.40)(0.53-0.05)$$

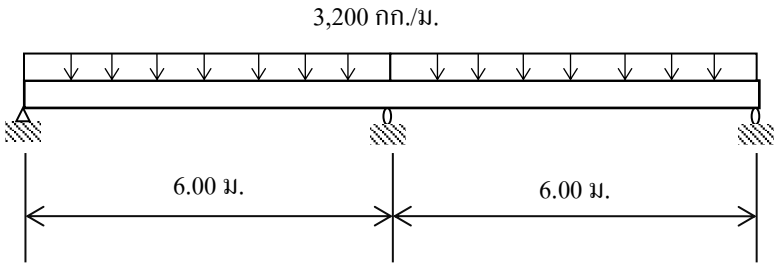
= 5,540.33 + 1,700.74

= 7,241.07 กก./ซม.^{2}

3. จงออกแบบคานต่อเนื่องรับน้ำหนักบรรทุกแผ่สม่ำเสมอ 3,200กก./ม. (ไม่รวมน้ำหนักคาน) ดังรูป

กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2}

ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ



วิธีทำ

ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

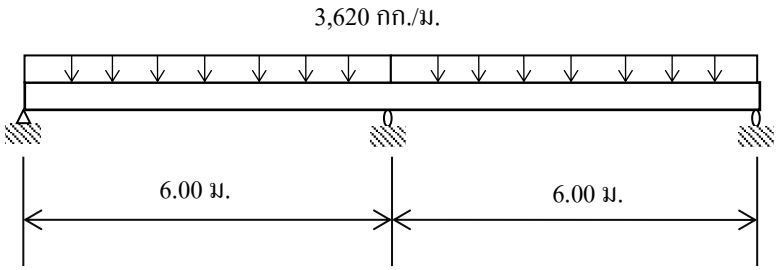
n = 11, k = 0.345, j = 0.885, R = 10.99 กก./ซม.^{2}

สมมติขนาดคาน : 0.25x0.70 ม. (ความลึกต่ำสุดคานช่วงเดียว : *L/16*)

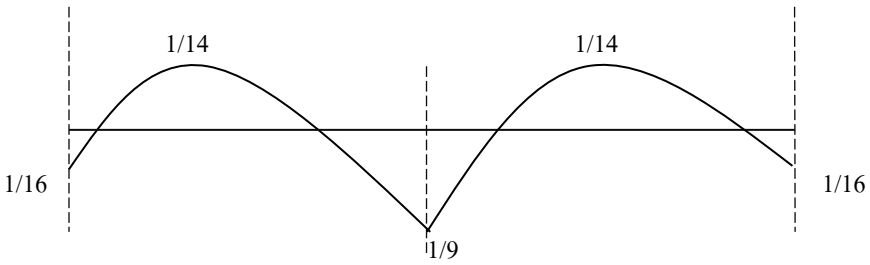
น้ำหนักคาน : 0.25x0.70x2,400 = 420 กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกรวม (*w*) = 3,200 + 420 => 3,620 กก./ม.

วิเคราะห์โครงสร้าง



$M = Cof.\ (wL^2)$



ค่าโมเมนต์สูงสุด : M_{max}

$$^{+}M_{\max} = \frac{1}{14}wL'^2 = \frac{1}{14}(3{,}620)6.0^2 = 9{,}308.57 \text{ กก.–ม.}$$

$$^{-}M_{\max} = \frac{1}{10}wL'^2 = \frac{1}{10}(3{,}620)6.0^2 = 14{,}480.00 \text{ กก.–ม.}$$

และ $$^{-}M = \frac{1}{16}wL'^2 = \frac{1}{16}(3{,}620)6.0^2 = 8{,}145.00 \text{ กก.–ม.}$$

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : $Mc = Rbd^2 = 10.99(0.25)63^2$

= 10,884.98 กก.–ม.

Mc > M_{max} : ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

Mc < M_{max} : ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

พิจารณาช่วงคานที่มีค่าโมเมนต์เป็นบวก :

Mc = 10,884.98 กก.–ม., $^{+}M_{max}$ = 9,308.57 กก.–ม.

Mc > M_{max} : ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

$$As = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{9308.57\times100}{1{,}500(0.885)63} = 11.14 \text{ ซม.}^2$$

เลือก : 2 DB 20 + 3 DB 16 (*As* = 12.31 ซม.^{2})

พิจารณาช่วงคานที่มีค่าโมเมนต์เป็นลบ (คานช่วงใน):

Mc = 10,884.98 กก.–ม., $^{-}M_{max}$ = 14,480.00 กก.–ม.

Mc < M_{max} : ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

$$As_1 = \frac{Mc}{fs.jd} = \frac{10{,}884.98\times100}{1{,}500(0.885)63} = 13.03 \text{ ซม.}^2$$

$$As_2 = \frac{M_{\max} - M_C}{fs(d-d')} = \frac{3595.02\times100}{1{,}500(63-7)} = 4.28 \text{ ซม.}^2$$

$$As = As_1 + As_2 = 17.31 \text{ ซม.}^2$$

เลือก : 6 DB 20 (*As* = 18.84 ซม.^{2})

$$As' = \frac{1}{2}As_2\frac{(1-k)}{(k-\frac{d'}{d})} = \frac{1}{2}(4.28)\frac{(1-0.345)}{(0.345-\frac{7}{63})} = 5.99 \text{ ซม.}^2$$

เลือก : 2 DB 20 (*As* = 6.28 ซม.^{2})

พิจารณาช่วงคานที่มีค่าโมเมนต์เป็นลบ (คานช่วงริมนอก) :

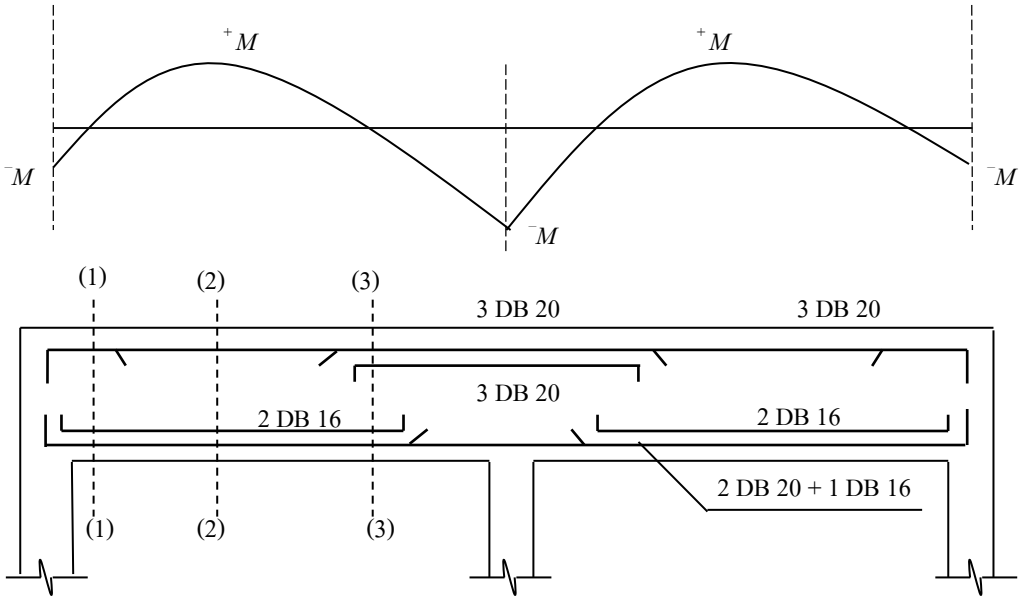
Mc = 10,884.98 กก.–ม., $^{-}M_{max}$ = 8,145.00 กก.–ม.

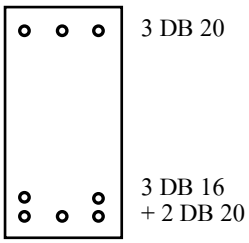
$Mc > M_{max}$: ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

$$As = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{8{,}145.00 \times 100}{1{,}500(0.885)63} = 4.08 \text{ ซม.}^2$$

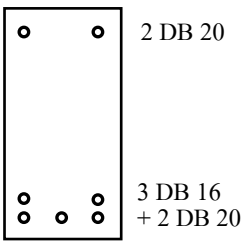
เลือก : 2 DB 16 + 1 DB 12 (As = 5.15 ซม.^{2})

รายละเอียดการเสริมเหล็ก

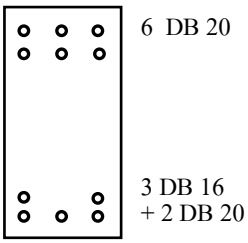




(1)–(1)



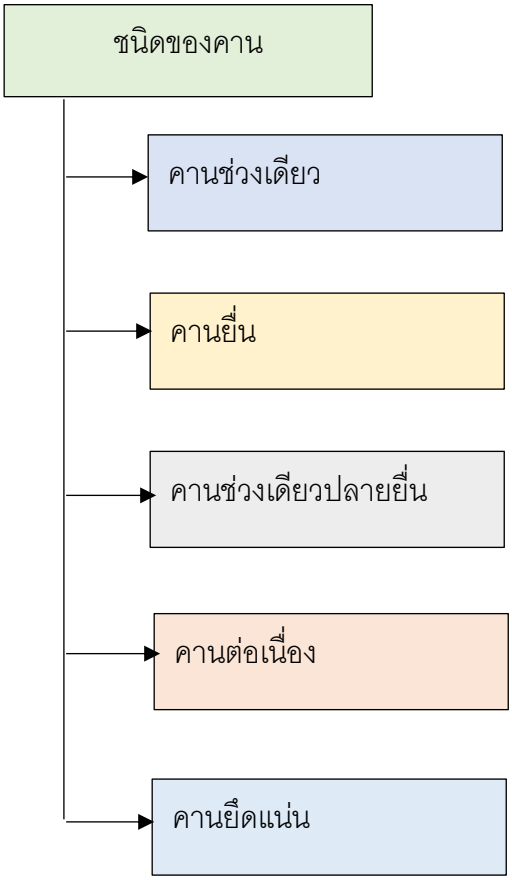
(2)–(2)



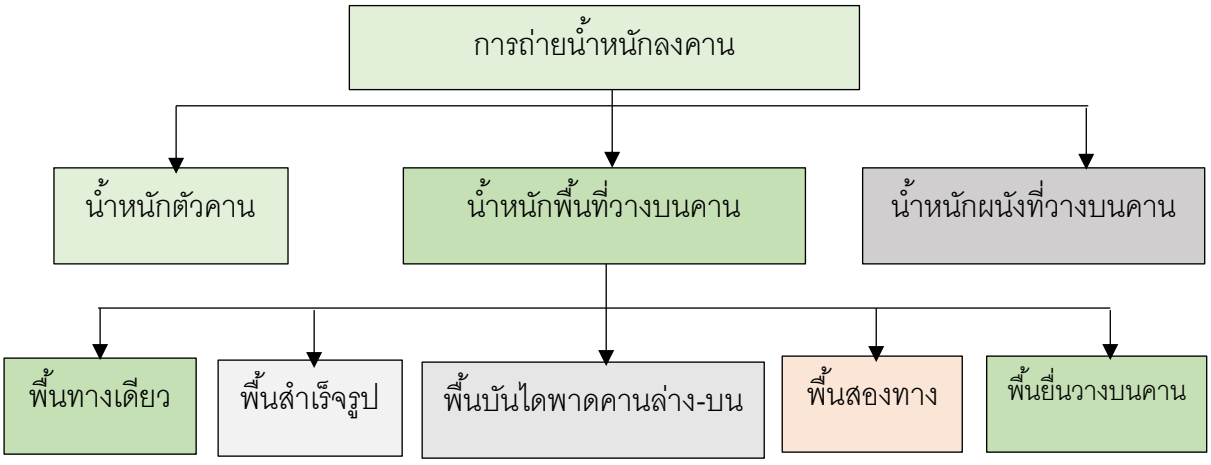
(3)–(3)

สรุป การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. ชนิดของคาน



2. การถ่ายน้ำหนักลงคาน



3. ข้อกำหนดในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

4. ขั้นตอนการคำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

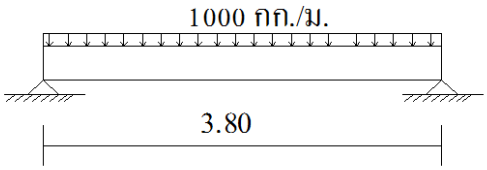
5. การเขียนรูปขยายแสดงหน้าตัดและรูปตัดตามยาวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

คำชี้แจง จากรูปที่ 1 รูปเพื่อการวิเคราะห์ที่กำหนดให้ จงตอบคำถามต่อไปนี้ลงในช่องว่างและขีด ✓



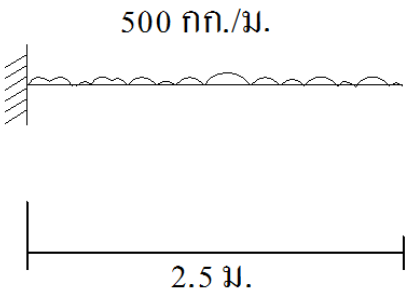
1. คานดังรูปจัดเป็นโครงสร้างประเภท _____
2. โมเมนต์ดัดสูงสุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง ☐ ฐานรองรับ ☐ กึ่งกลางความยาวคาน
3. ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด (M_{max}) ที่เกิดขึ้น มีค่าเป็น ☐ บวก ☐ ลบ
4. หน้าตัดคานเกิดแรงเค้นอัดสูงสุดที่ ☐ ขอบผิวบนคาน ☐ ขอบผิวล่างคาน
5. ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด (M_{max}) คำนวณจากสมการ _____
6. ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด (M_{max}) ที่คำนวณได้ มีค่า =_____กก.-ม.
7. ค่าแรงเฉือนสูงสุด (V_{max}) คำนวณจากสมการ _____
8. ค่าแรงเฉือนสูงสุด (V_{max}) ที่คำนวณได้ มีค่า =_____กก.
9. ตำแหน่งที่เกิด M_{max} เสริมเหล็กรับแรงดึงที่ ☐ ชิดผิวบนคาน ☐ ชิดผิวล่างคาน
10. ตำแหน่งที่เกิด M_{max} เสริมเหล็กรับแรงอัดที่ ☐ ชิดผิวบนคาน ☐ ชิดผิวล่างคาน

แบบฝึกหัดหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

ข้อ 1 จากรูปเพื่อการวิเคราะห์ที่กำหนดให้ จงตอบคำถามต่อไปนี้ลงในช่องว่าง



1.1 เป็นคานชนิด _____

1.2 เกิดโมเมนต์ดัดมากที่สุด ณ ตำแหน่ง ☐ แถบฐานรองรับ ☐ แถบกลางช่วงคาน

1.3 เกิดค่า M_{max} เป็น ☐ บวก ☐ ลบ

1.4 หน้าตัดคานเกิดแรงอัดมากสุดที่ ☐ ขอบผิวบนคาน ☐ ขอบผิวล่างคาน

1.5 สูตรสำเร็จค่า M_{max} คือ _____ กก.-ม.

1.6 แทนค่าสูตรค่า M_{max} =_____=_____ กก.-ม.

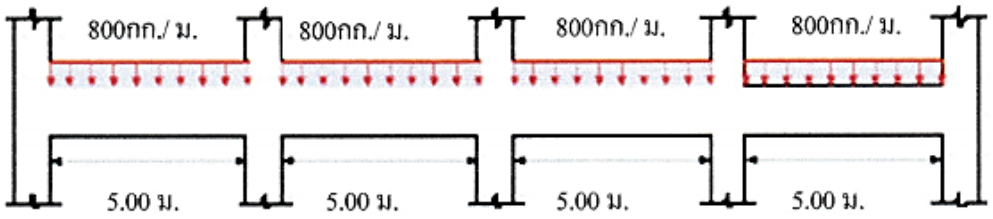
1.7 สูตรสำเร็จ ค่า V_{max} คือ _____ กก.

1.8 แทนค่าสูตรค่า V_{max} =_____=_____กก.

1.9 ตำแหน่งที่เกิด M_{max} เสริมเหล็กรับแรงดึงที่ ☐ ชิดผิวบนคาน ☐ ชิดผิวล่างคาน

1.10 ตำแหน่งที่เกิด M_{max} เสริมเหล็กรับแรงอัดที่ ☐ ชิดผิวบนคาน ☐ ชิดผิวล่างคาน

2 จากรูปที่ 3. รูปเพื่อการวิเคราะห์ที่กำหนดให้ จงตอบคำถามต่อไปนี้ลงในช่องว่าง



2.1 เป็นคานชนิด _____

2.2 เกิดโมเมนต์ดัดมากที่สุด ณ ตำแหน่ง ☐ แถบฐานรองรับ ☐ แถบกลางช่วงคาน

2.3 เกิดค่า M_{max} เป็น ☐ บวก ☐ ลบ

2.4 หน้าตัดคานเกิดแรงอัดมากสุดที่ ☐ ขอบผิวบนคาน ☐ ขอบผิวล่างคาน

2.5 สูตรสำเร็จค่า M_{max} คือ _____ กก.-ม.

2.6 แทนค่าสูตรค่า M_{max} =_____=_____ กก.-ม.

2.7 สูตรสำเร็จ ค่า V_{max} คือ _____ กก.

2.8 แทนค่าสูตรค่า V_{max} =_____=_____กก.

3.9 ตำแหน่งที่เกิด M_{max} เสริมเหล็กรับแรงดึงที่ ☐ ชิดผิวบนคาน ☐ ชิดผิวล่างคาน

2.10 ตำแหน่งที่เกิด M_{max} เสริมเหล็กรับแรงอัดที่ ☐ ชิดผิวบนคาน ☐ ชิดผิวล่างคาน

รายการคำนวณ

.....

.....

.....

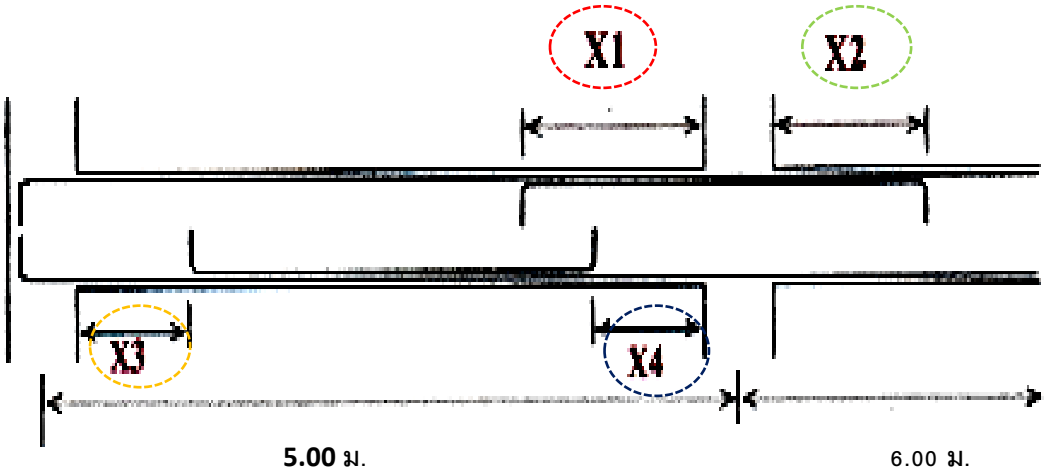
.....

.....

.....

3. จากที่กำหนดให้ จงตอบคำถามต่อไปนี้ลงในช่องว่าง

3.1 เสริมเหล็กแบบเหล็กเสริมพิเศษ



1. ระยะ X1 =_____=_____=_____ม

2. ระยะ X2 =_____=_____=_____ม

3. ระยะ X3 =_____=_____=_____ม

4. ระยะ X4 =_____=_____=_____ม

รายการคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

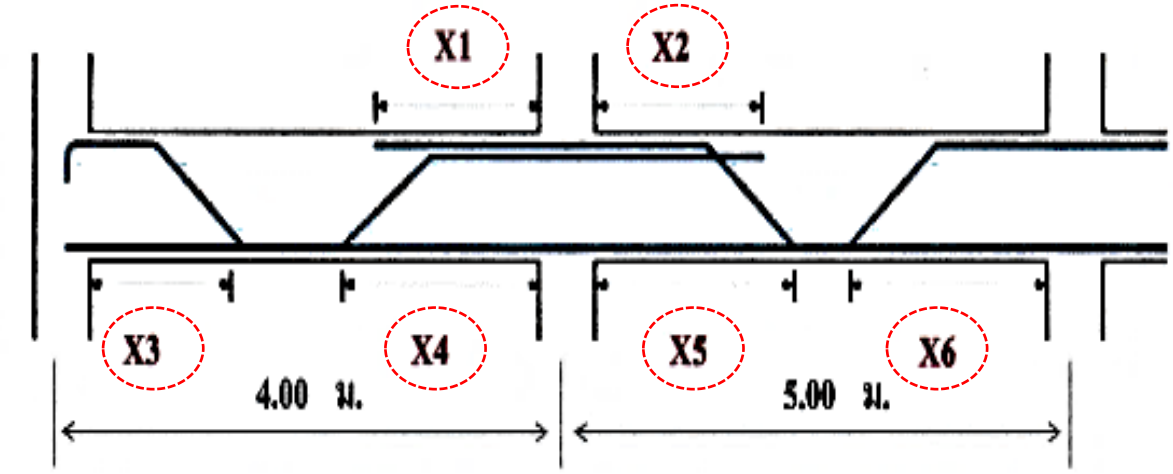
.....

.....

.....

.....

3.2 เสริมเหล็กแบบเหล็กคอม้า



5. ระยะ X1 =_____=_____=_____ม

6. ระยะ X2 =_____=_____=_____ม

7. ระยะ X3 =_____=_____=_____ม

8. ระยะ X4 =_____=_____=_____ม

9. ระยะ X5 =_____=_____=_____ม

10. ระยะ X6 =_____=_____=_____ม

รายการคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ใบงานที่ 5.1 แบบฝึกหัด

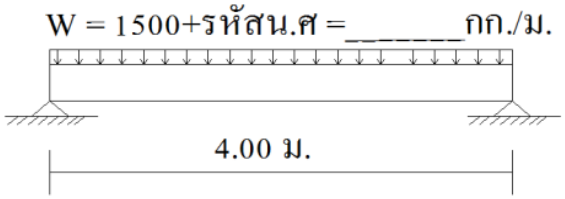
โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

คำชี้แจง ให้นักศึกษาคำนวณและออกแบบบันไดต่อไปนี้

จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กให้ประหยัดโดยเติมคำลงช่องว่างที่กำหนดให้สมบูรณ์

จากรูปเพื่อวิเคราะห์ กำหนดให้ fc' = 100+รหัส น.ศ. =_____ กก./ซม.^{2} , fs = 1500 กก./ซม.^{2}

R = 9.00 กก./ซม.^{2} K = 0.30 , j = 0.80 คอนกรีตหุ้มเหล็ก 5 ซม. มาตรฐาน วสท.



1. ออกแบบขนาดคาน

สมมุติ เลือกความลึก t =_____=_____=_____ใช้ _____ม.

ความกว้าง b =_____=_____=_____ใช้ _____ม.

เลือกขนาดคาน _____

2. คานเกิดโมเมนต์ดัดกระทำสูงสุด ชนิดคาน _____

M_{max} =_____ =_____=_____ กก.-ม.

3. ค่าความลึกประสิทธิผลที่ออกแบบ d =_____=_____ซม.

4.ค่าโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีตรับแรงอัด สูตร M_C =_____

M_C =_____=_____ กก.-ม.

5. ค่าโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กรับแรงอัด สูตร M' =_____

M' =_____ _=_____กก.-ม.

6. พื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงดึงเท่าคอนกรีต สูตร As_1 =_____

As_1 =_____ =_____ซม.^{2}

7. พื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงดึงเท่าโมเมนต์ส่วนเกิน สูตร As_2 =_____

As_2 =_____=_____ ซม.^{2}

8.พื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงดึง สูตร As = _____

As =_____=_____ซม.^{2}

เลือกเหล็กเสริมรับแรงดึง _____ (As = _____>_____ซม.^{2})

9. พื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงอัด สูตร As' =_____

สูตร fs' =_____

แทนค่า fs' =_____=_____กก./ซม.^{2}

แทนค่า As' =_____=_____ซม.^{2}

เลือกเหล็ก _____ (As = _____>_____ซม.^{2}) ปลอดภัย

10.ค่าแรงเฉือนมากสุดที่เกิดในหน้าตัดคาน สูตร V =_____

แทนค่า V =_____ =_____กก.

11.ค่าแรงเฉือนที่คานคอนกรีตรับได้ สูตร Vc =_____

แทนค่า Vc =_____ =_____กก.

12. ค่าแรงเฉือนที่เกินจากคอนกรีตรับได้ สูตร V' =_____

แทนค่า V' =_____ =_____กก.

13. หาระยะเหล็กปลอกรับแรงเฉือนส่วนเกิน เลือกขนาดเหล็กปลอก RB 6 มม.

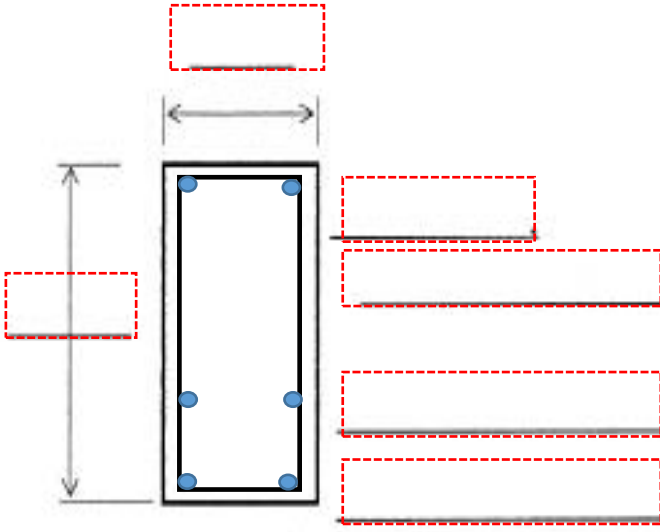
สูตร S = _____

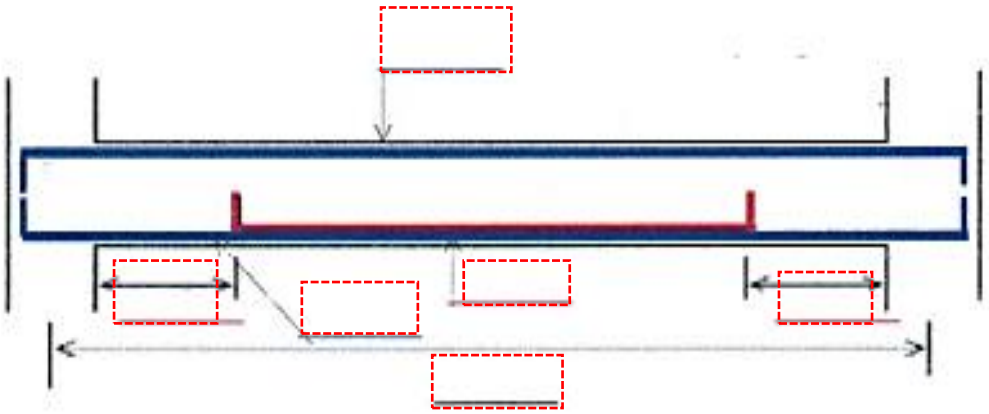
แทนค่า S =_____=_____ซม.

ข้อกำหนด วสท. คือ _____=_____=_____ >_____ใช้_____ม.

ออกแบบเหล็กปลอก _____@_____

14. เขียนแสดงขนาดคานคอนกรีตเสริมเหล็กตัดที่กึ่งกลางคาน (เติมตัวเลขหรือตัวอักษรในช่องว่าง)





รายการคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

รายการคำนวณ

ใบงานที่ 5.2 กิจกรรมกลุ่ม

โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

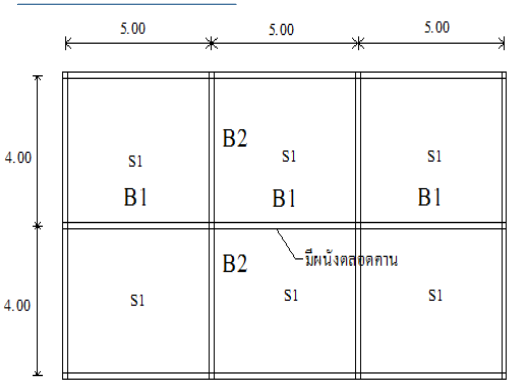
คำชี้แจง

1. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มละ 3-5 คน คัดลอกเนื้อหาโมดูล 6 เรื่อง การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำเป็นรายงานกลุ่ม

2.ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มละ 3-5 คน ทำการบ้านเรื่อง การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำเป็นรายงานกลุ่ม (รหัสนักศึกษาใช้ตัวแทนกลุ่ม)

ตอนที่ 1. จงเติมคำลงช่องว่างที่กำหนดให้สมบูรณ์และถูกต้อง (10 คะแนน)

1. จากรูปที่1. รูปแปลนที่กำหนดให้ จงคำนวณหาน้ำหนักที่ถ่ายลงคาน B1 ต่อไปนี้ลงในช่องว่าง



กำหนดให้

คาน ทุกตัวมีขนาด 0.20x0.50 ม.

พื้น S1 หนา 0.12 ม. มีน้ำหนักจร 200 กก.ม.^{2}

ผนังก่ออิฐมอญ ครึ่งแผ่นสูง 3.00 ม.

1.1 B1 เป็นคานชนิด _____

1.2 น้ำหนักจากตัวคานถ่ายลง B1 =_____=_____กก./ม.

1.3 น้ำหนักจากผนังถ่ายลง B1 =_____=_____กก./ม.

1.4 น้ำหนักของพื้นต่อ 1 **ม.**^{2} DL =_____=_____กก./ม.

LL =_____=_____กก./ม.

W =_____=_____กก./ม.

1.5 สูตรถ่ายน้ำหนักพื้น ทางด้านยาว คือ _____

1.6 ถ่ายน้ำพื้น S1 ลงบนคาน B1 =_____=_____กก./ม.

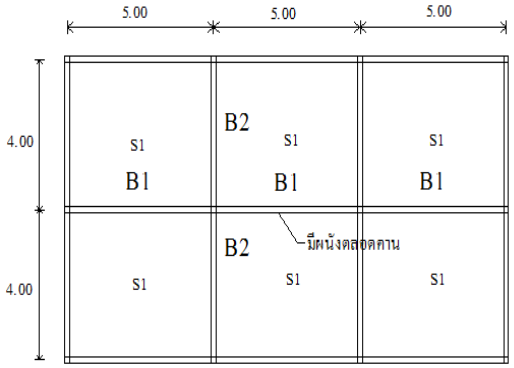
1.7 สูตรถ่ายน้ำหนักพื้น ทางด้านสั้น คือ _____

1.8 ถ่ายน้ำหนักพื้น S1 ลงบนคาน B2 =_____=_____กก./ม.

ตอนที่ 2. จงออกแบบคาน B2 ให้ประหยัดโดยเติมคำลงชิ่งว่างที่กำหนดให้สมบูรณ์จากรูปเพื่อวิเคราะห์

กำหนดให้ fc'= 100+รหัส น.ศ =_____กก./ซม.^{2} , fs = 1200 กก./ซม.^{2}

R = 9.00 กก./ซม.^{2} K = 0.30 , j = 0.80 คอนกรีตหุ้มเหล็ก 3 ซม. มาตรฐาน วสท.



กำหนดให้

คาน ทุกตัวมีขนาด 0.20x0.50 ม.

พื้น S1 หนา 0.12 ม. มีน้ำหนักจร 200 กก.ม.^{2}

ผนังก่ออิฐมอญ ครึ่งแผ่นสูง 3.00 ม.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

รายการคำนวณ

รายการคำนวณ

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์
วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ/สกุล.....เลขที่.....กลุ่ม.....ชั้น/ปี.....

ลำดับที่	พฤติกรรมที่ประเมิน	ระดับคะแนน					หมายเหตุ
		5	4	3	2	1	
1	ความตรงต่อเวลา						**ความหมายของระดับคะแนน** ระดับการปฏิบัติมาก = 5 ระดับการปฏิบัติดี = 4 ระดับการปฏิบัติปานกลาง = 3 ระดับการปฏิบัติน้อย = 2 ระดับการปฏิบัติน้อย = 1
2	ความมีระเบียบวินัย						
3	ความซื่อสัตย์สุจริต						
4	ความสนใจใฝ่รู้						
5	ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์						
6	การละเว้นสิ่งเสพติดและการพนัน						
7	ความรับผิดชอบต่อหน้าที่และงานที่ได้รับมอบหมาย						การสรุปผล ระดับดีมาก = 41-50 ระดับดี = 31-40 ระดับปานกลาง = 21-30 ระดับน้อย = 11-20 ระดับปรับปรุง = 0-10
8	มารยาทไทย						
9	ความสามัคคีในหมู่คณะ						
10	ความมีจิตสำนึกที่เห็นแก่ส่วนรวม						
รวมคะแนน							
รวมคะแนนทั้งหมด							

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ประเมิน

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์
วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายบุคคล

ที่	คะแนน / ชื่อ-สกุล	การรับฟังความคิดเห็น	การเสนอความคิดเห็น	การยอมรับคนอื่น	การสร้างบรรยากาศในกลุ่ม	รวมคะแนน	ระดับการมีส่วนร่วม
		5	5	5	5	20	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

2. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายกลุ่ม

คะแนน / กลุ่ม	การนำเสนอผลงาน		การบันทึกผลงาน			รวมคะแนน	ระดับคุณภาพของผลงาน
	ขั้นนำ	ขั้นเสนอ	ขั้นสรุป	ถูกต้อง	เรียบร้อย		
	10	10	10	10	10	50	
1							
2							
3							
4							
5							

ระดับของคะแนนย่อย 5 = มากที่สุด 4 = ค่อนข้างมาก 3 = ปานกลาง 2 = ค่อนข้างน้อย 1 = น้อยที่สุด

เกณฑ์การประเมินผล 20-15 = มาก 8-14 = ปานกลาง 7-1 = น้อย

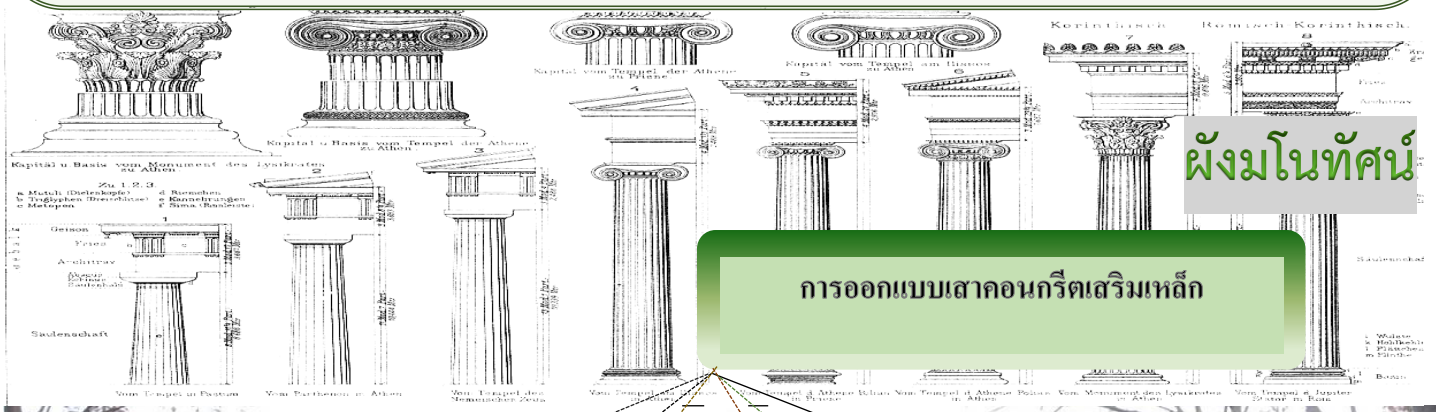
ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ประเมิน

โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Column Design)



ผังมโนทัศน์

การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบสั้น

พฤติกรรมของเสา

การรับน้ำหนักของเสา

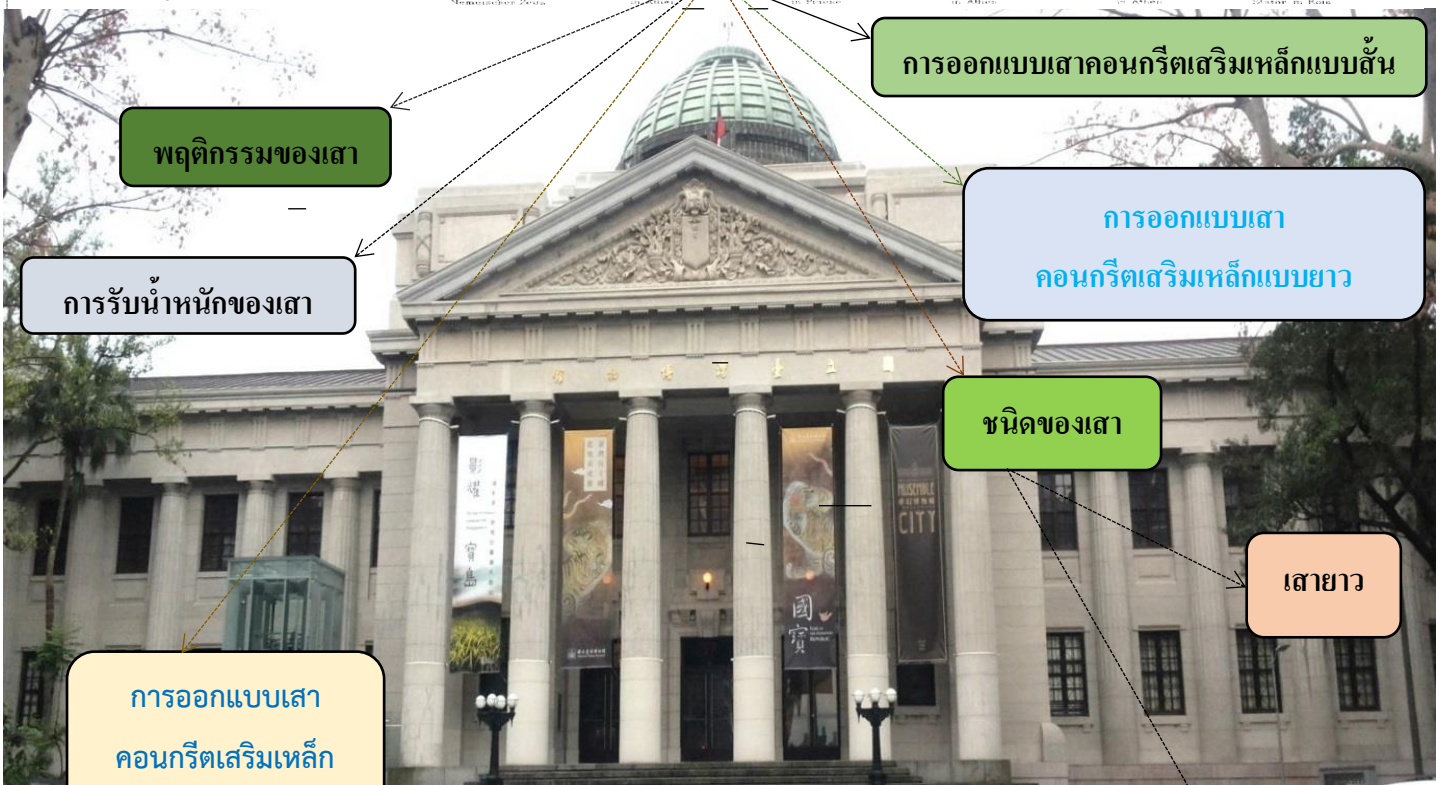
การออกแบบเสา
คอนกรีตเสริมเหล็กแบบยาว

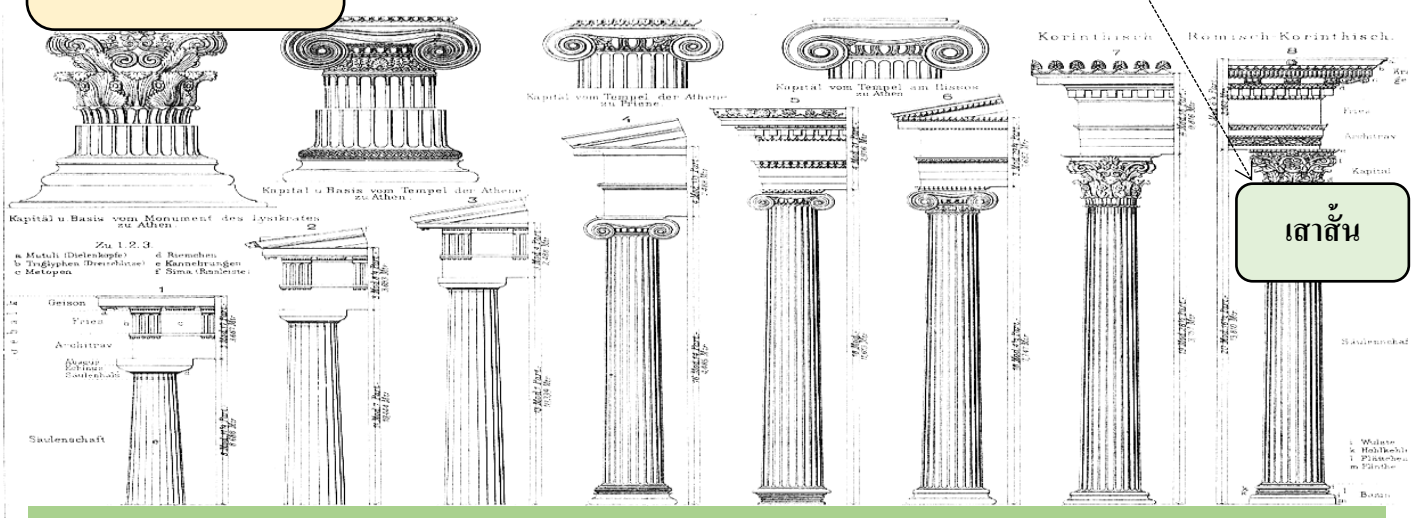
ชนิดของเสา

เสายาว

การออกแบบเสา
คอนกรีตเสริมเหล็ก

เสาสั้น





National Taiwan Museum, TAIWAN **โดย กัมปนาท บุญกัน, 2558**

บทนำ

เสา (column) เป็นองค์อาคารส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งของอาคารในแนวดิ่ง ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกจากคาน แล้วถ่ายน้ำหนักลงเสาจากชั้นบนสุดลงสู่ชั้นล่างลงไป จนถึงเสาตอม่อและไปสู่ฐานราก โดยทั่วไปเสาจะทำหน้าที่รับแรงอัดในแต่ละชั้น แต่บางกรณีเสาอาจรับแรงดัดร่วมด้วย เสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบ่งตามพฤติกรรมในการรับน้ำหนักที่ทำให้เกิดการวิบัติแตกต่างกันได้เป็นสองประเภท คือ เสาสั้น (Short column) และ เสายาวหรือเสาชะลูด (Slender column) มีเหล็กเสริมหลักที่เรียกว่าเหล็กยืนตามความยาวเสาเพื่อช่วยรับน้ำหนักร่วมกับคอนกรีต

Column is an important part of the building in a vertical building. Serves to support the load from the beam And transfer the weight to the post from the top to the bottom To the stanchion and to the foundation In general, the pole will bear the compressive strength in each layer. But in some cases, the pole may also bear the bending force Reinforced concrete columns are divided according to the load bearing behavior that can cause different types of catastrophes into two types: short columns and long columns or slender columns. Poles to help support weight with concrete

คำแนะนำขั้นตอนตอนการใช้บทเรียน
โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
((Reinforced Concrete of Column Design)

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล

↓

ศึกษาคำแนะนาการใช้บทเรียนโมดูล

↓

ศึกษาจุดประสงค์ของบทเรียนโมดูล

↓

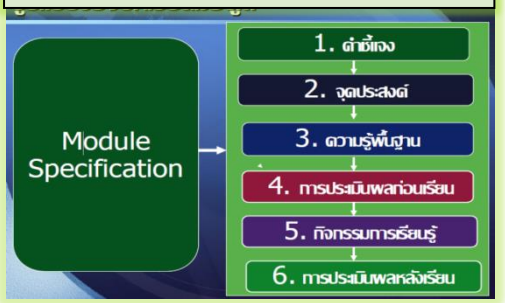
ทดสอบก่อนเรียน

↓

ศึกษาเนื้อหาในบทเรียนโมดูล ทำกิจกรรมการเรียน บังคับ บทเรียนโมดูล และทดสอบหลังเรียน

↓ ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80

เรียนบทเรียนโมดูลหน่วยต่อไป



↓ ไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80

เรียนซ่อมเสริมโดยใช้โมดูลเดิม โดยนักเรียนเลือกปฏิบัติดังนี้

1. ปรึกษาครูผู้สอน
2. ให้เพื่อนช่วย
3. เพิ่มเวลาในการศึกษาบทเรียน

องค์ประกอบบทเรียน

โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Column Design

1. ผังมโนทัศน์
2. ผังคำแนะนำการใช้บทเรียนโมดูล
3. องค์ประกอบโมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. คู่มือนักเรียน ด้านคำนะนำการใช้บทเรียน
5. บทนำ โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

6. ขอบเขตของเนื้อหา โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
7. ความรู้พื้นฐานของผู้เรียน
8. จุดประสงค์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรมจากการวิเคราะห์หลักสูตร
9. การประเมินผลก่อนเรียน
10. กิจกรรมจัดการเรียนการสอน

11. แบบทดสอบก่อนเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
12. แผนการจัดการเรียนรู้
13. เนื้อหาสาระ
14. บทสรุป

15. แบบทดสอบหลังโมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
16. ใบงานที่ 6.1 แบบฝึกหัด
17. ใบงานที่ 6.2 กิจกรรมกลุ่ม
18. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

คู่มือและคำแนะนำการใช้บทเรียน

โมดูลที่ 6 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Column Design)

คำชี้แจง: ผู้เรียนควรจะต้องมีความรู้พื้นฐานโดยผ่านการเรียน โมดูล 1-5 ก่อนมาเรียนโมดูลนี้

1. ผู้เรียน ทำความเข้าใจศึกษาการเรียนการสอนด้วย บทเรียนโมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. ผู้เรียน ทำแบบทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนก่อนเรียนโมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก จำนวน 10 ข้อ
3. ผู้เรียน ตรวจคำตอบจากแบบเฉลยการทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนก่อนเรียนโมดูลที่ 6 ที่ครูผู้สอนมอบให้
4. ผู้เรียน ศึกษาจุดประสงค์แต่ละตอนให้มีความเข้าใจ
5. ผู้เรียน รับเอกสารเนื้อหาสาระประกอบการเรียนบทเรียน โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก จากครูผู้สอน
6. ผู้เรียน ต้องเข้าร่วมกิจกรรมการจัดการเรียนการสอน ตามเอกสารประกอบการเรียนในบทเรียนแต่ละในโมดูลการเรียนรู้
7. กิจกรรมเลือก คือกิจกรรมที่มีไว้สำหรับผู้เรียนที่สอบประเมินผลไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80 โดยให้นักเรียนทำกิจกรรมเลือกตามจุดประสงค์ที่ไม่ผ่าน
8. ผู้เรียน ศึกษาทำความเข้าใจอย่างถี่ถ้วนในใบความรู้โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
9. ผู้เรียน ทำแบบฝึกการออกแบบและทำการคำนวณ โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
10. ผู้เรียน ทำแบบทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนหลังเรียน โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน
11. ผู้เรียนผ่านเกณฑ์ประเมินร้อยละ 75 สามารถเรียนบทเรียนโมดูลที่ 7 ต่อไปได้ แต่ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์ประเมินร้อยละ 75 ผู้เรียนต้องเรียนซ่อมเสริม
12. การเรียนซ่อมเสริม โดยผู้เรียนต้องศึกษากิจกรรมเลือกและทำแบบทดสอบหลังเรียนซึ่งเป็นแบบทดสอบชุดเดียวกับแบบทดสอบก่อนเรียนอีกครั้งจนกว่าจะผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75
14. ผู้เรียนจัดเก็บเอกสารและสื่อการเรียนตัวอย่างการคำนวณการสอนโมดูลทุกหน่วยให้เรียบร้อย

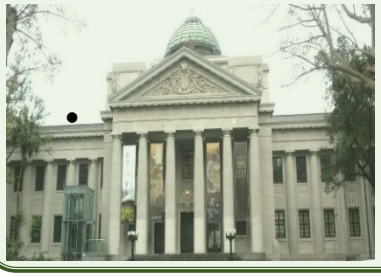
ขอบเขตของเนื้อหาการเรียนรู้

โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Column Design)

การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก การคำนวณเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาต่อไปนี้

- จำแนกชนิดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
- ลักษณะการรับน้ำหนักของเสา
- พฤติกรรมของเสาเมื่อน้ำหนักกระทำ
- คำนวณและออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
- คำนวณและออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบเสาสั้น
- เขียนแบบรูปขยายหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
- ตัวอย่างระคน การออกแบบฐานราก



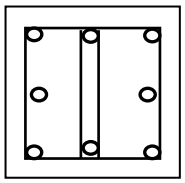
การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน
โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
(Reinforced Concrete of Column Design)

คำชี้แจง : การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน ให้ผู้เรียนทดสอบพื้นฐานความรู้ของตนเองก่อนเรียน

1. จงตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกนของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังรูป

กำหนดให้ f_c' = 250 กก./ซม.^{2} f_y = 3,000 กก./ซม.^{2}

ขนาดหน้าตัดเสา 0.40x0.40

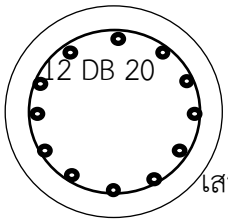


8 DB 25

2 ปลอก ϕ 9 มม.@ 0.40 ม.

2.จงตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักตามแนวแกนเท่ากับ 70,000 กก. และโมเมนต์ดัด (M) เท่ากับ 4,200 กก.–ม. ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังรูปได้ปลอดภัยหรือไม่

กำหนดให้ f_c' = 210 กก./ซม.^{2} f_y = 3,000 กก./ซม.^{2}



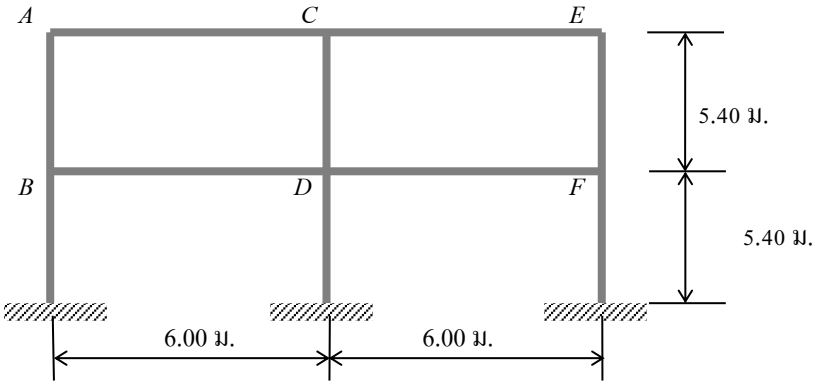
ปลอก ϕ 9 มม.@ 0.05 ม.

เสาปลอกเกลียวขนาด ϕ 0.40 ม.

3. จงหาค่าตัวคูณลดกำลังเสาชะลูด (R) ของเสาตัวกลาง CD ในโครงเฟรม ดังรูป เมื่อ ก) ปลายเสาไม่เกิดการเคลื่อนที่ และ ข) ปลายเสาเกิดการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง ปลายเสาถูกยึดรั้งไว้ไม่ให้หมุนทั้งสองปลาย

กำหนดให้ เสาโก่งแบบสองทาง และเสารับแรงอัดเป็นหลัก

ขนาดเสา 0.25x0.40 ม. และขนาดคาน 0.25x0.50 ม.



ผลการวิเคราะห์หลักสูตรด้านจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Column Design)

1. จุดประสงค์การเรียนรู้

1.1 เพื่อให้มีความความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.2 เพื่อให้มีทักษะในดารคำนวณเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

2. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

2.1 จำแนกชนิดของเสา ได้ถูกต้อง

2.2 อธิบายลักษณะการรับน้ำหนักของเสา ได้ถูกต้อง

2.3 อธิบายพฤติกรรมของเสาเมื่อน้ำหนักกระทำ ได้ถูกต้อง

2.4 คำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กตามข้อกำหนด ได้ถูกต้อง

2.5 คำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยาว ได้ถูกต้อง

2.6 คำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยาว ได้ถูกต้อง

2.7 เขียนแบบรูปขยายหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

องค์ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้
โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
(Reinforced Concrete of Column Design)

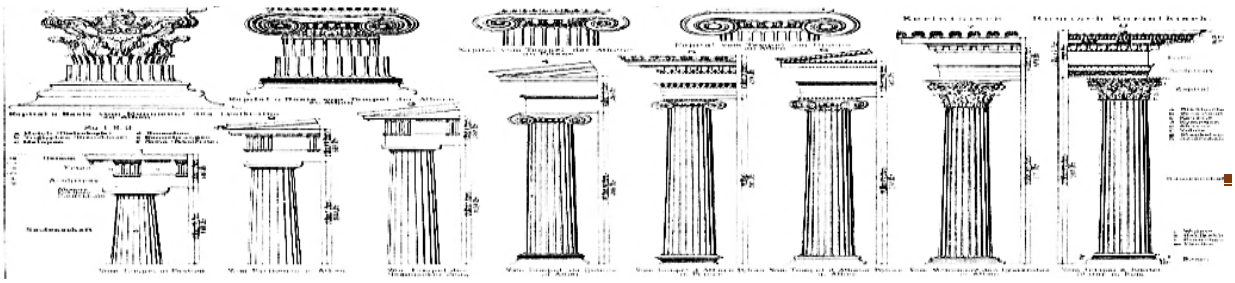
องค์ประกอบ โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. แนวคิด/จุดประสงค์หน่วยการเรียน/สมรรถนะ

- คำชี้แจงการใช้บทเรียนโมดูล
- แผนผังมโนทัศน์ประจำหน่วยการเรียน
- แผนการจัดการเรียนรู้
- แนวคิด/จุดประสงค์หน่วยการเรียน/สมรรถนะ
- เค้าโครงสาระสำคัญการเรียนรู้ โมดูลที่ 6

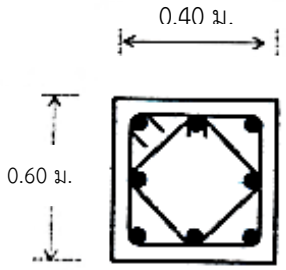
2. กิจกรรมการเรียนรู้/สื่อการประเมินผล

- แบบทดสอบก่อนเรียน
- เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
- ใบความรู้
- แบบฝึกหัด
- เฉลยแบบฝึกหัด
- ใบมอบหมาย
- แบบทดสอบหลังเรียน
- เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน
- แบบประเมินคุณธรรม /จริยธรรม/ ค่านิยม และคุณลักษณะอังพึงประสงค์
- แบบประเมินพฤติกรรมรายบุคคล
- เอกสารอ้างอิง



แบบทดสอบก่อนเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

จงคำนวณหาน้ำหนักที่เสานี้จะรับได้โดยปลอดภัยกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้ เสาคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดปลอกเดียวขนาด 0.40 x 0.60 ม. มีลักษณะเสาสั้นประกอบด้วยเหล็กเสริม DB 20 มม. จำนวน 8 เส้น ดังรูป (10 คะแนน)



8 DB20 มม.

1. fc' = 120 + รหัส น.ศ. =_____กก./ซม.^{2}, fs = 1500 กก./ซม.^{2}

2. น้ำหนักที่เนื้อคอนกรีตรับได้ **สูตร** P_C =_____

3. แทนค่า P_C =_____ =_____ กก.

4. น้ำหนักที่เนื้อเหล็กเสริมรับได้ สูตร P_S =_____

5. แทนค่า P_S =_____=_____ กก.

6. น้ำหนักที่หน้าตัดเสารับได้ สูตร P =_____

7. แทนค่า P =_____=_____ กก.

	แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	**โมดูลที่ 6**
	รหัสวิชา 3121-2102	**สอนครั้งที่ 1-2**
	โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	**จำนวน 6 ชั่วโมง**

1. หัวข้อเรื่อง

1.1 ปฐมนิเทศเกี่ยวกับขอบเขตเนื้อหา จุดประสงค์ วิธีการสอน กิจกรรมการสอน หลักเกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

1.2 ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนเมื่อเรียนจบสาระการเรียน

2. สาระการเรียนรู้

2.1 กำหนดขอบเขต เนื้อหาวิชา จุดประสงค์ วิธีการสอน กิจกรรมการสอน

2.2 กำหนดหลักเกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 เพื่อให้มีความความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.2 เพื่อให้มีทักษะในดารคำนวณเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 จำแนกชนิดของเสา ได้ถูกต้อง

4.2 อธิบายลักษณะการรับน้ำหนักของเสา ได้ถูกต้อง

4.3 อธิบายพฤติกรรมของเสาเมื่อน้ำหนักกระทำ ได้ถูกต้อง

4.4 คำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กตามข้อกำหนด ได้ถูกต้อง

4.5 คำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยาว ได้ถูกต้อง

4.6 คำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยาว ได้ถูกต้อง

4.7 เขียนแบบรูปขยายหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

	แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	**โมดูลที่ 6**
	รหัสวิชา 3121-2102	**สอนครั้งที่ 1-2**
	โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	**จำนวน 6 ชั่วโมง**

5. กิจกรรมการเรียนการสอน

ครู	นักเรียน
5.1 นำเข้าสู่บทเรียน	5.1 ฟังบรรยายเข้าสู่บทเรียน
5.2 ทดสอบความรู้ก่อนเรียนงานเสาคอนกรีต	5.2 ทำข้อสอบก่อนเรียน
5.3 มอบใบความรู้งานเสาคอนกรีต	5.3 อ่านทำความเข้าใจในใบความรู้
5.4 บรรยายพร้อมแสดงสื่อประกอบการยกตัวอย่างและสอดแทรกแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง	5.4 ตั้งใจฟังบรรยาย พร้อมซักถามข้อสงสัยและตอบคำถามของครูผู้สอน
5.5 ให้แบบฝึกหัดการออกแบบเสาคอนกรีต	5.5 ทำแบบฝึกหัด
5.6 ให้ใบมอบงาน เกี่ยวกับเสาคอนกรีต	5.6 ทำงานตามมอบหมายงานโดยใช้กิจกรรมกลุ่ม
5.7 ทดสอบหลังเรียน	5.7 ทำข้อสอบหลังเรียน

6. งานที่มอบหมาย

6.1 ก่อนเรียนให้ใบความรู้การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

6.2 ขณะเรียนให้ศึกษาในใบความรู้ พร้อมแบ่งกลุ่มทำกิจกรรมพัฒนาองค์ความรู้และบุคลิกภาพ

6.3 หลังเรียน ให้ค้นคว้าเขียนรายงานเกี่ยวกับการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กและนำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์

7. สื่อการสอน

7.1 สิ่งพิมพ์

7.2 โสต แผ่นใส และแผ่นสไลด์

7.3 ตัวอย่างผลงานการการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหรือหุ่นจำลองการนำไปใช้ในงานก่อสร้าง

8. การประเมินผล

8.1 ก่อนเรียน

ให้ทำข้อสอบก่อนเรียน

8.2 ระหว่างเรียน

ประเมินความสนใจ และความเข้าใจในการตอบข้อซักถาม

8.3 หลังเรียน

ใบมอบงาน

แบบฝึกหัด แบบทดสอบหลังเรียน และตรวจทานความถูกต้อง

โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Column Design)

เนื้อหาสาระ การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

สาระสำคัญ

เสา (column) เป็นองค์อาคารส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งของอาคารในแนวดิ่ง ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกจากคาน แล้วถ่ายน้ำหนักลงเสาจากชั้นบนสุดลงสู่ชั้นล่างลงไป จนถึงเสาตอม่อและไปสู่ฐานราก โดยทั่วไปเสาจะทำหน้าที่รับแรงอัดในแต่ละชั้น แต่บางกรณีเสาอาจรับแรงดัดร่วมด้วย เสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบ่งตามพฤติกรรมในการรับน้ำหนักที่ทำให้เกิดการวิบัติแตกต่างกัน สามารถแบ่งเสาได้เป็นสองประเภท คือ เสาสั้น (Short column) และ เสายาวหรือเสาชะลูด (Slender column) มีเหล็กเสริมหลักที่เรียกว่าเหล็กยืนตามความยาวเสาเพื่อช่วยรับน้ำหนักร่วมกับคอนกรีต และมีเหล็กเสริมทางขวางที่เรียกว่าเหล็กปลอกยึดรอบเหล็กยืนโดยอาจเป็นปลอกเดี่ยวรูปสี่เหลี่ยมเว้นห่างเป็นระยะ ๆ เรียกว่าเสาปลอกเดี่ยวหรือมีลักษณะวงกลมเป็นปลอกเกลียวพันรอบเหล็กยืน เรียกว่าเสาปลอกเกลียว และเสาที่ใช้เหล็กรูปพรรณเสริมเพิ่มแกนกลางเสาในการรับน้ำหนักร่วมกับคอนกรีต ซึ่งเรียกเสาแบบนี้ว่า เสาคอนกรีตเชิงประกอบ (Composite columns) (Edward G. Nawy., 2009) พฤติกรรมทางโครงสร้างเสาจะทำหน้าที่เป็นฐานรองรับน้ำหนักจากคานหรือพื้น และถ่ายทอดน้ำหนักนั้นให้กับเสาต้นต่อไปจนถึงชั้นฐานราก เสาจึงเป็นองค์อาคารที่รับแรงอัดเป็นหลัก

จุดประสงค์การเรียนการสอน

จุดประสงค์ทั่วไป

1. เพื่อให้มีความความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. เพื่อให้มีทักษะในดารคำนวณเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
3. เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. จำแนกชนิดของเสา ได้ถูกต้อง
2. อธิบายลักษณะการรับน้ำหนักของเสา ได้ถูกต้อง
3. อธิบายพฤติกรรมของเสาเมื่อน้ำหนักกระทำ ได้ถูกต้อง
4. คำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กตามข้อกำหนด ได้ถูกต้อง
5. คำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยาว ได้ถูกต้อง
6. คำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยาว ได้ถูกต้อง
7. เขียนแบบรูปขยายหน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

เนื้อหาสาร

การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. ชนิดของเสา
2. การรับน้ำหนักของเสา
3. พฤติกรรมของเสา
4. การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
5. การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบสั้น
6. การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กแบบยาว

6.1 ชนิดของเสา

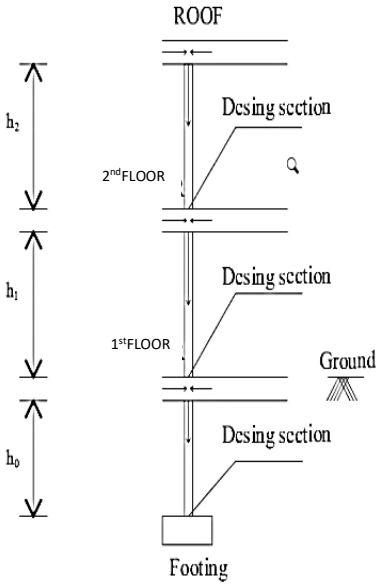
พิจารณาจากลักษณะของเสาเกี่ยวกับ รูปร่างขนาดของเสา สัมพันธ์กับความสูง ของเสา เสาที่มีอัตราส่วน ความสูงกับขนาดของเสา (ความชะลูด) มากจะเกิดการโก่งเดาะแตกหักได้ง่าย กว่าเสาที่มีอัตราส่วนชะลูดน้อย ดังนั้นเราแบ่งประเภทของเสาเป็น 2 ชนิด

6.1.1 เสาสั้น คือเสาที่มีความสูงน้อยกว่า 15 เท่าของด้านแคบของหน้าตัดเสา หรือ ความชะลูด น้อยกว่า 15 ดังในสมการที่ (6.1)

$$\frac{h}{y} \leq 15 \qquad (6.1)$$

6.1.2 เสายาว คือ เสาที่มีความสูงมากกว่า 15 เท่าของด้านแคบของหน้าตัดเสา ความชะลูด มากกว่า 15 เสายาวรับน้ำหนักได้น้อยกว่าเสาสั้นที่มีขนาดเสาเท่ากัน ดังในสมการที่ (6.2)

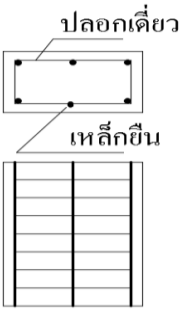
$$\frac{h}{y} \geq 15 \qquad (6.2)$$



รูปที่ 6.1 ลักษณะโครงสร้างเสา

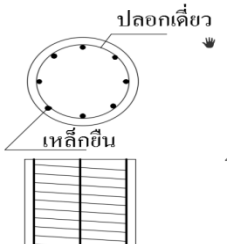
สำหรับการแบ่ง ตามลักษณะของหน้าตัดเสาทั้งสองประเภทสามารถแบ่งออกเป็นหลายชนิดดังนี้

1) เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมปลอกเดี่ยว เป็นเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่มีเหล็กยื่นหลักวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมและมีเหล็กปลอกรูป สี่เหลี่ยมรัดเหล็กยื่นหลักมีระยะห่างของปลอกเท่าๆ กันตลอด ความสูงเสาเพื่อป้องกันเหล็กยื่นไม่ให้โก่งงอนิยมใช้กับอาคารทั่วไปดังรูป (ก)



(ก)

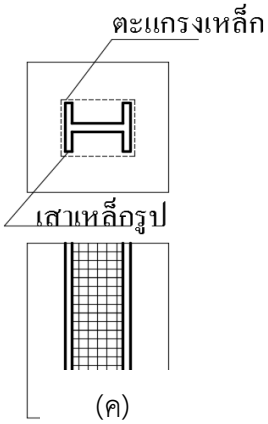
2) เสาหน้าตัดกลมปลอกเกียว เป็นเสาหน้าตัดวงกลม ที่มีเหล็กยื่นหลักวางเป็นรูปวงกลมและมีเหล็กปลอกเป็นเกลียวต่อ เนื่องรัดเหล็กยื่นมีระยะห่างของปลอกเท่ากันๆ กันตลอดความสูงเสาเพื่อป้องกันเหล็กยื่นไม่ให้โก่งงอ นิยมใช้กับอาคารทั่วไปดังรูป (ข)



(ข)

3) เสาปลอกเกลียวเสริมแกนเหล็ก เหมือนเสาปลอกเกลียว แต่แกนกลางจะมีเหล็กรูปพรรณเสริมซึ่งอาจมีหน้าตัด I หรือ H ตามความเหมาะสม เสาชนิดนี้นิยมใช้ในกรณีมีแป้นหูช้างหรือ ต้องการลดขนาดเสาให้เหมาะกับวัตถุประสงค์ทางสถาปัตยกรรม ดังรูป (ค)

4) เสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีต คล้ายกับเสาปลอกเกลียวเสริมแกนเหล็กแต่เหล็กแกนนิยมใช้เหล็กแผ่นหนาๆ มาประกอบขึ้นรูปโดยการเชื่อมหรือย้ำหมุดเป็นหน้าตัด H แล้วหุ้มด้วยตะแกรงเหล็ก และมีคอนกรีตกำลังสูงหุ้มไม่น้อยกว่า 6 ซม.ดังรูป (ง)



(ค)

รูปที่ 6.2 (ก)-(ค) ลักษณะของหน้าตัด

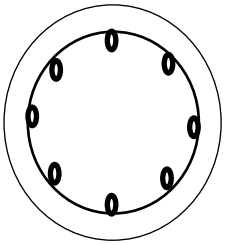
6.2 ข้อกำหนดน้ำหนักปลอดภัย (มาตรฐาน ว.ส.ท. 6602 – 6606)

ข้อกำหนดน้ำหนักปลอดภัย (มาตรฐาน ว.ส.ท. 6602 – 6606) มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้เสนอสูตรคำนวณหาน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกนของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

6.2.1 เสาปลอกเกลียว

เสาที่มีปลอกเกลียวพันถี่ๆ รอบเหล็กตามแนวยาวที่เรียกว่าเหล็กยืนของเสาในแนวดิ่ง คำนวณหาน้ำหนักปลอดภัยตามแกน ดังในสมการที่ (6.3) และ (6.4) ต่อไปนี้

$$P = A_g(0.25fc' + fs\rho_g) \quad (6.3)$$



โดยที่ P : น้ำหนักปลอดภัยตามแกน

A_g : พื้นที่หน้าตัดเสา

fc' : กำลังของคอนกรีต

fs : หน่วยแรงของเหล็กเสริม (0.40fy)

ρ_g : อัตราส่วนเหล็กยืนต่อพื้นที่หน้าตัดเสา (Ast/A_g)

และเมื่อแทนค่า $\rho_g = \frac{Ast}{A_g}$ ลงในสูตร จะได้

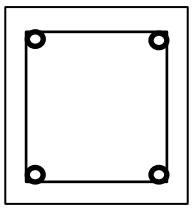
$$P = A_g(0.25fc' + fs\frac{Ast}{A_g})$$
$$= 0.25fc'A_g + fsAst \quad (6.4)$$

แสดงให้เห็นถึงกำลังรับน้ำปลอดภัยของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กได้จากกำลังที่รับโดยคอนกรีตร่วมกับเหล็กเสริม (Ast : พื้นที่หน้าตัดของเหล็กยืนทั้งหมดในเสา)

6.2.2 เสาปลอกเดี่ยว

เป็นเสาที่เสริมเหล็กตามแนวยาวที่เรียกว่าเหล็กยืน และมีเหล็กปลอกเดี่ยวเว้นห่างเป็นระยะๆ ให้รับน้ำหนักปลอดภัยสูงสุดตามแกนเท่ากับร้อยละ 85 ของเสาปลอกเกลียว ดังในสมการที่ (6.5) ต่อไปนี้

$$P = 0.85A_g(0.25fc' + fs\rho_g) \quad (6.5)$$



โดยที่ P : น้ำหนักปลอดภัยตามแกน

A_g : พื้นที่หน้าตัดเสา

fc' : กำลังของคอนกรีต

fs : หน่วยแรงของเหล็กเสริม (0.40fy)

ρ_g : อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กยืนต่อพื้นที่หน้าตัดเสา (Ast/A_g)

6.2.3 เสา ค.ส.ล.แกนเหล็ก

เสาคอนกรีตเสริมเหล็กตามแนวยาวและใช้เหล็กปลอกเกลียวพันรอบโดยมีแกนเป็นเหล็กรูปพรรณหรือเหล็กหล่อ รับน้ำหนักปลอดภัยได้ไม่เกิน ดังในสมการที่ (6.6) ต่อไปนี้

$$P = 0.225A_g\, fc' + fsAst + f_r A_r \qquad (6.6)$$

โดยที่ f_r : หน่วยแรงที่ยอมให้ของแกนเหล็กรูปพรรณแต่ต้องไม่เกิน 1,200 กก./ซม.^{2} สำหรับเหล็ก มอก. 116–2529 ชั้นคุณภาพ Fe 24 หรือ 700 กก./ซม.^{2} สำหรับแกนที่ทำด้วยเหล็กหล่อ

A_r : พื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กรูปพรรณต้องไม่เกินร้อยละ 20 ของพื้นที่หน้าตัดเสา

ถ้าใช้แกนโลหะกลวงต้องเทคอนกรีตภายในให้เต็มทุก ๆ จุดตลอดเสาต้องมีระยะห่างระหว่างเหล็กปลอกเกลียวกับแกนเหล็กรูปพรรณอย่างน้อย 7.5 เซนติเมตร ในกรณีที่ใช้แกนเสาเหล็ก รูปตัว H ระยะห่างที่แคบที่สุดต้องไม่น้อยกว่า 5.0 เซนติเมตร

6.2.4 เสาแบบผสม

เสาเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่ฝังในคอนกรีตที่มีระยะหุ้มของคอนกรีตไม่ต่ำกว่า 6 เซนติเมตรจากผิวเหล็ก ให้คำนวณหาน้ำหนักปลอดภัย ดังในสมการที่ (6.7) ต่อไปนี้

$$P = A_r f_r' \left(1 + \frac{A_g}{100A_r}\right) \qquad (6.7)$$

โดยที่ คอนกรีตที่ใช้ต้องมีกำลังอัด fc' ไม่ต่ำกว่า 200 กก./ซม.^{2} เมื่ออายุ 28 วัน และต้องเสริมด้วยเหล็กตาข่ายเบอร์ 10 A S & W Gage หรืออย่างอื่นที่เทียบเท่าพันรอบเสา โดยมีลวดเหล็กตามแนวนอนที่พันรอบเสาห่างกันไม่เกิน 10.0 เซนติเมตร ส่วนลวดเหล็กที่ขนานกับแกนของเสาต้องห่างกันไม่เกิน 20.0 เซนติเมตร เหล็กตาข่ายนี้ให้พันรอบเสาห่างจากผิวหน้าคอนกรีตเข้ามาไม่น้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร และให้พันเหลื่อมกันไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็ก

6.2.5 เสาท่อเหล็กคอนกรีต

เสามีส่วนประกอบด้วยท่อเหล็กที่กรอกคอนกรีตเต็มภายใน ให้คำนวณหาน้ำหนักปลอดภัย ดังในสมการที่ (6.8) ต่อไปนี้

$$P = 0.25\, fc'\left(1 - 0.000025\frac{h^2}{K_c^{\,2}}\right)A_C + f_r' A_r \qquad (6.8)$$

โดย h : ความสูงของเสา,

K_c : รัศมีไจเรชั่นของเสาคอนกรีต

A_C : พื้นที่หน้าตัดเสาคอนกรีต

f_r' : $1{,}195 - 0.0342\frac{h^2}{K_s^2}$ โดยที่ $\frac{h^2}{K_s^2} < 120$ และท่อเหล็กมีกำลังครากไม่น้อยกว่า 2,300 กก./ซม.^{2}

K_s : รัศมีไจเรชั่นของท่อเหล็ก

6.3 ข้อกำหนดประกอบรายการคำนวณ เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

ข้อกำหนดประกอบรายการคำนวณ เสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่นอกเหนือจากรายการในข้อ 6.2 มีดังต่อไปนี้

6.3.1 ขนาดเล็กที่สุดของเสาต้องมีด้านแคบที่สุด หรือมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 20 เซนติเมตร เสาที่อยู่ระหว่างเสาหลักและไม่ต่อเนื่องระหว่างชั้นถึงชั้นอาจมีขนาดเล็กกว่าได้ แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 15 เซนติเมตร

6.3.2 คอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม (*Covering*) วัดจากผิวคอนกรีตถึงผิวนอกสุดของเหล็กปลอกเดี่ยว หรือปลอกเกลียว กรณีไม่สัมผัสดิน หรือไม่ถูกแดดฝน ระยะหุ้มต่ำสุดเท่ากับ 3.0 เซนติเมตร

6.3.3 พิกัดหน้าตัดเสา เสาปลอกเดี่ยวที่มีหน้าตัดใหญ่มากสามารถรับน้ำหนักได้เกินกว่าที่ต้องการมาก การหาปริมาณเหล็กเสริมที่น้อยที่สุดและความสามารถในการรับน้ำหนักให้คำนวณจากพื้นที่หน้าตัด A_g ที่ลดลงได้ แต่ต้องไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของหน้าตัดจริง

6.3.4 พิกัดสำหรับเหล็กเสริมในเสา

1) เสาปลอกเดี่ยวต้องมีเหล็กยืนอย่างน้อย 4 เส้น และเสาปลอกเกลียวต้องมีเหล็กยืนอย่างน้อย 6 เส้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กยืนต้องไม่เล็กกว่า 12 มิลลิเมตร โดยอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดเหล็กยืนต่อพื้นที่หน้าตัดเสา ($\rho_g = Ast/A_g$) ต้องไม่น้อยกว่า 0.01 และไม่เกิน 0.08

2) ในเสาปลอกเดี่ยว เหล็กยืนทุกเส้นต้องมีเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มิลลิเมตร พันโดยรอบ โดยมีระยะเรียงของเหล็กปลอกไม่ห่างกว่า 16 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กยืน และไม่ห่างกว่า 48 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก และ/หรือมิติเล็กที่สุดของเสานั้น

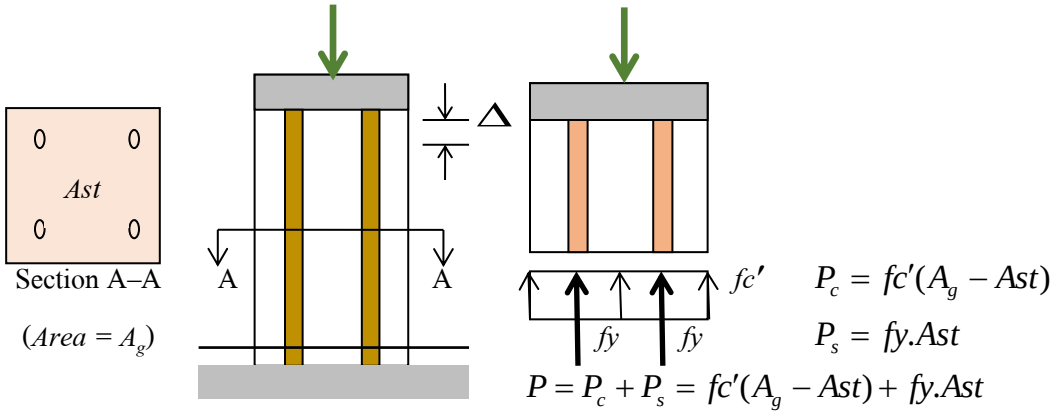
3) ในเสาปลอกเกลียว เหล็กยืนทุกเส้นต้องมีเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มิลลิเมตร พันโดยรอบ โดยมีระยะห่างระหว่างเกลียวไม่เกิน 7 เซนติเมตร และไม่แคบกว่า 3 เซนติเมตร หรือ 1.34 เท่าของขนาดโตสุดของหิน ทั้งนี้อัตราส่วนของปริมาตรเหล็กปลอกเกลียว (ρ_s) ต้องไม่น้อยกว่าที่คำนวณในสมการที่ (6.9) ต่อไปนี้

$$\rho_S = 0.45\left(\frac{A_g}{A_c} - 1\right)\frac{fc'}{fy} \qquad (6.9)$$

โดยที่ fy คือ กำลังครากของเหล็กปลอกเกลียว แต่ต้องไม่เกิน 4,000 กก./ซม.^{2}

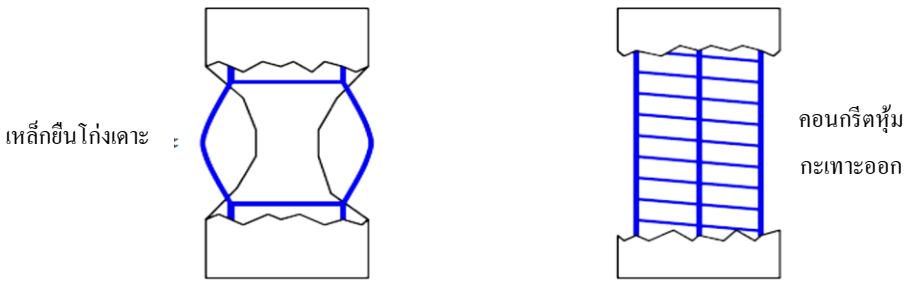
6.4 การรับน้ำหนักของเสาแต่ละประเภท

โดยทั่วไปเสาจะแบกรับน้ำหนักจากโครงสร้างคาน พื้น ผนังในแต่ละชั้นลงเสา โดยพิจารณาอัตราส่วนความชะลูดน้อย (Slenderness ratio : h/r) โดยอาจพิจารณาจากอัตราส่วนความสูงของเสา (h) ต่อด้านแคบสุดของเสา (t) ไม่เกิน 15 ($h/t \leq 15$) กำลังรับน้ำหนักของเสาสั้นขึ้นอยู่กับกำลังของวัสดุและพื้นที่หน้าตัดเสา กล่าวคือ ความสามารถในการรับน้ำหนักเสา (P) เท่ากับกำลังรับน้ำหนักโดยคอนกรีต (P_C) ร่วมกับเหล็กเสริม (P_S) ซึ่งหาได้จากหน่วยแรงของวัสดุคูณพื้นที่หน้าตัดวัสดุ ดังรูปที่ 6.3 และ 6.4 กำลังรับน้ำหนักของเสาสั้น



รูปที่ 6.3 กำลังรับน้ำหนักของเสาสั้น

ที่มา : มงคล จิรวัชรเดช, 2549



(ก) เสาปลอกเดี่ยว (ข) เสาปลอกเกลียว

รูปที่ 6.4 ลักษณะการวิบัติของเสา

ที่มา : มงคล จิรวัชรเดช, 2549

จากรูปที่ 6.3 และ 6.4 เมื่อเสาเริ่มรับน้ำหนักจะเกิดการขยายตัวออกทางด้านข้าง และเมื่อเสารับน้ำหนักเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกินขีดความสามารถของกำลังวัสดุเสาจะเกิดการวิบัติ ซึ่งคอนกรีตผิวนอกที่หุ้มเหล็กเสริมจะเกิดการแตกร้าวลักษณะคล้ายกับตัวอย่างทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต อย่างไรก็ตาม เสาคอนกรีตเสริมเหล็กยังมีเหล็กเสริมทางขวางหรือเหล็กปลอก เมื่อคอนกรีตผิวนอกที่หุ้มเหล็กเสริมถูกอัดจนแตกหลุดร่อนออก เหล็กยืนจะมีแนวโน้มที่จะเกิดการโก่งเดาะ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าระยะห่างของเหล็กปลอกมากเกินไป เหล็กยืนจะเกิดการโก่งเดาะและเกิดการวิบัติทันที ดังรูปที่ 6.4 (ก) แต่ถ้าเสริมเหล็กปลอกเดี่ยวถี่ๆ กำลังรับน้ำหนักของเสาจะค่อยๆ ลดลงหลังจากที่คอนกรีตหุ้มผิวถูกแรงอัดจนกะเทาะออก ทำให้เสามีพฤติกรรมแบบเหนียวก่อนเกิดการวิบัติ ลักษณะเดียวกับเสาปลอกเกลียวเมื่อคอนกรีตผิวนอกที่หุ้มเหล็กเสริมแตกออกแต่ปลอกเกลียวยังคงรัดคอนกรีตภายในไว้ ดังแสดงในรูปที่ 6.4 (ข) และคำนวณได้ในสมการที่ (6.10-6.15) สามารถประมาณการได้ดังนี้

วิธีที่ 1 เป็นวิธีโดยประมาณจากแบบแปลนโครงสร้างคานชั้นที่ต้องการหาน้ำหนักการคำนวณหาน้ำหนักลงเสา *C*

1) แบ่งครึ่งพื้นที่ตามช่วงของเสาที่ติดกับเสา *C*

2) คำนวณน้ำหนักของโครงสร้างที่ลงเสา *C*

1) น้ำหนักแผ่นพื้น

$$W_S = W_{S1} + W_{S2} + ..$$ (6.10)

$$W_S = (w_{s1} \cdot L_{s1} \cdot S_{s1}) + (w_{s2} \cdot L_{s2} \cdot S_{s2})$$ (6.11)

2) น้ำหนักคาน

$$W_B = W_{B1} + W_{B2} + ..$$ (6.12)

$$W_B = [(b_1 \cdot t_1 \cdot L_1) + (b_2 \cdot t_2 \cdot L_2) + ..]2400$$ (6.13)

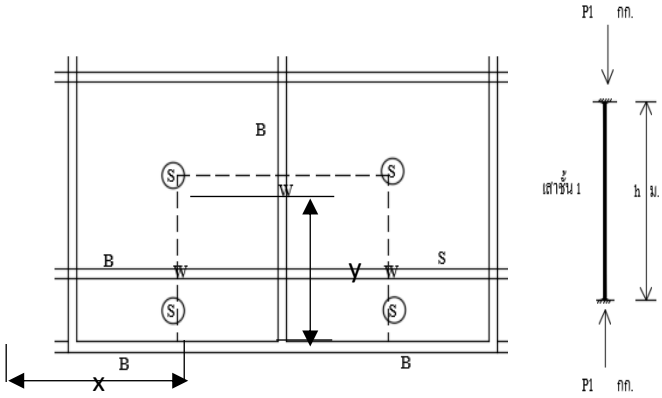
3) น้ำหนักผนัง

$$W_w = W_{w1} + W_{w2} + ..$$ (6.14)

$$W_w = (w_{w1} \cdot h_1 \cdot L_1) + (w_{w2} \cdot h_2 \cdot S_2)$$ (6.15)

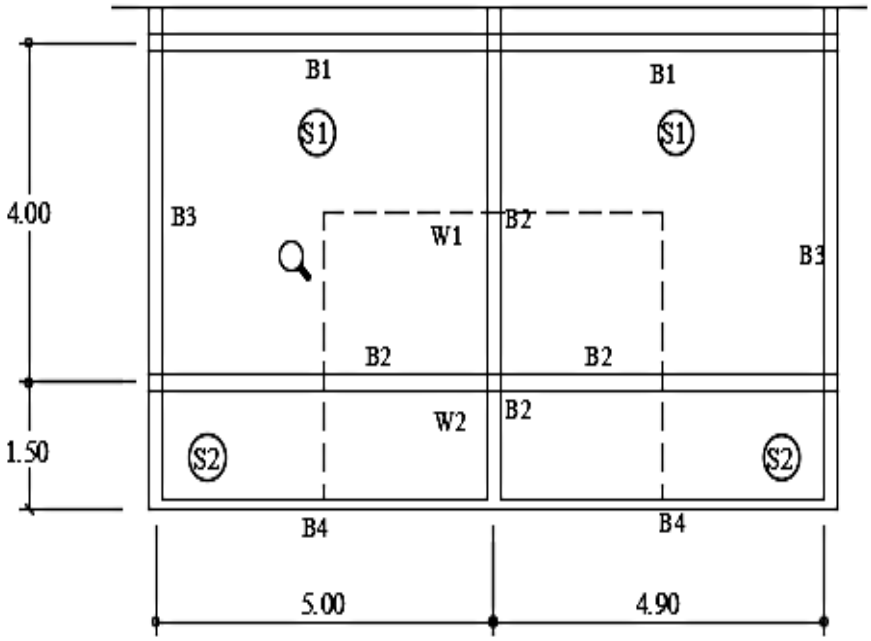
6) น้ำหนักรวมลงเสาของสองชั้น

$$P = W_S + W_B + W_w \quad (6.16)$$



แปลนโครงสร้าง

ตัวอย่างที่ 6.1 จงคำนวณหาค่าน้ำหนักที่กระทำต่อเสา C1 (A-2)



แปลนและการรับน้ำหนักของเสา

ตัวอย่าง การคำนวณหาน้ำหนักลงเสา C1 (A-2)

1) ให้ **B2** 0.20x0.50 ม.**B3** 0.25x0.60 ม. **B4** ขนาด 0.15x0.60 ม.

S1 มี W_{S1} = (DL+LL) = (240+350) = 590 กก./ม^2.

S2 มี W_{S1} = (DL+LL) = (240+150) = 390 กก./ม^2.

2) คำนวณน้ำหนักโครงสร้างลงเสา C1 จากรูปแปลน

2.1) น้ำหนักแผ่นพื้น $W_S = w_{S1} + w_{S2}$

$$W_S = (w_{s1} \cdot L_{s1} \cdot S_{s1}) + (w_{s2} \cdot L_{s2} \cdot S_{s2})$$

W_s = (590x5x2) + (390x5x1.50)

W_s = 5900 + 2925 = 8825 กก.

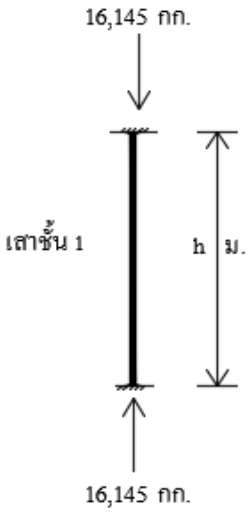
2) น้ำหนักคาน $W_B = W_{B2} + W_{B3} + W_{B4}$

$$W_B = [(b_2 \cdot t_2 \cdot L_2) + (b_3 \cdot t_3 \cdot L_3) + (b_4 \cdot t_4 \cdot L_4)]\ 2400$$

W_B = [(.20x.5x.5)+(.25x.6x3.5)+(.15X.6X5)]2400

W_B = [(0.50)+(0.525)+(0.45)]2400

W_B = 3540 กก.



แปลนโครงสร้างชั้น 2

3) น้ำหนักผนังสูง 3 ม. $W_W = W_{W1} + W_{W2}$

$$W_w = (W_{w1} \cdot h_1 \cdot L_1) + (W_{w2} \cdot h_2 \cdot L_2)$$

W_W = (180x3x35)+(180x3x2)

W_W = 2700+1800 = 3,780 ก.ก.

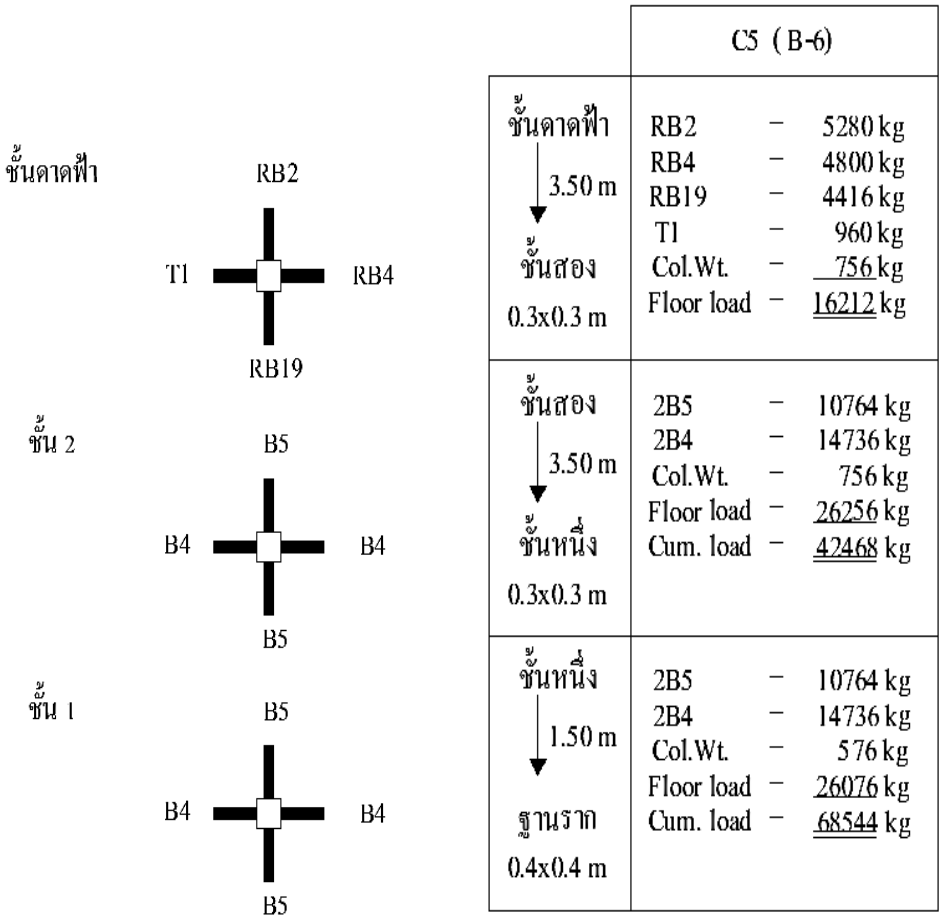
4) รวมน้ำหนักกดเสา *C1*

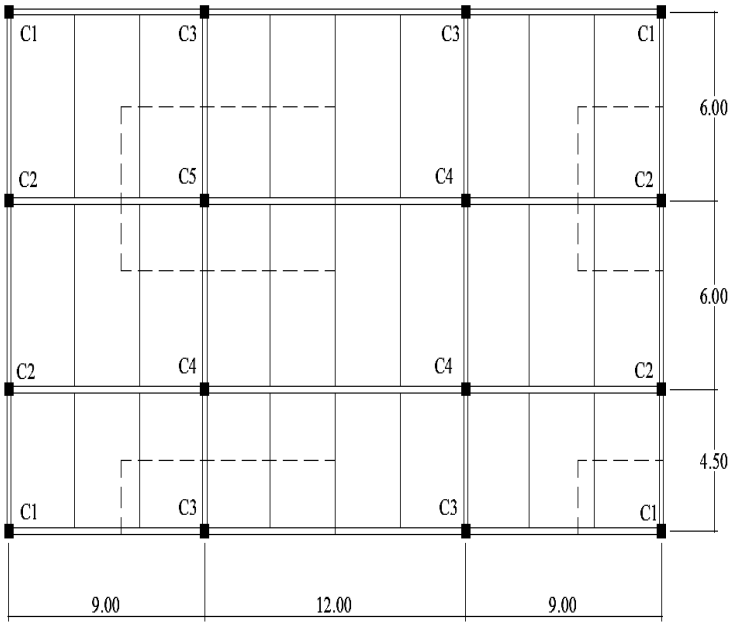
$$P = W_B + W_S + W_W$$

P = 8825+3540+3780 = 16,145 ***ก.ก.***

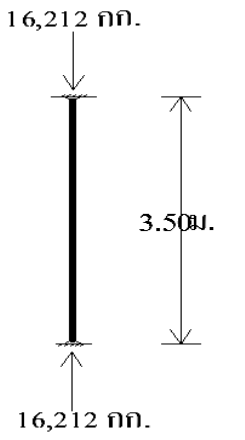
วิธีที่ 2 เป็นวิธีที่ต้องนำผลการวิเคราะห์คานมาคำนวณ โดยนำค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับของคานที่มีเสาต้นนั้นเป็นฐานรองรับมารวมกัน

พฤติกรรมเสาเมื่อน้ำหนักกระทำ ในการรับน้ำหนักของเสา เสารับแรงอัดหรือแรงอัดร่วมกับแรงดัดพร้อมกัน เมื่อเสารับแรงอัดมากๆ เสาจะโก่ง จนกระทั่งระเบิดออกทางด้านข้างโดยเฉพาะถ้าเสาไม่ได้เสริมเหล็กปลอกเพื่อรัดเหล็กยื่นไว้ด้วยแล้ว เสาจะระเบิดออกทันทีที่รับน้ำหนักไม่ได้ สำหรับความสามารถรับน้ำหนักของเสาขึ้นอยู่กับลักษณะการยืดปลายและอัตราส่วนความชะลูดซึ่งจะเป็นตัวกำหนดว่าเป็นประเภทเสาสั้นหรือเสายา

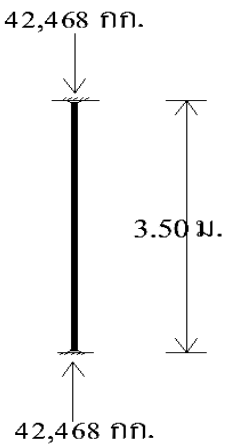




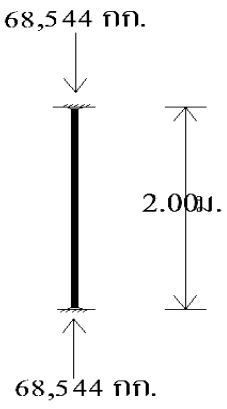
รูปที่ 6.5 แสดงโครงสร้างถ่ายน้ำหนักลงเสา



เสาชั้น 2



เสาชั้น 1



เสาตอม่อ

ตัวอย่างที่ 6.2 จงออกแบบเสาปลอกเดี่ยว รับน้ำหนักปลอดภัยตามแกน (*P*) เท่ากับ 22,500 กก.
กำหนดให้ fc' = 180 กก./ซม.^{2}, fy = 3,000 กก./ซม.^{2}

วิธีทำ

กำลังรับน้ำหนักปลอดภัยตามแกน : $P = 0.85A_g(0.25fc' + fs\rho_g)$

สมมติขนาดหน้าตัดเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสเท่ากับ 0.20 x 0.20 ม. (A_g = 400.00 ซม.^{2})

กำลังรับน้ำหนักโดยคอนกรีต : $P_C = 0.85(0.25fc')A_g$ = 0.85 (0.25 x 180) 400

= 15,300.00 กก.

กำลังรับน้ำหนักโดยเหล็กเสริม : $P_S = P - P_C = 0.85fs\rho_g A_g = 0.85fsAst$

22,500 – 15,300.00 = 0.85 (0.40 x 3,000) *Ast*

$$Ast = \frac{7{,}200}{0.85(0.40 \times 3{,}000)} = 7.05 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้เหล็ก 4 DB 16 (*Ast* = 8.04 ซม.^{2}, $\rho_g = 0.0201$)

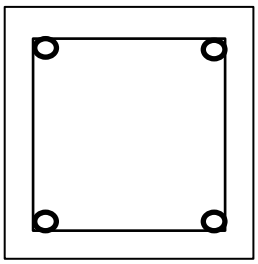
ระยะห่างเหล็กปลอก (*s*) : เลือกใช้เหล็กขนาด ϕ 6 มม. โดยใช้ค่าต่ำสุดดังนี้

s = 16 ของเหล็กยืน = 16 x 1.6 = 25.6 ซม.

หรือ = 48 เท่าของเหล็กปลอก = 48 x 0.6 = 28.8 ซม.

หรือ = ด้านแคบสุดของเสา = 20 ซม.

เลือกใช้เหล็กปลอกขนาด ϕ 6 มม. @ 0.20 ม.



4 DB 16

ป ϕ 6 มม.@ 0.20 ม.

ตัวอย่างที่ 6.3 เสาคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดปลอกเดียวขนาด 0.25 x 0.25 ม.มีลักษณะเสาสั้นประกอบด้วยเหล็กเสริมเส้นกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 ม.ม จำนวน 8 เส้น ดังรูป จงคำนวณหาน้ำหนักที่เสานี้จะรับได้โดยปลอดภัยกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้

fc' = 120 กก./ซม.^{2} fs = 1300 กก./ซม.^{2}

As = 8-Ø12 มม. = 9.05 ซม.^{2}

วิธีทำ

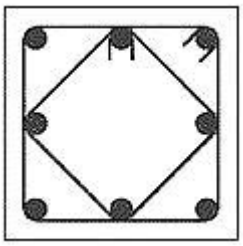
$$p = 0.85\,Ag\left(0.25\,f_c' + \frac{A_S}{A_g}\cdot f_s\right)$$

$$P = 0.85(25 \times 25)\left[(0.25 \times 120) + \left(\left\langle\frac{9.04}{25\times25}\right\rangle\langle 1300\rangle\right)\right]$$

$$= 0.85(625)[(30) + (\langle 0.01446\rangle\langle 1300\rangle)]$$

$$= (531.25)[(30) + (18.798)]$$

$$= (531.25)(48.798)$$



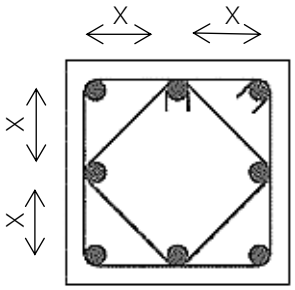
8 DB 12

2ป-Ø 6 มม. @ 0.20 ม.

P= 25,924 กก.

น้ำหนักที่เสารับได้โดยปลอดภัย = 25,924 กิโลกรัม

$P_g = \frac{A_S}{A_g} = \frac{9.04}{25\times25} = 0.0145$ ผ่านได้ (0.01-0.08)



ใช้เหล็กปลอกเดี่ยวขนาด Ø6 มม. ใช้ 2 ปลอก

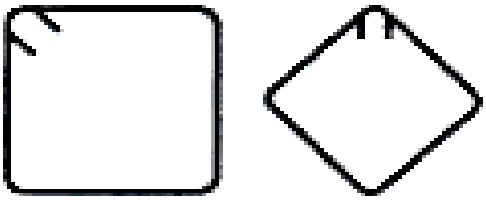
(เหล็กแกนในห่างเกิน 15 ซม = X)

16 เท่าของขนาดเหล็กแกน = 16 x 1.2 = 19.2 ซ.ม.

48 เท่าของขนาดเหล็กปลอก = 48 x 0.6 = 28.8 ซ.ม.

ด้านแคบของเสา (t) = 25 ซ.ม.

ใช้ค่าที่น้อยที่สุด = 19.2 ≈ 20 ซ.ม.

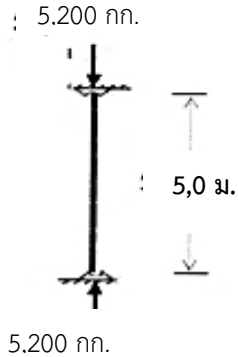


ออกแบบเหล็กปลอก 2ป-Ø 6 มม. @ 0.20 ม.

ตัวอย่างที่ 6.4 จงออกแบบเสาประเภทเสาสั้น ให้เสามีความสูง 5.00 ม. สามารถรับแรงกด 52,000 กก. ได้ปลอดภัย กำหนดให้ f_c' = 110 กก./ซม.^{2} f_s = 1250 กก./ซม.^{2}

วิธีทำ สมมุติออกแบบขนาดเสาสั้นจาก

$$\frac{h}{t} \le 15 \Rightarrow t \ge \frac{h}{15}$$



1) เลือกด้านแคบของเสา

t ≥ 0.33 ≈ 0.35 ม.

2) เลือกขนาดเสา 0.35 x 0.35 ม.

น้ำหนักที่เนื้อคอนกรีตรับได้ (P_C)

$P_C = 0.85A_g(0.25 \cdot f_c')$ กก.

$P_C = 0.85(35x35)\ (0.25x110) = 28{,}634$ กก.

3) น้ำหนักที่เนื้อเหล็กแกนต้องรับได้ (P_S)

$P_S = P - P_C = 52{,}000 - 28{,}634 = 23{,}365$ กก.

4) พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมที่รับน้ำหนักได้ (A_S)

$$A_S = \frac{P_S}{0.85 \cdot f_s} = \frac{20{,}763}{0.85 \cdot 1{,}250} = 21.99 \text{ ซม.}^2$$

ใช้ 8- RB 19 มม. (A_S = 22.68 ซม.^{2})

$$P_g = \frac{A_s}{A_g} = \frac{22.68}{35 \times 35} = 0.0185$$ ผ่านได้ (0.01-0.08)

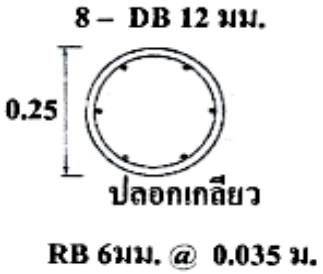
5) เลือกปลอก ⌀ 6 มม. 2 ปลอก (เหล็กแกนในห่างเกิน 15 ซม.)

S ≤ 16 ⌀ เหล็กแกน = 16 x 1.9 = 30.4 ซม.

S ≤ 48 ⌀ เหล็กปลอก = 48 x 0.6 = 28.8 ซม.

S ≤ t = 35 ซม.

เลือกใช้ค่าน้อยสุด S = 28 ≈ 25 ซม. ใช้ 2ป- Ø6 มม. @ 0.25 ม.



$A_c = \frac{3.1428\ (20)^2}{4} = 314$ ซม.^{2}

$P_S = 0.45\left(\frac{A_g}{A_c} - 1\right)\frac{f_c'}{f_Y} = 0.45\left(\frac{491}{314} - 1\right)\frac{160}{2400}$

$P_S = 0.45\ (0.56)0.067 = 0.017$

3 ซม. $\geq$ S $\leq$ 7 ซม.

S $\geq$ 3.5 ซม.

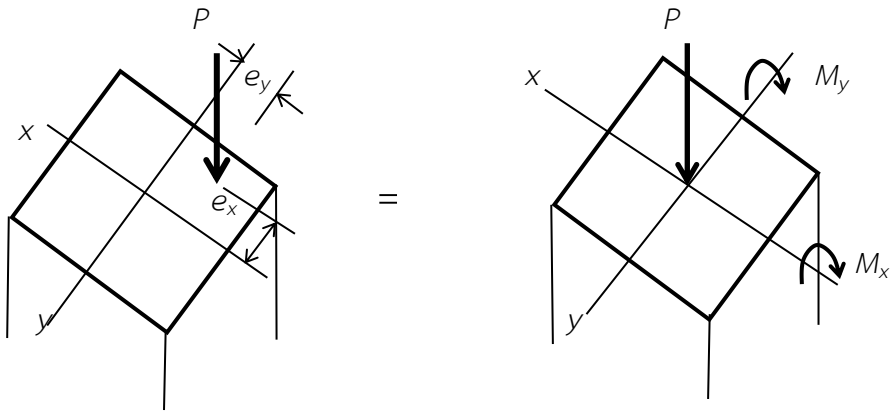
$S \leq \frac{25}{6} = 4.2$ ซม.

$S = \frac{4A_S}{P_S \cdot d} = \frac{4(0.28)}{0.017\ (20)} = 3.29$ ซม.

เลือกระยะห่างปลอกเกลียว 3.5 ซม. หรือ @ 0.035 ม.

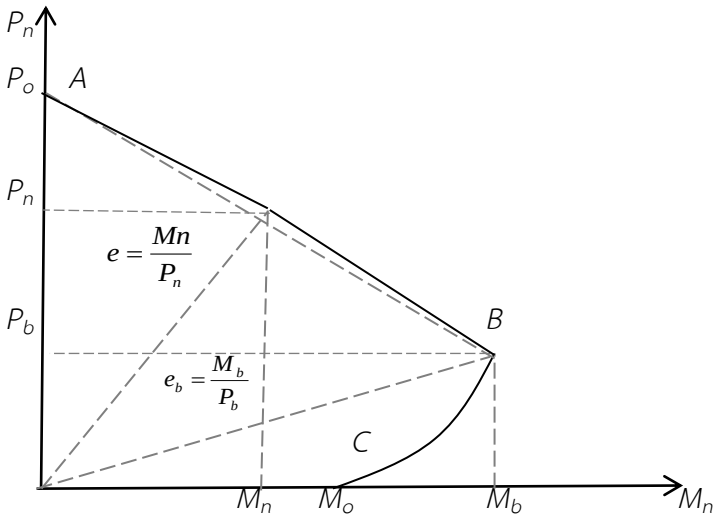
6.5 เสาสั้นรับแรงอัดตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน

เสาอาจรับแรงอัดตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกันอันเนื่องมาจากแรงเยื้องศูนย์ เช่น เสาที่มีบ่าหรือหูช้างเพื่อรับคาน และ/หรือ รางเครนยกวัสดุในโรงงาน เป็นต้น นอกจากนี้ โครงสร้างอาคารที่มีแรงกระทำทางด้านข้าง เช่น แรงลม ก็ส่งผลให้เกิดโมเมนต์ที่จุดต่อแบบยึดรั้ง (Rigid joint) ของโครงสร้าง ดังนั้น การออกแบบเสาจึงต้องพิจารณาทั้งแรงอัดตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน ลักษณะแรงเยื้องศูนย์ แสดงในรูปที่ 6.6 โดย $e_x = \frac{M_x}{P}$ และ $e_y = \frac{M_y}{P}$ หรือเมื่อแรงเยื้องศูนย์อยู่ในแกนหนึ่งแกนใด หรือแกนเดียว $e = \frac{M}{P}$



รูปที่ 6.6 เสาสั้นรับแรงอัดตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกันอันเกิดจากแรงเยื้องศูนย์

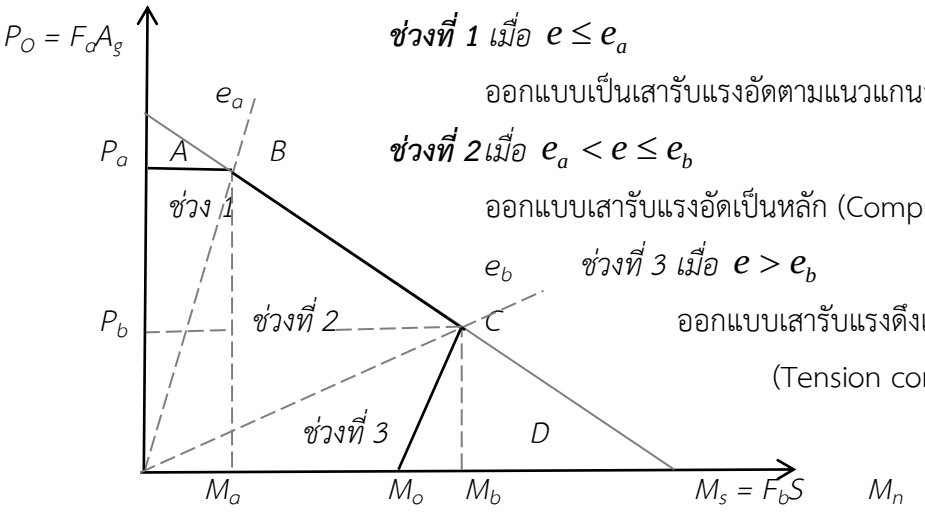
การรับแรงอัดตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกันของเสามีโอกาสเกิดการวิบัติได้ 3 ลักษณะ คือ *วิบัติแบบแรงอัดเป็นหลัก (Compression failure)* โดยคอนกรีตจะถูกอัดแตกก่อนที่เหล็กเสริมรับแรงดึงจะถึงจุดคราก ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีที่เสารับแรงอัดมากแต่มีค่าโมเมนต์ดัดน้อยหรือระยะเยื้องศูนย์ที่เกิดในเสาไม่มากนัก ลักษณะที่สอง *การวิบัติแบบแรงดึงเป็นหลัก (Tension failure)* ซึ่งมีลักษณะตรงข้ามกับแบบแรก นั่นคือ เหล็กเสริมรับแรงดึงถูกดึงจนถึงจุดครากก่อนที่คอนกรีตจะถูกอัดแตก ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีที่เสามีโมเมนต์ดัดอย่างมากหรือระยะเยื้องศูนย์ที่เกิดในเสามาก และลักษณะที่สาม *การวิบัติแบบสมดุล (Balanced failure)* ซึ่งเป็นสภาวะที่เหล็กเสริมรับแรงดึงถูกดึงจนถึงจุดครากไปพร้อมคอนกรีตถูกอัดแตก โดยคอนกรีตมีหน่วยการหดตัวสูงสุดที่ 0.003 มม./มม. การวิบัติของเสาทั้งสามลักษณะ สามารถอธิบายได้ด้วยกราฟปฏิสัมพันธ์ (Interaction diagram) ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงอัดตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน ซึ่งให้แกน x เป็นค่าโมเมนต์ดัด (M_n) และแกน y เป็นแรงอัดตามแนวแกน (P_n) ดังรูปที่ 6.7 โดยการพิจารณาเปรียบเทียบเสาที่มีขนาดหน้าตัดและปริมาณเหล็กเสริมเท่ากัน นำมาทดสอบโดยให้แรงอัดตามแนวแกนอย่างเดียวจนกระทั่งวิบัติ จะได้กำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดของเสา (P_o) ที่จุด A ทำนองเดียวกัน เสาคอนกรีตเสริมเหล็กทดสอบภายใต้โมเมนต์ดัดอย่างเดียวจนกระทั่งเกิดการวิบัติ จะได้กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดสูงสุดของเสา (M_o) ที่จุด C และที่จุด B แสดงถึงกำลังต้านทานสูงสุดของเสาทั้งแรงอัดตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดที่ทำให้เกิดการวิบัติแบบสมดุล (P_b, M_b) ซึ่งเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีขนาดหน้าตัดและปริมาณเหล็กเสริมหนึ่งๆ จะมีค่าสมดุลอยู่จุดหนึ่งภายใต้การรับแรงอัดตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน



รูปที่ 6.7 กราฟปฏิสัมพันธ์ (Interaction diagram)

ที่มา: วินิต ช่อวิเชียร, 2545

จากกราฟปฏิสัมพันธ์นำไปสู่การประยุกต์ใช้กราฟในการออกแบบเสาที่รับแรงอัดตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ตามระยะเยื้องศูนย์ : $e = \frac{M}{P}$ ดังรูปที่ 6.8



ช่วงที่ 1 *เมื่อ* $e \le e_a$

ออกแบบเป็นเสารับแรงอัดตามแนวแกนอย่างเดียว

ช่วงที่ 2 *เมื่อ* $e_a < e \le e_b$

ออกแบบเสารับแรงอัดเป็นหลัก (Compression control)

ช่วงที่ 3 เมื่อ $e > e_b$

ออกแบบเสารับแรงดึงเป็นหลัก (Tension control)

รูปที่ 6.8 กราฟออกแบบเสาแบ่งช่วงตามระยะเยื้องศูนย์

ที่มา: วินิต ช่อวิเชียร, 2545

6.5.1 *ช่วงที่ 1 :* $e \le e_a$

ในช่วงที่เสามีโมเมนต์ดัดกระทำน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงอัดตามแนวแกน เนื่องจากระยะเยื้องศูนย์ (e) มีค่าน้อย โมเมนต์ดัดจึงไม่มีผลต่อการรับน้ำหนักตามแนวแกนของเสา ดังนั้น จึงออกแบบเป็นเสารับแรงอัดตามแนวแกนอย่างเดียว และเสาจะเกิดการวิบัติแบบแรงอัดเป็นหลัก (Compression failure) หรือที่เรียกว่าเสารับแรงอัดเป็นหลัก (Compression control) โดยที่ระยะเยื้องศูนย์ (e_a) หาได้จากสมการ (6.16) ดังนี้

$$e_a = M_s\left(\frac{1}{P_o} - \frac{1}{P_a}\right) \qquad (6.16)$$

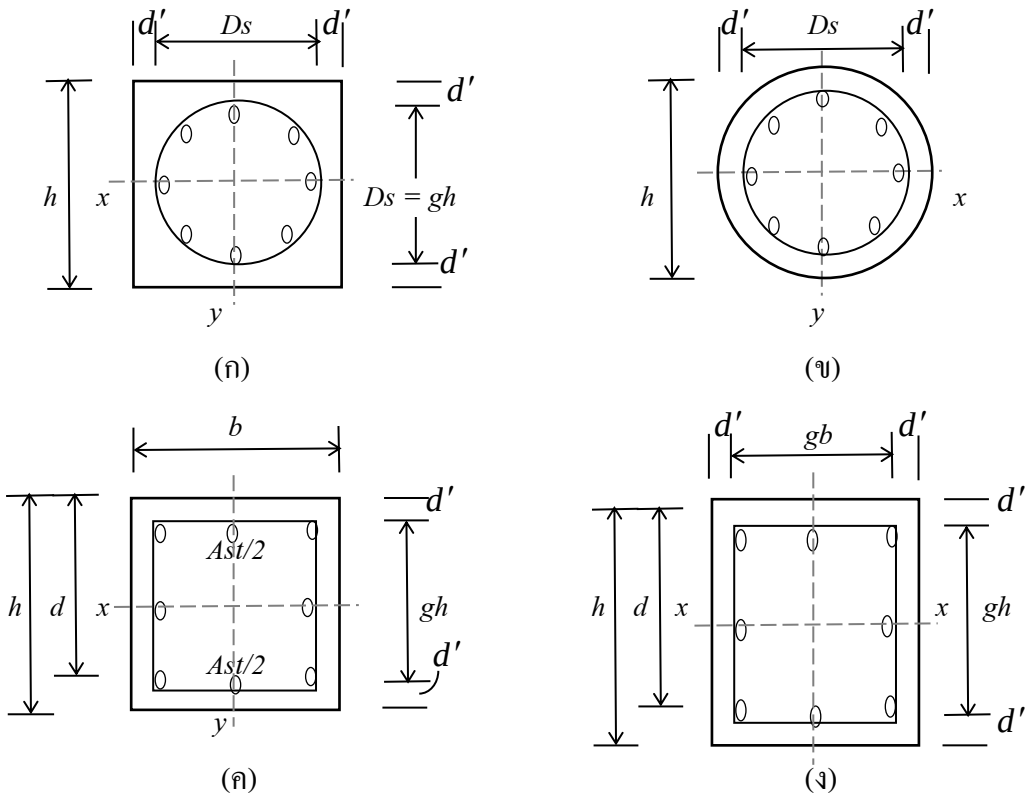
เมื่อ $P_a = A_g(0.25fc' + fs\rho_g)$ เสาปลอกเกลียว (6.16 a)

$P_a = 0.85A_g(0.25fc' + fs\rho_g)$ เสาปลอกเดี่ยว (6.16 b)

$P_o = F_a A_g$, $F_a = 0.34(1+\rho_g m)\,fc'$, $\rho_g = \dfrac{As}{A_g}$

$M_s = F_b S$, $F_b = 0.45\,fc'$, $S = \dfrac{I}{c}$, $m = \dfrac{fy}{0.85\,fc'}$

ค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียของรูปตัดเสา (I_x, I_y) คำนวณจากเนื้อที่หน้าตัดการแปลงของเหล็กเสริม $(2n-1)Ast$ ดังรูปที่ 6.7 โดยที่ n คืออัตราส่วนโมดูลัส : Es/Ec



รูปที่ 6.9 หน้าตัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส เรียงเหล็กยืนเป็นวงกลม ดังแสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ (6.17) และ (6.18) และในรูปที่ 6.9 (ก) ดังแสดงในสมการ

$$I_x = I_y = \frac{h^4}{12}(2n-1)Ast\frac{Ds^2}{8} \qquad (6.17)$$

$$c_x = c_y = \frac{h}{2} \qquad (6.18)$$

เสาหน้าตัดกลม เรียงเหล็กยืนเป็นวงกลม ดังแสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ (6.19) และ (6.20) ในและในรูปที่ 6.9 (ข)

$$I_x = I_y = \frac{\pi d^4}{64} + (2n-1)Ast\frac{Ds^2}{8} \qquad (6.19)$$

$$c_x = c_y = \frac{h}{2} \qquad (6.20)$$

เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส เรียงเหล็กยืนเหมือนกัน 2 ด้านขนานกัน ดังแสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ (6.21) - (6.23) ดังรูปที่ 6.9 (ค)

$$I_x = \frac{bh^3}{12} + (2n-1)Ast\frac{(gh)^2}{4} \qquad (6.21)$$

$$I_y = \frac{b^3h}{12} + (2n-1)Ast\frac{(gh)^2}{4} \qquad (6.22)$$

$$c_x = \frac{b}{2}, \quad \text{และ } c_y = \frac{h}{2} \tag{6.23}$$

เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า เรียงเหล็กยืนเหมือนกันทั้งสี่ด้าน ดังแสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ (6.24) - (6.26) ดังรูปที่ 6.9 (ง)

$$I_x = \frac{bh^3}{12} + (2n-1)Ast\frac{(gh)^2}{6} \tag{6.24}$$

$$I_y = \frac{b^3h}{12} + (2n-1)Ast\frac{(gh)^2}{6} \tag{6.25}$$

$$c_x = \frac{b}{2}, \quad \text{และ} \quad c_y = \frac{h}{2} \tag{6.26}$$

6.5.2 ช่วงที่ 2 : $e_a < e \le e_b$

เป็นช่วงที่เสามีโมเมนต์ดัดกระทำปานกลาง ผลของโมเมนต์ดัดที่กระทำกับเสาทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักตามแนวแกนของเสาลดลง แต่ *การวิบัติของเสายังคงเป็นแบบแรงอัดเป็นหลัก (Compression failure) ดังนั้น จึงเรียกการออกแบบเสาช่วงนี้ว่าเสารับแรงอัดเป็นหลัก (Compression control)* โดยที่ระยะเยื้องศูนย์สมดุล (e_b) หาได้จากระหว่างสมการที่ (6.27)-(6.34) ดังต่อไปนี้

เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส เสริมเหล็กรับแรงอัดและแรงดึงเหมือนกัน

เสาปลอกเกลียว ดังรูปที่ 6.7 (ก)

$$e_{bx} = e_{by} = 0.43\rho_g mDs + 0.14h \tag{6.27}$$

เสาปลอกเดี่ยว ดังรูปที่ 6.7 (ค)

$$e_{bx} = e_{by} = [0.67\rho_g m + 0.17](h - d') \tag{6.28}$$

เสาหน้าตัดกลม : เสาปลอกเกลียว ดังรูปที่ 6.7 (ข)

$$e_{bx} = e_{by} = 0.43\rho_g mDs + 0.14h \tag{6.29}$$

เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า เสริมเหล็กรับแรงอัดและแรงดึงเหมือนกัน

เสาปลอกเดี่ยว ดังรูปที่ 6.7 (ง)

$$e_{bx} = [0.67\rho_g m + 0.17](h - d') \tag{6.30}$$

$$e_{by} = [0.67\rho_g m + 0.17](b - d') \tag{6.31}$$

เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า เสริมเหล็กรับแรงอัดและแรงดึงไม่เหมือนกัน

เสาปลอกเดี่ยว

$$e_{bx} = \frac{\rho' m(h - 2d') + 0.1(h - d')}{(\rho' - \rho)m + 0.6} \tag{6.32}$$

$$e_{by} = \frac{\rho' m(b-2d') + 0.1(b-d')}{(\rho'-\rho)m + 0.6} \qquad (6.33)$$

เมื่อ $\rho = \frac{As}{bd}$, $\rho' = \frac{As'}{bd}$, $m = \frac{fy}{0.85\,fc'}$, $\rho_g = \frac{Ast}{A_g}$

เมื่อระยะเยื้องศูนย์ $e_a < e \le e_b$ *หลักการออกแบบจะใช้วิธีการตรวจสอบหน่วยแรงที่เกิดขึ้นต้องไม่เกินกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้* โดยหาผลรวมของอัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงที่เกิดขึ้นต่อหน่วยแรงที่ยอมให้ของแรงอัดตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดทั้งสองแกนต้องไม่เกินหนึ่ง ดังความสัมพันธ์สมการ (6.34) ต่อไปนี้

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \le 1.0 \quad \text{(ว.ส.ท. 6607 (ข))} \qquad (6.34)$$

เมื่อ $f_a = \frac{P}{A_g}$: หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นตามแนวแกน

$f_{bx} = \frac{M_x c_y}{I_x}$: หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นรอบแกน *x*

$f_{by} = \frac{M_y c_x}{I_y}$: หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นรอบแกน *y*

$F_a = 0.34(1+\rho_g m)\,fc'$: หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีต

$F_b = 0.45\,fc'$: หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ของคอนกรีต

6.5.3 ช่วงที่ 3: $e > e_b$

เป็นช่วงที่เสามีโมเมนต์ดัดกระทำอย่างมากผลของโมเมนต์ดัดที่กระทำกับเสาทำให้เกิด *การวิบัติแบบแรงดึงเป็นหลัก (Tension failure) เหล็กเสริมรับแรงดึงถูกดึงจนถึงจุดครากก่อนที่คอนกรีตจะถูกอัดแตก ดังนั้น จึงเรียกการออกแบบเสาช่วงนี้ว่าเสารับแรงดึงเป็นหลัก (Tension control)* การคำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาช่วงนี้ให้ถือว่าโมเมนต์ดัดปลอดภัย (*M*) ผันแปรแบบเส้นตรงกับน้ำหนักตามแนวแกน (*P*) จาก M_o ถึง M_b (เส้น *CD* รูปที่ 6.9) ค่า M_b หาได้จาก $M_b = P_b.e_b$ และค่า P_b หาจากสูตร $\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \le 1.0$ ส่วนค่าของ M_o สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6.35) และ (6.40) ต่อไปนี้

เสาหน้าตัดกลม และเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีปลอกเกลียว

$$M_{ox} = M_{oy} = 0.12 A_{st}\, fyDs \qquad (6.35)$$

เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีปลอกเดี่ยวเสริมเหล็กสองด้านเท่ากัน

$$M_{ox} = 0.40Asfy(h-2d') \quad (6.36)$$

$$M_{oy} = 0.40Asfy(b-2d') \quad (6.37)$$

เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีปลอกเกลียว เสริมเหล็กสองด้านไม่เท่ากัน

$$M_{ox} = 0.40Asfy(J_x)(h-d') \quad (6.38)$$

$$M_{oy} = 0.40Asfy(J_y)(b-d') \quad (6.39)$$

เมื่อ *Ast* : พื้นที่หน้าตัดของเหล็กยืนทั้งหมดในเสา

As : พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึงของเหล็กยืน

$(J_x)(h-d')$ และ $(J_y)(b-d')$ คือช่วงแขนของโมเมนต์

ในกรณีที่แรงอัดตามแนวแกน (*P*) กระทำเยื้องศูนย์ทั้งแกน *x* และแกน *y* พร้อมกัน (M_x, M_y) ให้ทำการตรวจสอบความปลอดภัยในการรับน้ำหนักจากสมการ ดังนี้

$$\frac{M_x}{M_{ox}} + \frac{M_y}{M_{oy}} \le 1.0 \quad \text{(ว.ส.ท. 6607 (ค))} \quad (6.40)$$

6.5.4 ขั้นตอนในการคำนวณออกแบบเสารับแรงอัดตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน

1) สมมติขนาดเสา และอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กยืนต่อพื้นที่หน้าตัดเสา : *b, t, d,* ρ_g *, Ast*

2) คำนวณหาระยะเยื้องศูนย์จากสมการที่ (6.41)

$$e = \frac{M}{P}, e_a = M_s\left(\frac{1}{P_o} - \frac{1}{P_a}\right) \text{ และระยะเยื้องศูนย์สมดุล } e_b \quad (6.41)$$

3) เปรียบเทียบระยะเยื้องศูนย์ :

3.1) ถ้า $e \le e_a$; *ช่วงที่ 1 :* ออกแบบเป็นเสารับแรงอัดตามแนวแกนอย่างเดียว

3.2) ถ้า $e_a < e \le e_b$; *ช่วงที่ 2* : ออกแบบเสารับแรงอัดเป็นหลัก (Compression control) ใช้วิธีการตรวจสอบหน่วยแรงที่เกิดขึ้นต้องไม่เกินกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ หาได้จากสมการที่ (6.42)

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \le 1.0 \quad (6.42)$$

3.3) ถ้า $e > e_b$; *ช่วงที่ 3* : ออกแบบเสารับแรงดึงเป็นหลัก (Tension control)

ตัวอย่างที่ 6.5 จงออกแบบเสาปลอกเดี่ยวหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส รับน้ำหนักปลอดภัยตามแกน (P) เท่ากับ 72,000 กก. และโมเมนต์ดัด M_x = 4,800 กก.–ม. โมเมนต์ดัด M_y = 1,200 กก.–ม.

กำหนดให้ fc' = 180 กก./ซม.^{2}, fy= 3,000 กก./ซม.^{2}, n = 10

วิธีทำ

สมมติขนาดหน้าตัดเสา และอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กยืนต่อพื้นที่หน้าตัดเสา : ตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักเสา

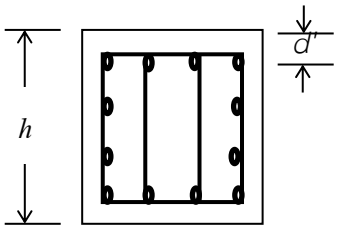
สมมติใช้ขนาดหน้าตัดเสาเท่ากับ 0.40 x 0.40 ม. และเลือก $\rho_g = 0.020$ (2.0 %)

พื้นที่หน้าตัดของเหล็กยืน : $Ast = \rho_g \times A_g = 0.020 \times (40 \times 40)$ = 32.0. ซม.^{2}

เลือกใช้เหล็กยืน 12 DB 20 มม. (Ast = 37.70 ซม.^{2}, $\rho_g = 0.0235$)

จัดวางเหล็กยืนปริมาณเท่ากันทุกด้าน ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเท่ากับ 3.0 ซม. ใช้เหล็กปลอกขนาด ϕ 9 มม. เหล็กยืน 12 DB 20 มม. ดังนั้น d' = 3.0 + 0.9 + 1.0 = 4.90 ซม.

$$m = \frac{fy}{0.85\,fc'} = \frac{3{,}000}{0.85 \times 180} = 19.60$$



ระยะเยื้องศูนย์สูงสุด : $e_x = \frac{M_x}{P} = \frac{4{,}800 \times 100}{72{,}000}$ = 6.67 ซม.

ระยะเยื้องศูนย์สมดุล : $e_{bx} = e_{by} = [0.67\rho_g m + 0.17](h - d')$

$= [0.67 \times 0.0235 \times 19.60 + 0.17](40 - 4.90)$

= 16.80 ซม. > 6.67 ซม.

ช่วงที่ 2 : $e_a < e \le e_b$; ออกแบบเสารับแรงอัดเป็นหลัก

ตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาจากสมการที่ (6.42)

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \le 1.0$$

$f_a = \frac{P}{A_g} = \frac{72{,}000}{(40 \times 40)}$ = 45.00 กก./ซม.^{2}

$F_a = 0.34(1 + \rho_g m)\, fc' = 0.34(1 + 0.0235 \times 19.60)180$ = 89.38กก./ซม.^{2}

$f_{bx} = \frac{M_x c_y}{I_x}$, $I_x = I_y = \frac{bh^3}{12} + (2n-1)Ast \times \frac{(gh)^2}{6}$

$= \frac{4{,}800 \times 100 \times 20}{322{,}215.70}$ = 29.79 กก./ซม.^{2}

$f_{by} = \frac{M_y c_x}{I_y} = \frac{1{,}200 \times 100 \times 20}{322{,}215.70}$ = 7.44 กก./ซม.^{2}

$F_{bx} = F_{by} = 0.45\,fc' = 0.45 \times 180$ = 81.0 กก./ซม.^{2}

แทนค่าลงในสมการสมการที่ (6.42)

$$\frac{f_a}{F_a}+\frac{f_{bx}}{F_{bx}}+\frac{f_{by}}{F_{by}}=\frac{45.0}{89.38}+\frac{29.79}{81.0}+\frac{7.44}{81.0}=0.963<1.0$$ ใช้ได้

ทั้งนี้แรงอัดที่เสารับได้โดยปลอดภัยมีค่าไม่เกินกว่าค่า P_a เมื่อเสารับแรงอัดตามแกนอย่างเดียว จากสมการที่ (6.16 b)

$$P_a = 0.85A_g(0.25fc'+fs\rho_g)$$
$$= 0.85\times1,600(0.25\times180+1,200\times0.0235)$$
= 99,552 กก. > 72,000 กก. ใช้ได้

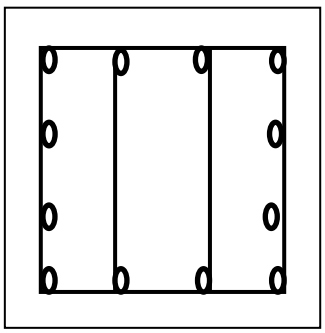
ระยะห่างเหล็กปลอก (s) : เลือกใช้เหล็กขนาด ϕ 9 มม. โดยใช้ค่าต่ำสุดดังนี้

s = 16 ของเหล็กยืน = 16 x 2.0 = 32.0 ซม.

หรือ = 48 เท่าของเหล็กปลอก = 48 x 0.9 = 43.2 ซม.

หรือ = ด้านแคบสุดของเสา = 40 ซม.

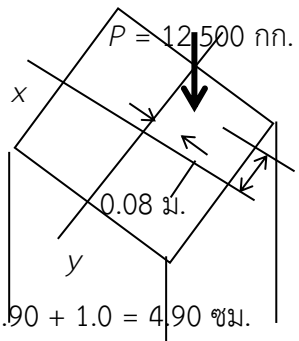
ใช้เหล็ก 2 ปϕ 9 มม.@ 0.30 ม.



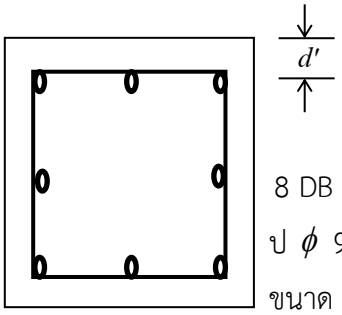
12 DB 20 มม.
2 ป ϕ 9 มม. @ 0.30 ม.
ขนาดเสา 0.40x0.40 เมตร

ตัวอย่างที่ 6.6 เสาปลอกเดี่ยวหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 0.30x0.30 เมตร เสริมเหล็กยืน 8 DB 20 มม. เหล็กปลอก ϕ 9 มม. @ 0.30 ม. รับแรงอัดเยื้องศูนย์ 12,500 กก. ดังรูป จงตรวจสอบว่าสามารถรับน้ำหนักได้ปลอดภัยหรือไม่

กำหนดให้ fc' = 180 กก./ซม.^{2}, fy = 3,000 กก./ซม.^{2}



= 3 + 0.90 + 1.0 = 4.90 ซม.



8 DB 20 มม.
ป ϕ 9 มม. @ 0.30 ม.
ขนาด 0.30x0.30 ม.

$$m=\frac{fy}{0.85fc'}=\frac{3,000}{0.85\times180}=19.60$$

วิธีทำ โมเมนต์ดัดเนื่องจากแรงเยื้องศูนย์ จากสมการที่ (6.41)

$M_x = 12{,}500 \times 0.16 = 2{,}000$ กก.–ม.

$M_Y = 12{,}500 \times 0.08 = 1{,}000$ กก.–ม.

ระยะเยื้องศูนย์สูงสุด : $e = \frac{M}{P} = \frac{2{,}000 \times 100}{12{,}500}$ = 16.00 ซม.

ระยะเยื้องศูนย์สมดุล : $e_{bx} = e_{by} = [0.67\rho_g m + 0.17](h - d')$

= $[0.67 \times 0.0279 \times 19.60 + 0.17](30 - 4.90)$

= 13.46 ซม. < 16.00 ซม. : เสารับแรงดึงเป็นหลัก

แรงอัดตามแนวแกนกระทำเยื้องศูนย์พร้อมกันทั้งสองแกน : $\frac{M_x}{M_{ox}} + \frac{M_y}{M_{oy}} \le 1.00$

$M_{ox} = M_{oy} = 0.40Asfy(h - 2d')$

= 0.40 (4x3.141) 3,000 [30 – (2x4.90)]

= 304,551.36 กก.–ซม.

$\frac{M_x}{M_{ox}} + \frac{M_y}{M_{oy}} \le 1.00 : \frac{(2{,}000 + 1{,}000) \times 100}{304{,}551.36} = 0.985 <$ 1.00

เสาสามารถรับน้ำหนักได้โดยปลอดภัย

6.6 การออกแบบเสายาว (Long Colum)

เสายาว หมายถึงเสาที่มีขนาดหน้าตัดเมื่อเทียบกับความยาวของเสาแล้วน้อยมาก ทั้งนี้อยู่ที่สถาปนิกหรือเจ้าของอาคารที่ต้องการหน้าตัดเสาขนาดเล็กๆ การโก่งงอเกิดขึ้นมากจากความชะลูดของเสา มาตรฐาน วสท. กำหนดให้เสายาวมีความสูงเกิน 15 เท่าของด้านแคบของหน้าตัดเสา และ ประมาณในการรับกำลังของเสายาวให้รับได้เพียงร้อยละ 70 ของเสานั้น ขนาดหน้าตัดน้อยเมื่อเทียบกับความสูงของเสา โดยอาจพิจารณาจากค่าอัตราส่วนความสูง (h) ต่อด้านแคบสุดของเสา (t) มากกว่า 15 ($h/t > 15$) เมื่อเสายาวรับน้ำหนักความชะลูดของเสาทำให้เกิดการโก่งตัวทางด้านข้าง การวิบัติของเสาจึงอาจเกิดขึ้นได้สองแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับการยึดหรือการค้ำยันปลายเสา แบบแรก ถ้ายึดหรือค้ำยันปลายเสาอย่างมั่นคง ปลายเสาไม่เกิดการเคลื่อนที่ การวิบัติจะเกิดจากกำลังวัสดุ (Material failure) ลักษณะเดียวกับการวิบัติของเสาสั้น แบบที่สอง ถ้ายึดหรือค้ำยันปลายเสาอย่างไม่มั่นคงเพียงพอ หรือเป็นเสาอิสระไม่ยึดรั้ง ปลายเสาเกิดการเคลื่อนที่ การวิบัติของเสาจะเกิดจากการสูญเสียความมั่นคงก่อนถึงกำลังสูงสุดของวัสดุ (Instability failure) ความชะลูดของเสาส่งผลให้ความสามารถในรับน้ำหนักของเสายาวน้อยกว่าเสาสั้น ในการออกแบบเสายาวมาตรฐาน ว.ส.ท. 5303 ให้ใช้สูตรเดียวกับเสาสั้น แล้วใช้ตัวคูณลดกำลังเสาชะลูด *(R)* ดังนี้สมการที่ (6.43)

$$P_{เสายาว} = pR_{เสาสั้น} \qquad M_{เสายาว} = RM_{เสาสั้น} \qquad (6.43)$$

เมื่อ $P_{เสาสั้น}$, $M_{เสาสั้น}$: แรงอัดและโมเมนต์ดัดที่คำนวณจากสูตรออกแบบเสาสั้น

R : ตัวคูณลดกำลังเสาชะลูด ($R \leq 1.0$)

6.6.1 ความชะลูดของเสา

พิจารณาจากอัตราส่วนความชะลูดของเสา : h/r (Slenderness ratio) เมื่อ h เป็นความยาวอิสระปราศจากการค้ำยัน และ r เป็นรัศมีไจเรชั่น ($r = \sqrt{I/A}$) กรณีเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า $r = 0.30\ t$ โดย t คือความลึกของเสาด้านรับโมเมนต์ดัด ส่วนเสาหน้าตัดกลม $r = 0.25\ D$โดย D คือเส้นผ่านศูนย์กลางเสา อย่างไรก็ตาม เสาในโครงสร้างอาคารทั่วไปจะต่อยึดกับคาน (ต่อยึดเป็นโครงเฟรม) หรือมีการค้ำยันยึดด้านข้างในรูปแบบต่างๆ จึงทำให้สติฟเนส (Stiffness) ของเสาที่มีคานและสิ่งค้ำยันยึดด้านข้างต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลให้โครงเฟรมเกิดการเคลื่อนที่หรือไม่เคลื่อนที่ก็ได้ ดังนั้น มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้พิจารณาความยาวอิสระเสา (h) จากความยาวประสิทธิผล : h' (effective length) ดังนี้

1) เสาในโครงเฟรมปลายเสาไม่เคลื่อนที่ เนื่องจากยึดหรือค้ำยันปลายเสาอย่างมั่นคงเพียงพอ ให้ใช้ความยาวประสิทธิผล : $h' = h$

2) เสาในโครงเฟรมปลายเสาเคลื่อนที่ เนื่องจากไม่มีการยึดปลายเสาหรือค้ำยันปลายเสาไม่มั่นคงเพียงพอ ความยาวประสิทธิผล : h' จะขึ้นอยู่กับการยึดปลายเสาโดยคำนวณจากตัวคูณของจุดต่อ : r_j ซึ่งเป็นอัตราส่วนของผลรวมสติฟเนสของเสา (Kc) ต่อผลรวมสติฟเนสของคาน (Kb) บนระนาบพิจารณาที่จุดต่อ j นั่น ดังแสดงในสมการที่ (6.44)

$$r_j' = \frac{\sum Kc}{\sum Kb} \qquad (6.44)$$

โดยที่ r_j': ตัวคูณความยาวประสิทธิผล

Kc : ผลรวมสติฟเนสของเสาที่อยู่เหนือและใต้จุดต่อ $\sum \frac{2EIc}{h}$

Kb : ผลรวมสติฟเนสของคานซ้ายและขวาจุดต่อ $\sum \frac{2EIb}{L}$

h : ความยาวของเสาที่ปราศจากการค้ำยัน

L : ความยาวของคาน

ให้ใช้ความยาวประสิทธิผล h' ที่มีค่ามากโดยพิจารณาทั้ง 2 ระนาบ จากกรณีต่อไปนี้

1) ถ้าอัตราส่วน $r' > 25$ ให้ถือว่าปลายเสานั้นมีสภาพยึดหมุน (Pinned end)

2) ถ้าปลายเสาข้างหนึ่งถูกยึดรั้งไม่ให้หมุน และอีกปลายหนึ่งมีสภาพยึดหมุน ให้ใช้ความยาวประสิทธิผล $h' = 2h(0.78 + 0.22r') \geq 2h$ โดย r' เป็นค่าสำหรับปลายที่ถูกยึดไว้

3) ถ้าปลายเสาถูกยึดรั้งไว้ไม่ให้หมุนทั้งสองปลาย ให้ใช้ความยาวประสิทธิผล $h' = h(0.78 + 0.22r') \geq h$ โดย r' เป็นค่าเฉลี่ยสำหรับปลายเสาทั้งสอง ($r' = \frac{1}{2}r_T' + r_B'$) คือปลายเสาบน ($T$) และปลายเสาล่าง ($B$)

4) สำหรับปลายเสาอิสระ (Free end) อีกปลายหนึ่งมีสภาพยึดแน่นไม่ให้หมุนให้ใช้ความยาวประสิทธิผลเป็นสองเท่าของความยาวเสา $h' = 2h$

6.6.2 ตัวคูณลดกำลังเสาชะลูด (R)

มาตรฐาน ว.ส.ท. 5303 กำหนดให้ใช้สูตรลดกำลังเสาชะลูด ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนชะลูด ลักษณะการโก่งทางข้างของเสา และการเคลื่อนที่ปลายเสา ดังแสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ (6.45) ถึง(6.50) ดังต่อไปนี้

1) *กรณีเสารับแรงอัดตามแกนอย่างเดียว*($e \le e_a$)

$$R = 1.07 - 0.008\,(h/r) \le 1.0 \qquad (6.45)$$

2) *กรณีเสารับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน*

2.1) เมื่อเสารับแรงอัดเป็นหลัก ($e_a < e \le e_b$) (6.46)

ปลายเสาไม่เกิดการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง

(1) เมื่อเสาโก่งสองทาง (double curvature) ดังรูปที่ 6.8 (ก)

ถ้า $(h/r) < 60 : R = 1.0$

ถ้า $60 \le \left(\frac{h}{r}\right) \le 100 : R = 1.32 - 0.006\,(h/r) \le 1.0$ (6.47)

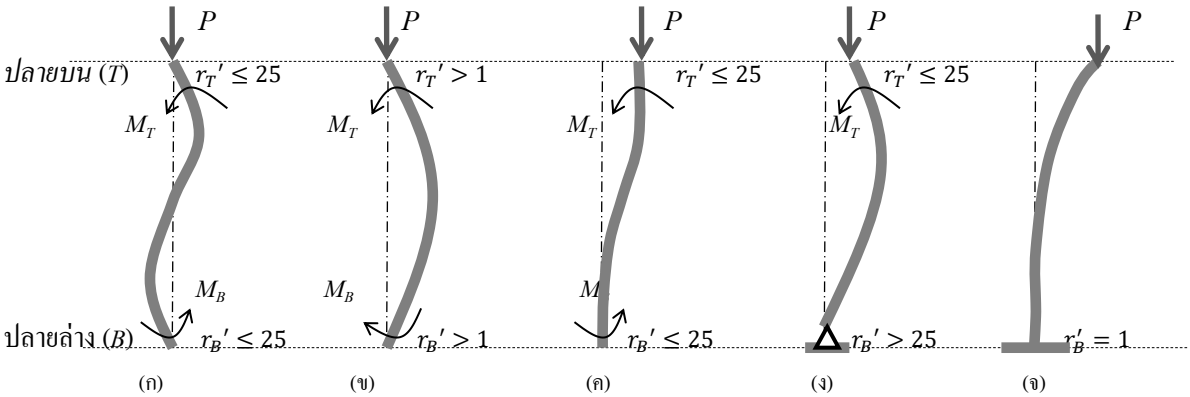
ถ้า $h/r > 100$ ให้วิเคราะห์โดยคำนึงถึงระยะโก่งที่เพิ่มขึ้น

(2) เมื่อเสาโก่งทางเดียว (single curvature) ดังรูปที่ 6.8 (ข)

$$R = 1.07 - 0.008(\mathrm{h/r}) \le 1.0 \qquad (6.48)$$

1.2 ปลายเสาเกิดการเคลื่อนที่ทางด้านข้างได้ ดังรูปที่ 6.8 (ค) ถึง (จ)

$$R = 1.07 - 0.008(h'/r) \le 1.0 \qquad (6.49)$$



รูปที่ 6.10 ลักษณะการโก่งตัวและการเคลื่อนที่ทางด้านข้างของเสา

ที่มา: มาตรฐาน ว.ส.ท. 5303

2.2) เมื่อเสารับแรงดึงเป็นหลัก ($e > e_b$)

$$R' = 1 - (1 - R)\frac{e_b}{e} \ge R \qquad (6.50)$$

R : ตัวคูณลดกำลังเสาชะลูดที่ได้จากกรณีที่ 1.1 หรือ 1.2

$\frac{e_b}{e}$: อัตราส่วนระยะเยื้องศูนย์สมดุลต่อระยะเยื้องศูนย์

ตารางที่ 6.1 ค่า k สำหรับการยึดของปลายเสาลักษณะต่างๆ

ลักษณะ	1. ปลายยึดแน่นทั้งสองข้าง	2. ปลายยึดแน่นและยึดหมุน	3. ปลายยึดหมุนทั้งสองข้าง	4. ปลายยึดแน่นและอิสระยึดแน่น	5. ปลายยึดแน่นและอิสระยึดหมุน
ลักษณะการยึดปลายและการโค้งงอเสา					
ค่า k กำหนดตามทฤษฎี	0.5	0.7	1	1	2
ค่า k ใช้ในออกแบบเสา	0.65	0.8	1	1.2	2.1

ลักษณะยึดปลายแบบต่างๆ				
มีการหมุน		✓		✓
ไม่มีการหมุน	✓		✓	✓
มีการเคลื่อนที่			✓	
ไม่มีการเคลื่อนที่	✓	✓		

ที่มา: วสท, 2540

จากข้อมูลในตารางที่ 6.1 ค่า k สำหรับการยึดของปลายเสาลักษณะต่างๆการโก่งงอเกิดขึ้นมากจากความชะลูดของเสา จากมาตรฐาน วสท. กำหนดให้เสายาวมีความสูงเกิน 15 เท่าของด้านแคบของหน้าตัดเสา และ ประมาณในการรับกำลังของเสายาวให้รับได้เพียง 70 เปอร์เซ็นต์ของเสานั้น ดังนั้นการรับน้ำหนักของเสายาวต้องลดกำลังที่เสารับได้ตามปกติ (เสาสั้น) ลง การจะลดน้ำหนักลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชะลูดของเสายาว การคำนวณความสามารถรับน้ำหนักของเสายาว *(P')* ต้องคำนวณโดยนำค่าตัวคูณลด (*R*) คูณกับความสามารถรับน้ำหนักแบบเสาสั้น (*P*)

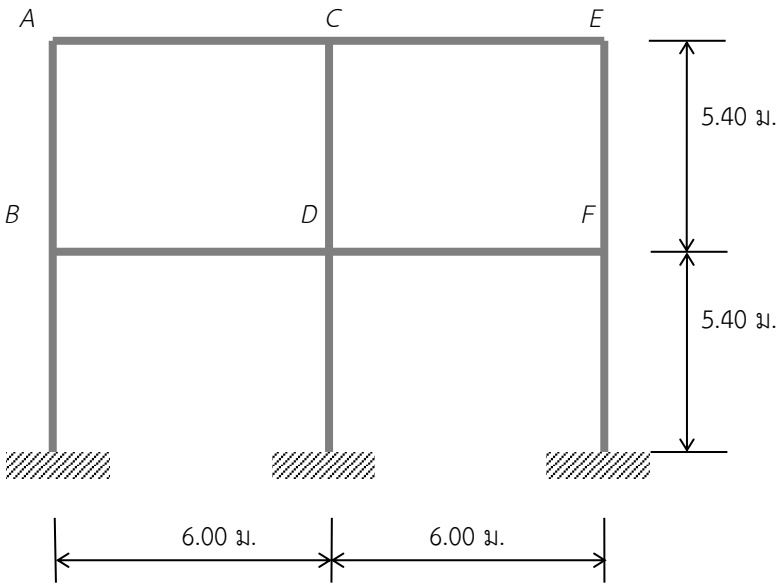
ตัวอย่างที่ 6.7 จงหาค่าตัวคูณลดกำลังเสาชะลูด (*R*) ของเสาตัวกลาง *CD* ในโครงเฟรม ดังรูป เมื่อกำหนดให้

ก) ปลายเสาไม่เกิดการเคลื่อนที่ และ

ข) ปลายเสาเกิดการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง ปลายเสาถูกยึดรั้งไว้ไม่ให้หมุนทั้งสองปลาย

กำหนดให้ เสาโก่งแบบสองทาง และเสารับแรงอัดเป็นหลัก

ขนาดเสา 0.25x0.40 ม. และขนาดคาน 0.25x0.50 ม.



วิธีทำ

ก) ปลายเสาไม่เกิดการเคลื่อนที่

h = 540 ซม., $r = 0.30\,t$ = 0.30(40) = 12 ซม.

h/r = 45 < 60 ไม่ต้องลดกำลังเสาชะลูด; ใช้ R = 1.0

ข) ปลายเสาเกิดการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง จากสมการที่ (6.44), (6.45)

ค่าตัวคูณลดกำลังเสาชะลูด : $R = 1.07 - 0.008(h'/r) \leq 1.0$

ความยาวประสิทธิผล : $h' = h(0.78 + 0.22r') \geq h$

โดย $r' = \frac{1}{2}r_T{}' + r_B{}'$

$$r_T' = \frac{\sum Kc}{\sum Kb} = \frac{\frac{(25 \times 40^3)/12}{540}}{\frac{2(25 \times 50^3)/12}{600}} = \frac{246.91}{868.05} = 0.284$$

$$r_B' = \frac{\sum Kc}{\sum Kb} = \frac{\frac{2(25 \times 40^3)/12}{540}}{\frac{2(25 \times 50^3)/12}{600}} = \frac{493.82}{868.05} = 0.568$$

ค่าเฉลี่ย $r' = \frac{1}{2}r_T{}' + r_B{}'$ = 0.426

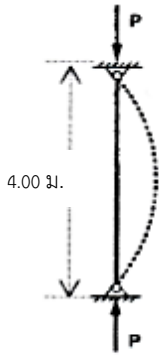
$h' = h(0.78 + 0.22 \times 0.426) = 471.80 < h$ ดังนั้น ใช้ $h' = 540$ ซม.

$$R = 1.07 - 0.008\,(540/12)$$

$$= 0.71$$

ตัวอย่างที่ 6.8 เสาคอนกรีตชนิดปลอกเดียวสูง 4.00 เมตร รับน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกนแบบเสายาวเท่ากับ 15,000 กิโลกรัม โดยกำหนดหน้าตัดของเสาเท่ากับ 25 x 25 ซม. จงคำนวณหาน้ำหนักปลอดภัยของเสานี้เป็นแบบเสาสั้น กำหนดให้เสานี้ยึดแบบกรณีที่ 3 จากตารางการหาค่า K

วิธีทำ



สูตรแบบเสายาวรับได้ $p' = pR$

แบบเสาสั้นจะรับได้ $p = \frac{P'}{R}$

จากเสายาวรับได้ p = 15,000 กก.

R = 1.07-0.008($\frac{h}{r}$)

h' = kh = (1)(400) = 400 ซม.

R = 0.3t = 0.3 x 2.5 = 7.5 ซม.

$\frac{h'}{r} = \frac{400}{7.5} = 53.33 < 100$

R = 1.07 – 0.008(53.33) = 0.64 < 100

$P = \frac{P'}{R}$

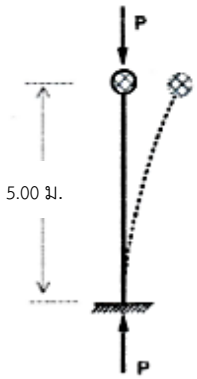
$= \frac{15{,}000}{0.64}$

P = 23,437 กก.

ฉะนั้นถ้าเป็นเสาสั้นจะรับน้ำหนักได้โดยปลอดภัย = 23,437 กิโลกรัม

ตัวอย่างที่ 6.9 จงออกแบบเสากลมสูง 5.00 เมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร เสานี้จะรับน้ำหนักปลอดภัยแบบเสาสั้นได้ 50,000 กิโลกรัม กำหนดให้โคนเสานี้ยึดแน่นแต่ปลายเสามิได้ยึดติดอะไรเลย จงคำนวณหาน้ำหนักที่เสานี้ได้รับโดยปลอดภัยแบบเสายาว

วิธีทำ การยึดของเสานี้ค่า k จะอยู่ในกรณีที่ 5 จากตารางที่ 6.1



P = 50,000 กก.

R = 1.07-0.008($\frac{h}{r}$)

h' = kh = (2.1)(500) = 1,050 ซม.

r = 0.25 D = (0.25)(30) = 7.5 ซม.

$\frac{h'}{r}$ = $\frac{1,050}{7.5}$ = 140 > 100

ค่า $\frac{h}{r}$ มากกว่า 100 แสดงว่าขนาดของเสาเล็กเกินไป ต้องเพิ่มขนาดของเสาให้ใหญ่กว่าที่กำหนด

ในที่นี้จะเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเป็น 45 เซนติเมตร (D = 45 ซม.)

ฉะนั้น r = 0.25 x 45 = 11.25 ซม.

$\frac{h}{r}$ = $\frac{1,050}{11.25}$ = 93.33 > 100

R = 1.07-0.008(93.33) = 0.32 < 1

แบบเสายาวรับได้

P' = p(R)

P' = 50,000(0.32) = 16,000 กก.

ฉะนั้นน้ำหนักที่เสานี้จะรับได้โดยปลอดภัย = 16,000 กิโลกรัม

6.7 ตัวอย่างระคน การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตัวอย่างที่ 6.10 เสาสั้นรับน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกน 55,000 กก.

กำหนดให้ fc' = 210 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2}

จงออกแบบ ก) เสาปลอกเดี่ยว ข) เสาปลอกเกลียว

ก) เสาปลอกเดี่ยว

วิธีทำ กำลังรับน้ำหนักปลอดภัยตามแกน $P = 0.85A_g(0.25fc' + fs\rho_g)$

สมมติขนาดหน้าตัดเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสเท่ากับ 0.30 x 0.30 ม.(A_g = 900.00 ซม.^{2})

กำลังรับน้ำหนักโดยคอนกรีต $P_C = 0.85(0.25fc')A_g$ = 0.85 (0.25 x 210) 900

= 40,162.50 กก.

กำลังรับน้ำหนักโดยเหล็กเสริม : $P_S = P - P_C = 0.85 fs\rho_g A_g = 0.85 fsAst$

55,000 – 40,162.5 = 0.85 (0.40 x 3,000) *Ast*

$Ast = \frac{14{,}837.5}{0.85(0.40 \times 3{,}000)}$ = 14.54 ซม.^{2}

เลือกใช้เหล็ก 8 DB 16 (*Ast* = 16.08 ซม.^{2}, $\rho_g = 0.0178$)

ระยะห่างเหล็กปลอก (*s*) : เลือกใช้เหล็กขนาด ϕ 6 มม. โดยใช้ค่าต่ำสุดดังนี้

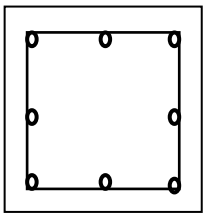
s = 16 ของเหล็กยืน = 16 x 1.6 = 25.6 ซม.

หรือ = 48 เท่าของเหล็กปลอก = 48 x 0.9 = 43.2 ซม.

หรือ = ด้านแคบสุดของเสา = 30 ซม.

เลือกใช้เหล็กปลอกขนาด ϕ 9 มม. @ 0.25 ม.

รายละเอียดการเสริมเหล็ก



8 DB 16

ป ϕ 9 มม. @ 0.25 ม.

ข) เสาปลอกเกลียว

วิธีทำ กำลังรับน้ำหนักปลอดภัยตามแกน : $P = A_g(0.25 fc' + fs\rho_g)$

สมมติขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเท่ากับ 0.30 ม.(A_g = 706.85 ซม.^{2})

กำลังรับน้ำหนักโดยคอนกรีต : $P_C = 0.25 fc' A_g$ = 0.25 (210) 706.85

= 37,110.06 กก.

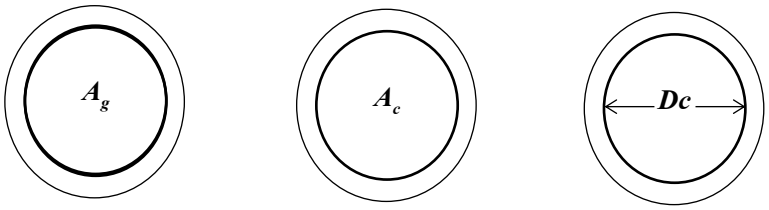
กำลังรับน้ำหนักโดยเหล็กเสริม : $P_S = P - P_C = fs\rho_g A_g = fsAst$

55,000 – 37,110.06 = (0.40 x 3,000) *Ast*

$Ast = \frac{17{,}889.94}{(0.40 \times 3{,}000)}$ = 14.90 ซม.^{2}

เลือกใช้เหล็ก 8 DB 16 (*Ast* = 16.08 ซม.^{2}, $\rho_g = 0.0227$)

ปริมาณเหล็กปลอกเกลียว : $\rho_S = 0.45(\frac{A_g}{A_c} - 1)\frac{fc'}{fy} = 0.45\left[\left(\frac{30}{24}\right)^2 - 1\right]\frac{210}{2{,}400}$ = 0.022148

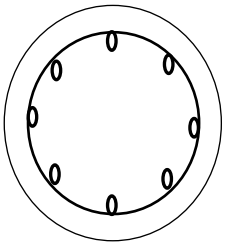


เลือกใช้เหล็กปลอกเกลียวขนาด ϕ 9 มม. (As = 0.636 ซม.^{2})

ระยะห่างปลอกเกลียว : $s = \frac{4As}{\rho_s Dc} = \frac{4 \times 0.636}{0.022148 \times 24}$ = 4.78 ซม.

ใช้ปลอกเกลียวขนาด ϕ 9 มม. @ 0.04 ม.

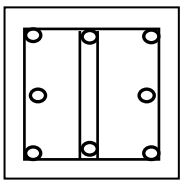
รายละเอียดการเสริมเหล็ก



8 DB 16

ป ϕ 9 มม. @ 0.04 ม.

ตัวอย่างที่ 6.11 จงตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกนของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังรูปกำหนดให้ fc' = 250 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2} ขนาดหน้าตัดเสา 0.40x0.40 ม.



8 DB 25

2 ปϕ 9 มม.@ 0.40 ม.

วิธีทำ

กำลังรับน้ำหนักปลอดภัยตามแกน : $P = 0.85A_g(0.25fc' + fs\rho_g)$

A_g = 40x40 = 1,600.00 ซม.^{2}

Ast = (4.91x8) = 39.27 ซม.^{2}

$$\rho_g = \frac{Ast}{A_g} = \frac{39.27}{1{,}600} = 0.0245$$

P = 0.85 (1,600) (0.25 x 210 + (0.40 x 3,000) 0.0245)

= 1,360 (52.5 + 29.4)

= 111,384 กก.

ความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกน เท่ากับ 111 ตัน

ตัวอย่างที่ 6.12 จงออกแบบเสาปลอกเดี่ยวน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกน 50,000 กก. และค่าโมเมนต์ดัดเท่ากับ 3,600 กก.–ม.

กำหนดให้ fc' = 250 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2} n = 9

วิธีทำ สมมติขนาดหน้าตัดเสา และอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดเหล็กยืนต่อพื้นที่หน้าตัดเสา : ตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักเสา

สมมติใช้ขนาดหน้าตัดเสาเท่ากับ 0.30 x 0.30 ม. และเลือก $\rho_g = 0.020$ (2.0 %)

พื้นที่หน้าตัดของเหล็กยืน : $Ast = \rho_g \times A_g = 0.020 \times (30 \times 30)$ = 18.0. ซม.^{2}

เลือกใช้เหล็กยืน 8 DB 20 มม. (Ast = 25.13 ซม.^{2}, $\rho_g = 0.0279$)

จัดวางเหล็กยืนปริมาณเท่ากันทุกด้าน ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเท่ากับ 3.0 ซม. ใช้เหล็กปลอกขนาด ϕ 9 มม. เหล็กยืนขนาด DB 20 มม. ดังนั้น d' = 3.0 + 0.9 + 1.0 = 4.90 ซม.

$$m = \frac{fy}{0.85\,fc'} = \frac{3{,}000}{0.85 \times 250} = 14.11$$

ระยะเยื้องศูนย์สูงสุด : $e_x = \dfrac{M_x}{P} = \dfrac{3{,}600 \times 100}{50{,}000}$ = 7.20 ซม.

ระยะเยื้องศูนย์สมดุล : $e_{bx} = e_{by} = [0.67\rho_g m + 0.17](h - d')$

$= [0.67 \times 0.0279 \times 14.11 + 0.17](30 - 4.90)$

= 10.88 ซม. > 7.20 ซม.

ช่วงที่ 2 : $e_a < e \le e_b$***;*** ออกแบบเสารับแรงอัดเป็นหลัก

ตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาจากสมการ

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \le 1.0$$

$$f_a = \frac{P}{A_g} = \frac{50{,}000}{(30 \times 30)} = 55.55 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$F_a = 0.34(1 + \rho_g m)\, fc' = 0.34(1 + 0.0279 \times 14.11)250 = 118.46 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$f_b = \frac{Mc}{I},\ I_x = I_y = \frac{bh^3}{12} + (2n-1)Ast \times \frac{(gh)^2}{6} = 96{,}553.12 \text{ ซม.}^4$$

$$= \frac{3{,}600 \times 100 \times 15}{96{,}553.12} = 55.92 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$F_b = F_b = 0.45\,fc' = 0.45 \times 250 = 112.50 \text{ กก./ซม.}^2$$

แทนค่าลงในสมการ

$$\frac{f_a}{F_a}+\frac{f_b}{F_b}=\frac{55.55}{118.46}+\frac{55.92}{112.5}$$ = 0.95 < 1.0 ใช้ได้

ทั้งนี้แรงอัดที่เสารับได้โดยปลอดภัยมีค่าไม่เกินกว่าค่า P_a เมื่อเสารับแรงอัดตามแกนอย่างเดียว

$$P_a = 0.85A_g(0.25fc' + fs\rho_g)$$

$$= 0.85\times 900(0.25\times 250 + (0.4\times 3{,}000)0.0279)$$

= 73,424.7 กก. > 50,000.0 กก. ใช้ได้

ระยะห่างเหล็กปลอก (s) : เลือกใช้เหล็กขนาด ϕ 9 มม. โดยใช้ค่าต่ำสุดดังนี้

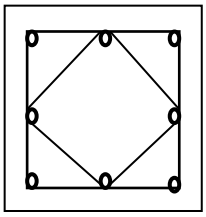
s = 16 ของเหล็กยืน = 16 x 2.0 = 32.0 ซม.

หรือ = 48 เท่าของเหล็กปลอก = 48 x 0.9 = 43.2 ซม.

หรือ = ด้านแคบสุดของเสา = 30 ซม.

ใช้เหล็ก 2 ปϕ9 มม. @ 0.30 ม.

รายละเอียดการเสริมเหล็ก



8 DB 20 มม.

2 ป ϕ 9 มม. @ 0.30 ม.

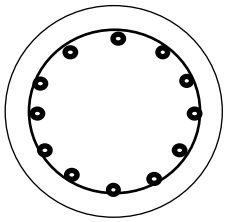
ขนาดเสา 0.30x0.30 เมตร

ตัวอย่างที่ 6.13 จงตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักตามแนวแกนเท่ากับ 70,000 กก. และค่าโมเมนต์ดัด (*M*) เท่ากับ 4,200 กก.–ม. ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กดังรูปได้ปลอดภัยหรือไม่

กำหนดให้ fc' = 210 กก./ซม.^{2}

fy = 3,000 กก./ซม.^{2}

เสาปลอกเกลียวขนาด ϕ 0.40 ม.



12 DB 20

ปϕ 9 มม.@ 0.05 ม.

วิธีทำ

$$n = \frac{Es}{Ec} = \frac{2.04\times10^6}{15{,}100\sqrt{210}} + 9.32 = 9.0$$

Ast = 37.70 ซม.^{2} A_g = 1,256.63 ซม.^{2}

$$\rho_g = \frac{Ast}{A_g} = \frac{37.70}{1{,}256.63} = 0.030$$

$$e = \frac{M}{P} = \frac{4{,}200\times100}{70{,}000} = 6.00 \text{ ซม.}$$

$$e_b = 0.43\rho_g mDs + 0.14h$$

$$= 0.43\text{x}0.03\text{x}0.43\times0.03\left(\frac{3{,}000}{0.85\times210}\right)30.2 + (0.14\times40)$$

= 12.14 ซม. > 6.0 ซม. อยู่*ช่วงที่ 2* : $e_a < e \le e_b$

ตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาจากสมการ $\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \le 1.0$

$$f_a = \frac{P}{A_g} = \frac{70{,}000}{1{,}256.63} = 55.70 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$F_a = 0.34(1+\rho_g m)\,fc' = 0.34(1+0.03\times16.80)210 = 107.40 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$f_b = \frac{Mc}{I}, \qquad I_x = I_y = \frac{bh^3}{12} + (2n-1)Ast\times\frac{(gh)^2}{6} = 198{,}729.50 \text{ ซม.}^4$$

$$= \frac{4{,}200\times100\times20}{198{,}729.50} = 42.26 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$F_b = F_b = 0.45\,fc' = 0.45\times210 = 94.50 \text{ กก./ซม.}^2$$

แทนค่าลงในสมการ : $\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = \frac{55.70}{107.40} + \frac{42.26}{94.50}$ = 0.965 < 1.0 ใช้ได้

เสาสามารถรับน้ำหนักตามแนวแกน 70,000 กก. และโมเมนต์ดัด 4,200 กก.–ม. ได้ปลอดภัย

ตัวอย่างที่ 6.14 จากตัวอย่างที่ 8จงหาค่าตัวคูณลดกำลังเสาชะลูด (R) ของเสาตัวริม AB ในโครงเฟรม เมื่อ

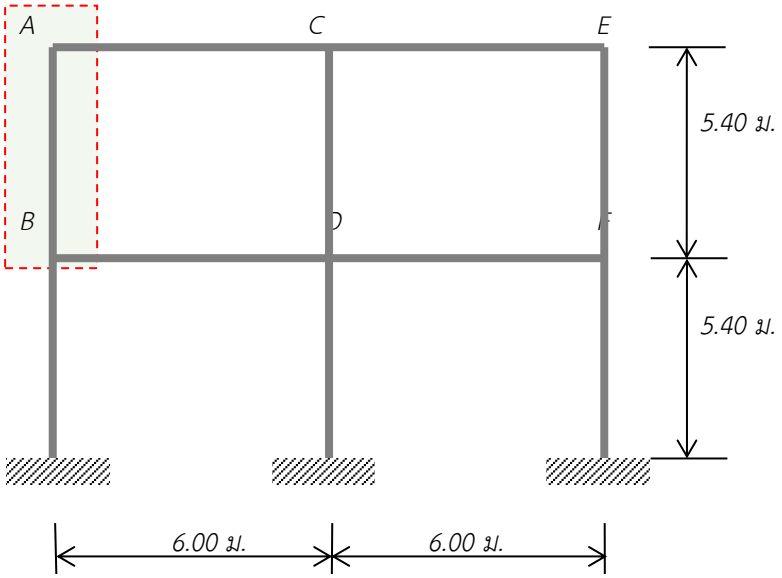
ก) ปลายเสาไม่เกิดการเคลื่อนที่ และ

ข) ปลายเสาเกิดการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง ปลายเสาถูกยึดรั้งไว้ไม่ให้หมุนทั้งสองปลาย

กำหนดให้ เสาโก่งแบบสองทาง และเสารับแรงอัดเป็นหลัก

ขนาดเสา 0.25x0.40 ม. และขนาดคาน 0.25x0.50 ม.

ก) ปลายเสาไม่เกิดการเคลื่อนที่



วิธีทำ

h = 540 ซม., r = 0.30 t = 0.30(40) = 12 ซม.

h/r = 45 < 60 ไม่ต้องลดกำลังเสาชะลูด; ใช้ R = 1.0

ข) ปลายเสาเกิดการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง

ค่าตัวคูณลดกำลังเสาชะลูด : $R = 1.07 - 0.008(h'/r) \leq 1.0$

ความยาวประสิทธิผล : $h' = h(0.78 + 0.22r') \geq h$

โดย $r' = \frac{1}{2}r_T{}' + r_B{}'$

$$r_T' = \frac{\sum Kc}{\sum Kb} = \frac{\frac{(25 \times 40^3)/12}{540}}{\frac{(25 \times 50^3)/12}{600}} = \frac{246.91}{434.02} = 0.568$$

$$r_B' = \frac{\sum Kc}{\sum Kb} = \frac{\frac{2(25 \times 40^3)/12}{540}}{\frac{(25 \times 50^3)/12}{600}} = \frac{493.82}{434.02} = 1.13$$

ค่าเฉลี่ย $r' = \frac{1}{2}r_T{}' + r_B{}'$ = 0.85

$h' = 540(0.78 + 0.22 \times 0.85) = 522.80 < h$ ดังนั้น ใช้ h' = 540 ซม.

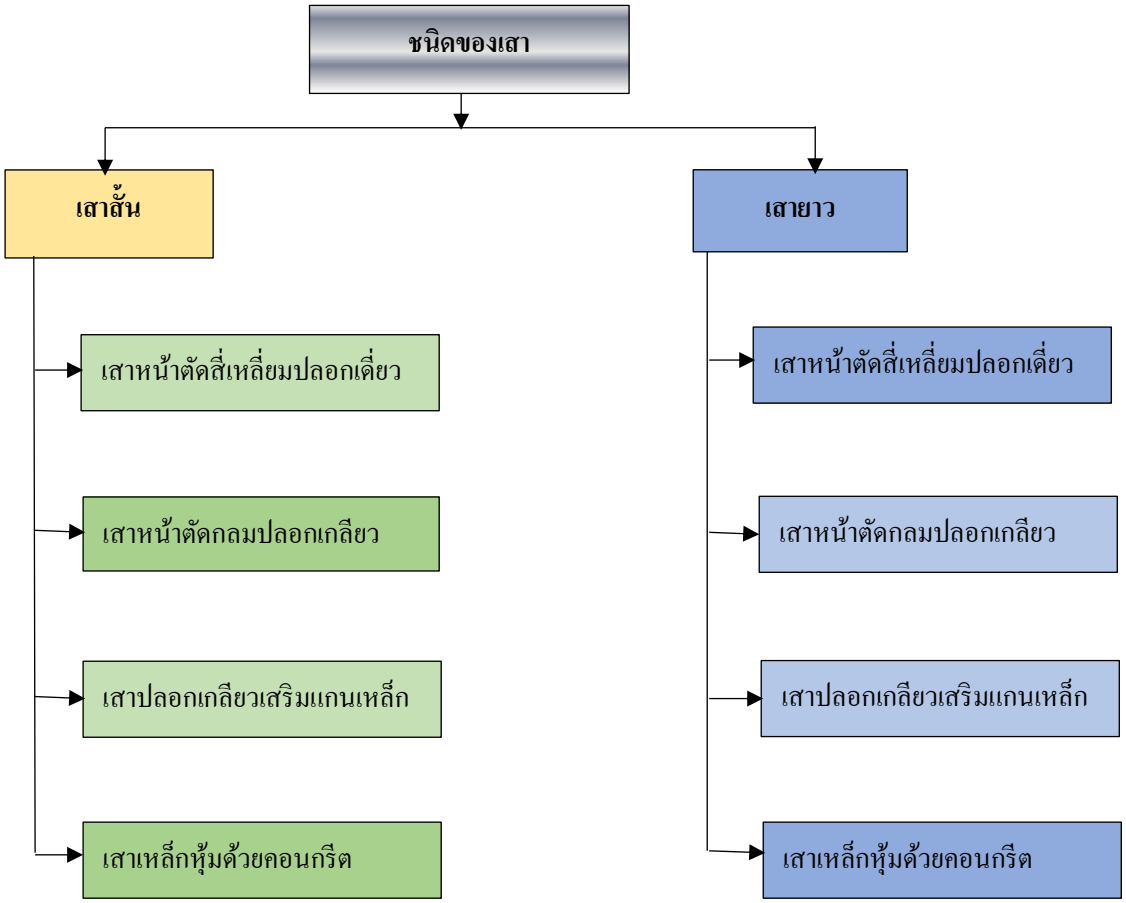
$$R = 1.07 - 0.008\,(540/12)$$

$$= 0.71$$

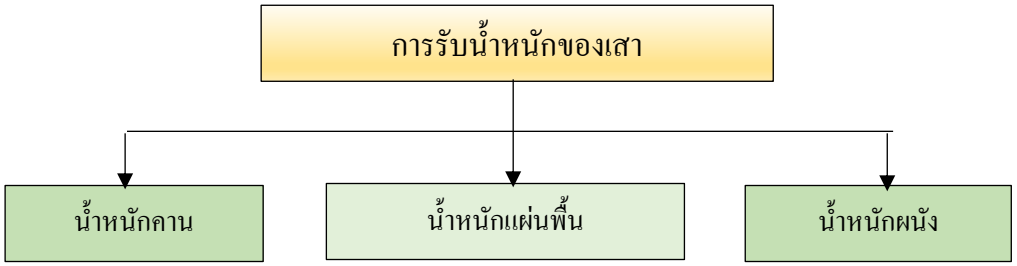
ผลของความชะลูดและการโก่งตัวทางด้านข้างทำให้เสารับน้ำหนักลดลงร้อยละ 29

สรุป การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

6.1 ชนิดของเสา



6.2 การรับน้ำหนักของเสา



6.3 ข้อกำหนดการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

6.3.1 ด้านแคบที่สุดของเสา

6.3.2 ขนาดเหล็กแกน

6.3.3 พื้นที่หน้าตักของเหล็กแกนในเสา

6.3.4 ช่องว่างระหว่างเหล็กแกนของเสา

6.3.5 การเสริมเหล็กปลอกรัดเพิ่ม

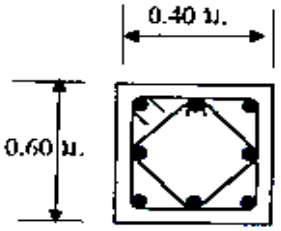
6.3.6 ขนาดเหล็กปลอก

แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

จงคำนวณหาน้ำหนักที่เสานี้จะรับได้โดยปลอดภัยกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้ เสาคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดปลอกเดียวขนาด 0.40 x 0.60 ม. มีลักษณะเสาสั้นประกอบด้วยเหล็กเสริม DB 20 มม. จำนวน 8 เส้นดังรูป (10 คะแนน)



8 – DB 20 มม.

1. fc' = 120 + รหัส น.ศ. =_____กก./ซม.^{2}, fs = 1500 กก./ซม.^{2}

2. น้ำหนักที่เนื้อคอนกรีตรับได้ สูตร P_C =_____

3. แทนค่า P_C =_____=_____ กก.

4. น้ำหนักที่เนื้อเหล็กเสริมรับได้ สูตร P_S =_____

5. แทนค่า P_S =_____=_____ กก.

6. น้ำหนักที่หน้าตัดเสารับได้ สูตร P =_____

7. แทนค่า P =_____=_____ กก.

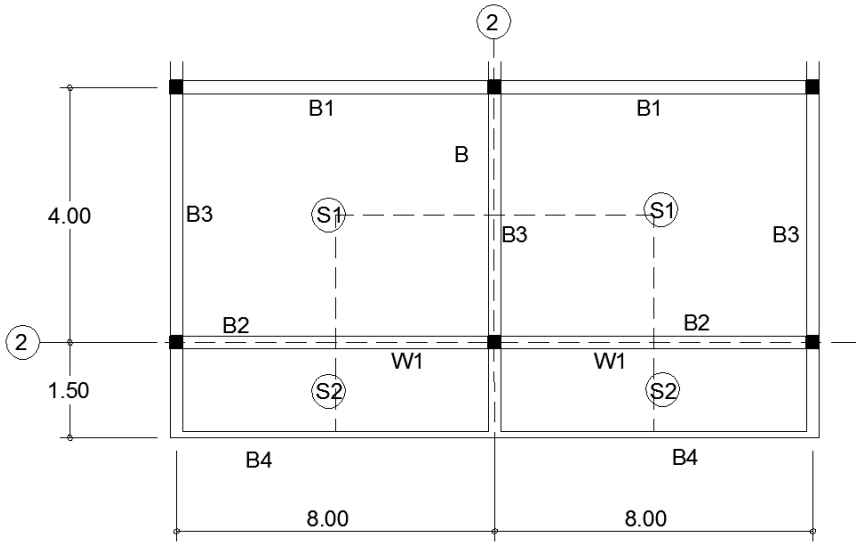
ใบงานที่ 6.1 แบบฝึกหัด

โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

คำชี้แจง: ให้นักศึกษาคำนวณและออกแบบเสาตามโจทย์ต่อไปนี้

จงออกแบบเสาชั้น 1 (C-2) ประเภทเสาสั้น อาคารตึกแถว หน้าตัดเสาเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีความสูงแต่ละชั้นและแบบแปลนพื้นชั้น 2 ดังรูป กำหนดให้พื้น S1,S2 หนา 0.12 ม. น้ำหนักจร (LL +รหัส= 200 กก./ซม.^{2}) , คานทุกตัวขนาด 0.20 x 0.50 ม. , ผนัง W1 ก่ออิฐเต็มแผ่นสูง 3.00 ม.

fc' = 120 + รหัสน.ศ. = 120 กก./ซม.^{2} fs = 1500 กก./ซม.^{2} (40 คะแนน)



1. คำนวณหาน้ำหนักลงเสา (C-2) โดยวิธีแบ่งครึ่งพื้นที่

- น้ำหนักพื้น 1 ม.^{2} สูตร W = _____ + _____

  - รวมน้ำหนักพื้น W =_____=_____กก./ม.^{2}

  - น้ำหนักพื้นลงเสา W_S =_____=_____กก.

- น้ำหนักคานยาว 1 ม. B =_____=_____กก./ม.

  - น้ำหนักพื้นลงเสา W_B =_____=_____กก.

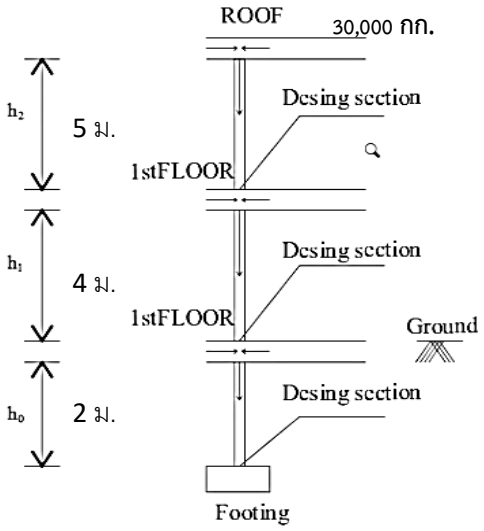
- น้ำหนักผนังยาว 1 ม. W_1 =_____= _____ กก./ม.

- น้ำหนักพื้นลงเสา W_{W1} =_____=_____กก.

▪ น้ำหนักรวมลงเสาชั้น 1 *P* =_____+_____+_____

- น้ำหนักทั้งหมดลงเสา *P* = _____+_____+_____ = _____กก.

ให้นำค่าแรง *P* ที่คำนวณได้จากข้อ 1 ใส่ลงในช่องว่างในรูปตัด



2. ออกแบบเสาสั้นหน้าตัดสี่เหลี่ยมปลอกเดี่ยว

รวมน้ำหนักทั้งหมดทำกับเสาชั้น1

P_1 =_____+_____ = _____ กก.

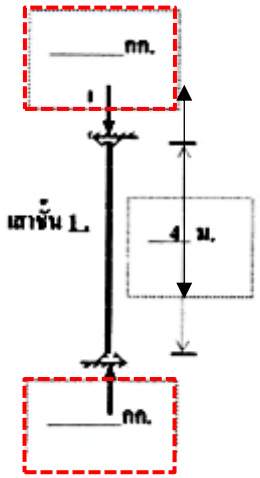
▪ สมมุติออกแบบขนาดเสาสั้นจาก มาตรฐาน $\frac{h}{t}$ ≤ _____

- เลือกด้านแคบเสา t ≥ _____

t = _____ = _____ใช้_____ม.

▪ เลือกขนาดเสา = _____ ม.

▪ น้ำหนักที่เนื้อคอนกรีตรับได้ (P_C)



- สูตร P_C =_____กก.

- แทนค่า P_C =_____=_____กก.

▪ น้ำหนักที่พื้นเหล็กแกนต้องรับได้ (P_S)

- สูตร P_S =_____

- แทนค่า P_S =_____=_____กก.

▪ พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมที่รับน้ำหนักได้ (A_S)

- สูตร A_S =_____ซม.^{2}

- แทนค่า A_S =_____=_____ซม.^{2}

▪ เลือกใช้เหล็กแกน

- ชนิดและขนาด_____ จำนวน_____เส้น A_S =_____ซม.^{2}

▪ ตรวจสอบตามมาตรฐาน วสท. สูตร Pg =_____

- แทนค่า Pg = _____=_____

- ปลอดภัย เพราะ _____

3.ออกแบบเหล็กปลอกเดี่ยว ตามมาตรฐาน วสท.กำหนด

- เลือกใช้ขนาดเหล็กปลอก _____มม.

- ระยะห่างของเหล็กปลอก

  - S ≤ _____=_____=_____ซม.

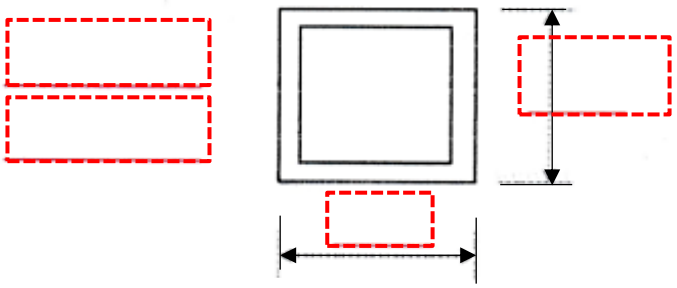
  - S ≤ _____=_____=_____ซม.

  - S ≤ _____=_____=_____ซม.

▪ สรุปเลือกออกแบบเหล็กปลอกเดี่ยว

- ปลอก _____@_____ม

4. จงเขียนรูปหน้าตักเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่คำนวณได้ให้สมบูรณ์



รูปหน้าตัด

(ให้หาค่าและ ใส่คำตอบที่ถูกต้อง)

ใบงานที่ 6.2 กิจกรรมกลุ่ม

โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

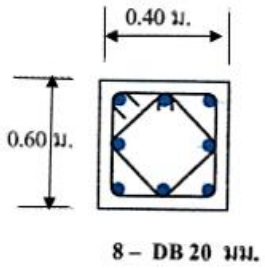
คำชี้แจง

1. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มละ 3-5 คน คัดลอกเนื้อหาหน่วยที่ 7 เรื่อง ฐานรากทำเป็นรายงานกลุ่ม

2.ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มละ 3-5 คน ทำการบ้านเรื่อง การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำเป็นรายงานกลุ่ม (รหัสนักศึกษาใช้ตัวแทนกลุ่ม)

1. เสาคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดปลอกเดียวขนาด 0.40 x 0.60 ม. เสามีความสูง 7.00 ม.ประกอบด้วยเหล็กเสริม DB 20 มม. จำนวน 8 เส้นดังรูป จงคำนวณหาน้ำหนักที่เสานี้จะรับได้โดยปลอดภัยกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้ :- (10 คะแนน)

fc' = 120+ รหัส น.ศ. =_____กก./ซม.^{2} , fs = 1500 กก./ซม.^{2}



วิธีทำ

1. ชนิดเสา **สูตร** $\frac{h}{t}$ ≤ _____

แทนค่า _____= _____ ≥ _____

เป็นชนิดเสา _____

2. น้ำหนักที่เนื้อคอนกรีตรับได้ **สูตร** P_C = _____

แทนค่า P_C =_____= _____ **กก.**

3. น้ำหนักที่เนื้อเหล็กเสริมรับได้ **สูตร** P_S = 0.85As fs

แทนค่า P_S =_____= _____ **กก.**

4. น้ำหนักที่หน้าตัดเสาสั้นรับได้ **สูตร** P = _____+ _____

แทนค่า P = _____= _____**กก.**

5. เป็นเสายาวรับน้ำหนักได้

ตัวคูณลดค่า **สูตร** R = _____≤ _____

r = _____= _____= _____

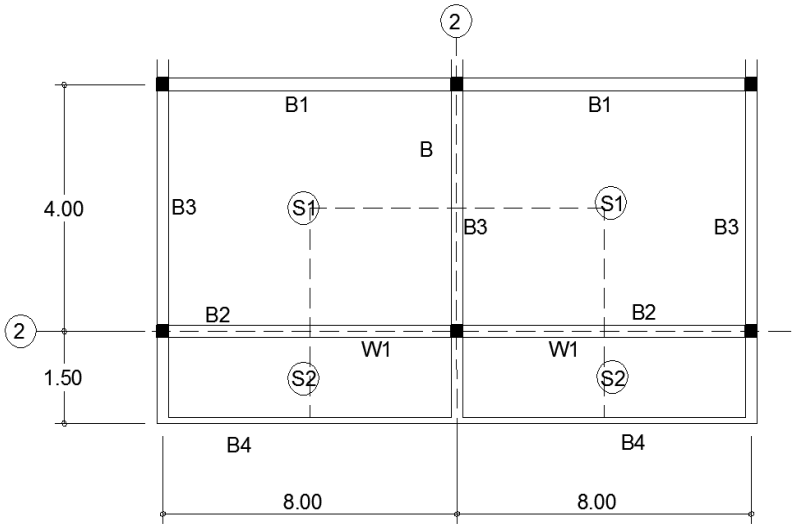
แทนค่า R = _____ = _____

สูตร แบบเสายาวรับได้ p' = _____

แทนค่า p' = _____= _____ กก.

2. จงออกแบบเสาชั้น 1 (C-2) อาคารตึกแถว หน้าตัดเสาเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 0.35 x 0.35 ม. มีความสูงแต่ละชั้นและแบบแปลนพื้นชั้น 2 ดังรูป กำหนดให้พื้น S1,S2 หนา 0.12 ม. น้ำหนักจร (LL +รหัส= 200 กก./ซม.^{2}) , คานทุกตัวขนาด 0.20 x 0.50 ม., ผนัง W1 ก่ออิฐเต็มแผ่นสูง 3.00 ม.

fc' = 120 + รหัสน.ศ. = 120 กก./ซม.^{2} fs = 1500 กก./ซม.^{2}



1. คำนวณหาน้ำหนักลงเสา (C-2) โดยวิธีแบ่งครึ่งพื้นที่

- น้ำหนักพื้น 1 ม.^{2} สูตร W = _____ + _____

  - รวมน้ำหนักพื้น W = _____ = _____ กก./ม.^{2}

  - น้ำหนักพื้นลงเสา W_S = _____ = _____ กก.

- น้ำหนักคานยาว 1 ม. B = _____ = _____ กก./ม.

  - น้ำหนักพื้นลงเสา W_B = _____ = _____ กก.

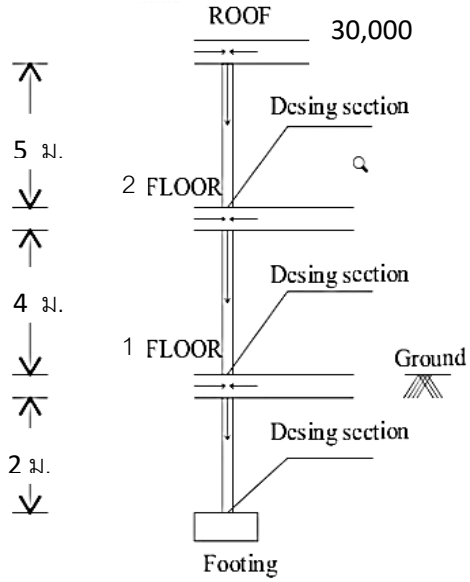
- น้ำหนักผนังยาว 1 ม. W1 = _____ = _____ กก./ม.

  - น้ำหนักพื้นลงเสา W_{W1} = _____ = _____ กก.

- น้ำหนักรวมลงเสาชั้น 1 P = _____ + _____ + _____

  - น้ำหนักทั้งหมดลงเสา P = _____ + _____ + _____ = _____ กก.

ให้นำค่าแรง P ที่คำนวณได้จากข้อ 1 ใส่ลงในช่องว่างในรูปตัด



2. ออกแบบเสาสั้นหน้าตัดสี่เหลี่ยมปลอกเดี่ยว

รวมน้ำหนักทั้งหมดทำกับเสาชั้น1

P1 =_____+_____ = _____ กก.

- ขนาดเสาที่กำหนดให้ขนาด _____ ม.
- มาตรฐานตรวจสอบชนิดเสาสั้น $\frac{h}{t}$ ≤ _____

- แทนค่า _____ = _____ ≥_____

เป็นเสาชนิด _____

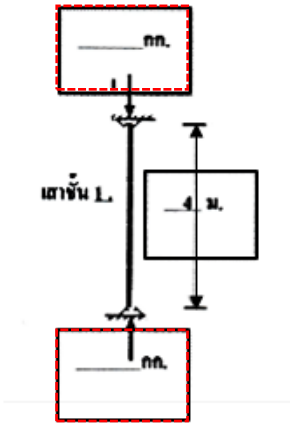
สูตรแบบเสาสั้นรับได้ p = _____

ตัวคูณลดค่า สูตร R = _____≤ _____

r = _____=_____=_____

แทนค่า R = _____=_____

รับน้ำหนักแบบเสาสั้น P =_____=_____กก.



- น้ำหนักที่เนื้อคอนกรีตรับได้ (P_C)

- สูตร P_C =_____ กก.

- แทนค่า P_C =_____=_____กก.

- น้ำหนักที่พื้นเหล็กแกนต้องรับได้ (P_S)

- สูตร P_S = _____

- แทนค่า P_S =_____=_____กก.

- พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมที่รับน้ำหนักได้ (A_S)

- สูตร A_S =_____ซม.^{2}

- แทนค่า A_S =_____=_____ซม.^{2}

- เลือกใช้เหล็กแกน

- ชนิดและขนาด_____ จำนวน_____เส้น A_s =_____ซม.^{2}

▪ ตรวจสอบตามมาตรฐาน วสท. สูตร P_g =_____

- แทนค่า P_g = _____ =_____

- ปลอดภัย เพราะ _____

3.ออกแบบเหล็กปลอกเดี่ยว ตามมาตรฐาน วสท.กำหนด

- เลือกใช้ขนาดเหล็กปลอก _____มม.

- ระยะห่างของเหล็กปลอก

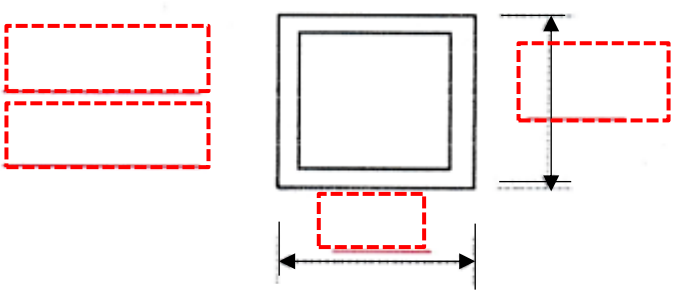
  - S ≤ _____ =_____=_____ซม.

  - S ≤ _____ =_____=_____ซม.

  - S ≤ _____ =_____=_____ซม.

▪ สรุปเลือกออกแบบเหล็กปลอกเดี่ยว ปลอก _____@_____ม

4. จงเขียนรูปหน้าตักเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่คำนวณได้ให้สมบูรณ์



รูปหน้าตัด

(ให้หาค่าและ ใส่คำตอบที่ถูกต้อง ☐)

รายการคำนวณ

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์
วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ/สกุล.....เลขที่.....กลุ่ม.....ชั้น/ปี.....

ลำดับที่	พฤติกรรมที่ประเมิน	ระดับคะแนน					หมายเหตุ
		5	4	3	2	1	
1	ความตรงต่อเวลา						**ความหมายของระดับคะแนน** ระดับการปฏิบัติมาก = 5 ระดับการปฏิบัติดี = 4 ระดับการปฏิบัติปานกลาง = 3 ระดับการปฏิบัติน้อย = 2 ระดับการปฏิบัติน้อยมาก = 1
2	ความมีระเบียบวินัย						
3	ความซื่อสัตย์สุจริต						
4	ความสนใจใฝ่รู้						
5	ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์						
6	การละเว้นสิ่งเสพติดและการพนัน						
7	ความรับผิดชอบต่อหน้าที่และงานที่ได้รับมอบหมาย						**การสรุปผล** ระดับดีมาก = 41-50 ระดับดี = 31-40 ระดับปานกลาง = 21-30 ระดับน้อย = 11-20 ระดับปรับปรุง = 0-10
8	มารยาทไทย						
9	ความสามัคคีในหมู่คณะ						
10	ความมีจิตสำนึกที่เห็นแก่ส่วนรวม						
รวมคะแนน							
รวมคะแนนทั้งหมด							

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ประเมิน

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายบุคคล

ที่	คะแนน / ชื่อ/สกุล	การรับฟังความคิดเห็น	การเสนอความคิดเห็น	การยอมรับคนอื่น	การสร้างบรรยากาศในกลุ่ม	รวมคะแนน	ระดับการมีส่วนร่วม
		5	5	5	5	20	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

2. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายกลุ่ม

คะแนน / กลุ่ม	การนำเสนอผลงาน		การบันทึกผลงาน			รวมคะแนน	ระดับคุณภาพของผลงาน
	ขั้นนำ	ขั้นเสนอ	ขั้นสรุป	ถูกต้อง	เรียบร้อย		
	10	10	10	10	10	50	
1							
2							
3							
4							
5							

ระดับของคะแนนย่อย 5 = มากที่สุด 4 = ค่อนข้างมาก 3 = ปานกลาง 2 = ค่อนข้างน้อย 1 = น้อยที่สุด

เกณฑ์การประเมินผล 20-15 = มาก 8-14 = ปานกลาง 7-1 = น้อย

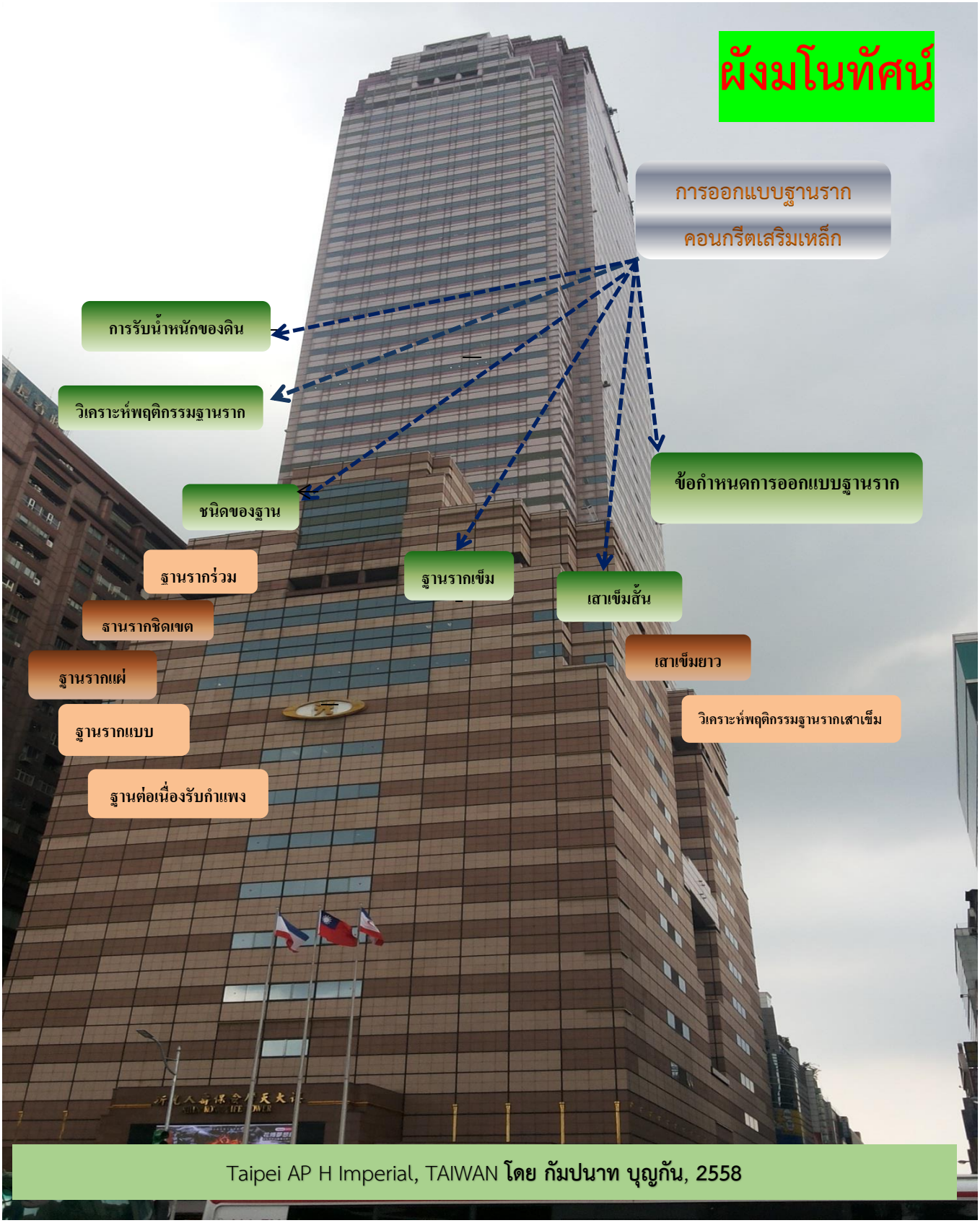
ลงชื่อผู้ประเมิน.....

(.....)

ผู้ประเมิน

โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Footing Design)



Taipei AP H Imperial, TAIWAN **โดย กัมปนาท บุญกัน, 2558**

บทนำ

ฐานราก ทำหน้าที่รับน้ำหนักจากตัวอาคารลงเสาตอม่อและส่งถ่ายลงสู่ดินหรือเสาเข็ม การเลือกใช้ฐานราก จะต้องคำนึงปัจจัยหลายอย่าง ทั้งขนาดของน้ำหนักที่บรรทุก สภาพชั้นดินและลักษณะของสถานที่ก่อสร้างฐานราก คือ ส่วนล่างสุดของโครงสร้าง ซึ่งมีหน้าที่ถ่ายน้ำหนักทั้งหมดจากโครงสร้างลงสู่พื้นดิน การออกแบบฐานรากที่ดีคือการออกแบบให้ความเค้นที่ถ่ายลงสู่ดินมีค่าไม่เกินความสามารถรับน้ำหนักบรรทุก (Overstress) จนก่อให้เกิดการทรุดตัวมากเกินไปและการวิบัติของดินเนื่องจากแรงเฉือนเกิดกับโครงสร้างฐานราก ซึ่งผู้เรียนต้องมความรู้ความเข้าใจอย่างถูกต้องและครบถ้วน ตามสมรรถนะหลักสูตร

The foundation serves to support the weight of the building on the pillar and transfer to the ground or pile foundation. Foundation selection Must consider many factors Both the size of the load Soil condition and characteristics of the foundation construction site is the bottom part of the structure. Which is responsible for transferring all the weight from the structure to the ground. A good foundation design is the design that the stress that is discharged into the soil is not greater than the capacity to support the load (Overstress) causing too much subsidence and Soil failure due to shear caused by foundation structure In which the learner must have correct and complete knowledge and understanding According to the course capacity

คำแนะนำขั้นตอนตอนการใช้บทเรียน

โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Footing Design)

ขั้นตอนการใช้บทเรียนโมดูล

↓

ศึกษาคำแนะนาการใช้บทเรียนโมดูล

↓

ศึกษาจุดประสงค์ของบทเรียนโมดูล

↓

ทดสอบก่อนเรียน

↓

ศึกษาเนื้อหาในบทเรียนโมดูล ทำกิจกรรมการเรียน บังคับ บทเรียนโมดูล และทดสอบหลังเรียน

ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80 → เรียนบทเรียนโมดูลหน่วยต่อไป

ไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80 → เรียนซ่อมเสริมโดยใช้โมดูลเดิม โดยนักเรียนเลือกปฏิบัติดังนี้

1. ปรึกษาครูผู้สอน
2. ให้เพื่อนช่วย
3. เพิ่มเวลาในการศึกษาบทเรียน

องค์ประกอบบทเรียน

โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Footing Design)

1. ผังมโนทัศน์
2. ผังคำแนะนำการใช้บทเรียนโมดูล
3. องค์ประกอบโมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. คู่มือนักเรียน ด้านคำนะนำการใช้บทเรียน
5. บทนำ โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

6. ขอบเขตของเนื้อหา โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
7. ความรู้พื้นฐานของผู้เรียน
8. จุดประสงค์จุดประสงค์เชิงพฤติกรรมจากการวิเคราะห์หลักสูตร
9. การประเมินผลก่อนเรียน
10. กิจกรรมจัดการเรียนการสอน

11. แบบทดสอบก่อนเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
12. แผนการจัดการเรียนรู้
13. เนื้อหาสาระ
14. บทสรุป

15. แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
16. แบบฝึกหัดหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
17. ใบงานที่ 7.1 แบบฝึกหัด
18. ใบงานที่ 7.2 กิจกรรมกลุ่ม
19. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

คู่มือและคำแนะนำการใช้บทเรียน
โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
(Reinforced Concrete of Footing Design)

คำชี้แจง: ผู้เรียนควรจะต้องมีความรู้พื้นฐานโดยผ่านการเรียน โมดูล 1-6 ก่อนมาเรียนโมดูลนี้

1. ผู้เรียน ทำความเข้าใจศึกษาการเรียนการสอนด้วย บทเรียนโมดูลที่ 7 การออกแบบฐานราก คอนกรีตเสริมเหล็ก
2. ผู้เรียน ทำแบบทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนก่อนเรียนโมดูลที่ 7 การออกแบบฐานราก คอนกรีตเสริมเหล็ก จำนวน 10 ข้อ
3. ผู้เรียน ตรวจคำตอบจากเฉลยที่ครูผู้สอนมอบให้
4. ผู้เรียน ศึกษาจุดประสงค์แต่ละตอนให้มีความเข้าใจ
5. ผู้เรียน รับเอกสารเนื้อหาสาระประกอบการเรียนบทเรียน โมดูลที่ 7 การการออกแบบฐานราก คอนกรีตเสริมเหล็กจากครูผู้สอน
6. ผู้เรียน ต้องเข้าร่วมกิจกรรมการจัดการเรียนการสอน ตามเอกสารประกอบการเรียนในบทเรียน แต่ละในโมดูลการเรียนรู้
7. กิจกรรมเลือกคือ กิจกรรมที่มีไว้สำหรับผู้เรียนที่สอบประเมินผลไม่ผ่านเกณฑ์ ร้อยละ 80 โดยให้นักเรียนทำกิจกรรมเลือกตามจุดประสงค์ที่ไม่ผ่าน
8. ผู้เรียน จะต้องศึกษาทำความเข้าใจอย่างถี่ถ้วน ในใบความรู้โมดูลที่ 7 เรื่อง การออกแบบฐานราก คอนกรีตเสริมเหล็ก
9. ผู้เรียนรับกระดาษเขียนตอบแบบฝึกโมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก จากครู เพื่อทำแบบฝึกการทำรายออกแบบและทำการคำนวณ

ผู้เรียนทำแบบทดสอบประเมินผลประจำบทเรียนหลังเรียน
โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน

12. ผู้เรียนผ่านเกณฑ์ประเมินร้อยละ 75 สามารถเรียนบทเรียนโมดูลต่อไปได้ แต่ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์ประเมินร้อยละ 75 ผู้เรียนต้องเรียนซ่อมเสริม
13. การเรียนซ่อมเสริม โดยผู้เรียนต้องศึกษากิจกรรมเลือกและทำแบบทดสอบหลังเรียนซึ่งเป็นแบบทดสอบชุดเดียวกับแบบทดสอบก่อนเรียนอีกครั้งจนกว่าจะผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75
14. ผู้เรียนจัดเก็บเอกสารและสื่อการเรียนตัวอย่างการคำนวณการสอนโมดูลทุกหน่วยให้เรียบร้อย

ขอบเขตของเนื้อหาการเรียนรู้

โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Footing Design)

การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก การคำนวณคานฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหา ต่อไปนี้

ประเภทของฐานราก

ข้อกำหนดการออกแบบฐานราก (มาตรฐาน วสท.)

การคำนวณฐานรากแผ่วางบนดิน

การคำนวณออกแบบฐานรากแผ่

การคำนวณออกแบบฐานรากเสาเข็ม

ฐานรากวางบนเสาเข็มต้นเดียว

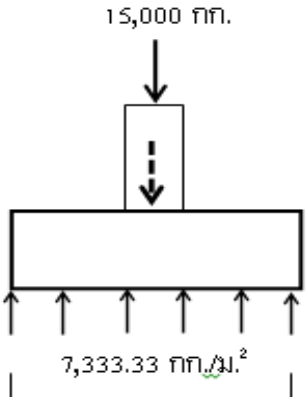
ตัวอย่างระคน การออกแบบฐานราก

การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน
โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
(Reinforced Concrete of Footing Design)

คำชี้แจง : การประเมินความรู้พื้นฐานของผู้เรียน ให้ผู้เรียนทดสอบพื้นฐานความรู้ของตนเองก่อนเรียน

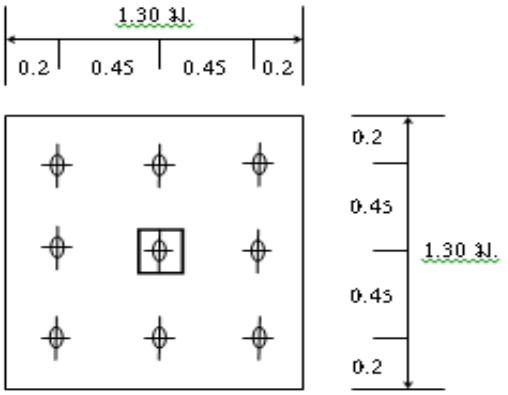
1. จงออกแบบฐานรากแผ่วางบนดิน รับน้ำหนักตามแนวแกนจากเสาตอม่อ 15,000 กก. ขนาดเสาตอม่อ 0.20x0.20 ม. ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

กำหนดให้ fc' = 210 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2}
หน่วยแรงดันดินที่ยอมให้เท่ากับ 8,000 กก./ม.^{2}



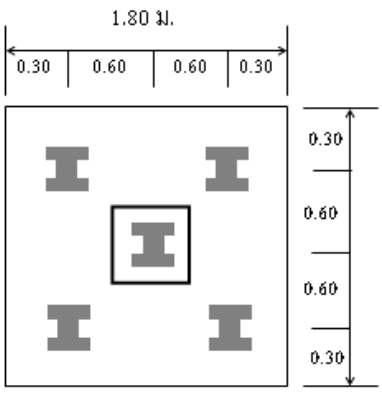
2. จงออกแบบฐานรากแผ่วางบนเสาเข็ม รับน้ำหนักตามแนวแกนจากเสาตอม่อ 13,500 กก. ขนาดเสาตอม่อ 0.20x0.20 ม. ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

กำหนดให้ fc' = 150 กก./ซม.^{2} fy = 2,400 กก./ซม.^{2}
ใช้เสาเข็มหกเหลี่ยมกลวง ขนาด Ø 6 นิ้ว ยาว 6 เมตร
รับน้ำหนักปลอดภัย 1,710 กก./ต้น



3. จงออกแบบฐานรากวางบนเสาเข็ม รับน้ำหนักตามแนวแกนจากเสาตอม่อ 125,000 กก. และโมเมนต์ดัดเท่ากับ 10,000 กก.-ม. ขนาดเสาตอม่อ 0.40x0.40 ม.ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

กำหนดให้ fc' = 250 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2}
ใช้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง I-0.30x0.30x21.00 ม . รับน้ำหนักปลอดภัย 35 ตัน/ต้น



ผลการวิเคราะห์หลักสูตรด้านจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced Concrete of Footing Design)

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อให้มีความรู้ความใจเกี่ยวกับการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณคานฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
3. เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. จำแนกชนิดของฐานราก ได้ถูกต้อง
2. อธิบายลักษณะการรับน้ำหนักของฐานราก ได้ถูกต้อง
3. อธิบายพฤติกรรมของฐานรากเมื่อน้ำหนักกระทำ ได้ถูกต้อง
4. คำนวณออกแบบฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง
5. คำนวณออกแบบฐานรากเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

องค์ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้
โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
(Reinforced Concrete of Footing Design)

องค์ประกอบ โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. แนวคิด/จุดประสงค์หน่วยการเรียน/สมรรถนะ

- คำชี้แจงการใช้บทเรียนโมดูล
- แผนผังมโนทัศน์ประจำหน่วยการเรียน
- แผนการจัดการเรียนรู้
- แนวคิด/จุดประสงค์หน่วยการเรียน/สมรรถนะ
- เค้าโครงสาระสำคัญการเรียนรู้ โมดูลที่ 1

2. กิจกรรมการเรียนรู้/สื่อการประเมินผล

- แบบทดสอบก่อนเรียน
- เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
- ใบความรู้
- แบบฝึกหัด
- เฉลยแบบฝึกหัด
- ใบมอบหมาย
- แบบทดสอบหลังเรียน
- เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน
- แบบประเมินคุณธรรม /จริยธรรม/ ค่านิยม และคุณลักษณะอังพึงประสงค์
- แบบประเมินพฤติกรรมรายบุคคล
- เอกสารอ้างอิง

แบบทดสอบก่อนเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

จงออกแบบฐานแผ่สี่เหลี่ยมจัตุรัส รับน้ำหนักจากเสา ตอม่อ 30 x 30 ซม. โดยเสารับน้ำหนักดังรูปตัด ให้หน่วยแรงแรงดันของดินที่รับน้ำหนักปลอดภัยเท่ากับ 10,000 กก./ม.^{2}

กำหนดให้หน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้ fc' = 150 + รหัส น.ศ. =_____ กก./ซม.^{2}

fs = 1500 กก./ซม.^{2} R = 9.00 กก./ซม.^{2} j = 0.80 n= 11

1. น้ำหนักจากเสา =_____ กก.

2.สมมติน้ำหนักฐาน =_____กก.

3.น้ำหนักรวม (W) =_____ กก.

4.พื้นที่ฐานราก =_____ =_____ม.^{2}

5.ออกแบบขนาดฐานราก =_____x_____ม.

6.พื้นที่ฐานรากที่ออกแบบ =_____ ม.^{2} > ____ม.^{2}

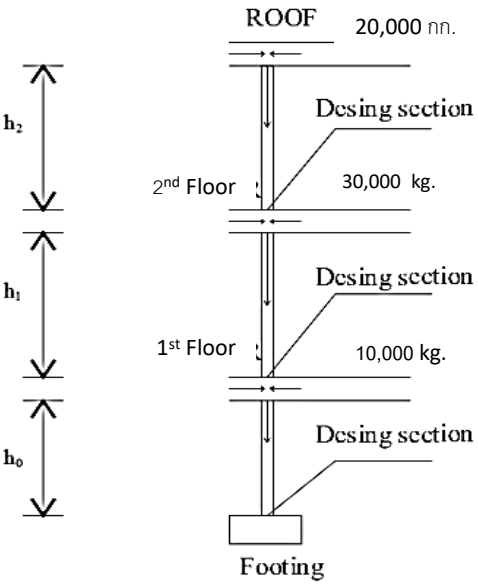
7.หน่วยแรงดันขึ้นของดิน (w) =_____

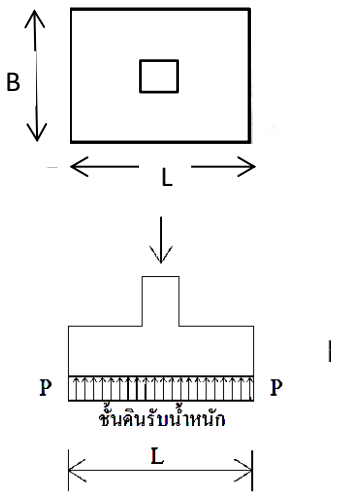
=_____กก./ม.^{2}

8.สูตรโมเมนต์ที่ขอบเสา (M) =_____กก.-ม.

9.ระยะความยาว L =_____=_____ ม.

10. ค่า M =_____= _____ กก.-ม.





	แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	**โมดูลที่ 7**
	รหัสวิชา 3121-2102	**สอนครั้งที่ 1-2**
	โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก	**จำนวน 6 ชั่วโมง**

1. หัวข้อเรื่อง

1.1 ปฐมนิเทศเกี่ยวกับขอบเขตเนื้อหา จุดประสงค์ วิธีการสอน กิจกรรมการสอน หลักเกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

1.2 ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนเมื่อเรียนจบสาระการเรียน

2. สาระการเรียนรู้

2.1 กำหนดขอบเขต เนื้อหาวิชา จุดประสงค์ วิธีการสอน กิจกรรมการสอน

2.2 กำหนดหลักเกณฑ์การวัดผลและประเมินผล

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 เพื่อให้มีความรู้ความใจเกี่ยวกับการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.2 เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณคานฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 จำแนกชนิดของฐานราก ได้ถูกต้อง

4.2 อธิบายลักษณะการรับน้ำหนักของฐานราก ได้ถูกต้อง

4.3 อธิบายพฤติกรรมของฐานรากเมื่อน้ำหนักกระทำ ได้ถูกต้อง

4.4 คำนวณออกแบบฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

4.5 คำนวณออกแบบฐานรากเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

	แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	**โมดูลที่ 7**
	รหัสวิชา 3121-2102	**สอนครั้งที่ 1-2**
	โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก	**จำนวน 6 ชั่วโมง**

5. กิจกรรมการเรียนการสอน

ครู	นักเรียน
5.1 นำเข้าสู่บทเรียน	5.1 ฟังบรรยายเข้าสู่บทเรียน
5.2 ทดสอบความรู้ก่อนเรียนงานฐานรากคอนกรีต	5.2 ทำข้อสอบก่อนเรียน
5.3 มอบใบความรู้งานฐานรากคอนกรีต	5.3 อ่านทำความเข้าใจในใบความรู้
5.4 บรรยายพร้อมแสดงสื่อประกอบการยกตัวอย่างและสอดแทรกแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง	5.4 ตั้งใจฟังบรรยาย พร้อมซักถามข้อสงสัยและตอบคำถามของครูผู้สอน
5.5 ให้แบบฝึกหัดการออกแบบฐานรากคอนกรีต	5.5 ทำแบบฝึกหัด
5.6 ให้ใบมอบงาน เกี่ยวกับฐานรากคอนกรีต	5.6 ทำงานตามมอบหมายงานโดยใช้กิจกรรมกลุ่ม
5.7 ทดสอบหลังเรียน	5.7 ทำข้อสอบหลังเรียน

6. งานที่มอบหมาย

6.1 ก่อนเรียนให้ใบความรู้การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

6.2 ขณะเรียนให้ศึกษาในใบความรู้ พร้อมแบ่งกลุ่มทำกิจกรรมพัฒนาองค์ความรู้และบุคลิกภาพ

6.3 หลังเรียนให้ค้นคว้าเขียนรายงานเกี่ยวกับการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กและนำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์

7. สื่อการสอน

7.1 สิ่งพิมพ์

7.2 โสต แผ่นใส และแผ่นสไลด์

7.3 ตัวอย่างผลงานการการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กหรือหุ่นจำลองการนำไปใช้ในงานก่อสร้าง

8. การประเมินผล

8.1 ก่อนเรียน

ให้ทำข้อสอบก่อนเรียน

8.2 ระหว่างเรียน

ประเมินความสนใจ และความเข้าใจในการตอบข้อซักถาม

8.3 หลังเรียน

ใบมอบงาน

แบบฝึกหัด แบบทดสอบหลังเรียน และตรวจทานความถูกต้อง

เนื้อหาสาระบทเรียน

โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

(Reinforced concrete of Footing Design)

สาระสำคัญ

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กงานฐานราก ทำหน้าที่รับน้ำหนักจากตัวอาคารลงเสาตอม่อและส่งถ่ายลงสู่ดินหรือเสาเข็ม การเลือกใช้ฐานราก จะต้องคำนึงปัจจัยหลายอย่าง ทั้งขนาดของน้ำหนักที่บรรทุก สภาพชั้นดินและลักษณะของสถานที่ก่อสร้างฐานราก คือ ส่วนล่างสุดของโครงสร้าง ซึ่งมีหน้าที่ถ่ายน้ำหนักทั้งหมดจากโครงสร้างลงสู่พื้นดิน การออกแบบฐานรากที่ดีคือการออกแบบให้ความเค้นที่ถ่ายลงสู่ดินมีค่าไม่เกินความสามารถรับน้ำหนักบรรทุก (Overstress) จนก่อให้เกิดการทรุดตัวมากเกินไปและการวิบัติของดิน เนื่องจากแรงเฉือนเกิดกับโครงสร้างฐานราก ซึ่งผู้เรียนต้องมความรู้ความเข้าใจอย่างถูกต้องและครบถ้วนตามสมรรถนะหลักสูตร

จุดประสงค์การเรียนการสอน

จุดประสงค์ทั่วไป

1. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. เพื่อให้มีทักษะในการคำนวณฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
3. เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. จำแนกชนิดของฐานราก ได้ถูกต้อง
2. อธิบายลักษณะการรับน้ำหนักของฐานราก ได้ถูกต้อง
3. อธิบายพฤติกรรมของฐานรากเมื่อน้ำหนักกระทำ ได้ถูกต้อง
4. คำนวณออกแบบฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง
5. คำนวณออกแบบฐานรากเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกต้อง

เนื้อหาสาระ

การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

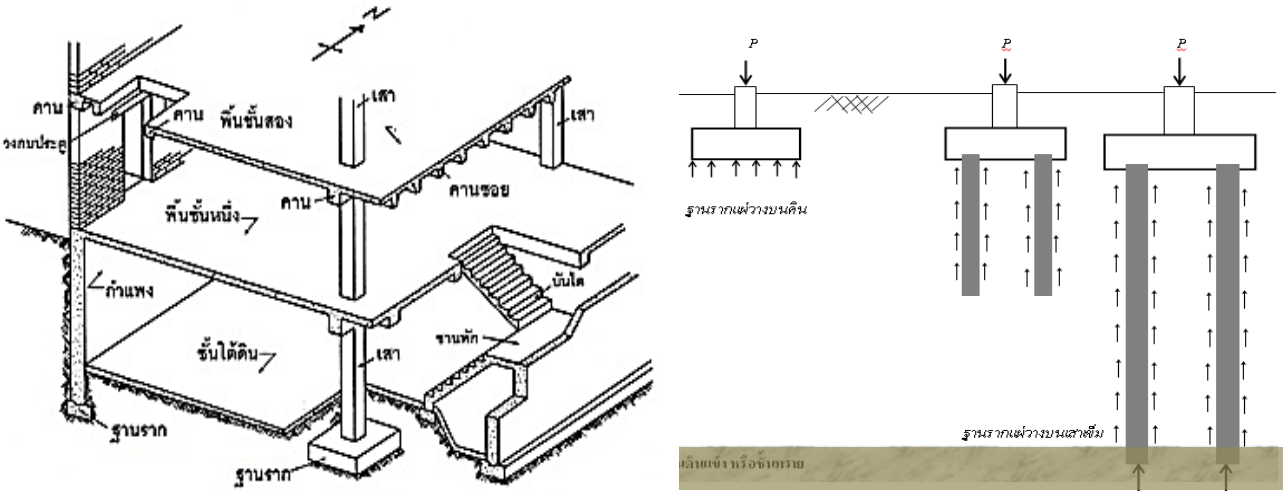
1. ชนิดของฐานราก
2. การรับน้ำหนักของฐานราก
3. พฤติกรรมของฐานราก

4. ข้อกำหนดการออกแบบฐานราก

5. คำนวณออกแบบฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็ก

6. คำนวณออกแบบฐานรากเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก

ซึ่งฐานรากเป็นองค์อาคารที่ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงสู่ที่รองรับเป็นดินบนพื้นโลก ซึ่งในแต่ละพื้นที่จะมีลักษณะของดินที่แตกต่างกันไป ทำให้การรับน้ำหนักในแต่ละพื้นที่รับน้ำหนักได้ไม่เท่ากันจำเป็นต้องมีการนำดินในแต่ละที่มาทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติการรับน้ำหนักของดินก่อนทำการออกแบบฐานราก การออกแบบฐานรากมิใช่จะคำนึงเฉพาะตัวฐานรากที่จะต้านทานน้ำหนักที่กระทำเท่านั้น แต่จำเป็นจะต้องพิจารณาด้วยว่าดินใต้ฐานรากนั้น สามารถรับน้ำหนักได้เพียงใด การต้านทานของดินและหินในการรับน้ำหนักนั้นจะกำหนดลงไปแน่นอนไม่ได้เพราะขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ซึ่งแตกต่างกัน สำหรับงานใหญ่ๆ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องตรวจดูดินเสียก่อน และทำการสอบเป็นรายๆไปว่าดินในพื้นที่นั้นๆ สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เท่าใดจึงจะปลอดภัย และยังเป็นตัวกำหนดประเภทของฐานรากด้วยระบบโครงสร้างดัง รูปที่ 7.1



(ก) (ข)

รูปที่ 7.1 (ก)-(ข) โครงสร้างอาคารและการถ่ายน้ำหนักลงฐานราก

ที่มา: http://dpm.nida.ac.th/main/ , 2558

และ สาโรจน์ ดำรงศิลป์, ปรับปรุง 2559

ข้อมูลของกองอุทกวิทยาพบว่า ในเขตกรุงเทพมหานครมีระดับพื้นดินสูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 1.50 ม. ฉะนั้นเมื่อขุดดินลงไปลึกประมาณ 1-2 ม. ก็จะพบน้ำใต้ดินแล้วสภาพดินเป็นดินเหนียวลึกลงประมาณ 2-14 ม. เป็นดินเหนียวอ่อนอุ้มน้ำ ลึกลงไปที่ 14-21 ม. สภาพดินจะเป็นดินเหนียวแข็ง และที่ความลึก 21 ม. ลงไปเป็นชั้นดินปนทรายรับน้ำหนักบรรทุกได้ดี ดังนั้นสภาพดินในกรุงเทพฯ ในชั้นต้นถือว่าเป็นดินอ่อนรับน้ำหนัก ไม่เกิน 2 ตันต่อตารางเมตร ถ้าดินทรายที่ไม่มีทางไหลไปไหนได้ รับน้ำหนักได้ตั้งแต่ 15 ถึง 20 ตันต่อตารางเมตร (หากระบุเป็นอย่างอื่นต้องมีเอกสารผลการทดสอบมารับรอง)

7.1 ประเภทของฐานราก

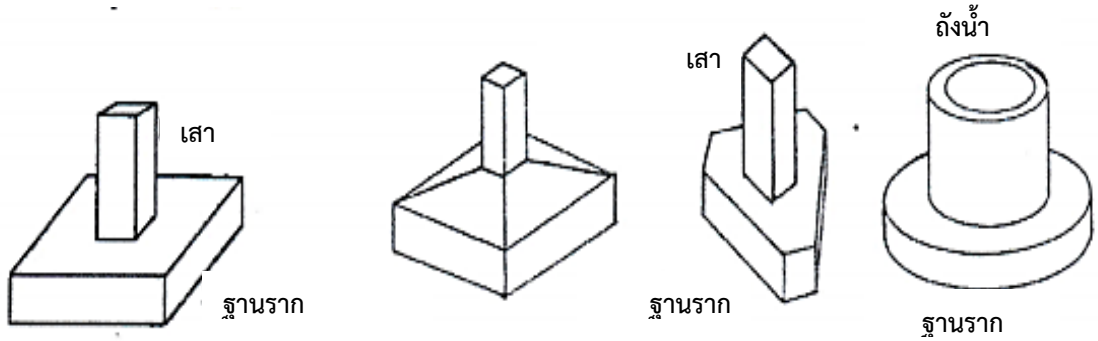
การก่อสร้างบ้านเรือนในสมัยโบราณ จะทำฐานรากโดยใช้ท่อนซุกมาวางเรียงในก้นหลุมหรือใช้ไม้ตียึดเป็นรูปกากบาทที่โคนเสา เพื่อแบรับน้ำหนักและไม่ให้ทรุดตัวเร็ว ในปัจจุบันส่วนมากฐานรากจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก เพราะก่อสร่างง่าย รวดเร็ว และมีความแข็งแรงทนทานต่อสภาพดินการออกแบบฐานรากต้องจำแนกลักษณะของดินที่รองรับฐานรากนั้นก่อนจึงจะกำหนดประเภทของฐานรากได้ ฐานรากอาจะแบ่งออกตามลักษณะของที่รองรับได้ 2 ประเภท คือ

1) **ฐานรากแผ่** (Spread Footing) เป็นฐานรากที่แบกรับน้ำหนักจากตัวอาคารถ่ายผ่านตัวฐานรากลงสู่ชั้นดินโดยตรงฉะนั้น การเลือกใช้ฐานรากแผ่ต้องคำนึงถึง ความสามารถรับน้ำหนักของชั้นดินในท้องถิ่นนั้นๆ ได้เพียงพอหรือไม่ เช่น ในบริเวณภาคกลางและเขต กทม. กำหนดให้ดินมีความสามารถรับน้ำหนักได้ปลอดภัยโดยประมาณ 2 ตัน/ตร.ม. (หรือต้องทดสอบหาการรับกำลังของชั้นดินก่อน)

2) **ฐานรากเสาเข็ม** (Piling Footing) ฐานรากที่แบกรับน้ำหนักจากตัวอาคารถ่ายผ่านตัวฐานรากลงสู่ตัวเสาเข็ม ซึ่งตัวเสาเข็มจะทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักที่ได้รับลงไปสู่ชั้นดินที่อยู่ลึกลงไปจากผิวโลกที่สภาพแข็งแรงกว่าดินชั้นผิวโลกทำให้สามารถรับน้ำหนักได้มาก ฉะนั้น การเลือกใช้ฐานรากเสาเข็มต้องคำนึงถึง ความสามารถรับน้ำหนักของตัวเสาเข็มเพื่อเลือกใช้ขนาดของเสาเข็ม และ ความแข็งแรงของชั้นดิน ณ ระดับความลึกเท่าไร เพื่อกำหนดความยาวของเสาเข็ม

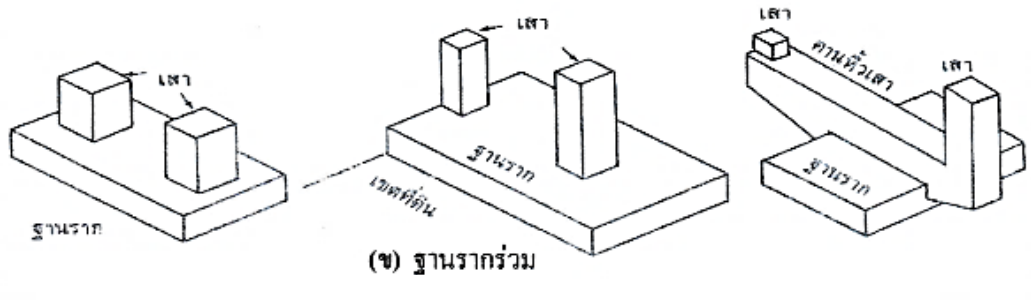
ประเภทของฐานรากฐานรากนอกจากมีทั้งสองประเภท สามารถแบ่งตามลักษณะตำแหน่งของเสาตอม่อ ออกได้ (รูปที่ 7.2 (ก)-(จ)ประเภทฐานราก) ดังนี้

(1) ฐานรากเดี่ยว รับน้ำหนักจากเสาตอม่อต้นเดี่ยวกระทำเป็นจุด ณ ศูนย์กลางตัวฐานรากนิยมใช้กับเสาด้านในของอาคาร รูปร่างของฐานอาจเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า สามเหลี่ยม หรือ วงกลม ดังรูปที่ 7.2 (ก)



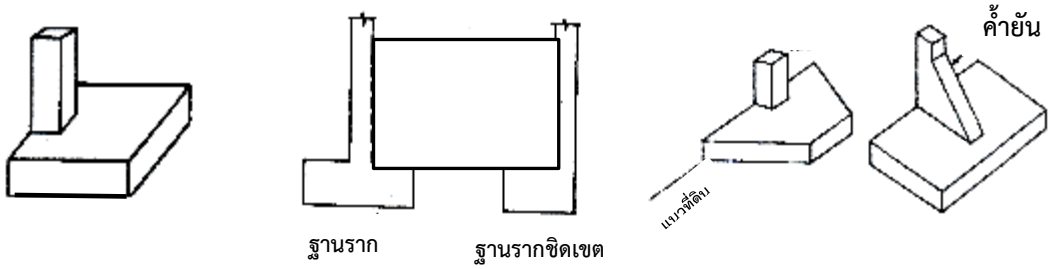
(ก) ฐานรากเดี่ยว

(2) ฐานรากร่วม (Combined Footing) เป็นฐานรากที่ใช้รองรับน้ำหนักจากเสาตอม่อ 2 ต้นที่อยู่ใกล้ชิดกันจนเมื่อออกเป็นฐานเดี่ยวแล้วตัวฐานจะเหลี่ยมซ้อนกันจึงออกแบบให้ใช้ฐานร่วมกันเลยหรือเสาชิดเขตที่ดินหรือตำแหน่งเสาตรงกับฐานรากอาคารเดิมจึงต้องทำคานยื่นออกไปรับเสาดังรูป (ข)



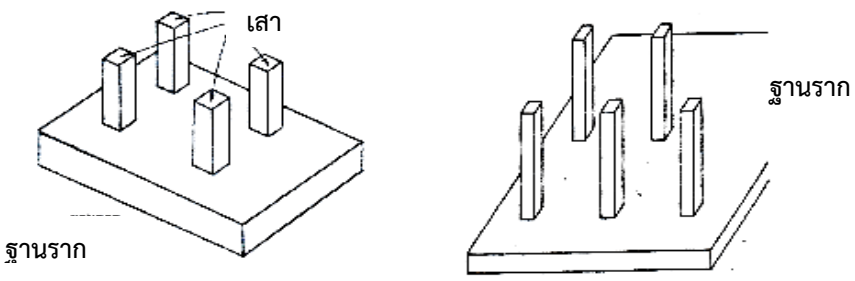
(ข) ฐานรากร่วม

(3) ฐานรากชิดเขต (Strap Footing) ในกรณีที่อาคารอยู่ชิดเขตที่ดินของผู้อื่น เสาอาคารอยู่ชิดเขตที่ดินไม่สามารถทำให้น้ำหนักถ่ายลงศูนย์กลางของฐานได้ทำให้เกิดเยื้องศูนย์ จึงจำเป็นต้องทำฐานเป็นรูปตีนเป็ดแล้วทำ Strap beam ยึดกับฐานภายใน ดังรูป (ค)

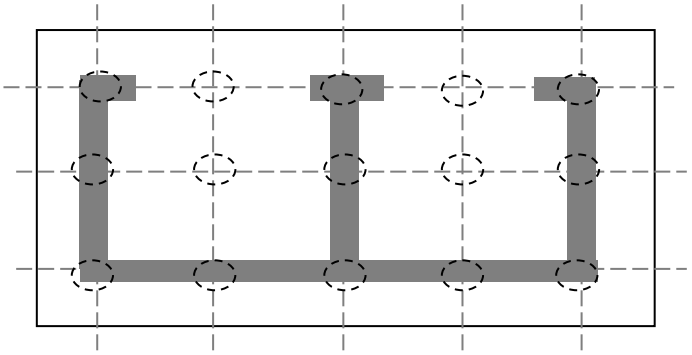


(ค) ฐานรากชิดเขต

(4) ฐานรากแบบแผ่ (Raft Foundation) เป็นฐานรากที่กระจายแผ่บนพื้นที่กว้างหรือเต็มพื้นที่อาคาร ใช้กรณีรับน้ำหนักมากๆจากเสาหลายๆต้นซึ่งมีตำแหน่งอยู่ใกล้กัน ดังรูป (ง)

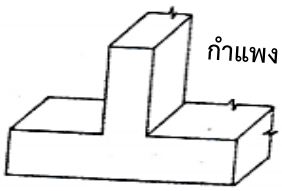


(ง) ฐานรากแบบแผ่



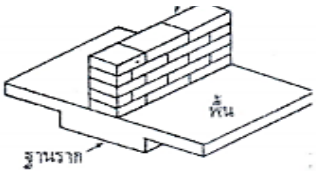
(จ) แปลนตำแหน่งเสาฐานรากแบบแผ่

(5) ฐานต่อกำแพง (Wall Footing) ในกรณีที่ฐานรากต่อเนื่องตามความยาวของกำแพงความกว้างของฐานรากมากกว่าความกว้างกำแพง นิยมใช้กับกำแพงหรือบริเวณที่ดินแข็งมาก ดังรูป (จ)



ฐานราก กำแพง

กำแพง



(ฉ) ตัวอย่างฐานต่อกำแพง

รูปที่ 7.2 ก)-ฉ) ประเภทของฐานราก

7.2 ข้อกำหนดการออกแบบฐานราก (มาตรฐาน ว.ส.ท). กำหนดดังนี้

1) ความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กนับจากศูนย์กลางเหล็กต้องไม่น้อยกว่า 7.50 ซม.

2) ความหนาประสิทธิผล (d) ของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

- ต้องไม่น้อยกว่า 15 ซม. (d ≥ 0.15 ม.) สำหรับฐานรากแผ่ และ ฐานรากเข็มสั้น
- ต้องไม่น้อยกว่า 30 ซม. (d ≥ 0.30 ม.) สำหรับฐานรากเข็มยาว

3) สมมุติให้ตัวฐานรากหนักเบื้องต้น 10-20 % ของน้ำหนักบรรทุกจากเสาตอม่อ

4) ฐานรากเข็ม ระยะห่างศูนย์กลางถึงศูนย์กลางเสาเข็ม ต้องไม่น้อยกว่า 2.5-3 เท่าของขนาดเสาเข็ม

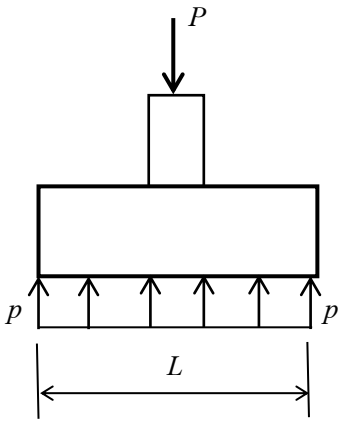
5) ถ้าเสาตอม่อเป็นเสากลมให้คิดขอบเสาเหมือนกับสี่เหลี่ยมจัตุรัส

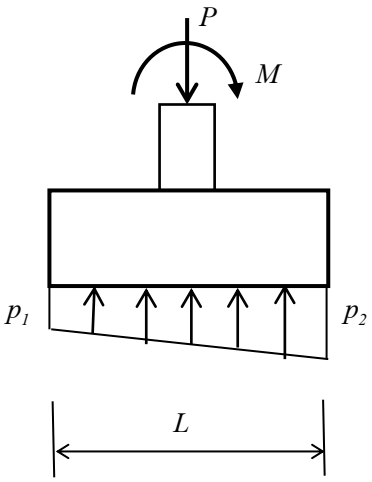
6) มีทรายหยาบและคอนกรีตหยาบรองฐานรากหนา 5-10 ซม. เพื่อกันดินโคลนเปรอะเปื้อนเหล็กเสริม

7) ฐานรากแผ่ควรวางบนชั้นดินแข็งเดิม และบดอัดให้แน่น ความลึกของเสาตอม่ออยู่ที่ประมาณ 1.00 – 1.50 ม. ขึ้นกับลักษณะของชั้นดินและระบบต่าง ๆ

7.3 หลักการคำนวณฐานรากแผ่วางบนดิน

การแผ่กระจายของแรงดันดินใต้ฐานรากยังขึ้นอยู่กับน้ำหนักที่กระทำ (มาตรฐาน ว.ส.ท.) กรณีแรงรวมศูนย์ซึ่งมีลักษณะเป็นแรงตามแนวแกน แรงดันดินใต้ฐานรากแผ่กระจายแบบสม่ำเสมอ ฐานรากแผ่วางบนดินเป็นองค์อาคารที่ทำหน้ารองรับน้ำหนักและแผ่กระจายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินโดยตรง เมื่อน้ำหนักอาคารส่งผ่านเสาตอม่อ หรือผนังกำแพงคอนกรีตลงสู่ฐานราก จะเกิดแรงปฏิกิริยาซึ่งก็คือแรงดันดินใต้ฐานราก หรือที่เรียกว่าแรงแบกทานของดิน (Bearing pressure) และโดยทั่วไปจะสมมติให้แรงดันดินกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอ โดยไม่คำนึงถึงชนิดของดินและถือว่าดินใต้ฐานรากเป็นวัสดุเนื้อเดียวกัน (Homogenous elastic materials) อย่างไรก็ตาม ดังรูปที่ 7.3 (ก) และกรณีแรงเยื้องศูนย์ที่ทำให้เกิดทั้งแรงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัดร่วมกัน การแผ่กระจายของแรงดันดินใต้ฐานราก ดังรูปที่ 7.3 (ข) และสมการที่ (7.1)-(7.3)





$$p = \frac{P}{A_F} = \frac{P}{B \times L} \qquad (7.1)$$

$$p_1 = \frac{P}{B \times L} - \frac{6M}{B \times L^2} \qquad (7.2)$$

$$p_2 = \frac{P}{B \times L} + \frac{6M}{B \times L^2} \qquad (7.3)$$

(ก) (ข)

เมื่อ p : แรงดันดินใต้ฐานราก

P : น้ำหนักทั้งหมดที่กระทำกับฐานราก M : โมเมนต์ดัดที่กระทำกับฐานราก

A_F : พื้นที่ของฐานราก B, L : ความกว้างและความยาวของฐานราก

รูปที่ 7.3 การแผ่กระจายของแรงดันดินใต้ฐานราก

ที่มา: วินิต ช่อวิเชียร, 2545

การออกแบบฐานรากวางบนดิน ชั้นดินจะต้องมีคุณสมบัติที่ดีสามารถรับกำลังได้สูง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ชนบทที่เป็นดินแข็งหรือดินลูกรัง และฐานรากจะต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะช่วยลดกำลังแบกทานของดินที่รองรับเพื่อป้องกันมิให้ดินเกิดการวิบัติ โดยอาศัยหลักการออกแบบ คือ แรงดันดินใต้ฐานรากจะต้องไม่เกินกว่ากำลังแบกทานของดิน หรือไม่เกินกว่าหน่วยแรงดันดินที่ยอม (กฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527) กำหนดว่า ถ้าไม่มีเอกสารแสดงผลการทดลองที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้ ให้ใช้กำลังแบกทานของดิน ดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 กำลังแบกทานของดิน ตาม พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร ปี พ.ศ. 2522

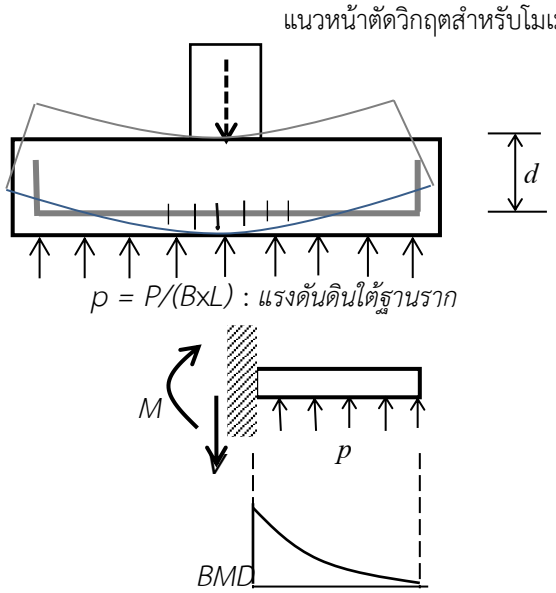
ประเภทของดิน	กำลังแบกทานของดิน (ตัน/ม.^{2})
ดินอ่อนหรือดินถมไว้แน่นตัวเต็มที่	2
ดินแน่นปานกลาง หรือทรายร่วน	5
ดินแน่น หรือทรายหยาบ	10
กรวด หรือดินดาน	20
หินดินดาน	25
หินปูน หรือหินทราย	30
หินอัคนีที่ยังไม่แปรสภาพ	100

ที่มา: กฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527

7.3.1 พฤติกรรมในการรับน้ำหนักและการวิบัติของฐานรากแผ่วางบนดิน

แรงดันดินใต้ฐานรากส่งผลให้เกิดแรงภายในฐานรากทั้งโมเมนต์ดัด แรงเฉือน และแรงยึดหน่วง ดังนั้น ในการออกแบบฐานรากจึงต้องคำนึงถึงขนาดและความหนาที่เหมาะสมสามารถต้านทานแรงภายในที่เกิดขึ้นได้

1) โมเมนต์ดัด แรงดันดินใต้ฐานรากทำให้ฐานรากดัดโค้งลักษณะคล้ายการโก่งตัวของคานที่ถูกแรงภายนอกกระทำ ซึ่งเป็นผลมาจากโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในฐานราก ดังรูปที่ 7.4 โดยค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่ใช้คำนวณออกแบบฐานรากเดี่ยวเกิดขึ้นที่ขอบเสาตอม่อ หรือแนวขอบผนังกำแพงคอนกรีต เรียกว่า เป็นแนวหน้าตัดวิกฤตสำหรับโมเมนต์ดัดและแรงยึดหน่วงในฐานราก เมื่อตัดเฉพาะส่วนแนวหน้าตัดวิกฤติดังกล่าวมาพิจารณาจะพบว่ามีลักษณะคล้ายคานยื่น โดยมีแรงดันดินใต้ฐานรากเป็นน้ำหนักบรรทุก ดังนั้น การวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด (M) และแรงเฉือนสูงสุด (V) ที่เกิดในฐานรากจึงพิจารณาเหมือนคานยื่น ส่วนการออกแบบฐานรากจะเหมือนกับการออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว โดยพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมต้านทานโมเมนต์ดัดคำนวณจาก : $As = \frac{M}{fs.jd}$ และเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการสำหรับการฝังยึดเพื่อต้านทานแรงยึดหน่วงคำนวณจาก : $\sum_o = \frac{V}{u.jd}$



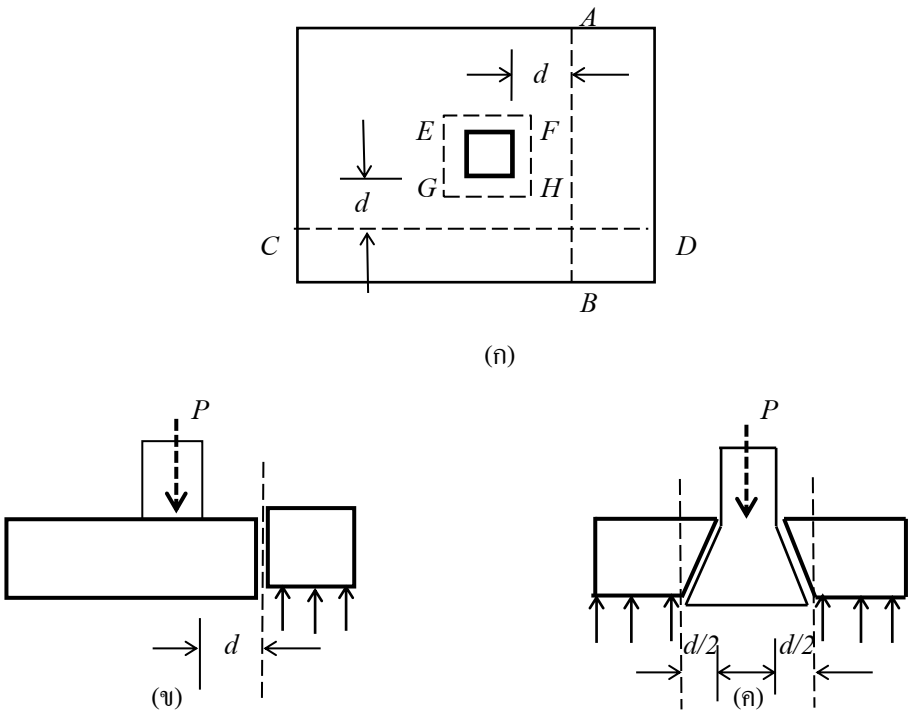
รูปที่ 7.4 แนวหน้าตัดวิกฤติสำหรับโมเมนต์ดัดและแรงยึดหน่วง

2) แรงเฉือน การวิบัติของฐานรากภายใต้แรงเฉือนมีโอกาสเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ ซึ่งขึ้นอยู่กับการพิจารณาแรงเฉือน ดังนี้คือ (วินิต ช่อวิเชียร, 2545)

2.1) แรงเฉือนทางเดียว (One-way action) เกิดจากการพิจารณาว่าฐานรากเป็นคาน การวิบัติเกิดจากแรงดึงทแยงที่ตำแหน่งห่างออกจากขอบเสาตอม่อเป็นระยะเท่ากับความลึกประสิทธิผลของฐานราก (*d*) ซึ่งถือเป็นแนวหน้าตัดวิกฤตสำหรับแรงเฉือนแบบเดียวกับคาน โดยพิจารณาการวิบัติในแต่ละทิศทางทั้งด้านสั้นและด้านยาวของฐานรากในแนว *AB* และ *CD* ดังรูปที่ 7.5 (ก) และแสดงเป็นภาคตัดในรูปที่ 7.5 (ข) การป้องกันการวิบัติจะต้องออกแบบให้ฐานรากมีความลึกหรือความหนาที่เพียงพอต่อการต้านทานแรงเฉือน ซึ่งสามารถทำได้โดยตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก : $v = \frac{V}{bd}$ ต้องน้อยกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ มาตรฐาน ว.ส.ท. 6301 กำหนดให้ไม่เกินกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีต : $v_c = 0.29\sqrt{fc'}$

2.2) แรงเฉือนสองทาง (Two-way action) เกิดจากการกระทำของแรงเฉือนในสองทิศทางพร้อมกัน โดยพิจารณาว่าฐานรากเป็นแผ่นพื้นรองรับเสาตอม่อซึ่งส่งถ่ายแรงลงฐานราก จึงเกิดการวิบัติแบบเฉือนทะลุ (Punching shear) มีลักษณะการวิบัติเป็นรูปทรงกรวยหรือรูปทรงปิรามิด ที่ตำแหน่งห่างออกจากขอบเสาตอม่อโดยรอบเป็นระยะเท่ากับครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิผลของฐานราก (*d/2*) และถือเป็นแนวหน้าตัดวิกฤตสำหรับแรงเฉือนแบบทะลุ ดังแสดงในรูปที่ 7.5 (ก) ในแนว *EFGH* และแสดงเป็นภาคตัดในรูปที่ 7.5 (ค) การป้องกันการวิบัติแบบเฉือนทะลุ จะต้องออกแบบให้ฐานรากมีความลึกหรือความหนาที่เพียงพอต่อการต้านทานแรงเฉือน ซึ่งสามารถทำได้โดยตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก :

$v = \frac{V}{bd}$ ต้องน้อยกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ มาตรฐาน ว.ส.ท. 6307 กำหนดให้ไม่เกินกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีต : $v_c = 0.53\sqrt{fc'}$



รูปที่ 7.5 แนวหน้าตัดวิกฤตสำหรับแรงเฉือน
ที่มา: วินิต ช่อวิเชียร, 2545

กำหนดให้เสริมเหล็กต้านทานโมเมนต์ดัด ดังนี้

1) ฐานรากที่เสริมเหล็กทางเดียว ต้องมีปริมาณเหล็กเสริมที่สามารถรับโมเมนต์ดัดได้ไม่น้อยกว่าที่คำนวณได้ และต้องกระจายเหล็กเสริมให้สม่ำเสมอตลอดความกว้างของหน้าตัดนั้นๆ

2) ฐานรากที่เสริมเหล็กสองทาง กรณีฐานรากเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ต้องกระจายเหล็กเสริมในแต่ละทิศทางให้สม่ำเสมอตลอดความกว้างของฐานรากนั้น และในกรณีที่ฐานรากเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เหล็กเสริมในทิศทางยาวต้องกระจายสม่ำเสมอตลอดความกว้างทางด้านสั้น ขณะที่เหล็กเสริมในทิศทางสั้นที่คำนวณได้ทั้งหมดให้แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังรูปที่ 7.6 โดยส่วนแรกต้องกระจายสม่ำเสมอบริเวณแถบกลางของฐานราก ความกว้างเท่ากับด้านสั้นของฐานราก (B) และพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมคำนวณจากสมการที่ (7.4)

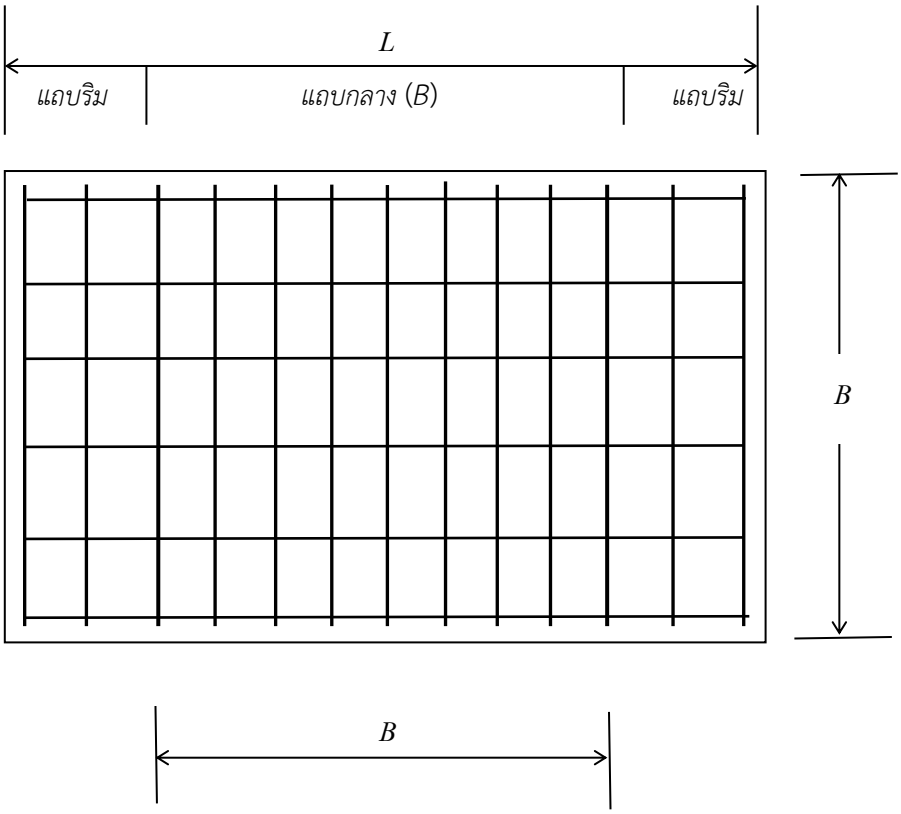
$$As = \frac{2}{(S+1)} As_B \qquad (7.4)$$

เมื่อ As : พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในแถบกลางความกว้างเท่ากับด้านสั้น (B)

As_B : พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมในทิศทางสั้นที่คำนวณได้ทั้งหมด

S : อัตราส่วนระหว่างด้านยาวต่อด้านสั้นของฐานราก

เหล็กเสริมส่วนที่เหลือให้แบ่งครึ่งเพื่อเสริมแถบริมทั้งสองข้าง โดยกระจายเหล็กเสริมแบบสม่ำเสมอ



รูปที่ 7.6 การเสริมเหล็กในฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ที่มา: มาตรฐาน ว.ส.ท. 7304

7.3.3 แรงเฉือนและแรงยึดหน่วง มาตรฐาน ว.ส.ท. 7305

หน้าตัดวิกฤตสำหรับแรงยึดหน่วงที่ระนาบเดียวกับหน้าตัดวิกฤตสำหรับโมเมนต์ดัด และเป็นแนวในการคำนวณแรงเฉือน เพื่อนำมาใช้หาค่าแรงยึดหน่วงซึ่งเกิดจากแรงดัด และเหล็กเสริมรับแรงดึงทั้งหมด ณ หน้าตัดใดๆ ต้องสามารถต้านทานแรงยึดหน่วงได้ไม่น้อยกว่าเกณฑ์กำหนดของแรงยึดหน่วงตามที่คำนวณได้จากแรงเฉือนภายนอก ณ หน้าตัดนั้น

7.3.4 ความหนาต่ำสุดของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

ฐานรากแผ่วางบนดินหรือฐานรากที่ใช้เสาเข็มสั้นในดินอ่อน มาตรฐาน ว.ส.ท. 7309 กำหนดความหนาของคอนกรีตที่อยู่เหนือเหล็กเสริมถึงขอบนอกของฐาน ต้องไม่น้อยกว่า 15 เซนติเมตร และต้องไม่

น้อยกว่า 30 เซนติเมตร สำหรับฐานรากที่ใช้เสาเข็มอื่น กรณีฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก ความหนาที่ขอบนอกของฐานต้องไม่น้อยกว่า 20 เซนติเมตร และต้องไม่น้อยกว่า 35 เซนติเมตร จากหัวเสาเข็มสำหรับฐานรากที่ใช้เสาเข็มอื่น

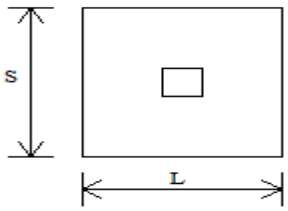
7.3.5 การถ่ายหน่วยแรงที่ฐานของเสา

การถ่ายหน่วยแรงหรือแรงต่างๆ จากเสาตอม่อ หรือผนังกำแพงคอนกรีต ลงสู่ฐานรองรับอาศัยกำลังรับแรงกดหรือแรงแบกทาน (Bearing) ของคอนกรีต ซึ่งกำลังรับแรงกดหรือแรงแบกทานที่ยอมให้ต่อเนื้อที่ทั้งหมดต้องไม่เกิน $0.25f_c'$ เมื่อรับน้ำหนักใช้งาน นอกจากนี้ ยังอาศัยเหล็กยืนที่เสริมในเสา หรือใช้เหล็กเดือย (Dowels) ในการส่งถ่ายแรง โดยยื่นเหล็กยืนของเสาเข้าไปในฐานราก กรณีใช้เหล็กเดือยต้องมีจำนวนไม่น้อยกว่าสี่เส้น และมีขนาดใหญ่กว่าขนาดเหล็กเสริมตามแกนไม่น้อยกว่า 3 มิลลิเมตร ยื่นเข้าไปในเสา หรือตอม่อระยะไม่น้อยกว่าการต่อทาบเหล็กเสริมแกนเสา

7.4 การคำนวณออกแบบฐานรากแผ่

7.4.1 วิเคราะห์พฤติกรรมฐานรากเดี่ยว การรับน้ำหนักของฐานรากวางบนดินเพื่อต้านน้ำหนักกระทำตามแนวแกนเสาตอม่อ ต้องพิจารณาให้ฐานรากสามารถรับน้ำหนักได้ทั้งสองส่วน ดังนี้

- ชั้นดินรับน้ำหนัก การรับน้ำหนักของดินจะเป็นแรงต้านของดินแบบแผ่สม่ำเสมอใต้ตัวฐานราก ค่าแรงต้านของดินต่อพื้นที่ 1 ม.^{2} ใต้ฐานรากดังแสดงรูปที่ 7.10 สมการที่ (7.5)



$$w = \frac{P}{A} = \frac{P}{L \cdot S} \qquad (7.5)$$

เมื่อ w = หน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นจริง กก./ม.^{2}

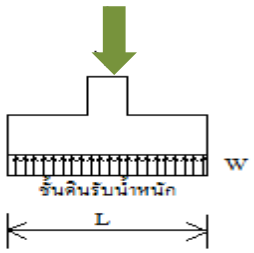
P = น้ำหนักทั้งหมดจากฐานราก กก.

A = พื้นที่ฐานรากที่กดลงบนดิน ม.^{2}

L,S = ด้าน,ยาว,สั้น ของฐานราก ม.

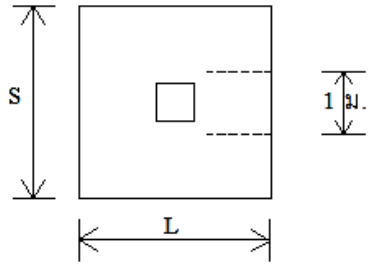
p = หน่วยแรงรับกำลังปลอดภัยของดิน กก./ม.^{2}

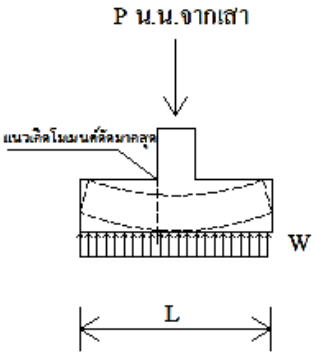
สามารถนำไปคำนวณออกแบบขนาดของฐานรากแผ่ การตรวจสอบความปลอดภัยของดินเมื่อรับน้ำหนัก (7.6)



รูปที่ 7.11 ชั้นดินรับน้ำหนัก

$$p > w \text{ หรือ } (p > w) \qquad (7.6)$$





- ตัวฐานรากรับน้ำหนัก เมื่อตัวฐานรากถูกแรงจากเสาตอม่อกระทำและมีแรงต้านทานของดินรับไว้ จะทำให้ภายในตัวฐานรากเกิดหน่วยแรงขึ้น รูปที่ 7.12 ดังนี้

การเกิดโมเมนต์ดัด (M) เป็นหน่วยแรงที่พยายามทำให้ฐานรากเกิดการดัดงอดังรูป (ก) ซึ่งการเกิดโมเมนต์ต้องพิจารณาค่าต่างๆ ดังนี้ แนวที่โมเมนต์ดัดมากสุดเกิดที่ขอบเสาตอม่อ

ความกว้างใช้คำนวณ (b) ของฐานรากมี 2 กรณี

คิดแบบพื้น ให้ b = 1 ม.

คิดแบบทั้งฐานรากให้ b = S,L ม.

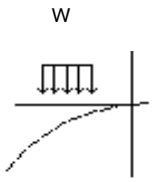
การคำนวณหาค่าโมเมนต์ดัด จากรูปเพื่อวิเคราะห์ (ข) สูตรแบบคานยื่นน้ำหนักกระทำแผ่สม่ำเสมอ W สมการที่ (7.7)

$$-M = \frac{wL^2}{2} \qquad (7.7)$$

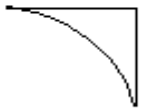
เมื่อ M = โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น กก.-ม.

W = หน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้น กก./ม.^{2}

L = ระยะจากขอบเสาถึงขอบฐาน ม.

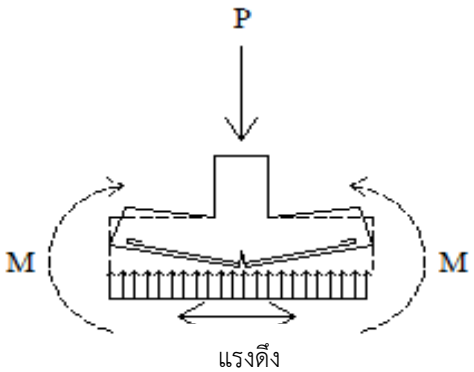


(ค)



(ง)

จากการเกิดโมเมนต์ดัดที่ขอบเสาฐานราก ทำให้ตัวฐานรากดัดงอดังรูป (ค) ณ ตรงหน้าตัดที่ขอบเสาตอม่อ เกิดแรงอัดที่ผิวบนฐานรากใช้เนื้อคอนกรีตเป็นตัวรับ(d) และเกิดแรงดึงที่ผิวล่างฐานราก ใช้เหล็กเสริมรับแรงดึงรับ (As) (ดังในสมการที่ (7.8)-(7.9))



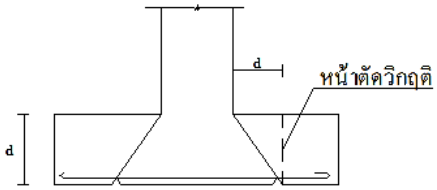
- การคำนวณหาความลึกประสิทธิผลต้านโมเมนต์ดัด

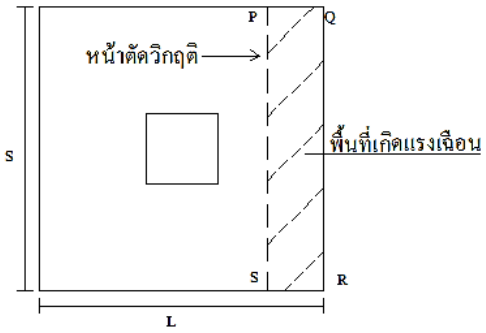
$$d = \sqrt{\frac{M(100)}{R \cdot b}} \quad \text{ซม.} \qquad (7.8)$$

การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเสริมเหล็กรับแรงดึง

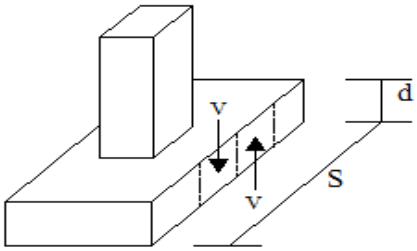
$$A_S = \frac{M(100)}{f_s jd} \quad \text{ซม.}^2 \qquad (7.9)$$

รูปที่ 7.12 (ก)-(ง) ชั้นดินรับน้ำหนัก





(ก) แนวเกิดแรงเฉือนแบบคาน



(ข) แนวเกิดแรงเฉือนแบบคาน

รูปที่ 7.13 (ก)-(ข) ตัวฐานรากเกิดแรงเฉือนแบบคาน

— **การเกิดแรงเฉือน (V)** แรงเฉือนเกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำจากเสาตอม่อเฉือน กับแรงดันขึ้นของดินที่รองรับตัวฐานราก ลักษณะการเฉือนตัวฐานรากมี 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 แรงเฉือนแบบคาน (Diagonal Shear)

การแตกร้าวของตัวฐานรากจะเริ่มจากขอบเสาและเอียงลาดลงไปเป็นมุม 45 องศา ออกไปเป็นระยะ d จากขอบเสา หน้าตัดวิกฤติจะเป็นแนวยาวตลาดตามความกว้างของฐานราก ดังรูปที่ 7.13 (ก)-(ข) เมื่อ

- **แรงเฉือน (V)** เกิดจากผลรวมของหน่วยแรงดันของดินใต้ฐานราก เฉพาะบริเวณพื้นที่ PQRS ดังรูปที่ 7.13 (ก) ดังสมการที่ (7.10)-(7.13)

V = ผลรวมแรงดันดินใต้พื้นที่ PQRS หรือ

$$V = (w)[(s)(1-d)] \qquad (7.10)$$

- **พื้นที่ที่ถูกเฉือน (A_v)** คือบริเวณหน้าตัดวิกฤตโดยมีด้านของฐาน (b = s) และความลึกฐาน (d) เป็นบริเวณที่ถูกแรงเฉือนกระทำ ดังนั้น

- **ค่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริง**

$$v = \frac{V}{bd} \qquad \text{กก./ซม.}^2 \qquad (7.11)$$

- **ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (วสท.)**

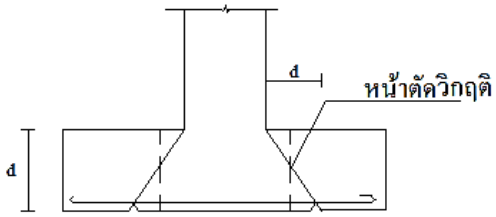
$$v_c = 0.29\sqrt{f_c} \qquad \text{กก./ซม.}^2 \qquad (7.12)$$

- **ฐานรากรับแรงเฉือนแบบคานได้ปลอดภัยเมื่อ**

$$v_c > v \qquad (7.13)$$

กรณีที่ 2 แรงเฉือนแบบเสา (Punching Shear)

การแตกร้าวของตัวฐานรากจะเริ่มจากขอบเสา และเอียงลาดลงไปเป็นมุม 45 องศา รอบเสาเป็นระยะ d/2 จาก ขอบเสาโดยรอบ หน้าตัดวิกฤติจะทะลุเป็นแนวยาวตลอดตามความกว้างโดยรอบเสาตอม่อ ดังรูปที่ 7.14 (ก)-(ข) ดังแสดงในสมการที่ (7.14)- (7.18)



(ก) แนวเฉือน

- แรงเฉือน (V) เกิดจากผลรวมของหน่วยแรงดันดินใต้ฐานราก เฉพาะบริเวณใต้พื้นที่ A หักออกด้วยพื้นที่ A_1ของตัวฐานรากดังรูป (ข)

V = ผลรวมแรงดันดินใต้พื้นที่ (A- A_1) กก.

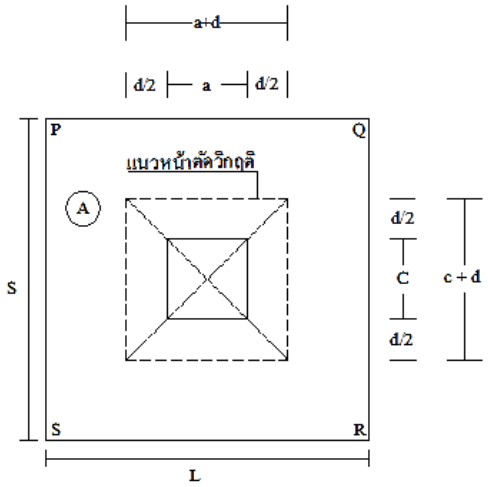
V = (w)[(s)(1-d)] กก. (7.14)

- พื้นที่ที่ถูกเฉือน (A_V) เกิดบริเวณหน้าตัดวิกฤติโดยมีบริเวณพื้นที่ที่ถูกแรงเฉือนกระทำ ดังนี้

ความกว้าง (b) = ความยาวของแนว ($P'Q'R'S'$)

b = 2[(a+b) + (c+d)] ซม. (7.15)

ความลึก = d ซม.



(ข) แนวเฉือนหน้าตัดวิกฤติ

รูปที่ 7.14 (ก)-(ข) ตัวฐานรากเกิดแรงเฉือนแบบเสา

- ค่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริง

$$v_c = \frac{V}{bd}$$ กก./ซม.^{2} (7.16)

- ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

$$v_c = 0.53\sqrt{f_c}$$ กก./ซม.^{2} (7.17)

- ฐานรากรับแรงเฉือนแบบคานได้ปลอดภัยเมื่อ

$$v_c > v$$ (7.18)

7.4.2 การตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว

การเสริมเหล็กในฐานรากคอนกรีตจะเสริมตรงตำแหน่งที่เกิดแรงดึง และต้องตรวจสอบการยึดเกาะของคอนกรีตกับเหล็กเสริมเมื่อถูกแรงเฉือนที่มากที่สุดกระทำเพียงพอหรือไม่ ดังแสดงในสมการที่ (7.19)

1) ค่าหน่วยยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจริง

$$u = \frac{V_{max}}{\sum o\, jd} \qquad (7.19)$$

- ค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ (ว.ส.ท.)

เหล็กเส้นกลม กรณีไม่ใช่เหล็กบน

$$u_a = \frac{1.615\sqrt{fc}}{d} \leq 11 \quad \text{กก./ซม.}^2$$

เหล็กข้ออ้อย กรณีไม่ใช่เหล็กบน

$$u_a = \frac{3.23\sqrt{fc}}{D} \leq 35 \quad \text{กก./ซม.}^2$$

เมื่อกำหนดให้

u	= หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจริง	กก./ซม.^{2}
u_a	= หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้	กก./ซม.^{2}
V_{max}	= แรงเฉือนที่มากสุด (แบบคานหรือเสา)	กก
$\sum o$	= ผลรวมพื้นที่ผิวเหล็กรับแรงดึง (สั้น+ยาว)	ซม.^{2}
D	= เส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม	ซม.

ตัวอย่างที่ 7.1 จงออกแบบฐานรากแผ่สี่เหลี่ยมจัตุรัส รับน้ำหนักจากเสาตอม่อ 22,500 กก. ขนาดเสาเท่ากับ 0.30x0.30 ม. ใต้ฐานรากเป็นชั้นดินแน่นมีหน่วยแรงดันดินที่ยอมให้เท่ากับ 10,000 กก./ม.^{2}

กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2}, fy = 3,000 กก./ซม.^{2},

ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

วิธีทำ

น้ำหนักจากเสาตอม่อ = 22,500 กก.

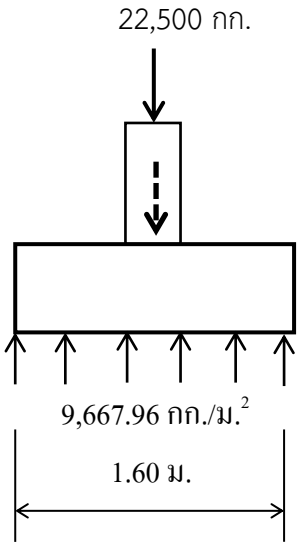
สมมติน้ำหนักฐานราก = 2,250 กก.

น้ำหนักรวม = 24,750 กก.

พื้นที่ฐานรากที่ต้องการ $= \dfrac{24{,}750}{10{,}000} = 2.475$ ม.^{2}

เลือกใช้ขนาดฐานรากเท่ากับ 1.60x1.60 ม.

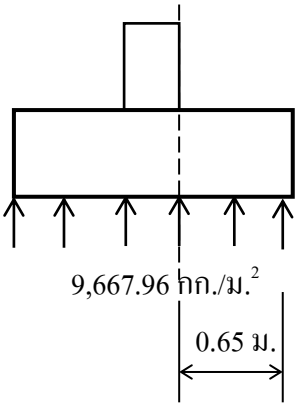
หน่วยแรงดันดิน $= \dfrac{24{,}750}{1.60\times1.60} = 9{,}667.96$ กก./ม.^{2}

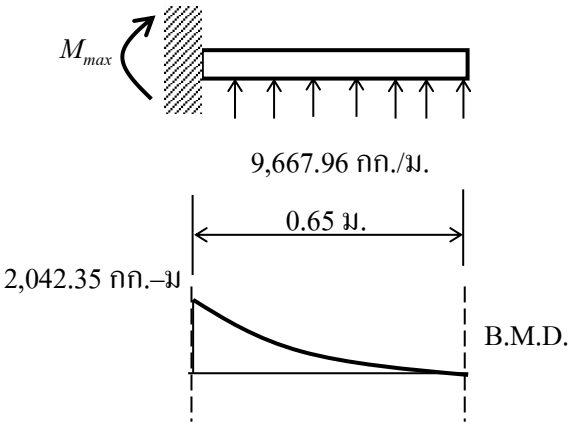


ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

$$M_{\max} = \frac{1}{2}wL^2 = \frac{1}{2}(9{,}667.96)0.65^2$$

$= 2{,}042.35$ กก.–ม





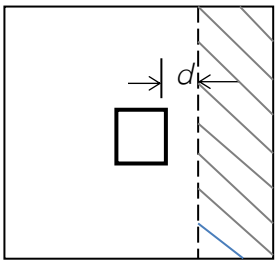
ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$n = 11$, $k = 0.345$, $j = 0.885$, $R = 10.99$ กก./ซม.^{2}

หาความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการ : *d*

$$d = \sqrt{\frac{M_{max}}{Rb}} = \sqrt{\frac{2{,}042.35\times100}{10.99\times100}} = 13.63 \text{ ซม.}$$ ใช้ d = 15.00 ซม.

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก : v



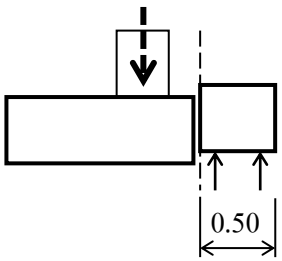
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบคาน : v_c

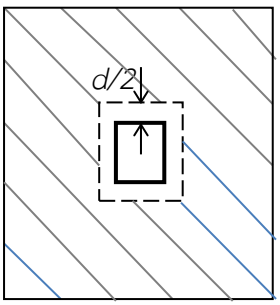
$v_c = 0.29\sqrt{fc'} = 0.29\sqrt{160}$ = 3.66 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$

$$v = \frac{1.60(0.65-0.15)\times9{,}667.96}{(160)(15)}$$

= 3.22 กก./ซม.^{2} < v_c ใช้ได้





หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบทะลุ : v_c

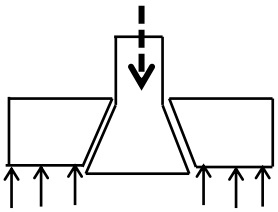
$v_c = 0.53\sqrt{fc'} = 0.53\sqrt{160}$ = 6.70 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$

$$v = \frac{[(1.60)^2-(0.45)^2]\times9{,}667.96}{(180)(15)}$$

= 8.44 กก./ซม.^{2} > v_c

ใช้ไม่ได้ ต้องเพิ่มความหนาฐานราก



ความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการหาจากสูตร :

$$d = \frac{V}{v_c b} = \frac{22{,}792.21}{6.70(180)} = 18.89 \text{ ซม.}$$

เลือกใช้ d = 20.00 ซม.

สรุปขนาดของฐานราก 1.60 x 1.60 x 0.30 ม. ระยะ d = 20.00 ซม.

น้ำหนักฐานราก : 1.60 x 1.60 x 0.30 x 2,400 = 1,843.2 กก. < 2,250 กก. ใช้ได้

ตัวอย่างที่ 7.2 จงออกแบบฐานรากแผ่สี่เหลี่ยมจัตุรัส รับน้ำหนักจากเสาตอม่อ 22,500 กก. ขนาดเสาเท่ากับ 0.30x0.30 ม. ใต้ฐานรากเป็นชั้นดินแน่นมีหน่วยแรงดันดินที่ยอมให้เท่ากับ 10,000 กก./ม.^{2}

กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2}, fy = 3,000 กก./ซม.^{2},

ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

วิธีทำ

น้ำหนักจากเสาตอม่อ = 22,500 กก.

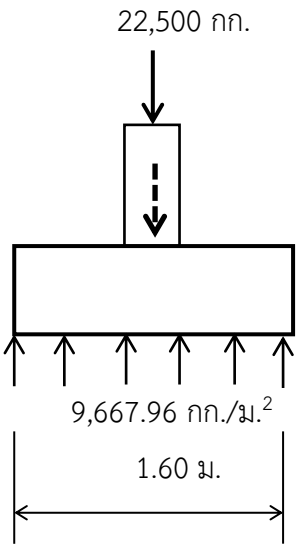
สมมติน้ำหนักฐานราก = 2,250 กก.

น้ำหนักรวม = 24,750 กก.

พื้นที่ฐานรากที่ต้องการ $= \dfrac{24{,}750}{10{,}000} = 2.475$ ม.^{2}

เลือกใช้ขนาดฐานรากเท่ากับ 1.60x1.60 ม.

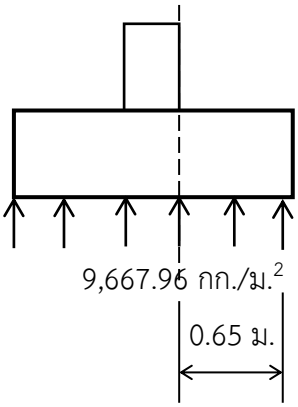
หน่วยแรงดันดิน $= \dfrac{24{,}750}{1.60\times1.60} = 9{,}667.96$ กก./ม.^{2}

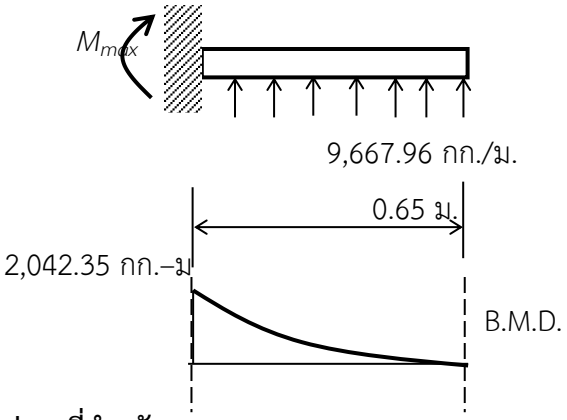


ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

$$M_{\max} = \frac{1}{2}wL^2 = \frac{1}{2}(9{,}667.96)0.65^2$$

= 2,042.35 กก.–ม





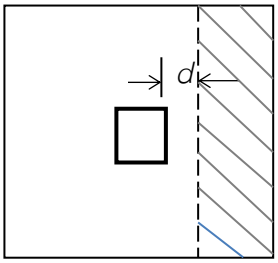
ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$n = 11$, $k = 0.345$, $j = 0.885$, $R = 10.99$ กก./ซม.^{2}

หาความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการ : d

$$d = \sqrt{\frac{M_{\max}}{Rb}} = \sqrt{\frac{2{,}042.35\times100}{10.99\times100}} = 13.63 \text{ ซม.}$$ ใช้ d = 15.00 ซม.

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก : v



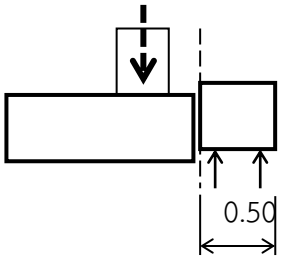
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบคาน : v_c

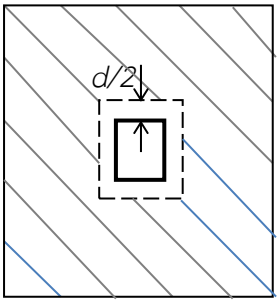
$v_c = 0.29\sqrt{fc'} = 0.29\sqrt{160}$ = 3.66 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \dfrac{V}{bd}$

$$v = \frac{1.60(0.65-0.15)\times 9{,}667.96}{(160)(15)}$$

= 3.22 กก./ซม.^{2} < v_c ใช้ได้





หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบทะลุ : v_c

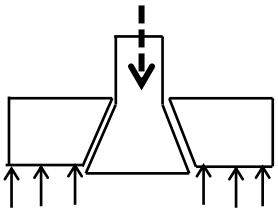
$v_c = 0.53\sqrt{fc'} = 0.53\sqrt{160}$ = 6.70 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \dfrac{V}{bd}$

$$v = \frac{[(1.60)^2-(0.45)^2]\times 9{,}667.96}{(180)(15)}$$

= 8.44 กก./ซม.^{2} > v_c

ใช้ไม่ได้ ต้องเพิ่มความหนาฐานราก



ความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการหาจากสูตร :

$$d = \frac{V}{v_c b} = \frac{22{,}792.21}{6.70(180)} = 18.89 \text{ ซม.}$$

เลือกใช้ d = 20.00 ซม.

สรุปขนาดของฐานราก 1.60 x 1.60 x 0.30 ม. ระยะ d = 20.00 ซม.

น้ำหนักฐานราก : 1.60 x 1.60 x 0.30 x 2,400 = 1,843.2 กก. < 2,250 กก. ใช้ได้

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม : *As*

$$As = \frac{M_{max}}{fs.jd} = \frac{2{,}042.35 \times 100}{1{,}500(0.885)20}$$

= 7.69 ซม.^{2} (DB 12 = 6.80 เส้น)

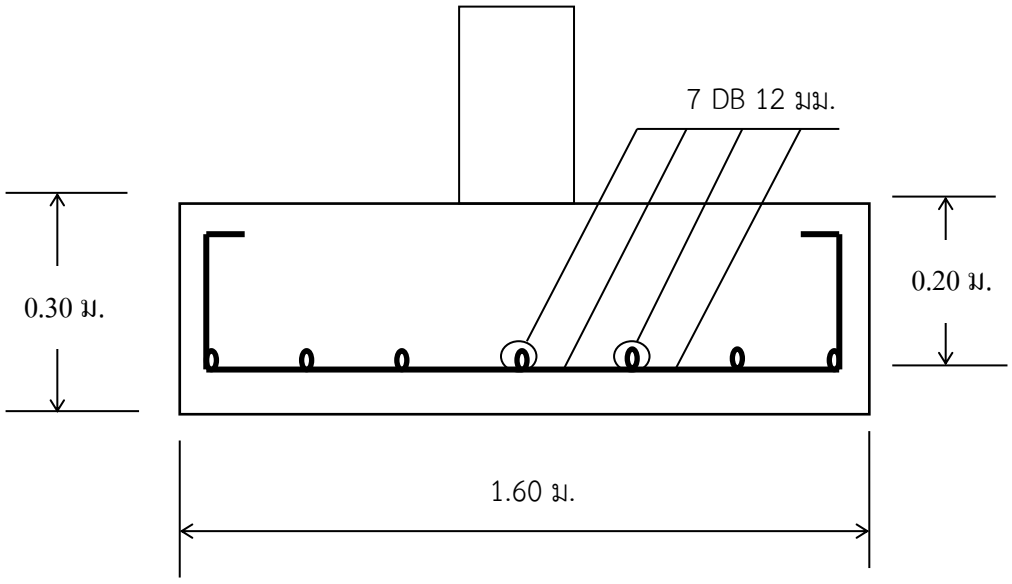
เส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการ : $\sum_o$

$$\sum_o = \frac{V}{u.jd} = \frac{0.65 \times 1.60 \times 9{,}667.96}{34.04(0.885 \times 20)},$$ = 16.68 ซม. (DB 12 = 4.42 เส้น)

$$u = \frac{3.23\sqrt{fc'}}{d_b}$$ = 34.04 กก./ซม.^{2}

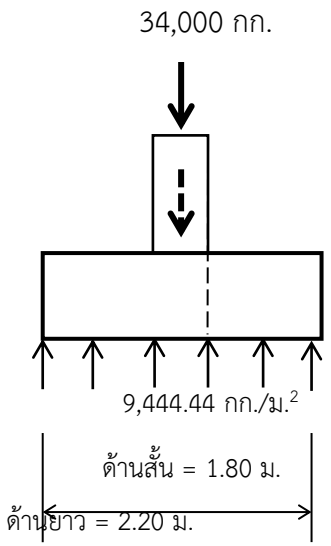
เปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการ กรณีใดใช้ปริมาณเหล็กเสริมมากกว่ากัน ดังนั้น เลือกใช้เหล็กเสริม 7 DB 12 (เสริมสองทางเท่ากัน) *As* = 7.91 ซม.^{2}, $\sum_o$ = 26.38 ซม.

รายละเอียดการเสริมเหล็ก



ตัวอย่างที่ 7.3 จงออกแบบฐานรากแผ่สี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อรับน้ำหนักจากเสาตอม่อ 34,000 กก. ขนาดเสาเท่ากับ 0.30x0.30 ม. ใต้ฐานรากเป็นชั้นดินแน่นมีหน่วยแรงดันดินที่ยอมให้เท่ากับ 10,000 กก./ม.^{2}
กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2}, fy = 3,000 กก./ซม.^{2},
ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

วิธีทำ



น้ำหนักจากเสาตอม่อ = 34,000 กก.

สมมติน้ำหนักฐานราก = 3,400 กก.

น้ำหนักรวม = 37,400 กก.

พื้นที่ฐานรากที่ต้องการ = $\frac{37,400}{10,000}$ = 3.74 ม.^{2}

เลือกใช้ขนาดฐานรากเท่ากับ 1.80x2.20 ม.

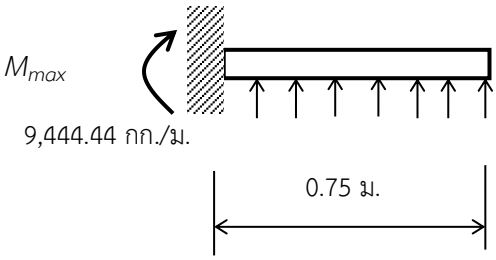
หน่วยแรงดันดิน = $\frac{37,400}{1.80\times 2.20}$ = 9,444.44 กก./ม.^{2}

ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

ด้านสั้น (1.80 ม.)

$$M_{\max}=\frac{1}{2}wL^2=\frac{1}{2}(9,444.44)0.75^2$$

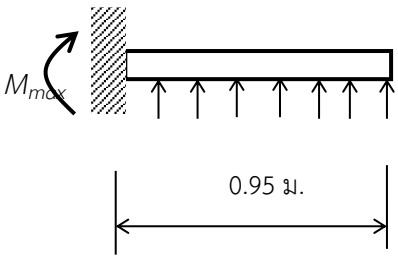
= 2,656.25 กก.–ม.



ด้านยาว (2.20 ม.)

$$M_{\max}=\frac{1}{2}wL^2=\frac{1}{2}(9,444.44)0.95^2$$

= 4,261.80 กก.–ม.



ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$n=11$, $k=0.345$, $j=0.885$, $R=10.99$ กก./ซม.^{2}

หาความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการ : d

$$d=\sqrt{\frac{M_{\max}}{Rb}}=\sqrt{\frac{4,261.80\times 100}{10.99\times 100}}$$ = 19.69 ซม. ใช้ d = 25.00 ซม.

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก : v

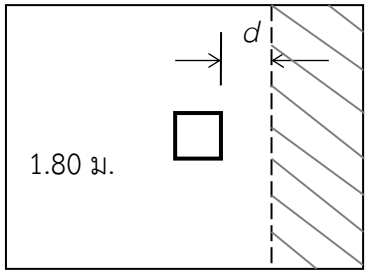
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบคาน : v_c

$v_c = 0.29\sqrt{fc'} = 0.29\sqrt{160}$ = 3.66 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นทางด้านสั้น: $v = \frac{V}{bd}$

$$v = \frac{1.80(0.95-0.25)\times 9{,}444.44}{(180)(25)}$$

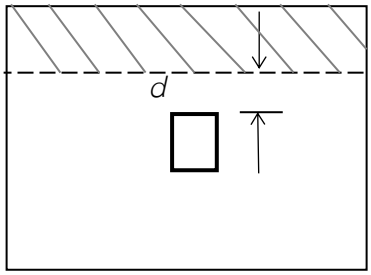
= 2.64 กก./ซม.^{2} < v_c ใช้ได้



หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นทางด้านยาว: $v = \frac{V}{bd}$

$$v = \frac{2.20(0.75-0.25)\times 9{,}444.44}{(220)(25)}$$

= 1.88 กก./ซม.^{2} < v_c ใช้ได้



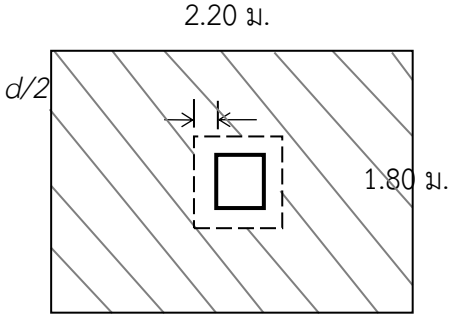
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบทะลุ : v_c

$v_c = 0.53\sqrt{fc'} = 0.53\sqrt{160}$ = 6.70 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$

$$v = \frac{[(1.80\times 2.20)-(0.55)^2]\times 9{,}444.44}{(4\times 55)(25)}$$

= 6.28 กก./ซม.^{2} < v_c ใช้ได้



สรุปขนาดของฐานราก 1.80 x 2.20 x 0.35 ม. ระยะ d = 25.00 ซม.

น้ำหนักฐานราก : 1.80 x 2.20 x 0.35 x 2,400 = 3,326.4 กก. < 3,400 กก. ใช้ได้

คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริม

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมด้านยาว : As_L

$$As_L = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{4{,}261.80\times 100}{1{,}500(0.885)25}$$

= 12.84 ซม.^{2} (DB 12 = 11.36 เส้น)

เส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการทางด้านยาว : $\sum_o$

$$\sum_o = \frac{V}{u.jd} = \frac{0.95\times1.80\times9,444.44}{34.04(0.885\times25)}$$ = 21.44 ซม. (DB 12 = 5.68 เส้น)

$$u = \frac{3.23\sqrt{fc'}}{d_b}$$ = 34.04 กก./ซม.^{2}

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมทางด้านยาววางกระจายแบบสม่ำเสมอทางด้านสั้นเท่ากับ 12 DB 12 : *As* = 13.56 ซม.^{2}, $\sum_o$ = 45.24 ซม.

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมด้านสั้น : As_B

$$As_B = \frac{M}{fs.jd} = \frac{2,656.25\times100}{1,500(0.885)25}$$

= 8.00 ซม.^{2} (DB 12 = 7.08 เส้น)

เส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการทางด้านสั้น : $\sum_o$

$$\sum_o = \frac{V}{u.jd} = \frac{0.75\times2.20\times9,444.44}{34.04(0.885\times25)},$$

$$u = \frac{3.23\sqrt{fc'}}{d_b}$$ = 34.04 กก./ซม.^{2}

= 20.69 ซม. (DB 12 = 5.48 เส้น)

ใช้พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมทางด้านสั้นเท่ากับ As = 8.00 ซม.^{2} โดยแบ่งเป็นเหล็กเสริมด้านสั้นแถบกลางและแถบริม ดังนี้

เหล็กเสริมแถบกลาง

$$As = \frac{2}{S+1}(As_B) = \frac{2}{\frac{2.20}{1.8}+1}(8.00)$$

= 7.20 ซม.^{2}

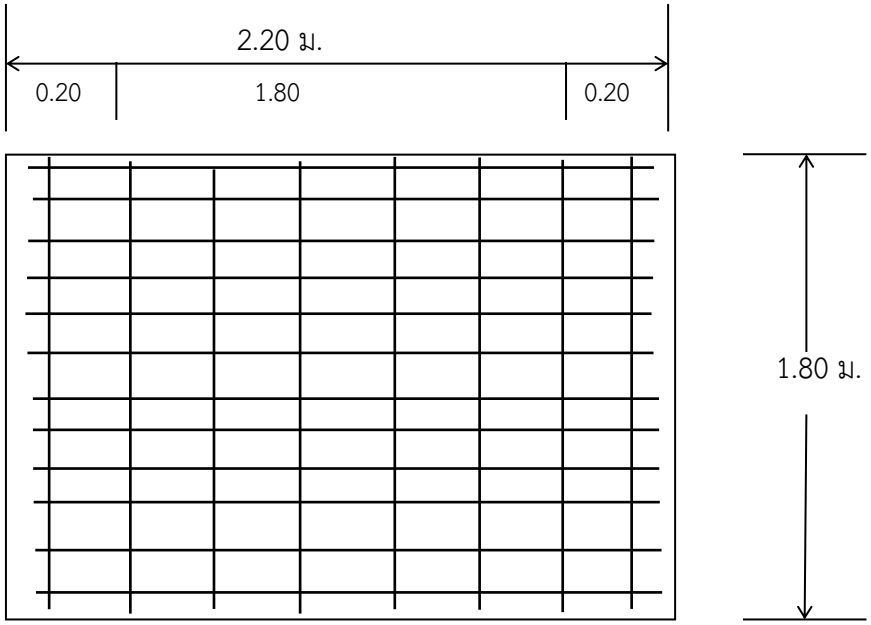
เลือกใช้ 7 DB 12 (As = 7.91 ซม.^{2})

เหล็กเสริมแถบริม $As = \frac{8.00 - 7.20}{2}$

$= 0.40$ ซม.^{2}

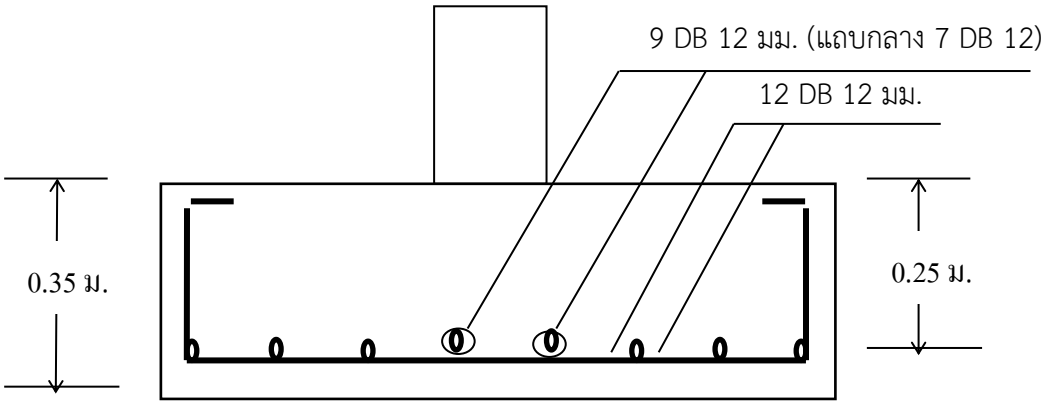
เลือกใช้ 1 DB 12 (As = 1.13 ซม.^{2})

รายละเอียดการเสริมเหล็ก



ด้านยาว : 12 DB 12

ด้านสั้น : 9 DB 12 (แถบกลาง 7 DB 12)



7.5 การคำนวณออกแบบฐานรากเสาเข็ม

การคำนวณกลุ่มเสาเข็มแล้วใช้ฐานรากคอนกรีต หรือฐานแผ่หุ้มเสาเข็ม เพื่อทำหน้าที่กระจายน้ำหนักลงเสาเข็ม ลักษณะของฐานรากแผ่วางบนเสาเข็มจึงคล้ายกับฐานรากแผ่วางบนดิน ต่างกันเพียงแรงที่กระทำต่อฐานราก โดยฐานรากแผ่วางบนเสาเข็มจะมีแรงกระทำเป็นจุด ขณะที่ฐานรากแผ่วางบนดินมีแรงดันดินใต้ฐานรากกระจายต่อพื้นที่ การคำนวณออกแบบฐานรากเสาเข็ม ของอาคารที่ตั้งอยู่ในบริเวณดินอ่อนจะอาศัยเสาเข็มเป็นตัวถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินแข็งที่อยู่ลึกลงไปใต้ดิน การพิจารณาออกแบบฐานรากแผ่วางบนเสาเข็มจำเป็นต้องทราบถึงข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ ของเสาเข็มเพื่อที่จะเลือกนำมาใช้งานได้อย่างเหมาะสม ซึ่งปัจจุบันเสาเข็มมีมากมายหลายประเภท ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเสาเข็มที่นิยมใช้ในงานอาคารพักอาศัย ดังนี้

7.6.1 ประเภทของเสาเข็ม เสาเข็มสามารถแบ่งตามลักษณะการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่รองรับได้ 2 ประเภท คือ

1) เสาเข็มสั้น เป็นเสาเข็มที่แบกรับน้ำหนักได้ไม่มากและลักษณะชั้นดินที่รองรับเสาเข็มเป็นดินอ่อนถึงปานกลาง การต้านทานน้ำหนักที่กระทำของเสาเข็มชนิดนี้อาศัยแรงเสียดทาน (Friction) ที่ดินรองรับรอบผิวๆของตัวเสาเข็มเท่านั้น (รูปที่ 7.14 (ก)) ดังนั้นยิ่งเสาเข็มมีเส้นรอบรูปและความยาวมากก็จะทำให้เสาเข็มมีแรงต้านทานมากด้วย โดยทั่วไปเสาเข็มสั้นจะมีความยาวประมาณ 6-15 ม. การตอกเสาเข็มโดยใช้แรงคนปั้นจั่นขึ้นกับความยาว เสาเข็ม โดยทั่วไปเสาเข็มทำจากวัสดุดังนี้

(1) เสาเข็มไม้ ไม้ที่นำมาทำเป็นเสาเข็มในปัจจุบันนิยมใช้ไม้สนและไม่ยูคาลิปตัส ความสามารถรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มไม้ขึ้นอยู่กับขนาดและความยาวเสาเข็มไม้ดังนี้

เสาเข็มไม้ขนาด ø 3” x 3.00 ม. รับน้ำหนักปลอดภัยได้ 400 กก./ต้น
เสาเข็มไม้ขนาด ø 4” x 4.00 ม. รับน้ำหนักปลอดภัยได้ 750 กก./ต้น
เสาเข็มไม้ขนาด ø 5” x 5.00 ม. รับน้ำหนักปลอดภัยได้ 1,200 กก./ต้น
เสาเข็มไม้ขนาด ø 6” x 6.00 ม. รับน้ำหนักปลอดภัยได้ 1,700 กก./ต้น

(2) เสาเข็มคอนกรีต เสาเข็มคอนกรีตที่ผลิตขายมีหน้าตัดหลายรูปแบบ เช่น รูปคัว I รูปตัว T รูปสี่เหลี่ยม รูปหกเหลี่ยมในปัจจุบันนิยมใช้ ขนาดหน้าตัดทั่วไป 0.15x0.15 ม. , 0.18x0.18 ม.ความยาวมีตั้งแต่ 1-8 ม.

(ก) เสาเข็มสั้น

(ข) เสาเข็มยาว

รูปที่ 7.14 (ก)-(ข) ตัวอย่างเสาเข็มคอนกรีต
ที่มา: ข้อมูลการค้า บริษัทฮ้อแสงขัย จำกัด, 2560

2) เสาเข็มยาว เป็นเสาเข็มที่แบกรับน้ำหนักได้มาก (รูปที่ 7.14(ข)) และลักษณะชั้นดินที่รองรับเป็นดินแข็งหรือทราย การต้านทานน้ำหนักที่กระทำของเสาเข็มชนิดนี้อาศัยแรงเสียดทานที่ดินรองรับรอบๆผิวของตัวเสาเข็มรวมกับการรับน้ำหนักที่ปลายเสาเข็ม (bearing) ซึ่งวางอยู่บนชั้นดินแข็งหรืออชั้นทรายในระดับความลึกต่างๆ กันแล้วแต่สภาพชั้นดิน โดยทั่วไปเสาเข็มยาวจะมีความยาวประมาณ 10 ม. ขึ้นไปขึ้นอยู่กับชั้นดินแข็ง การตอกเสาเข็มโดยใช้ปั้นจั่นเป็นส่วนมาก เสาเข็มยาวที่เลือกใช้ขึ้นกับลักษณะงานก่อสร้าง มีให้เลือกดังนี้

(1) เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง ปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้ มีผลิตขายหน้าตัดหลายรูปแบบ เช่น รูปตัว I รูปวงกลม รูปสี่เหลี่ยม เป็นเสาเข็มที่รับกำลังได้สูง ขนาดหน้าตัดไม่ควรเล็กกว่า 0.26x0.26 ม. ความยาวมีตั้งแต่ 20-30 ม. ใช้วิธีการตอกเสาเข็ม แต่ถ้าเสาเข็มยาวมากอาจใช้ชนิดอื่นที่สะดวกกว่าคุณสมบัติต่างๆของเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงขึ้นอยู่กับการกำหนดของบริษัทที่ผลิตออกมาจำหน่ายดังตัวอย่างจากตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 คุณสมบัติต่างๆของเสาเข็มตอกคอนกรีตอัดแรง

รูปแบบหน้าตัด	ขนาดและความยาว (ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	เส้นรอบรูป (ซม.)	น้ำหนัก (กก./ม.)	น้ำหนักที่รับได้ปลอดภัย (ตัน)
สี่เลี่ยมตัน	0.15x0.15x4.00-8.00	223	58	54	4-8
รูปตัว I	0.18x0.18x4.000-14.00	242	72	58	6-8
สี่เลี่ยมตัน	0.18x0.18x7.00-21.00	322	70	78	10-15
รูปตัว I	0.20x0.20x7.00-2100	288	101	69	15-20
สี่เลี่ยมตัน	0.20x0.20x7.00-21.00	398	78	96	15-20
รูปตัว I	0.22x0.22x7.00-21.00	342	107	82	20-25
สี่เลี่ยมตัน	0.22x0.22x7.00-23.00	480	85	115	20-25
รูปตัว I	0.26x0.26x7.00-23.00	522	117	125	25-30
สี่เลี่ยมตัน	0.26x0.26x7.00-23.00	674	102	162	30-35
รูปตัว I	0.30x0.30x7.00-23.00	662	136	159	30-35
สี่เลี่ยมตัน	0.30x0.30x7.00-23.00	896	117	215	35-45
รูปตัว I	0.35x0.35x7.00-25.00	881	159	211	35-45
สี่เลี่ยมตัน	035x0.35x7.00-25.00	1,221	136	293	40-50
รูปตัว I	0.40x0.40x7.00-25.00	1,247	189	299	45-55
สี่เลี่ยมตัน	0.40x0.40x7.00-25.00	1,596	157	383	55-65
รูปตัว I	0.45x0.45x7.00-26.00	1,466	211	352	50-55
สี่เลี่ยมตัน	0.45x0.45x7.00-26.00	2,021	177	485	60-70

ที่มา: ข้อมูลการค้า บริษัทฮ้อแสงขัย จำกัด, 2560

หมายเหตุ 1. น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยตามตารางข้างบนนี้ เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น

2. ความลึกและการรับน้ำหนักปลอดภัย ต้องขึ้นอยู่กับการเจาะทดสอบชั้นดินแต่ละท้องถิ่นและการคำนวณโดยวิศวกรปฐพี

(2) เสาเข็มเสาเข็มเจาะ ใช้ในงานก่อสร้างที่มีพื้นที่จำกัดและบริเวณก่อสร้างติดอาคารข้างเคียง เพื่อลดปัญหาในการตอกเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงลงดิน ซึ่งอาจกระทบกระเทือนทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคารข้างเคียงได้ สำหรับอาคารพักอาศัยทั่วไปนิยมใช้เสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 เซนติเมตร ความยาวเสาเข็มเจาะ 20–30 เมตร เป็นระบบเจาะแบบแห้ง โดยขุดเจาะดินออกตามความลึกที่กำหนด ใส่เหล็กเสริมแล้วเทคอนกรีตจนเต็มหลุมเจาะ**เจาะคอนกรีตเสริมเหล็ก** แบ่งออกได้เป็น 2 ขนาด คือ

(2.1).เสาเข็มเจาะขนาดเล็ก (Small Bored Pile) เป็นการหล่อเสาเข็มในที่ก่อสร้างโดยเจาะหลุมเสาเข็มให้ลึกตามต้องการเสริมเหล็กพร้อมเทคอนกรีต (รูปที่ 7.15 (ก)) เสาเข็มเจาะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 0.35 – 0.60 ม. เจาะหลุมลึกประมาณ 20-30 ม. เรียกเจาะขนาดเล็กนี้ว่าเป็นระบบเข็มเจาะแบบแห้ง (dry process) การเลือกใช้เข็มเจาะขนาดเล็กนี้เพื่อใช้แทนเสาเข็มแบบตอก ด้วยเหตุผล เช่น อันตรายต่างอาคารข้างเคียง , รบกวนชุมชน , ขนส่งเข็มลำบาก, สถานที่ก่อสร้างคับแคบ คุณสมบัติต่างๆ ของเสาเข็มเจาะแบบแห้งที่นิยมใช้กันจากตารางที่ 7.2

(ก) ระบบเข็มเจาะขนาดเล็ก (ข) ระบบเข็มเจาะขนาดใหญ่

รูปที่ 7.15 (ก)-(ข)ตัวอย่างเสาเข็มเจาะ

ที่มา: ข้อมูลการค้า บริษัทตะวันฉาย จำกัด และ บริษัท เบสท์เฮ้าส์กรุ๊ป, 2560

ตารางที่ 7.2 คุณสมบัติต่างๆของเสาเข็มเจาะขนาดเล็กแบบแห้ง

ขนาดเสาเข็ม (ซม)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	เส้นรอบรูป (ซม.)	ความลึก (ม.)	น้ำหนักที่รับได้ปลอดภัย (ตัน)
ø35	962	110	20-25	25-35
ø43	1,452	135	20-25	40-50
ø50	1,963	157	20-25	60-80
ø60	2,827	188	20-25	90-120

ที่มา: ข้อมูลการค้า บริษัทตะวันฉาย จำกัด, 2560

หมายเหตุ 1. น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยตามตารางข้างบนนี้ เป็นค่าโดยประมาณ และใช้ในเขต กรุงเทพมหานคร

2. ความลึกและการรับน้ำหนักปลอดภัย ต้องขึ้นอยู่กับการเจาะทดสอบชั้นดินแต่ละท้องถิ่นและการคำนวณโดยวิศวกรปฐพี

(2.2) เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ (Large Bored Pile) เป็นเสาเข็มเจาะที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 0.60 ม. ขึ้นไป (รูปที่ 7.15 (ข)) เจาะหลุมลึกประมาณ 25-60 ม. ใช้สำหรับงานก่อสร้างขนาดใหญ่มาก เช่น อาคารสูง สะพานทางหลวง เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่มี่ทั้งระบบแบบแห้ง (dry process) และระบบแบบเปียก (wet process) ซึ่งจะใช้ในกรณีที่มีปัญหาน้ำใต้ดินโดยใช้สารละลายเบนโทไนต์ (Bentonite) เพื่อต้านทานน้ำใต้ดินและเคลือบผิวหลุมเจาะไม่ให้พัง คุณสมบัติต่างๆของเสาเข็มเจาะแบบแห้งที่นิยมใช้กันจากตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 คุณสมบัติต่างๆของเสาเข้มเจาะขนาดใหญ่แบบแห้ง

ขนาดเสาเข็ม (ซม)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	เส้นรอบรูป (ซม.)	ความลึก (ม.)	น้ำหนักที่รับได้ปลอดภัย (ตัน)
ø80	5,026	251	25-40	140-280
ø90	6,362	283	25-40	150-300
ø100	7,854	314	25-40	180-360
ø120	11,310	377	25-40	250-500

ที่มา: ข้อมูลการค้า บริษัท เบสท์เฮ้าส์กรุ๊ป, 2560

หมายเหตุ 1. น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยตามตารางข้างบนนี้ เป็นค่าโดยประมาณ และใช้ในเขต กรุงเทพมหานคร

2. ความลึกและการรับน้ำหนักปลอดภัย ต้องขึ้นอยู่กับการเจาะทดสอบชั้นดินแต่ละท้องถิ่นและการคำนวณโดยวิศวกรปฐพี

7.5.1 วิเคราะห์พฤติกรรมฐานรากเสาเข็ม

เมื่อตัวฐานรากวางบนเสาเข็มเพื่อรับน้ำหนักตามแนวแกนเสาตอม่อ การออกแบบฐานรากเสาเข็มต้องพิจารณาให้ตัวเสาเข็มและตัวฐานรากสามารถรับน้ำหนักได้ปลอดภัย โดยทั่วไปวิศวกรจะเป็นผู้กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความลึกของเสาเข็ม ซึ่งจะต้องอาศัยข้อมูลเจาะสำรวจชั้นดิน ตลอดจนทดสอบกำลังรับน้ำหนักแบกทานของเสาเข็มตามหลักวิชาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก เพื่อให้ได้ความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มอย่างแท้จริง ดังนั้น ความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มจะขึ้นอยู่กับ 2 ส่วน ส่วนแรก คือเสาเข็มประกอบด้วยขนาดและคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม และส่วนที่สอง คือคุณสมบัติของชั้นดินที่รองรับเสาเข็ม กรณีที่ฐานรากวางบนเสาเข็มสั้นจะอาศัยหน่วยแรงฝืดของดินกับพื้นที่ผิวของเสาเข็มในการรับน้ำหนัก ส่วนเสาเข็มยาวจะอาศัยทั้งหน่วยแรงฝืดของดินกับพื้นที่ผิวของเสาเข็มในการรับน้ำหนักและกำลังแบกทานที่ปลายเสาเข็มซึ่งหยั่งบนชั้นดินแข็ง ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2522 กำหนดให้ใช้หน่วยแรงฝืดและกำลังแบกทานของดิน ดังนี้

ในกรณีไม่มีเอกสารผลทดสอบคุณสมบัติของดิน

1) สำหรับดินที่อยู่ในระดับลึกไม่เกิน 7.00 เมตร ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง ให้ใช้หน่วยแรงฝืดของดินได้ไม่เกิน 600 กก./ม.^{2} ของพื้นผิวประสิทธิผลของเสาเข็ม

2) สำหรับดินที่อยู่ในระดับลึกเกินกว่า 7.00 เมตร ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง ให้ใช้หน่วยแรงฝืดของดินเฉพาะส่วนที่ลึกเกินกว่า 7.00 เมตร ลงไปโดยคำนวณจากสมการ: หน่วยแรงฝืดเท่ากับ 800 + 200 *L* (*L : ความยาวเสาเข็มส่วนที่เกิน 7.00 เมตร*) และในการคำนวณหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยอาศัยหน่วยแรงฝืดของดิน ให้ใช้สมการที่ (7.20) ต่อไปนี้

$$P = f.p.L \qquad (7.20)$$

เมื่อ *P*= กำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็ม, *L* = ความยาวของเสาเข็ม

f = หน่วยแรงฝืดของดินที่ยอมให้, *p* =เส้นรอบรูปของเสาเข็ม

ในกรณีที่มีเอกสารผลทดสอบคุณสมบัติของดินหรือมีการทดสอบกำลังแบกทานของเสาเข็มในบริเวณก่อสร้างหรือข้างเคียง ให้ใช้กำลังแบกทานของเสาเข็มไม่เกินอัตรา ต่อไปนี้

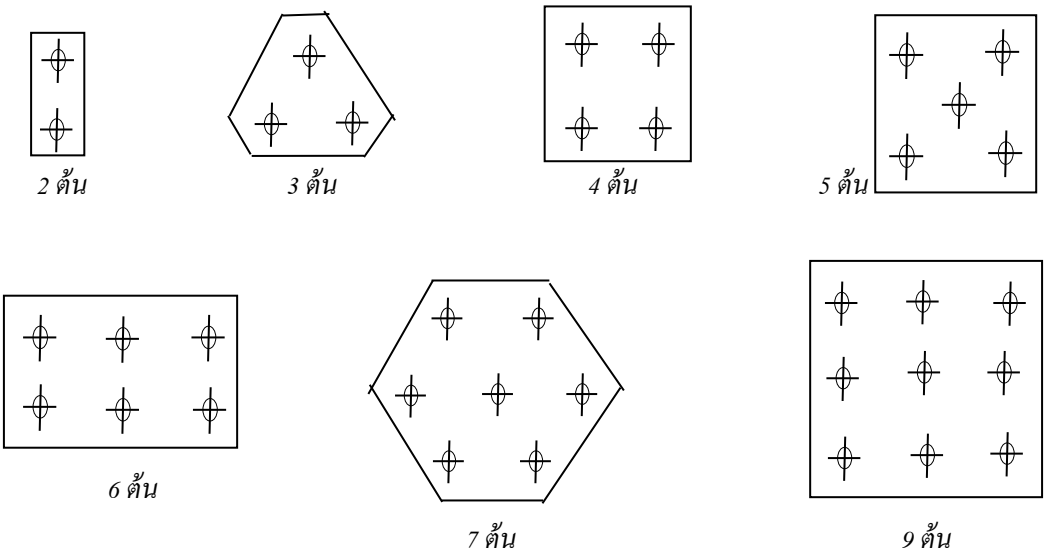
1.1) ไม่เกินร้อยละ 40 ของกำลังแบกทานเสาเข็มที่คำนวณจากการทดสอบคุณสมบัติดิน

1.2) ไม่เกินร้อยละ 40 ของกำลังแบกทานเสาเข็มที่คำนวณจากสูตรการตอกเสาเข็ม

1.3) ไม่เกินร้อยละ 50 ของกำลังแบกทานเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบกำลังแบกทานสูงสุด ทั้งนี้ ในการทดสอบกำลังแบกทานสูงสุดของเสาเข็ม ค่าทรุดตัวของเสาเข็มต้องไม่เกิน 0.25 มม. ต่อน้ำหนักแบกทาน 1,000 กก. และเมื่อเอาน้ำหนักแบกทานออกหมดแล้วเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค่าทรุดตัวที่ปรากฏต้องไม่เกิน 6.00 มม.

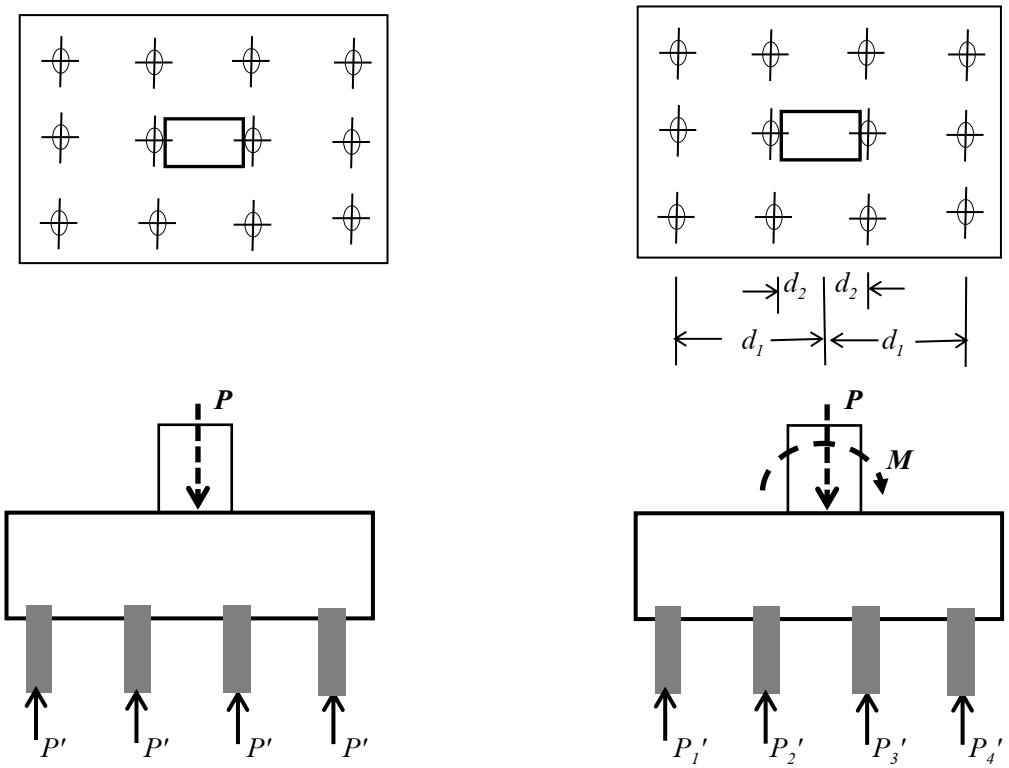
2) พฤติกรรมในการรับน้ำหนักและการวิบัติของฐานรากแผ่วางบนเสาเข็ม จำนวนเสาเข็มที่ใช้ในแต่ละฐานรากหาได้จาก น้ำหนักบรรทุกใช้งานทั้งหมดที่ถ่ายลงสู่ฐานรากหารด้วยน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็ม ซึ่งปกติทั่วไปเสาเข็มมีตัวคูณค่าความปลอดภัย (Factor of safety) ไม่น้อยกว่า 2.5 โดยมีสมมติฐานในการออกแบบ คือ ให้เสาเข็มทุกต้นรับน้ำหนักเท่ากัน (Balance design method) จากการจัดวางเสาเข็มให้สมมาตรกัน สำหรับประเทศไทย นิยมจัดเรียงระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเสาเข็มไม่น้อยกว่า 3 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม ส่วนระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเสาเข็มต้นริมถึงขอบฐานรากประมาณ 1.0 ถึง 1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม (สถาพร โภคา, 2544) เมื่อได้จำนวนเสาเข็มที่ใช้ในแต่ละฐานแล้ว จำนวนเสาเข็มจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบหรือรูปทรงของฐานราก ตัวอย่างเช่น ฐานรากที่ใช้เสาเข็ม 2 ต้น จะมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ฐานรากที่ใช้เสาเข็ม 3 ต้น จะมีรูปทรงเป็นสามเหลี่ยมปลายตัด (หรือลักษณะหกเหลี่ยม) และฐานรากที่ใช้เสาเข็ม 4 ต้น จะมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส เป็นต้น รูปแบบหรือรูปทรงของฐานรากแผ่วางบนเสาเข็ม แสดงในรูปที่ 7.16

การจัดวางตำแหน่งเสาเข็มในฐานราก เมื่อได้จำนวนเสาเข็มแล้วสามารถนำมาจัดตำแหน่งระยะตามมาตรฐานกำหนดโดยระยะห่าง Ø- Ø ของเสาเข็มต้องไม่น้อยกว่า 2.5d-3d และเสาเข็มตัวริมห่างจากขอบฐานราก 1.5d ทำให้กำหนดขนาดความกว้าง ยาว ของตัวฐานรากได้ ซึ่ง การกระจายน้ำหนักของฐานรากแผ่วางบนเสาเข็ม กรณีเป็นฐานรากเดี่ยวรับน้ำหนักรวมศูนย์จากเสาตอม่อเป็นแรงตามแนวแกนอย่างเดียว ก็คือน้ำหนักเฉลี่ยที่เสาเข็มแต่ละต้นรับมีลักษณะกระทำแบบเป็นจุดเท่ากันทุกต้น ดังรูปที่ 7.16 (ก) และกรณีที่มีแรงเยื้องศูนย์กระทำส่งผลให้ฐานรากรับน้ำหนักตามแนวแกน (*P*) และโมเมนต์ดัด (*M*) การกระจายน้ำหนักในแต่ละแถวแสดงในรูปที่ 7.8 (ข)



รูปที่ 7.16 รูปแบบหรือรูปทรงของฐานรากจากการจัดวางกลุ่มเสาเข็มแบบสมมาตร

ที่มา: สาโรจน์ ดำรงศิลป์, 2559



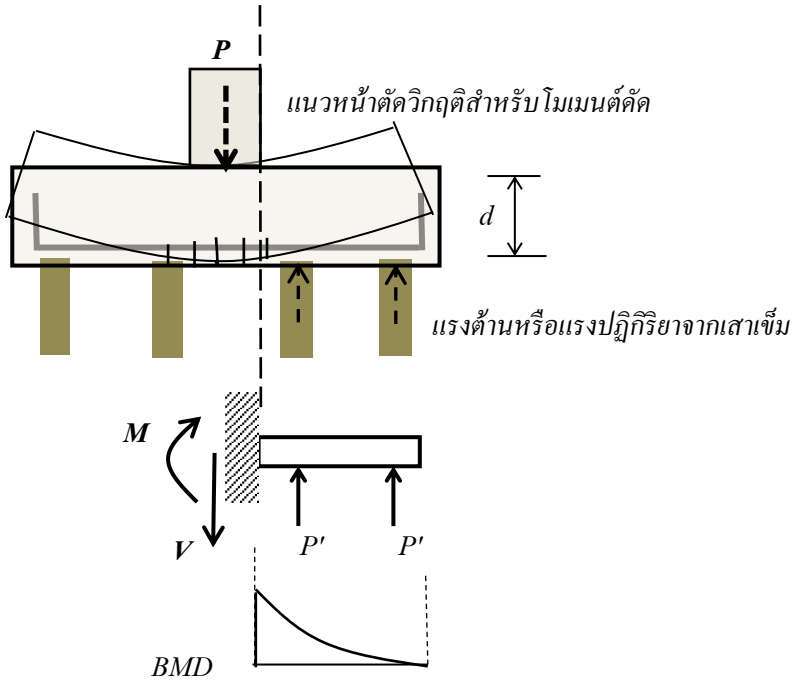
(ก) (ข)

รูปที่ 7.17 **(ก)-(ข)** การกระจายน้ำหนักของฐานรากแผ่วางบนเสาเข็ม

ที่มา: สาโรจน์ ดำรงศิลป์, 2559

ฐานรากรับน้ำหนักตามแนวแกนอย่างเดียว (P) กรณีแรงรวมศูนย์	ฐานรากรับน้ำหนักตามแนวแกน (P) และโมเมนต์ดัด (M) กรณีแรงเยื้องศูนย์
$P' = \frac{P}{n} \le R_a$ เมื่อ P' : น้ำหนักที่เสาเข็มแต่ละต้นรับ P : น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดที่กระทำกับฐานราก n : จำนวนเสาเข็ม Ra : กำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็ม	$P' = \frac{P}{n} \pm \frac{Mc}{I}$ $P_1' = \frac{P}{n} - \frac{Md_1}{\sum d_n^2}$, $P_2' = \frac{P}{n} - \frac{Md_2}{\sum d_n^2}$ $P_3' = \frac{P}{n} + \frac{Md_2}{\sum d_n^2}$, $P_4' = \frac{P}{n} + \frac{Md_1}{\sum d_n^2}$ *เมื่อ* d_n *: ระยะห่างของเสาเข็มแต่ละต้นจากแกนศูนย์ถ่วงของกลุ่มเสาเข็ม* $\sum d_n^2 = 2[3(d_1)^2 + 3(d_2)^2]$

1) โมเมนต์ดัด ฐานรากเดี่ยววางแผ่บนเสาเข็มมีแนวหน้าตัดวิกฤตสำหรับโมเมนต์ดัดและแรงยึดหน่วงที่ขอบเสาตอม่อหรือขอบผนังกำแพงคอนกรีต ดังนั้น การหาค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนสูงสุดพิจารณาจากรูปที่ 7.18 ซึ่งจะพบว่าแรงต้านจากเสาเข็มที่กระทำกับฐานรากมีลักษณะเป็นจุด ในส่วนการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมต้านทานโมเมนต์ดัดคำนวณจาก $As = \frac{M}{fs.jd}$ และเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการสำหรับการฝังยึด เพื่อต้านทานแรงยึดหน่วงซึ่งเกิดจากการดัดคำนวณจาก $\sum_o = \frac{V}{u.jd}$ เป็นไปในลักษณะเดียวกับการออกแบบฐานรากแผ่วางบนดิน



รูปที่ 7.18 แนวหน้าตัดวิกฤตสำหรับโมเมนต์ดัดและแรงยึดหน่วง

2) การเกิดโมเมนต์ดัด (M) เป็นหน่วยแรงที่พยายามทำให้ฐาน รากเกิดการดัดงอดังรูปที่ 7.18 ซึ่งการเกิดโมเมนต์ต้องพิจารณา ค่าต่าง ๆ ดังนี้ แนวที่โมเมนต์ดัดมากสุดเกิดที่ขอบเสาตอม่อ ความกว้างใช้คำนวณ (*b*) ของฐานราก คิดแบบทั้งฐานรากให้ *b* = S, L ม. การคำนวณหาค่าโมเมนต์ดัด สามารถสรุปสูตรแบบคานยื่นน้ำหนักกระทำเป็นจุด ดังนี้

$$-M = P_a \cdot x_1 \qquad (7.21)$$

เมื่อ M = โมเมนต์ดัดจากเสาเข็มต้นที่ 1 กก.-ม.

P_a = แรงต้านของเสาเข็มต้นที่ 1 กก./ต้น

X_1 = ระยะจากขอบเสาตอม่อถึงศูนย์เสาเข็มตัวที่ 1 ม.

หาค่าโมเมนต์ดัดรวมตามจำนวนเสาเข็ม

$$-\mathrm{M_{max}} = \Sigma M_n = (P_{a1} \cdot x_1) + (P_{a2} \cdot x_2) + \cdots n \qquad (7.22)$$

- การคำนวณหาความลึกประสิทธิผลต้านโมเมนต์ดัด

$$\mathrm{d} = \sqrt{\frac{\mathrm{M(100)}}{\mathrm{R \cdot b}}} \qquad (7.23)$$

- การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงดึง

$$\mathrm{A_S} = \frac{\mathrm{M(100)}}{\mathrm{f_s jd}} \qquad (7.24)$$

3) แรงเฉือน แนวหน้าตัดวิกฤตสำหรับแรงเฉือนของฐานรากแผ่วางบนเสาเข็มซึ่งเป็นแนวที่ทำให้ฐานรากเกิดการวิบัติภายใต้แรงเฉือนมีโอกาสเกิดขึ้นได้ 2 กรณี เช่นเดียวกับฐานรากแผ่วางบนดินดังได้กล่าวมาแล้ว คือ *กรณีแรงเฉือนทางเดียว (One-way action)* เกิดจากการพิจารณาว่าฐานรากเป็นคาน ซึ่งการวิบัติเกิดจากแรงดึงทแยงที่ตำแหน่งห่างออกจากขอบเสาตอม่อเป็นระยะเท่ากับความลึกประสิทธิผลของฐานราก (*d*) โดยพิจารณาแรงเฉือนในแต่ละทิศทางทั้งด้านสั้นและด้านยาวของฐานราก

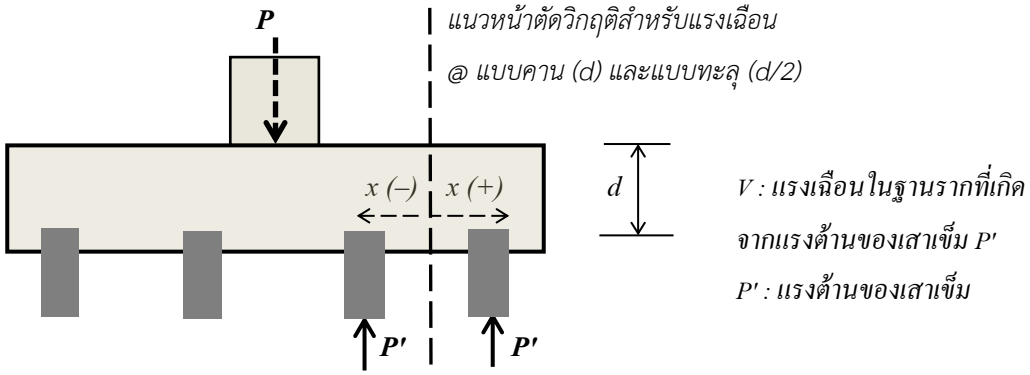
4) การป้องกันการวิบัติจะต้องออกแบบให้ฐานรากมีความลึกหรือความหนาที่เพียงพอต่อการต้านทานแรงเฉือน ซึ่งสามารถทำได้โดยตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก ต้องน้อยกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ มาตรฐาน ว.ส.ท. 6301 กำหนดให้ไม่เกินกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีต *และกรณีแรงเฉือนสองทาง (Two-way action)* เกิดจากการกระทำของแรงเฉือนในสองทิศทางพร้อมกัน โดยพิจารณาว่าฐานรากเป็นแผ่นพื้นรองรับเสาตอม่อซึ่งส่งถ่ายแรงลงฐานราก จึงเกิดการวิบัติแบบเฉือนทะลุ (Punching shear) มีลักษณะการวิบัติเป็นรูปทรงกรวยหรือรูปทรงปิรามิด ที่ตำแหน่งห่างออกจากขอบเสาตอม่อโดยรอบเป็นระยะเท่ากับครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิผลของฐานราก (*d/2*) การป้องกันการวิบัติแบบเฉือนทะลุ

จะต้องออกแบบให้ฐานรากมีความลึกหรือความหนาที่เพียงพอต่อการต้านทานแรงเฉือน ซึ่งสามารถทำได้โดยตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก ต้องน้อยกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ มาตรฐาน ว.ส.ท. 6307 กำหนดให้ไม่เกินกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีต อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแรงที่กระทำกับฐานรากแผ่วางบนเสาเข็มมีลักษณะเป็นจุดกระจายอยู่บนฐานราก ในการหาแรงเฉือนที่หน้าตัดใด ๆ มาตรฐาน ว.ส.ท. 7305 ให้พิจารณาดังนี้ (ดังรายละเอียดในรูปที่ 7.19 และ 7.20)

4.1) แรงต้านทั้งหมดของเสาเข็มต้นใดก็ตามที่มีศูนย์กลางอยู่ห่างจากแนวหน้าตัดวิกฤติออกไปภายนอกตั้งแต่ 15 เซนติเมตร ขึ้นไป มีผลให้เกิดแรงเฉือนเต็มที่หน้าตัดนั้น

4.2) เสาเข็มที่มีศูนย์กลางอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤตเข้ามาภายในตั้งแต่ 15 เซนติเมตร ขึ้นไป ให้ถือว่าไม่ทำให้เกิดแรงเฉือนที่หน้าตัดนั้น

4.3) กรณีที่ศูนย์กลางของเสาเข็มอยู่ในช่วงนี้ให้ใช้วิธีเทียบอัตราส่วนโดยตรง จากระยะระหว่างแนวหน้าตัดวิกฤตกับศูนย์กลางของเสาเข็ม ดังแสดงในรูปที่ 7.19



รูปที่ 7.19 แนวหน้าตัดวิกฤตสำหรับแรงเฉือนและแรงเฉือนในฐานรากแผ่วางบนเสาเข็ม

สรุปการหาค่าแรงเฉือน (v) แรงเฉือนเกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำจากเสาตอม่อเฉือนกับแรงดันขึ้นของเสาที่รองรับตัวฐานราก แต่ต้องลดแรงดันขึ้นของเสาเข็ม ตามตำแหน่งของเสาเข็มโดยยึดแนวหน้าตัดวิกฤติเป็นหลัก (ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.) มี 3 ค่า ดังนี้

1) ถ้าเสาเข็มต้นใดอยู่ภายในระยะ 15 ซม. จากวัดเข้าหรือออกจากแนวหน้าตัดวิกฤติ ให้ลดความสามารถในการต้านแรงเฉือนของเสาเข็มลงตามสัดส่วนดังสมการที่ (7.25)

$$P' = \frac{P_a}{30}(x + 15) \qquad (7.25)$$

เมื่อ

P’	=	แรงต้านทานการเฉือนของเสาเข็มที่ลดลง	กก.
Pa	=	แรงต้านของเสาเข็มรับจริง	กก.
X	=	ระยะห่างระหว่างแนวหน้าตัดวิกฤติกับศูนย์กลางเข็ม	ซม.

มีค่า + วัดออกนอกจากแนววิกฤติไปขอบฐานรากภายใน 15 ซม.

มีค่า – วัดเข้าในจากแนววิกฤติไปเสาตอม่อ ภายใน 15 ซม.

2) ถ้าเสาเข็มต้นใดอยู่ตรงกับแนวหน้าตัดวิกฤติพอดี ให้ลดความสามารถในการต้านแรงเฉือนของเสาลงครึ่งหนึ่ง ดังสมการที่ (7.26)

$$P' = \frac{P_a}{2} \qquad (7.26)$$

3) ถ้าเสาเข็มต้นใดอยู่ห่างจากแนวหน้าตัดวิกฤติออกไปทางขอบฐานมากกว่า 15 ซม. ให้เท่าเดิม ดังสมการที่ (7.27)

$$P' = P_a \qquad (7.27)$$

4) ลักษณะการเฉือนตัวฐานรากเกิดแนวหน้าตดวิกฤติเหมือนแบบฐานรากแผ่ ทั้ง 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 แรงเฉือนแบบคาน (Diagonal Shear) หน้าตัดวิกฤติเกิดห่างจากขอบเสาตอม่อ d วิเคราะห์แรงเฉือนกระทำแบบเป็นจุดจากเสาเข็ม

1) แรงเฉือน (v) เกิดจากผลรวมของแรงจากเสาเข้มที่ปรับส่วนลดการรับแรงเฉือนแล้วใต้ฐานราก บริเวณพื้นที่ PQRS ดังรูป และสมการที่ (7.28)-(7.31)

โดยที่ : v = ผลรวมแรงต้านแรงเฉือนของเสาเข็มใต้พื้นที่ PQRS

v = (3)(P'_1)+(3)(P'_2) กก. (7.28)

2) พื้นที่ที่ถูกเฉือน (A_V) คือ บริเวณหน้าตัดวิกฤติโดยมีด้านของฐาน (b=s) และความลึกฐาน (d)

3) ค่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริง

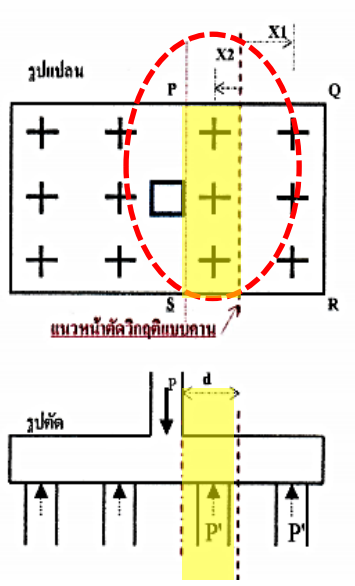
$$v = \frac{V}{bd} \qquad (7.29)$$

4) ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (วสท.)

$$v_c = 0.29\sqrt{f_c} \qquad (7.30)$$

5) ฐานรากรับแรงเฉือนแบบคานได้ปลอดภัยเมื่อ

$$v_c > v \qquad (7.31)$$



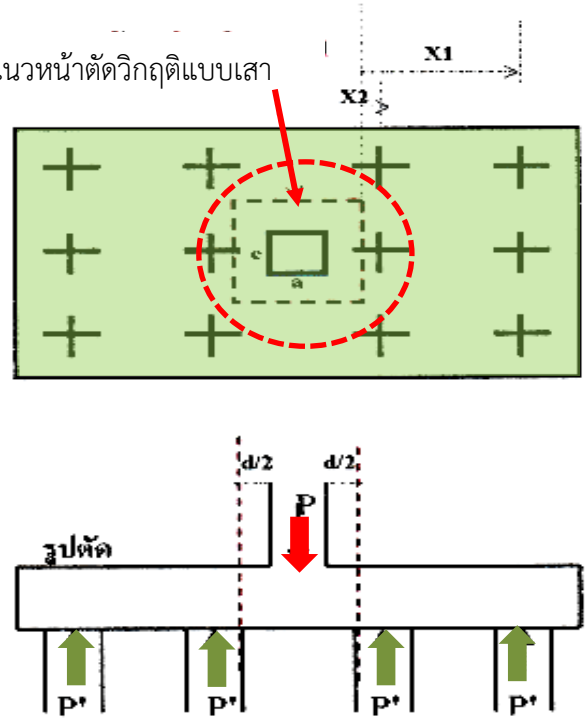
ก) การวิเคราะห์แรงเฉือนแบบคาน

แรงเฉือนแบบคาน

กรณีที่ 2 แรงเฉือนเสา แบบทะลุ

(Punching Shear)

แนวหน้าตัดวิกฤติเกิดเหมือนฐานรากแผ่ ตามความกว้างโดยรอบขอบเสาตอม่อห่าง d/2 ดังรูป ดังสมการที่ (7.32) - (34)



ข) การวิเคราะห์แรงเฉือนแบบเสา

รูปที่ 7.20 ก) -ข) การวิเคราะห์แรงเฉือน แรงเฉือนแบบคานและเสา

1) แรงเฉือน (v) คือ ผลรวมของแรงจากเสาเข็ม ทั้งหมดที่ปรับลดการรับแรงเฉือนแล้ว

v = (6)(P'$_1$)+(6)(P'$_2$) กก.

2) พื้นที่ที่ถูกเฉือน (A_V) คือ บริเวณหน้าตัดวิกฤติความกว้าง (b) = ความยาวของแนวหน้าตัดวิกฤติ

b = 2[(a+d)+(c+d)] ซม.

ความลึก = d ซม.

3) ค่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริง

$$v = \frac{V}{bd} \qquad (7.32)$$

4) ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

$$v_c = 0.53\sqrt{f_c} \qquad (7.33)$$

5) ฐานรากรับแรงเฉือนได้ปลอดภัยเมื่อ

$$v_c > v \qquad (7.34)$$

5) การตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว เหล็กเสริมฐานรากแผ่วางบนเสาเข็ม ในฐานรากคอนกรีตจะเสริมตรงตำแหน่ง ที่เกิดแรง ดึง และต้องตรวจสอบการยึดเกาะของคอนกรีตกับเหล็กเสริมเมื่อถูกแรงเฉือนที่สุดกระทำเพียงพอหรือไม่ ดังสมการที่ (7.35) -(37)

5.1) ค่าหน่วยยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจริง

$$\boldsymbol{u} = \frac{V_{max}}{\sum ojd} \qquad (7.35)$$

5.2) ค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ (วสท.)

เหล็กข้ออ้อย

$$u_a = \frac{3.23\sqrt{\mathrm{f_c}}}{D} \leq 35 \qquad (7.36)$$

เหล็กเส้นกลม

$$u_a = \frac{1.615\sqrt{\mathrm{f_c}}}{D} \leq 11 \qquad (7.37)$$

7.5.2 การเสริมเหล็กฐานรากแผ่วางบนเสาเข็ม

การเสริมเหล็กฐานรากแผ่วางบนเสาเข็ม เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน ว.ส.ท. 7304 ลักษณะเดียวกับการเสริมเหล็กฐานรากแผ่วางบนดิน นอกจากนี้ มาตรฐาน ว.ส.ท. 7309 กำหนดความหนาต่ำสุดของขอบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กส่วนที่อยู่เหนือเหล็กเสริมถึงขอบนอกของฐาน ต้องไม่น้อยกว่า 15 เซนติเมตร สำหรับฐานรากที่ใช้เสาเข็มสั้นบนดินอ่อน และต้องไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร สำหรับฐานรากที่ใช้เสาเข็มอื่น

7.5.3 การคำนวณออกแบบฐานรากแผ่วางบนเสาเข็ม

1) รวมน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำกับฐานราก เลือกขนาดเสาเข็มที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มต่อต้น แล้วคำนวณหาจำนวนเสาเข็มจากน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำกับฐานรากหารด้วยกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็ม จัดวางเสาเข็มให้สมมาตรกันจะได้รูปแบบและขนาดของฐานราก

2) คำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนสูงสุดที่แนวหน้าตัดวิกฤตที่ขอบเสาตอม่อในแต่ละทิศทาง (กรณีฐานรากเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า)

3) หาความหนาของฐานราก (t) โดยการหาความลึกประสิทธิผลที่ต้องการ (d) จากสมการที่ (7.38)

$$d = \sqrt{\frac{M}{R.b}} \qquad (7.38)$$

4) ตรวจสอบความหนาของฐานรากที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 โดยการพิจารณาหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานรากต้องน้อยกว่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ ที่ตำแหน่งแนวหน้าตัดวิกฤติสำหรับแรงเฉือน ทั้ง 2 กรณี คือ

แรงเฉือนทางเดียว (แบบคาน: $v_c = 0.29\sqrt{fc'}$) (7.39)

แรงเฉือนสองทาง (แบบทะลุ : $v_c = 0.53\sqrt{fc'}$) (7.40)

5) คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมเพื่อต้านทานโมเมนต์ดัดในแต่ละทิศทางจากสูตร $As = \frac{M}{fs.jd}$ และคำนวณเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการสำหรับการฝังยึดเพื่อต้านทานแรงยึดหน่วงจากสูตร สมการที่ (7.41)

$$\sum_o = \frac{V}{u.jd} \qquad (7.41)$$

6) เลือกขนาดของเหล็กเสริมและเขียนรายละเอียดการเสริมเหล็ก

ตัวอย่างที่ 7.4 จงออกแบบฐานรากแผ่วางบนเสาเข็ม รับน้ำหนักตามแนวแกนจากเสาตอม่อ 13,500 กก. ขนาดเสาตอม่อ 0.20x0.20 ม. ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

กำหนดให้ fc' = 150 กก./ซม.^{2} fy = 2,400 กก./ซม.^{2} ใช้เสาเข็มหกเหลี่ยมกลวง ขนาด Ø 6 นิ้ว ยาว 6 เมตร รับน้ำหนักปลอดภัย 1,710 กก./ต้น

วิธีทำ

น้ำหนักจากเสา = 13,500 กก.

สมมติน้ำหนักฐานราก = 1,350 กก.

น้ำหนักรวม = 14,850 กก.

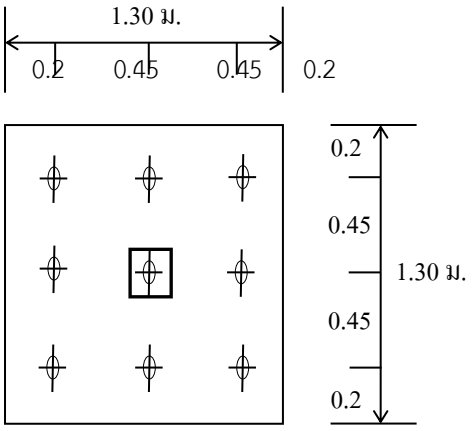
จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ = $\frac{14{,}850}{1{,}710}$ = 8.68 ต้น

ใช้เสาเข็ม จำนวน 9 ต้น

จัดวางระยะห่างเสาเข็ม เท่ากับ 0.45 ม.

และระยะห่างเสาเข็มต้นริมถึงขอบฐานราก

เท่ากับ 0.20 ม. ดังรูป ขนาดฐานราก 1.30x1.30 เมตร

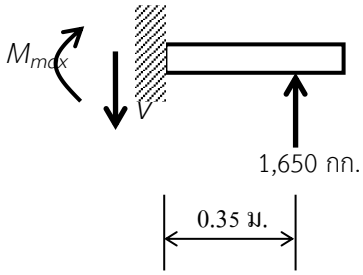


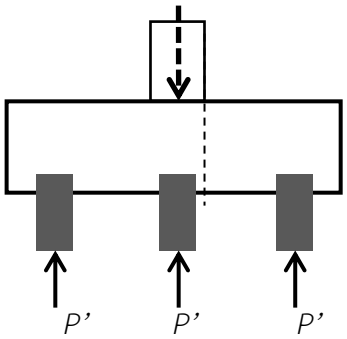
น้ำหนักสูงสุดที่เสาเข็มรับ : $P' = \frac{14{,}850}{9}$ = 1,650 กก.

ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

$M_{max} = P'L = 3(1{,}650)0.35$

= 1,732.5 กก.–ม.





ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$n = 11$, $k = 0.382$, $j = 0.872$, $R = 11.24$ กก./ซม.^{2}

หาความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการ : d

$$d = \sqrt{\frac{M_{max}}{Rb}} = \sqrt{\frac{1{,}732.5 \times 100}{11.24 \times 130}}$$ = 10.88 ซม. ใช้ d = 15.00 ซม.

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก : v

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบคาน : v_c

$v_c = 0.29\sqrt{fc'} = 0.29\sqrt{150}$ = 3.55 กก./ซม.^{2}

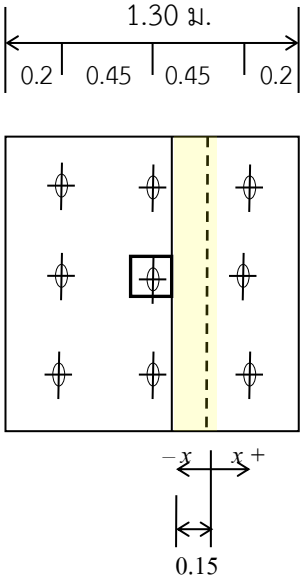
ศูนย์กลางเสาเข็มอยู่ห่างจากแนวหน้าตัดวิกฤตออกไปภายนอก 20 ซม. จำนวน 3 ต้น;

$V = (1{,}650 \times 3)$ = 4,950.0 กก.

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$

$$v = \frac{4950.0}{(130)(15)}$$

= 2.53 กก./ซม.^{2} < v_c



หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบทะลุ : v_c

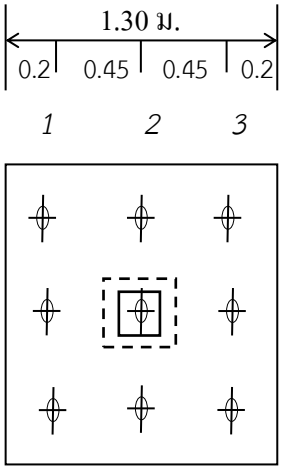
$v_c = 0.53\sqrt{fc'} = 0.53\sqrt{150}$ = 6.49 กก./ซม.^{2}

ศูนย์กลางเสาเข็มแถวที่ *1, 2* และ *3* อยู่ห่างจากแนวหน้าตัดวิกฤตออกไปภายนอก 27.5 ซม. จำนวน 8 ต้น

V = (1,650x8) = 13,200 กก.

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$

$v = \frac{13{,}200}{(4\times 35)(15)}$ = 6.28 กก./ซม.^{2} < v_c ใช้ได้



สรุปขนาดของฐานราก 1.30 x 1.30 x 0.25 ม. ระยะ d = 15.00 ซม.

น้ำหนักฐานราก : 1.30 x 1.30 x 0.25 x 2,400 = 1,014.0 กก. < 1,350 กก. ใช้ได้

น้ำหนักที่เสาเข็มแต่ละต้นรับ : $P' = \frac{13{,}500+1{,}014}{9}$ = 1,612.67 กก.

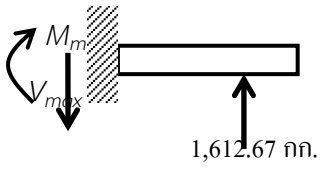
ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

$M_{\max} = P'L = 3(1{,}612.67)0.35$

= 1,693.30 กก.–ม.

แรงเฉือนสูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : V_{max}

V_{max} = (1,612.67x3) = 4,838.01 กก.



คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริม

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม : *As*

$As = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{1{,}693.30\times 100}{1{,}200(0.872)15}$

= 10.78 ซม.^{2} (DB 12 = 9.54 เส้น)

เส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการทางด้านยาว : $\sum_o$

$\sum_o = \frac{V}{u.jd} = \frac{4{,}838.01}{11(0.872\times 15)}$

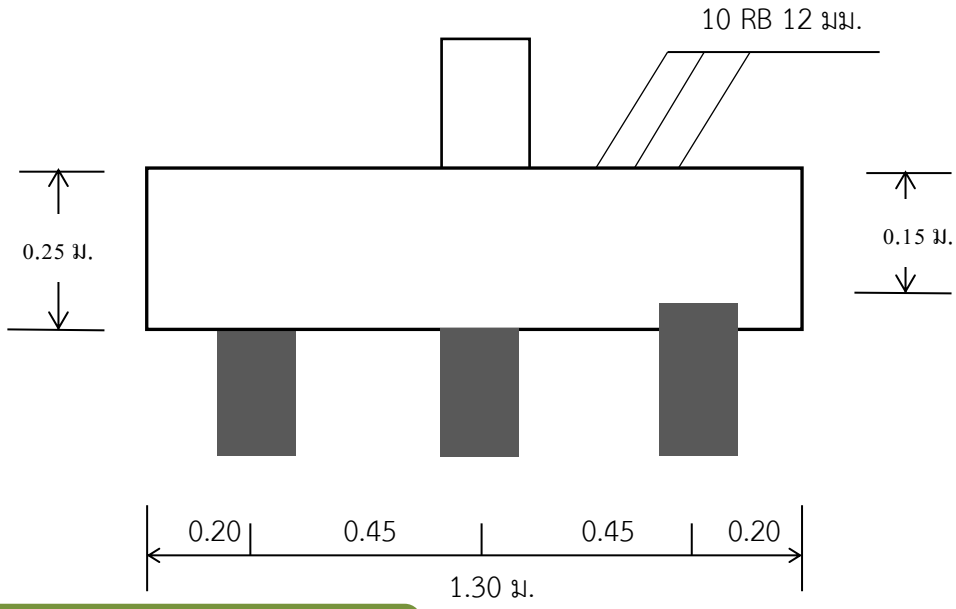
= 33.62 ซม. (DB 12 = 8.91 เส้น)

หน่วยแรงยึดหน่วง : u

$\frac{1.615\sqrt{fc'}}{d_b} \le 11$; กก./ซม.^{2}

ดังนั้น วางเหล็กเสริมกระจายแบบสม่ำเสมอเท่ากันๆ ทั้งสองด้านจำนวน 10 DB 12 : *As* = 11.30 ซม.^{2}, $\sum_o$ = 37.7 ซม.

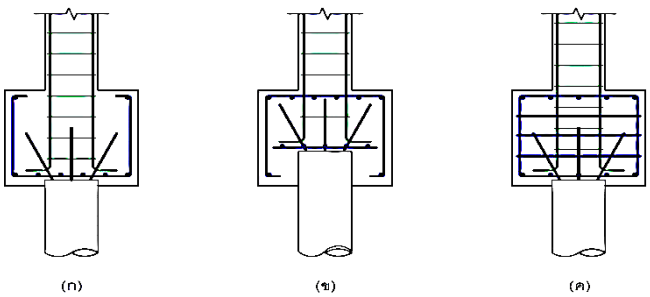
รายละเอียดการเสริมเหล็ก



7.6 ฐานรากวางบนเสาเข็มต้นเดียว

7.6 1 หลักการออกแบบฐานรากวางบนเสาเข็มต้นเดียว

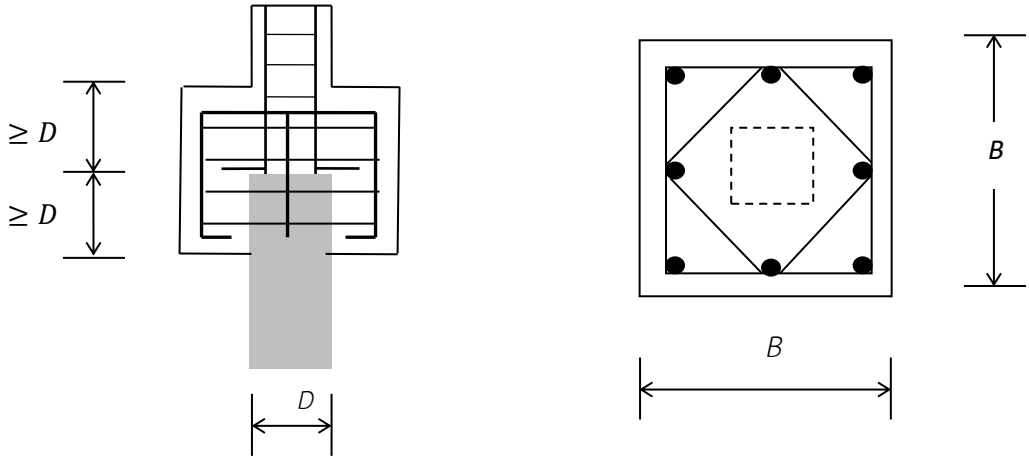
ฐานรากที่มีลักษณะโครงสร้างแบบยึดหมุน (Hinge) ผู้ออกแบบส่วนใหญ่มักกำหนดระยะฝังหัวเสาเข็มไม่มากนัก (สาโรจน์ ดำรงศิลป์, 2558) ดังรูปที่ 7.21 (ก) และในกรณีที่มีระยะเยื้องศูนย์ส่งผลให้เกิดโมเมนต์ดัดควรเพิ่มระยะฝังหัวเสาเข็มในฐานราก ดังรูปที่ 7.21 (ข) (สถาพร โภคา, 2544) การออกแบบในปัจจุบันอาคารและบ้านพักอาศัยทั่วไปมีการออกแบบฐานรากวางบนเสาเข็มต้นเดียว ซึ่งอาศัยหลักการส่งถ่ายน้ำหนักโดยตรงจากการวางศูนย์กลางเสาตอม่อให้ตรงกับเสาเข็ม และใช้ฐานรากทำหน้าที่เชื่อมต่อในการส่งถ่ายน้ำหนัก โดยทั่วไป ระยะเยื้องศูนย์ของเสาเข็มในแต่ละทิศทางไม่ควรเกิน 0.1D เมื่อ D คือขนาดของเสาเข็ม ถ้าระยะเยื้องศูนย์มีค่าเกินต้องคำนวณปรับแก้ฐานรากและเสาตอม่อเพื่อต้านทานโมเมนต์ดัดที่เพิ่มขึ้น (มงคล จิรวัชรเดช, 2549) อย่างไรก็ตาม การหุ้ม (Cap) หัวเสาเข็มของฐานรากวางบนเสาเข็มต้นเดียวทั้งสองกรณี ไม่อาจกล่าวได้ว่า จุดรองรับหรือจุดต่อนั้นมีสภาพยึดรั้งแบบยึดแน่น (Fixed) หรือแบบยึดหมุน (Hinge) เนื่องจากในองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กไม่อาจกำหนดสภาพยึดรั้งให้ตรงตามทฤษฎี (สถาพร โภคา, 2544)



รูปที่ 7.21 (ก)-(ค) ฐานรากวางบนเสาเข็มต้นเดียว

ที่มา: https://www.bhumisiam.com/

การเลือกรูปแบบฐานรากเพื่อรองรับระยะเยื้องศูนย์ต้องให้มีระยะฝังของเสาเข็มในฐานรากไม่น้อยกว่าระยะ *D* ดังรูปที่ 7.12 (ก) ฐานรากซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อในการส่งถ่ายน้ำหนักจากเสาตอม่อลงสู่เสาเข็ม จึงมีพฤติกรรมในการรับน้ำหนักคล้ายกับเสา นอกจากสามารถรับน้ำหนักตามแนวแกนแล้วยังต้องมีความเหนียวเพื่อป้องกันการวิบัติทันทีเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุด ในฐานรากจะใช้เหล็กปลอกหรือเหล็กโอบรัด (Confinement) โดยนิยมใช้เหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร จำนวนสองปลอก (2 ปl ϕ 9 มม. @ 0.10 ม.) ตัดตามความเหมาะสมกับขนาดฐานราก โดยระยะห่างของเหล็กยืนต้องไม่เกิน 45 เซนติเมตร และฐานรากมีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดความกว้าง (*B*) เท่ากับ $B = 2D + 5C$ เมื่อ *D* ขนาดของเสาเข็ม และ *C* คือระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม กรณีฐานรากทั่วไป *C* เท่ากับ 7.5 เซนติเมตร และในพื้นที่มีการกัดกร่อนสูง เช่น บริเวณชายทะเล หรือดินเค็ม ใช้ *C* เท่ากับ 10.0 เซนติเมตร (มงคล จิรวัชรเดช, 2549)



(ก) (ข)

รูปที่ 7.22 ระยะฝังเสาเข็มและการเสริมเหล็กในฐานรากวางบนเสาเข็มต้นเดียว
ที่มา: มงคล จิรวัชรเดช, 2549

ตัวอย่างที่ 7.5 จงออกแบบฐานรากวางบนเสาเข็มรับน้ำหนักจากเสาตามแนวแกน 22,500 กก. ขนาดเสาตอม่อ 0.20x0.20 ม. พื้นที่ก่อสร้างเป็นดินทั่วไป

กำหนดให้ $f_c' = 160$ กก./ซม.^{2}, $f_y = 3{,}000$ กก./ซม.^{2}

ใช้เสาเข็ม I-22 (ขนาด 0.22x0.22x21.00 เมตร) รับน้ำหนักปลอดภัย 25,000 กก./ต้น

วิธีทำ

น้ำหนักจากเสาตอม่อ = 22,500 กก.

สมมติน้ำหนักฐานราก = 1,125 กก.

น้ำหนักรวม = 23,625 กก.

จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ = $\frac{23{,}625}{25{,}000}$ = 0.945 ต้น

ใช้เสาเข็ม I-22 จำนวน 1 ต้น : ขนาดเสาเข็ม D = 0.22 เมตร

ระยะฝังเสาเข็มในฐานราก $\geq D$ = 0.25 เมตร

ระยะหัวเสาเข็มถึงผิวบนฐานราก $\geq D$ = 0.25 เมตร

ความสูงของฐานราก : H = 0.25 + 0.25 = 0.50 เมตร

พื้นที่ก่อสร้างเป็นดินทั่วไป ระยะหุ้ม C = 0.075 เมตร

ความกว้างฐานราก : $B = 2D + 5C$ = 2(0.22) + 5(0.075) = 0.815 เมตร ใช้ขนาด 0.85 เมตร

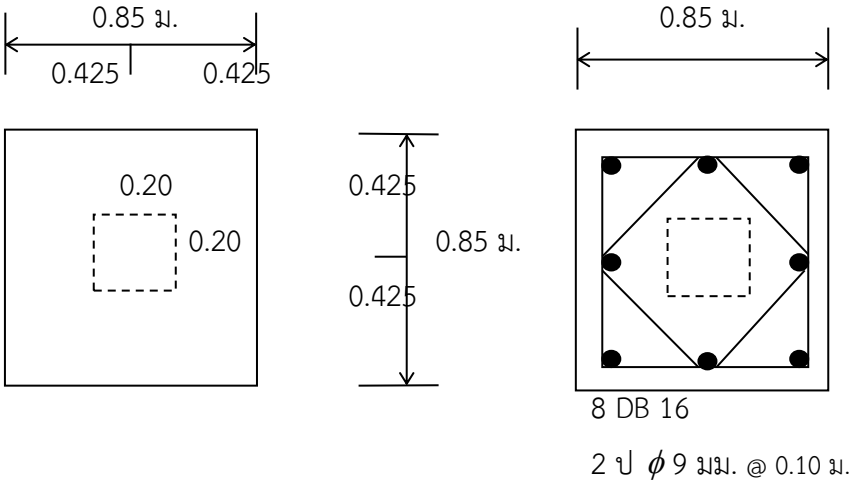
น้ำหนักฐานราก : W = 0.85x0.85x0.50x2,400 = 867 กก. < 1125 กก. **ใช้ได้**

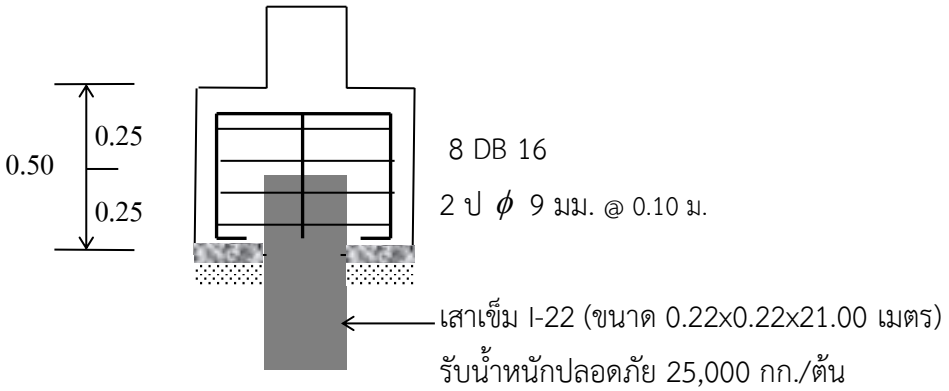
ปริมาณเหล็กเสริมในฐานราก

เลือกใช้เหล็กยืน 8 DB 16 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม 7.5 ซม.

ระยะห่างเหล็กเสริม : (85 – 2(7.5) – 1.6)/2 = 34.2 ซม. < 45 ซม. ใช้ได้

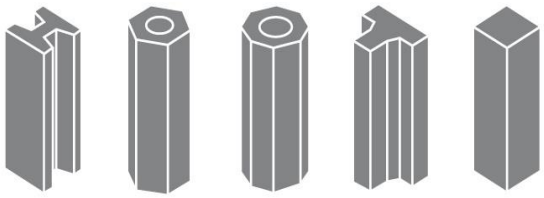
ดังนั้น ใช้เหล็กยืน 8 DB 16 และเหล็กปลอก 2 ปุ ϕ 9 มม. @ 0.10 ม.





เสาเข็มสั้นอาศัยหน่วยแรงฝืดของดินกับพื้นที่ผิวของเสาเข็มในการรับน้ำหนัก ฐานรากของอาคารพักอาศัยที่ใช้เสาเข็มสั้นจึงมีลักษณะเป็นเสาเข็มกลุ่ม (สาโรจน์ ดำรงศิลป์, 2558) เนื่องจากเสาเข็มสั้นแต่ละต้นรับน้ำหนักได้ไม่มากนัก ฐานรากแต่ละฐานจะใช้เสาเข็มหลายต้นเพื่อช่วยกันรับน้ำหนัก ข้อดีของฐานรากแผ่วางบนเสาเข็มสั้น คือ สามารถทำงานได้ในพื้นที่จำกัดหรือที่คับแคบ สะดวกในการขนส่งเสาเข็ม และไม่ต้องใช้เครื่องจักรกลในการทำงาน นอกจากนี้ยังเหมาะกับงานรั้ว โรงจอดรถ สระว่ายน้ำ และถังเก็บน้ำ เป็นต้น

เสาเข็มสั้นที่นิยมใช้และมีจำหน่ายทั่วไป เป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงมีความยาวตั้งแต่ 1.0 ถึง 6.0 เมตร ถ้าความยาวเสาเข็มเกินกว่า 6.0 เมตร จะต้องใช้เครื่องจักรหรือปั่นจั่นในการตอกเสาเข็ม มีขนาดหน้าตัด 6 นิ้ว หรือ 15 เซนติเมตร (อาจมีขนาดเล็กหรือใหญ่กว่าขึ้นกับบริษัทผู้ผลิต) มีรูปตัดหลายแบบ เช่น รูปตัดสี่เหลี่ยมตัน สี่เหลี่ยมกลวง รูปตัวไอ และหกเหลี่ยมกลวง เป็นต้น ดังรูปที่ 7.22 ความสามารถในการรับน้ำหนักขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของเสาเข็ม ซึ่งก็คือเส้นรอบรูปคูณกับความยาวของเสาเข็ม และคุณสมบัติของดินบริเวณก่อสร้าง บริษัทผู้ผลิตจะประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มเบื้องต้นจากขนาดหน้าตัดของเสาเข็มและคุณสมบัติของวัสดุ เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้งาน ตัวอย่างค่ากำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มสั้นรูปตัวไอ และหกเหลี่ยมกลวง ดังตารางที่ 7.3



รูปที่ 7.33 ตัวอย่างเสาเข็มสั้นรูปตัดสี่เหลี่ยมตัน สี่เหลี่ยมกลวง รูปตัวไอ และหกเหลี่ยมกลวง
ที่มา : SCG Building Materials 2558)

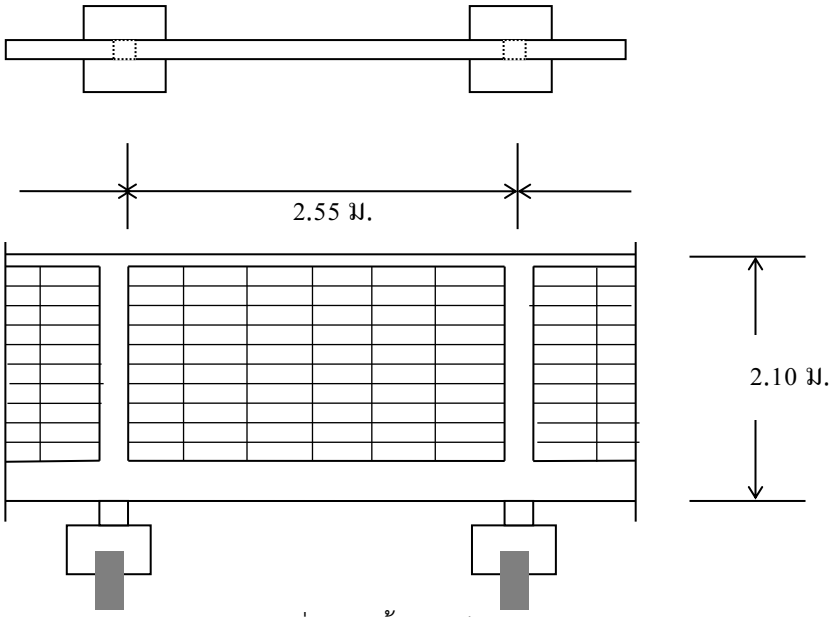
ตารางที่ 7.3 กำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มสั้น

รหัส	*รูปตัด*	*ขนาดเสาเข็ม*	*พื้นที่หน้าตัด (ซม.^{2})*	*เส้นรอบรูป (ซม.)*	*น้ำหนัก (กก./ม.)*	*น้ำหนักปลอดภัย (กก.)*
I-15		0.15x0.15x2.00 ม. 0.15x0.15x3.00 ม. 0.15x0.15x4.00 ม. 0.15x0.15x5.00 ม. 0.15x0.15x6.00 ม.	173	60	41.4	720 1,080 1,440 1,800 2,160
Hp-15		0.15x0.15x2.00 ม. 0.15x0.15x3.00 ม. 0.15x0.15x4.00 ม. 0.15x0.15x5.00 ม. 0.15x0.15x6.00 ม.	138	50	33.0	480 720 1,030 1,350 1,710

7.6.2 การออกแบบฐานรากรั้วบ้านพักอาศัย

รั้วบ้านพักอาศัยทั่วไปนิยมก่อเป็นผนังอิฐบล็อกโดยอาจก่อเป็นแบบผนังทึบหรือแบบโปร่ง อิฐบล็อกแบบกลวงมีขนาด 39x19x7 เซนติเมตร (ความยาวxความสูงxความหนา) (สาโรจน์ ดำรงศิลป์, 2558) เมื่อรวมแนวปูนก่อ 1.00 เซนติเมตร จะมีมิติ 40x20 เซนติเมตร (ความยาวxความสูง) รั้วอิฐบล็อกแบบทึบวางเรียงแนวราบระหว่างช่วงเสา (ขนาดเสา 15x15 เซนติเมตร) จำนวน 6 ก้อน ซึ่งจะได้ระยะห่างระหว่างเสา

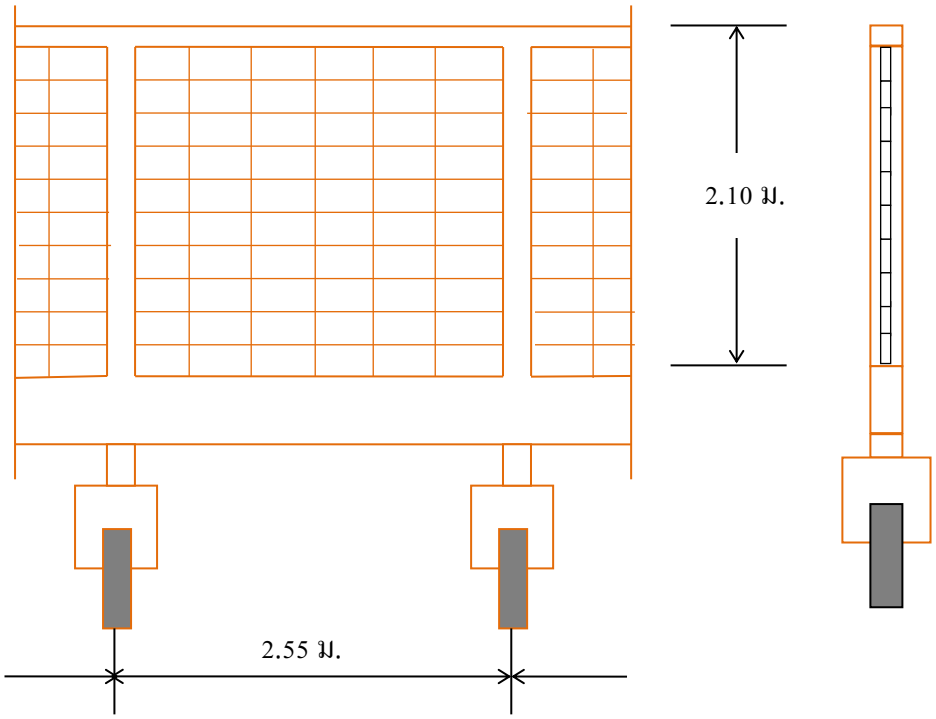
เท่ากับ 2.55 เมตร และก่ออิฐบล็อกสูง 10 ก้อน ปิดด้วยคานทับหลังรวมความสูง 2.10 เมตร ดังรูปที่ 7.14 โครงสร้างหลักของรั้ว คือ คาน เสา (ตอม่อ) และฐานราก ซึ่งส่วนใหญ่มักออกแบบเป็นฐานรากวางบนเสาเข็มต้นเดียว และใช้เสาเข็มสั้น รายการคำนวณโครงสร้างรั้วแสดงในตัวอย่างที่ 10



รูปที่ 7.14 รั้วอิฐบล็อกแบบผนังทึบ

ที่มา: สาโรจน์ ดำรงศิลป์, 2558

ตัวอย่างที่ 7.6 จงออกแบบโครงสร้างคาน เสาตอม่อ และฐานราก รั้วอิฐบล็อกแบบผนังทึบ ดังรูป กำหนดให้ f_c' = 150 กก./ซม.^{2}, f_y = 2,400 กก./ซม.^{2}



วิธีทำ

1. ออกแบบคาน (สมมติเป็นคานต่อเนื่องมากกว่า 3 ช่วง)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (w_{DL})

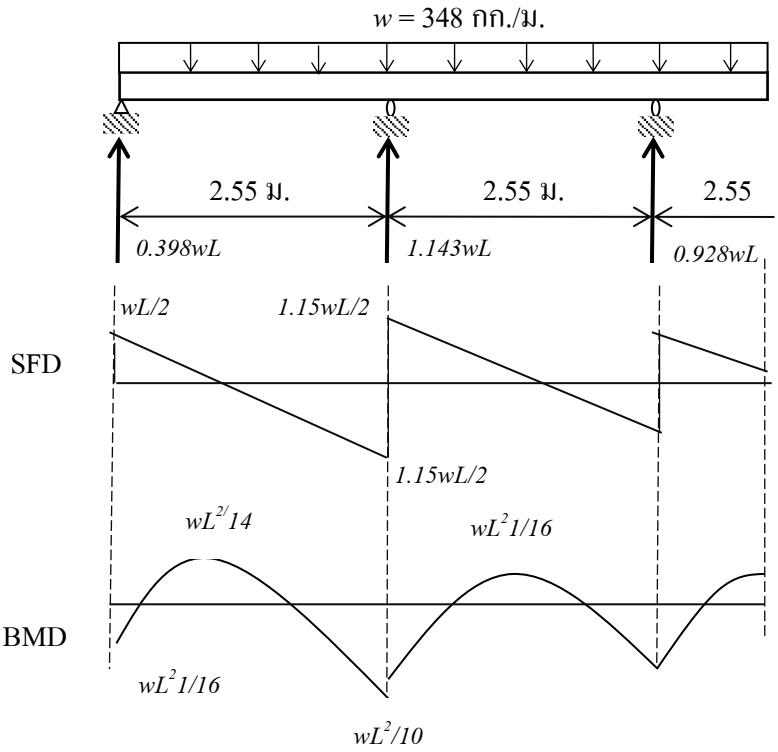
ผนังอิฐบล็อกรวมทับหลัง : 100x2.10 = 210 กก./ม.

น้ำหนักคาน : 0.15x0.30x2,400 = 108 กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจร (w_{LL} = 200 กก./ม.^{2}) : 200x0.15 = 30 กก./ม.

น้ำหนักรวม (w) = 348 กก./ม.

วิเคราะห์โครงสร้าง



$R_{max} = 1.143wL$

$= 1{,}014.3$ กก.

$V_{max} = 1.15wL/2$

$= 510.25$ กก.

$^{+}M_{max} = wL^2/14$

$= 161.63$ กก.–ม.

$^{-}M_{max} = wL^2/10$

$= 226.28$ กก.–ม.

ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$n = 11, \quad k = 0.382, \quad j = 0.872, \quad R = 11.24$ กก./ซม.^{2}

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : Mc

$Mc = Rbd^2 = 11.24(0.15)25^2$

= 1,053.75 กก.–ม. > M_{max}: *ออกแบบคานเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว*

พิจารณาช่วงคานที่มีค่าโมเมนต์เป็นบวก :

$$^{+}As = \frac{M_{max}}{fs.jd} = \frac{161.63\times100}{1{,}200(0.872)25} = 0.61 \text{ ซม.}^2$$

เลือก : 2 RB 12 (As = 2.26 ซม.^{2})

พิจารณาช่วงคานที่มีค่าโมเมนต์เป็นลบ :

$$^{-}As = \frac{M_{max}}{fs.jd} = \frac{226.28\times100}{1{,}200(0.872)25} = 0.86 \text{ ซม.}^2$$

เลือก : 2 RB 12 (As = 2.26 ซม.^{2})

แรงเฉือนสูงสุด : V_{max} = 510.25 กก

แรงเฉือนที่ต้านทานโดยคอนกรีต : $Vc = 0.29\sqrt{fc'}bd$

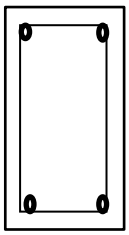
$= 0.29\sqrt{150}(15)(25)$

= 1,331.91 กก. > V_{max}

เลือกใช้เหล็กปลอก ϕ 6 มม. และเสริมปริมาณต่ำสุด

$$s = \frac{Av}{0.0015b} = \frac{0.565}{0.0015(15)} = 25.11 \text{ ซม.}$$

ใช้ ϕ 6 มม. @ 0.125 ม.



2. ออกแบบเสาตอม่อ

น้ำหนักจากคาน : 1.143 (348) 2.55 = 1,014.3 กก.

น้ำหนักเสา : 0.15x0.15x2.60x2,400 = 140.4 กก

น่ำหนักรวม (P) = 1,154.7 กก.

เลือกขนาดหน้าตัดเสา : 0.15x0.15 ม. : A_g = 225 ซม.^{2}

เหล็กเสริม 4 RB 12 : Ast = 4.52 ซม.^{2} , ρ_g = 0.02

กำลังรับน้ำหนักปลอดภัยตามแกน

$$P = 0.85A_g(0.25fc' + fs\rho_g)$$

= 10,843.87 กก. > 1,154.7 กก.

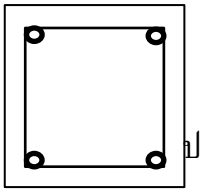
คำนวณระยะห่างเหล็กปลอก (s)

s = 16 ของเหล็กยืน = 19.2 ซม.

หรือ = 48 เท่าของเหล็กปลอก = 28.8 ซม.

หรือ = ด้านแคบสุดของเสา = 15 ซม.

เหล็กปลอก : เลือกใช้ ϕ 6 มม.@ 0.15 ม.



3. ออกแบบฐานราก

น้ำหนักจากเสาตอม่อ = 1,154.7 กก.

สมมติน้ำหนักฐานราก = 155.3 กก.

น้ำหนักรวม = 1,310.0 กก.

เลือกใช้เสาเข็ม ⬡ ขนาด 0.15x0.15x5.00 เมตร

จำนวน 1 ต้น รับน้ำหนักปลอดภัย 1,350 กก./ต้น

ระยะฝังเสาเข็มในฐานราก $\geq D$ = 0.20 เมตร

ระยะหัวเสาเข็มถึงผิวบนฐานราก $\geq D$ = 0.20 เมตร

ความสูงของฐานราก : H = 0.20 + 0.20 = 0.40 เมตร

ความกว้างฐานราก : B เลือกใช้ขนาด 0.40 เมตร (2x1.33D)

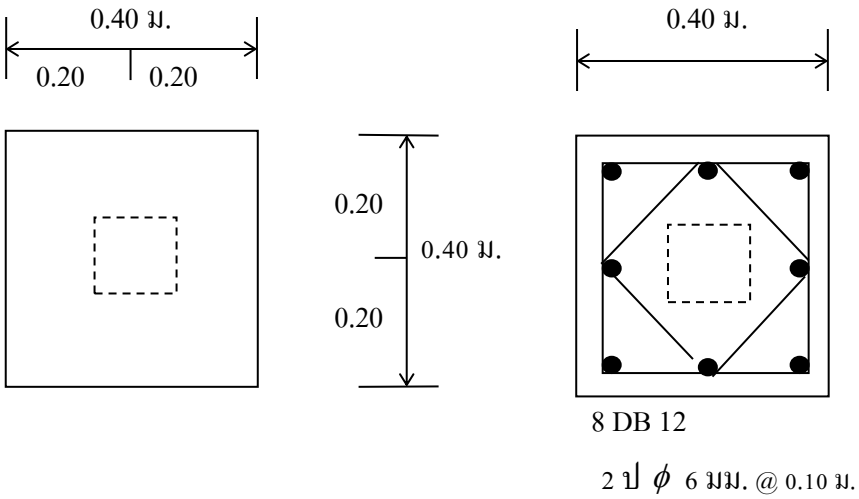
น้ำหนักฐานราก : W = 0.40x0.40x0.40x2,400 = 153.6 กก. < 155.3 กก. ใช้ได้

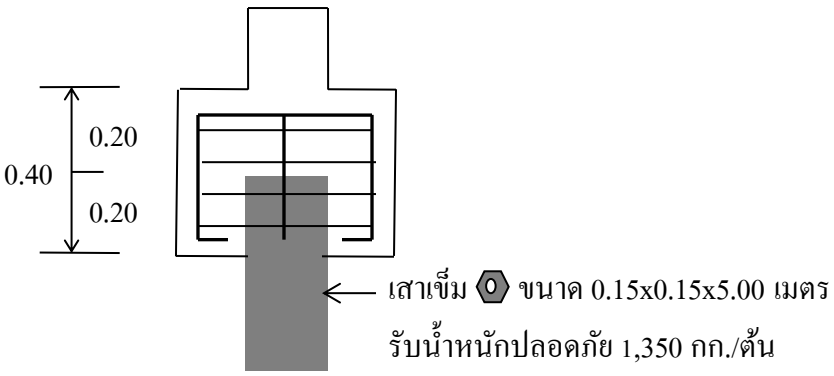
ปริมาณเหล็กเสริมในฐานราก

เลือกใช้เหล็กยืน 8 DB 12 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม 5 ซม.

ระยะห่างเหล็กเสริม : (40 – 2(5) – 1.2)/2 = 14.4 ซม. < 45 ซม. ใช้ได้

ดังนั้น ใช้เหล็กยืน 8 DB 12 และเหล็กปลอก 2 ปl ϕ 6 มม. @ 0.10 ม.



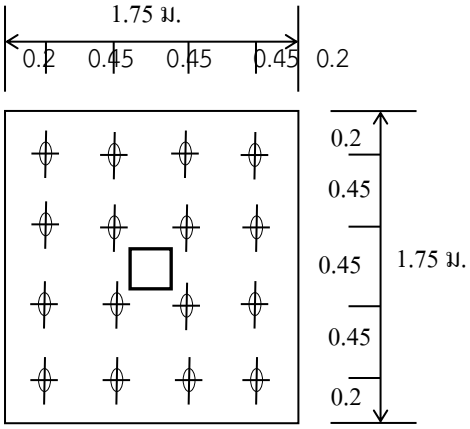


7.7 ตัวอย่างระคนการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตัวอย่างที่ 7.7 จงออกแบบฐานรากแผ่วางบนเสาเข็มรับน้ำหนักจากเสาตามแนวแกน 22,500 กก. ขนาดเสาตอม่อ 0.20x0.20 ม. ใช้เสาเข็ม ⬡ ขนาด 0.15x0.15x6.00 เมตร รับน้ำหนักปลอดภัย 1,710 กก./ต้น

กำหนดให้ f_c' = 160 กก./ซม.^{2}, f_y = 3,000 กก./ซม.^{2}, ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

วิธีทำ



น้ำหนักจากเสา = 22,500 กก.

สมมติน้ำหนักฐานราก = 2,700 กก.

น้ำหนักรวม = 25,200 กก.

จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ $= \dfrac{25{,}200}{1{,}710} = 14.73$ ต้น

ใช้เสาเข็ม ⬡ จำนวน 16 ต้น

จัดวางระยะห่างเสาเข็ม เท่ากับ 0.45 ม.

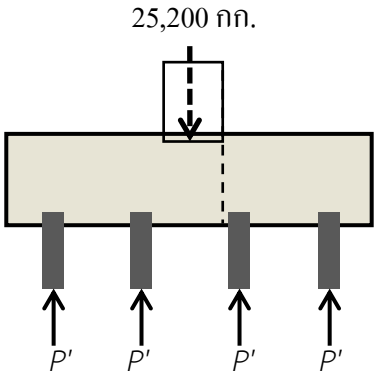
และระยะห่างเสาเข็มต้นริมถึงขอบฐานราก

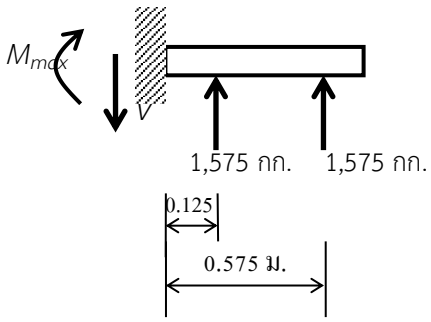
เท่ากับ 0.20 ม. ดังรูป ขนาดฐานราก 1.75x1.75 เมตร

น้ำหนักที่เสาเข็มแต่ละต้นรับ : $P' = \dfrac{25{,}200}{16}$ = 1,575 กก.

ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

$$M_{\max} = P'L = 4(1{,}575)0.125$$
$$+ 4(1{,}575)0.575$$
$$= 4{,}410 \text{ กก.–ม.}$$





ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$$n = 11, \quad k = 0.345, \quad j = 0.885, \quad R = 10.99 \text{ กก./ซม.}^2$$

หาความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการ : d

$$d = \sqrt{\frac{M_{\max}}{Rb}} = \sqrt{\frac{4{,}410\times100}{10.99\times175}}$$ = 15.14 ซม. ใช้ d = 20.00 ซม.

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก : v

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบคาน : v_c

$v_c = 0.29\sqrt{fc'} = 0.29\sqrt{160}$ = 3.66 กก./ซม.^{2}

ศูนย์กลางเสาเข็มแถวที่ 1 อยู่ห่างจากแนวหน้าตัดวิกฤต

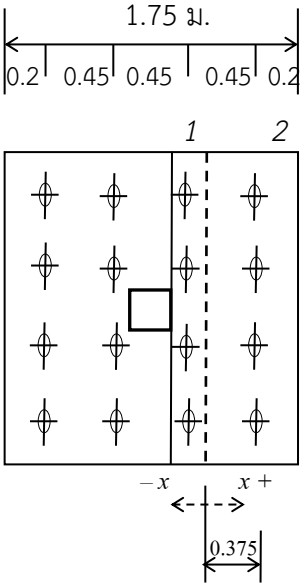
เข้ามาภายใน 7.5 ซม. จำนวน 4 ต้น; $V = \frac{1}{30}(x+15)P'$

$V = \frac{1}{30}(-7.5+15)(1{,}575)$ = 393.75 กก.

ศูนย์กลางเสาเข็มแถวที่ 2 อยู่ห่างจากแนวหน้าตัดวิกฤต

ออกไปภายนอก 37.5 ซม. จำนวน 4 ต้น; $V = P'$

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$



$v = \frac{(4\times393.75)+(4\times1{,}575)}{(175)(20)}$ = 2.25 กก./ซม.^{2} < v_c

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบทะลุ : v_c

$v_c = 0.53\sqrt{fc'} = 0.53\sqrt{160}$ = 6.70 กก./ซม.^{2}

ศูนย์กลางเสาเข็มแถวที่ 2 และ 3 อยู่ห่างจากแนวหน้าตัดวิกฤต

ออกไปภายนอก 2.5 ซม. จำนวน 4 ต้น

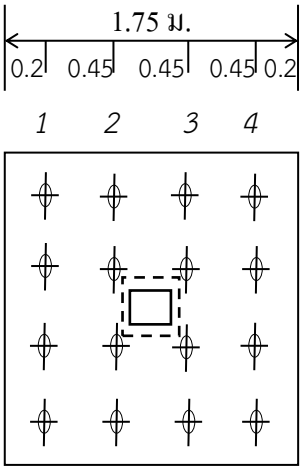
$V = \frac{1}{30}(x+15)P' = \frac{1}{30}(2.5+15)1{,}575$

= 918.75 กก.

ศูนย์กลางเสาเข็มแถวที่ 1 ถึง 4 อยู่ห่างจากแนวหน้าตัดวิกฤต

ออกไปภายนอกเกินกว่า 15 ซม. จำนวน 12 ต้น; $V = P'$

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$



$v = \frac{(4\times918.75)+(12\times1{,}575)}{(4\times40)(20)}$ = 7.05 กก./ซม.^{2} > v_c ใช้ไม่ได้

ความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการหาจากสูตร :

$$d = \frac{V}{v_c b} = \frac{22{,}575}{6.70(4\times40)}$$ = 21.05 ซม.

เลือกใช้ d = 25.00 ซม.

สรุปขนาดของฐานราก *1.75 x 1.75 x 0.35 ม. ระยะ d = 25.00 ซม.*

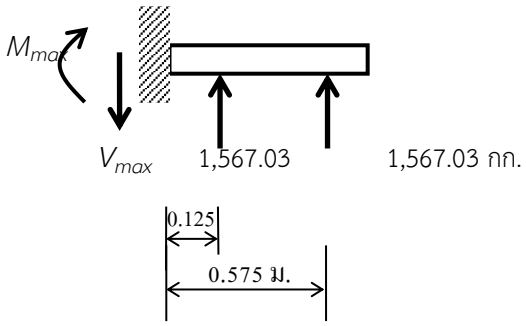
น้ำหนักฐานราก : 1.75 x 1.75 x 0.35 x 2,400 = 2,572.5 กก. < 2,700 กก. ใช้ได้

น้ำหนักที่เสาเข็มแต่ละต้นรับ : $P' = \frac{22,500 + 2,572.5}{16}$ = 1,567.03 กก.

ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

$$M_{\max} = P'L = 4(1,567.03)0.125 + 4(1,567.03)0.575$$

= 4,387.68 กก.–ม.



แรงเฉือนสูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : V_{max}

V_{max} = (1,567.03x8) = 12,536.24 กก.

คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริม

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม : *As*

$$As = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{4,387.68 \times 100}{1,500(0.885)25}$$

= 13.22 ซม.^{2} (DB 12 = 11.69 เส้น)

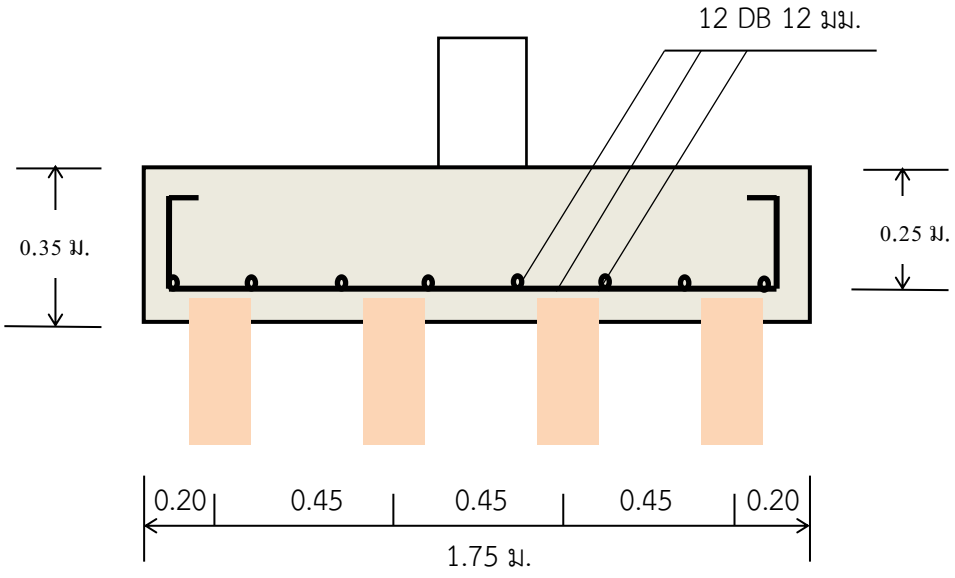
เส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการ : $\sum_o$

$$\sum_o = \frac{V}{u.jd} = \frac{12,536.24}{34.04(0.885 \times 25)}, \quad u = \frac{3.23\sqrt{fc'}}{d_b} = 34.04 \text{ กก./ซม.}^2$$

= 16.64 ซม. (DB 12 = 4.41 เส้น)

ดังนั้น วางเหล็กเสริมกระจายแบบสม่ำเสมอเท่ากันๆ ทั้งสองด้านจำนวน 12 DB 12 : *As* = 13.56 ซม.^{2}, $\sum_o$ = 45.23 ซม.

รายละเอียดการเสริมเหล็ก



ตัวอย่างที่ 7.8 จงออกแบบฐานรากแผ่วางบนดิน รับน้ำหนักตามแนวแกนจากเสาตอม่อ 15,000 กก. ขนาดเสาตอม่อ 0.20x0.20 ม. ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

กำหนดให้ f_c' = 210 กก./ซม.^{2} f_y = 3,000 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงดันดินที่ยอมให้เท่ากับ 8,000 กก./ม.^{2}

วิธีทำ

น้ำหนักจากเสาตอม่อ = 15,000 กก.

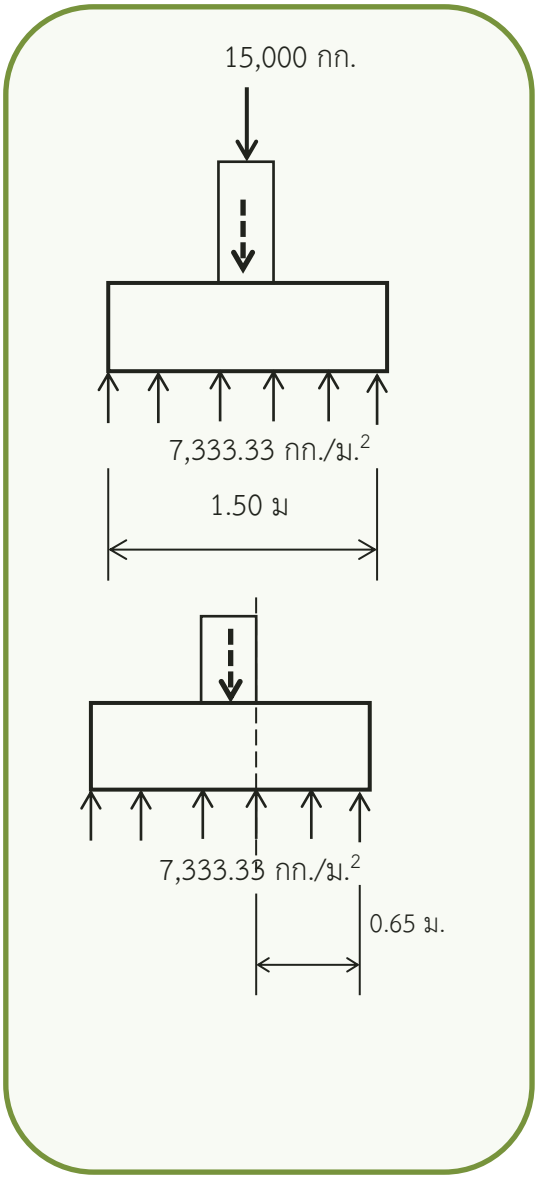
สมมติน้ำหนักฐานราก = 1,500 กก.

น้ำหนักรวม = 16,500 กก.

พื้นที่ฐานรากที่ต้องการ $= \dfrac{16{,}500}{8{,}000} = 2.06$ ม.^{2}

เลือกใช้ขนาดฐานรากเท่ากับ 1.50x1.50 ม.

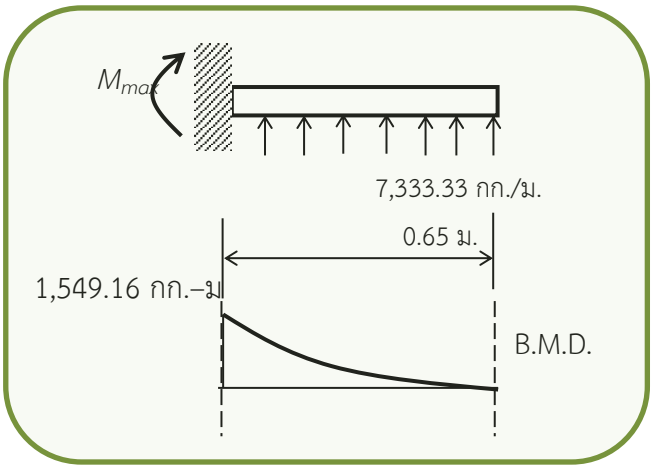
หน่วยแรงดันดิน $= \dfrac{16{,}500}{1.50\times1.50} = 7{,}333.33$ กก./ม.^{2}



ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

$$M_{\max} = \frac{1}{2}wL^2 = \frac{1}{2}(7{,}333.33)0.65^2$$

= 1,549.16 กก.–ม



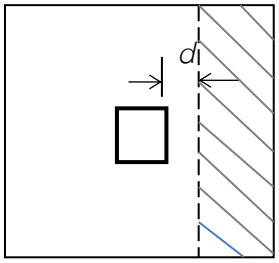
ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$n = 9$, $k = 0.414$, $j = 0.861$, $R = 16.84$ กก./ซม.^{2}

หาความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการ : d

$$d = \sqrt{\frac{M_{\max}}{Rb}} = \sqrt{\frac{1{,}549.16\times100}{16.84\times100}} = 9.59 \text{ ซม.}$$ ใช้ d = 15.00 ซม.

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก : v



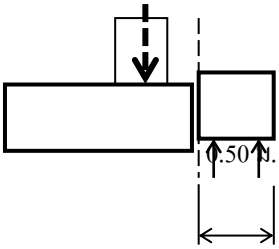
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบคาน : v_c

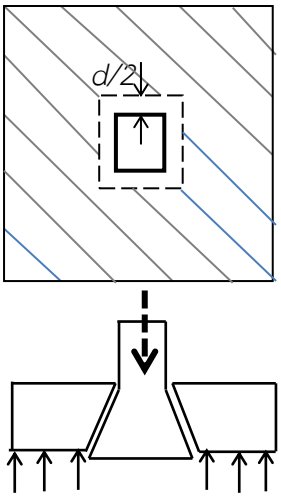
$v_c = 0.29\sqrt{fc'} = 0.29\sqrt{210}$ = 4.20 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \dfrac{V}{bd}$

$$v = \frac{1.50(0.65-0.15)\times 7{,}333.33}{(150)(15)}$$

= 2.44 กก./ซม.^{2} < v_c ใช้ได้





หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบทะลุ : v_c

$v_c = 0.53\sqrt{fc'} = 0.53\sqrt{210}$

= 7.68 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \dfrac{V}{bd}$

$$v = \frac{[(1.50)^2 - (0.35)^2]\times 7{,}333.33}{(140)(15)}$$

= 7.42 กก./ซม.^{2} > v_c ใช้ได้

สรุปขนาดของฐานราก 1.50 x 1.50 x 0.25 ม. ระยะ d = 15.00 ซม.

น้ำหนักฐานราก : 1.50 x 1.50 x 0.25 x 2,400 = 1,350 กก. < 1,500 กก. ใช้ได

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม : *As*

$$As = \frac{M_{max}}{fs.jd} = \frac{1{,}549.16\times 100}{1{,}500(0.861)15}$$

= 7.99 ซม.^{2} (DB 12 = 7.07 เส้น)

เส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการ : $\sum_o$

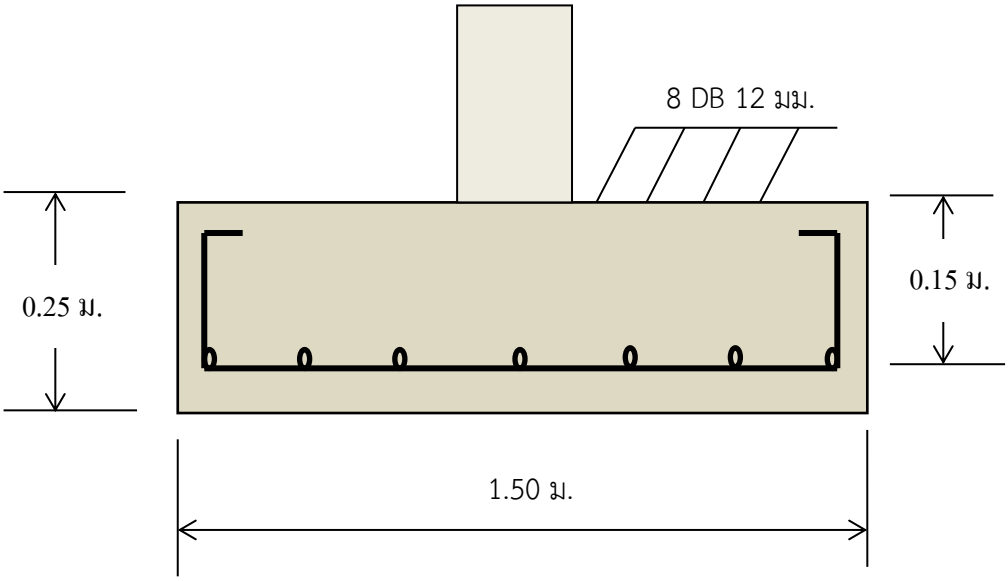
$$\sum_o = \frac{V}{u.jd} = \frac{0.65\times 7{,}333.33}{35(0.861\times 15)},$$

= 10.54 ซม. (DB 12 = 2.79 เส้น)

หน่วยแรงยึดหน่วง : u

$\dfrac{3.23\sqrt{fc'}}{d_b} \le 35$; กก./ซม.^{2}

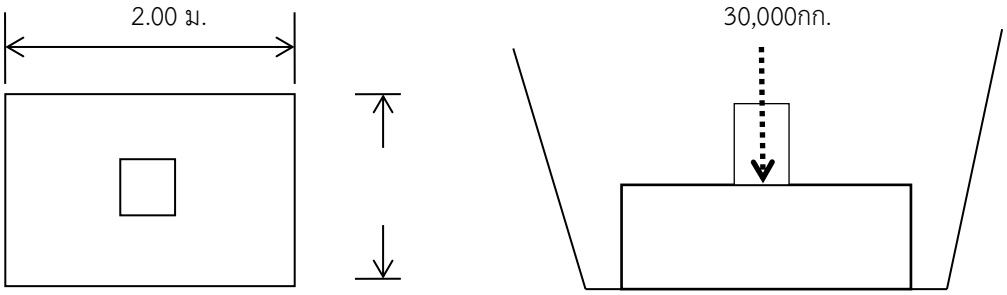
เปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการ กรณีใดใช้ปริมาณเหล็กเสริมมากกว่ากัน ดังนั้นเลือกใช้เหล็กเสริม 8 DB 12 (เสริมสองทางเท่ากัน) As = 9.04 ซม.^{2}, $\sum_o$ = 30.16 ซม. รายละเอียดการเสริมเหล็ก



ตัวอย่างที่ 7.9 จงออกแบบฐานรากแผ่สี่เหลี่ยมผืนผ้าวางบนดินรับน้ำหนักตามแนวแกนจากเสาตอม่อ 30,000 กก. (รวมน้ำหนักฐานราก) ขนาดเสาตอม่อ 0.25x0.25 ม. ดังรูปใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

กำหนดให้ fc' = 180 กก./ซม.^{2} fy = 3,000 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงดันดินที่ยอมให้เท่ากับ 12,800 กก./ม.^{2}



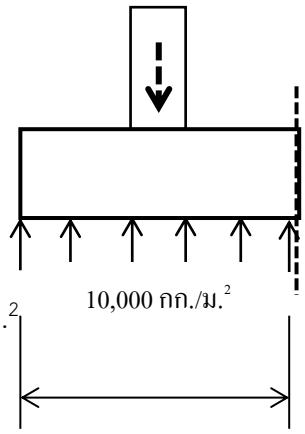
วิธีทำ

โจทย์กำหนดน้ำหนักรวม (จากเสาตอม่อรวมกับน้ำหนักฐานราก) และขนาดของฐานราก

น้ำหนักรวม = 30,000 กก.

ขนาดฐานรากเท่ากับ 1.50x2.00 ม.

หน่วยแรงดันดิน = $\dfrac{30{,}000}{1.50 \times 2.00}$ = 10,000 กก./ม.^{2}



ด้านสั้น = 1.50 ม.

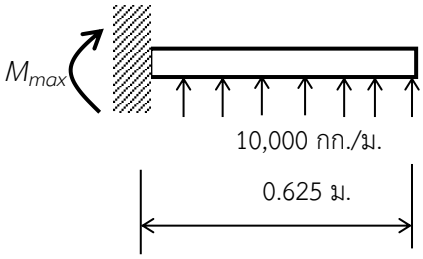
ด้านยาว = 2.00 ม.

ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ: M_{max}

ด้านสั้น (1.50 ม.)

$$M_{\max} = \frac{1}{2}wL^2 = \frac{1}{2}(10{,}000)0.625^2$$

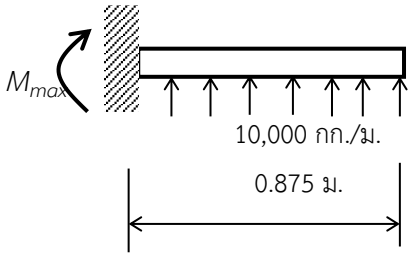
= 1,953.125 กก.–ม.



ด้านยาว (2.00 ม.)

$$M_{\max} = \frac{1}{2}wL^2 = \frac{1}{2}(10{,}000)0.875^2$$

= 3,828.125 กก.–ม.



ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

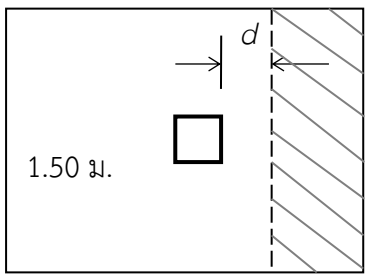
$$n = 10, \qquad k = 0.35, \qquad j = 0.883, \qquad R = 12.51 \text{ กก./ซม.}^2$$

หาความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการ : d

$$d = \sqrt{\frac{M_{\max}}{Rb}} = \sqrt{\frac{3{,}828.125 \times 100}{12.51 \times 100}} = 17.49 \text{ ซม.}$$ ใช้ d = 25.00 ซม.

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก : v

2.00 ม.



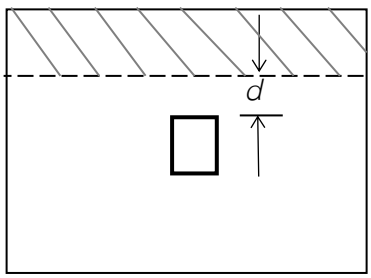
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบคาน : v_c

$$v_c = 0.29\sqrt{fc'} = 0.29\sqrt{180} = 3.89 \text{ กก./ซม.}^2$$

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นทางด้านสั้น : $v = \frac{V}{bd}$

$$v = \frac{1.50(0.875 - 0.25) \times 10{,}000}{(150)(25)}$$

= 2.50 กก./ซม.^{2} < v_c ใช้ได้



หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นทางด้านยาว : $v = \frac{V}{bd}$

$$v = \frac{2.00(0.625 - 0.25) \times 10{,}000}{(200)(25)}$$

= 1.50 กก./ซม.^{2} < v_c ใช้ได้

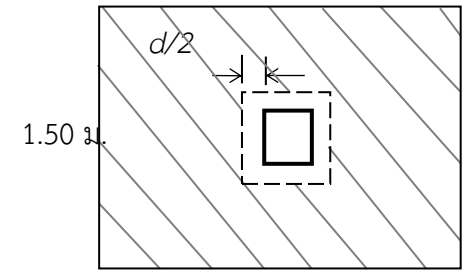
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบทะลุ : v_c

$v_c = 0.53\sqrt{fc'} = 0.53\sqrt{180}$ = 7.11 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$

$$v = \frac{[(1.50\times 2.00) - (0.50)^2]\times 10{,}000}{(4\times 50)(25)}$$

= 5.50 กก./ซม.^{2} < v_c ใช้ได้



สรุปขนาดของฐานราก 1.50 x 2.00 x 0.35 ม. ระยะ d = 25.00 ซม.

คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริม

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมด้านยาว : As_L

$$As_L = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{3{,}828.125\times 100}{1{,}500(0.883)25}$$

= 11.56 ซม.^{2} (DB 12 = 10.23 เส้น)

เส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการทางด้านยาว : $\sum_o$

$$\sum_o = \frac{V}{u.jd} = \frac{0.875\times 1.50\times 10{,}000}{35(0.883\times 25)},$$

= 16.98 ซม. (DB 12 = 4.50 เส้น)

หน่วยแรงยึดหน่วง : u

$\frac{3.23\sqrt{fc'}}{d_b} \le 35$; กก./ซม.^{2}

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมทางด้านยาววางกระจายแบบสม่ำเสมอทางด้านสั้นเท่ากับ 12 DB 11 : As = 12.43 ซม.^{2}, $\sum_o$ = 41.46 ซม.

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมด้านสั้น : As_B

$$As_B = \frac{M}{fs.jd} = \frac{1{,}953.125\times 100}{1{,}500(0.883)25}$$

= 5.90 ซม.^{2} (DB 12 = 5.22 เส้น)

เส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการทางด้านสั้น : $\sum_o$

$$\sum_o = \frac{V}{u.jd} = \frac{0.625\times 2.00\times 10{,}000}{35(0.883\times 25)},$$

= 16.17 ซม. (DB 12 = 4.29 เส้น)

หน่วยแรงยึดหน่วง : u

$\frac{3.23\sqrt{fc'}}{d_b} \le 35$; กก./ซม.^{2}

ใช้พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมทางด้านสั้นเท่ากับ As = 5.90 ซม.^{2} โดยแบ่งเป็นเหล็กเสริมด้านสั้นแถบกลางและแถบริม ดังนี้

เหล็กเสริมแถบกลาง $As = \frac{2}{S+1}(As_B) = \frac{2}{\frac{2.00}{1.5}+1}(5.90)$

= 5.06 ซม.^{2}

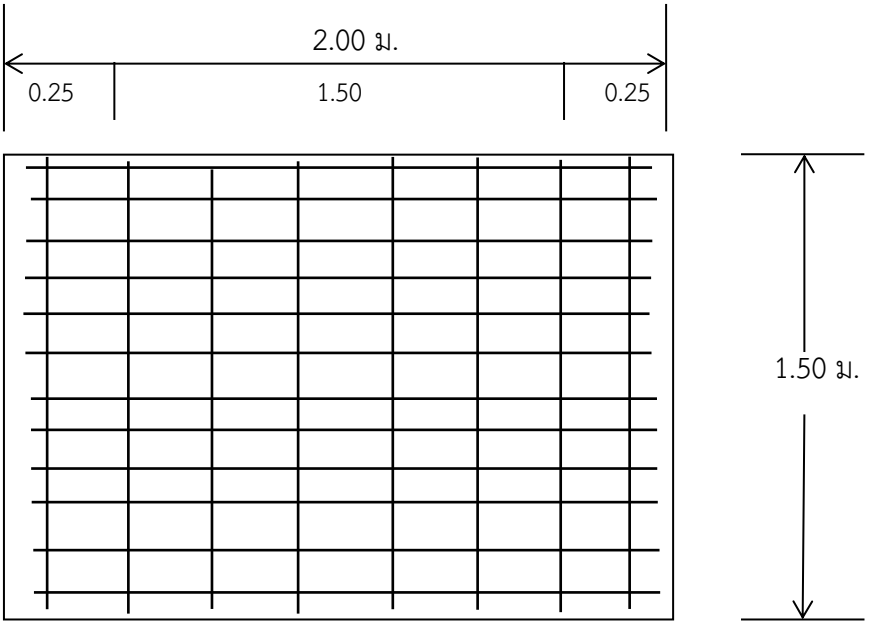
เลือกใช้ 5 DB 12 (As = 5.65 ซม.^{2})

เหล็กเสริมแถบริมแถบละ $As = \frac{5.90 - 5.65}{2}$

= 0.125 ซม.^{2}

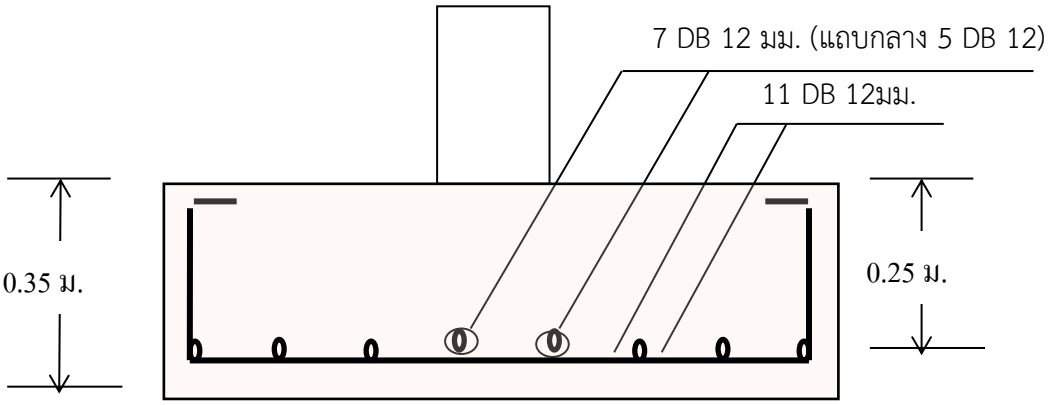
เลือกใช้ 1 DB 12 (As = 1.13 ซม.^{2})

รายละเอียดการเสริมเหล็ก



ด้านยาว : 11 DB 12

ด้านสั้น : 7 DB 12 (แถบกลาง 5 DB 12)



ตัวอย่างที่ 7.10 จงออกแบบฐานรากแผ่วางบนดิน รับน้ำหนักตามแนวแกนจากเสาตอม่อ 28,000 กก. และโมเมนต์ดัดเท่ากับ 7,000 กก.-ม. ขนาดเสาตอม่อ 0.30x0.30 ม.ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

กำหนดให้ f_c' = 210 กก./ซม.^{2} f_y = 3,000 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงดันดินที่ยอมให้เท่ากับ 10,000 กก./ม.^{2}

วิธีทำ น้ำหนักจากเสาตอม่อ = 28,000 กก.

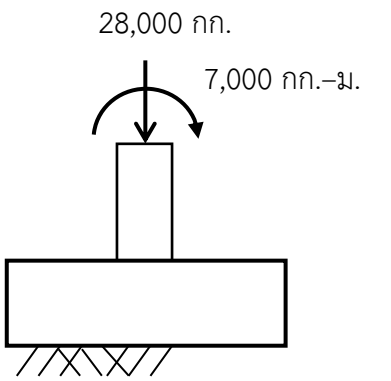
สมมติน้ำหนักฐานราก = 3,500 กก.

น้ำหนักรวม = 31,500 กก.

พื้นที่ฐานรากที่ต้องการ $= \dfrac{31{,}500}{10{,}000} = 3.15$ ม.^{2}

เลือกใช้ขนาดฐานรากเท่ากับ 2.5x2.5 ม.

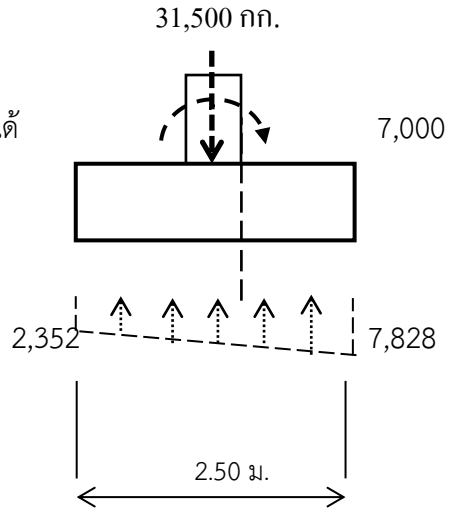
(เผื่อขนาดฐานรากเพื่อรับโมเมนต์ดัด)



หน่วยแรงดันดินข้างมาก : $p = \dfrac{P}{BL} + \dfrac{6M}{BL^2}$

$$p = \frac{31{,}500}{(2.5\times 2.5)} + \frac{6(7{,}000)}{(2.5\times 2.5^2)}$$

= 7,728 กก./ม.^{2} < 10,000 กก./ม.^{2} ใช้ได้



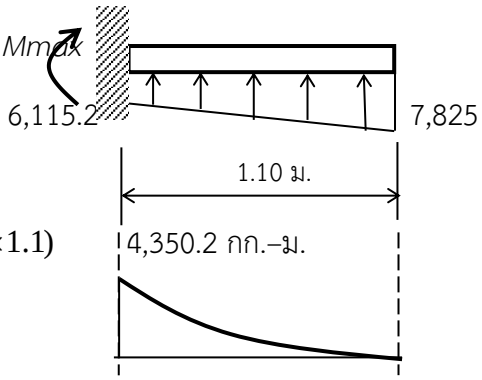
หน่วยแรงดันดินข้างน้อย : $p = \dfrac{P}{BL} - \dfrac{6M}{BL^2}$

$$p = \frac{31{,}500}{(2.5\times 2.5)} - \frac{6(7{,}000)}{(2.5\times 2.5^2)}$$

= 2,352 กก./ม.^{2}

หน่วยแรงดันดินที่ขอบเสาตอม่อ:

$$p = 2{,}352 + \frac{5{,}376}{2}(1.40) = 6{,}115.2 \text{ กก./ม.}^2$$



ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

$$M_{\max} = \frac{1}{2}\times 6{,}115.2\times 1.1^2 + \frac{1}{2}(1{,}612.8)1.1\left(\frac{2}{3}\times 1.1\right)$$

= 4,350.2 กก.–ม.

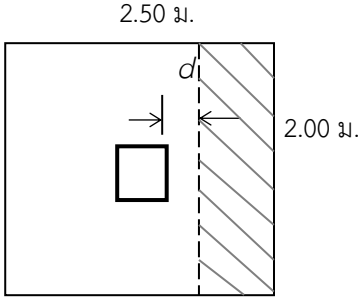
ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$$n = 9 \quad , \qquad k = 0.414, \qquad j = 0.861, \qquad R = 16.84 \text{ กก./ซม.}^2$$

หาความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการ : d

$$d = \sqrt{\frac{M_{max}}{Rb}} = \sqrt{\frac{4{,}350.2 \times 100}{16.84 \times 100}} = 16.07 \text{ ซม.}$$ ใช้ d = 25.00 ซม.

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก : v



หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบคาน : v_c

$$v_c = 0.29\sqrt{fc'} = 0.29\sqrt{210} = 4.20 \text{ กก./ซม.}^2$$

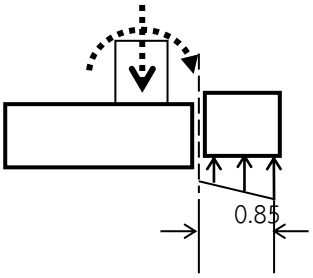
หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$

หน่วยแรงดันดินที่แนวหน้าตัดวิกฤต :

$$p = 2{,}352 + \frac{5{,}376}{2}(1.65) = 6{,}787.2 \text{ กก./ม.}^2$$

$$V = \frac{1}{2}(7{,}728 + 6{,}787)(2.5 \times 0.85) = 15{,}422.4 \text{ กก.}$$

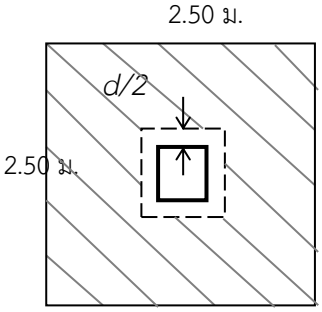
$$v = \frac{15{,}422.4}{(250)(25)} = 2.46 \text{ กก./ซม.}^2 < v_c$$ ใช้ได้



หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบทะลุ : v_c

$$v_c = 0.53\sqrt{fc'} = 0.53\sqrt{210} = 7.68 \text{ กก./ซม.}^2$$

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$



$$V = (\frac{2{,}352 + 7{,}728}{2}) \times (2.5^2 - 0.55^2)$$

$$= 29{,}975.4 \text{ กก.}$$

$$v = \frac{29{,}975.4}{(4 \times 55)(25)} = 5.45 \text{ กก./ซม.}^2 < v_c$$ ใช้ได้

สรุปขนาดของฐานราก 2.50 x 2.50 x 0.35 ม. ระยะ d = 25.00 ซม.

น้ำหนักฐานราก : 2.50 x 2.50 x 0.35 x 2,400 = 5,250 กก. > 3,500 กก. ใช้ไม่ได้ น้ำหนักฐานรากเกินกว่าที่สมมติไว้ในตอนแรก ต้องตรวจสอบหน่วยแรงดันดินใต้ฐานราก ค่าโมเมนต์ดัด และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก

หน่วยแรงดันดินข้างมาก : $p = \frac{P}{BL} + \frac{6M}{BL^2}$

$$p = \frac{(28{,}000 + 5250)}{(2.5 \times 2.5)} + \frac{6(7{,}000)}{(2.5 \times 2.5^2)}$$

$$= 8{,}008 \text{ กก./ม.}^2 < 10{,}000 \text{ กก./ม.}^2$$ ใช้ได้

หน่วยแรงดันดินข้างน้อย : $p = \frac{P}{BL} - \frac{6M}{BL^2}$

$$p = \frac{(28{,}000 + 5{,}250)}{(2.5 \times 2.5)} - \frac{6(7{,}000)}{(2.5 \times 2.5^2)}$$

= 2,632 กก./ม.^{2}

หน่วยแรงดันดินที่ขอบเสาตอม่อ:

$$p = 2{,}632 + \frac{5{,}376}{2}(1.40) = 6{,}395.2 \text{ กก./ม.}^2$$

ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

$$M_{\max} = \frac{1}{2} \times 6{,}395.2 \times 1.1^2 + \frac{1}{2}(1{,}612.8)1.1(\frac{2}{3} \times 1.1)$$

= 4,519.6 กก.–ม.

แรงเฉือนที่แนวหน้าตัดวิกฤตแบบคาน : V = 16,017.4 กก.

หน่วยแรงเฉือน : v = 16,017.4/(250x25) = 2.56 กก./ซม.^{2} < $0.29\sqrt{fc'}$ ใช้ได้

แรงเฉือนที่แนวหน้าตัดวิกฤตแบบทะลุ : V = 31,640.7 กก.

หน่วยแรงเฉือน : v = 31,640.7/(4x55)25 = 5.75 กก./ซม.^{2} < $0.53\sqrt{fc'}$ ใช้ได้

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม : As

$$As = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{4{,}519.6 \times 100}{1{,}500(0.861)25}$$

= 14.00 ซม.^{2} (DB 12 = 12.38 เส้น)

เส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการ : $\sum_o$

$$\sum_o = \frac{V}{u.jd} = \frac{\frac{1}{2}(8{,}008 + 6{,}395.2)(2.5 \times 1.1)}{35(0.861 \times 25)}$$

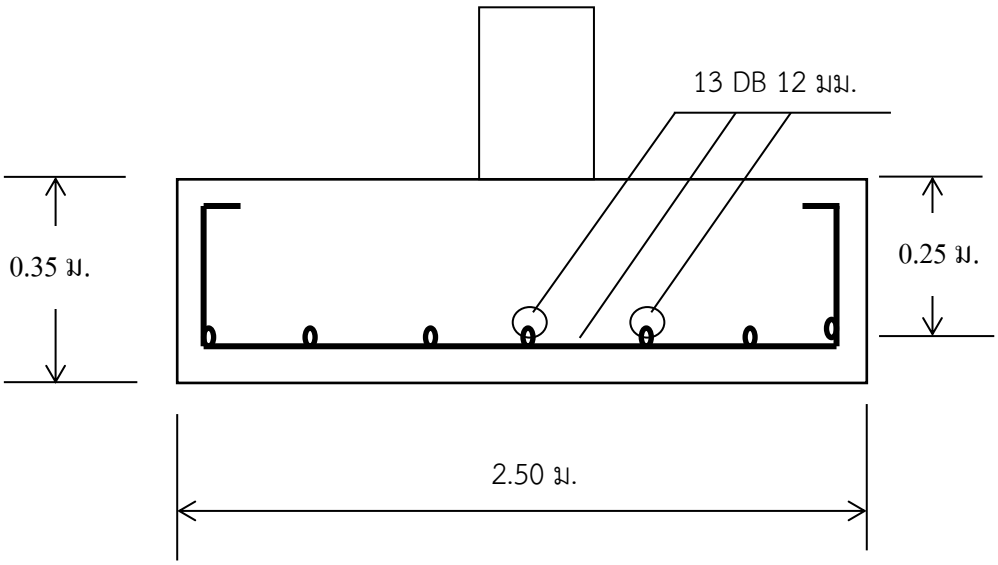
= 26.28 ซม. (DB 12 = 6.97 เส้น)

หน่วยแรงยึดหน่วง : u

$\frac{3.23\sqrt{fc'}}{d_b} \le 35$; กก./ซม.^{2}

เปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกับเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการ กรณีใดใช้ปริมาณเหล็กเสริมมากกว่ากัน ดังนั้นเลือกใช้เหล็กเสริม 13 DB 12 (เสริมสองทางเท่ากัน) As = 14.69 ซม.^{2}, $\sum_o$ = 49.00 ซม.

รายละเอียดการเสริมเหล็ก



ตัวอย่างที่ 7.11 จงออกแบบฐานรากวางบนเสาเข็ม รับน้ำหนักตามแนวแกนจากเสาตอม่อ 125,000 กก. และโมเมนต์ดัดเท่ากับ 10,000 กก.-ม. ขนาดเสาตอม่อ 0.40x0.40 ม.ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ กำหนดให้ f_c' = 250 กก./ซม.^{2} f_y = 3,000 กก./ซม.^{2} ใช้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง I-0.30x0.30x21.00 ม . รับน้ำหนักปลอดภัย 35 ตัน/ต้น

วิธีทำ

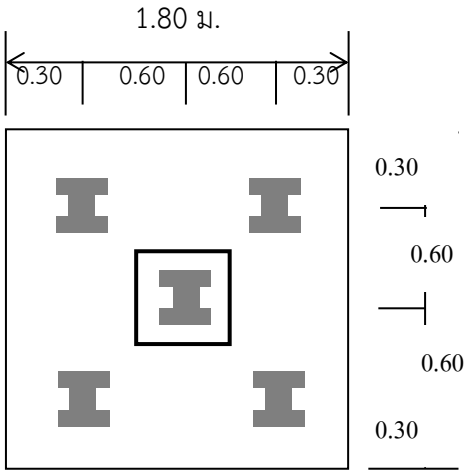
น้ำหนักจากเสา = 125,000 กก.

สมมติน้ำหนักฐานราก = 7,500 กก.

น้ำหนักรวม = 132,500 กก.

จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ = $\frac{132,500}{35,000}$ = 3.78 ต้น

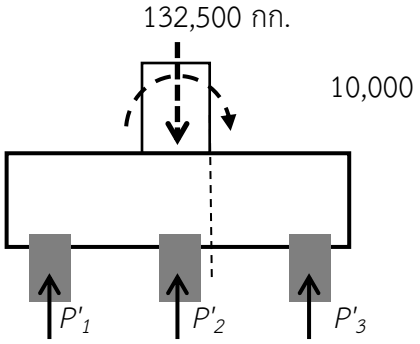
ใช้เสาเข็ม I-30 จำนวน 5 ต้น (เผื่อโมเมนต์ที่กระทำกับฐานราก) จัดวางระยะห่างเสาเข็มดังรูป ขนาดฐานรากเท่ากับ 1.80x1.80 เมตร



น้ำหนักสูงสุดที่เสาเข็มรับ :

$$P_3' = \frac{132,500}{5} + \frac{10,000(0.60)}{4\times(0.60)^2} = 30,666.67 \text{ กก.} < 35,000 \text{ กก.}$$ ใช้ได้

น้ำหนักสุทธิที่เสาเข็มแต่ละแถวรับ :



$$P_1' = \frac{132{,}500}{5} - \frac{10{,}000(0.60)}{4\times(0.60)^2} = 22{,}333.33 \text{ กก.}$$

กก.–ม.

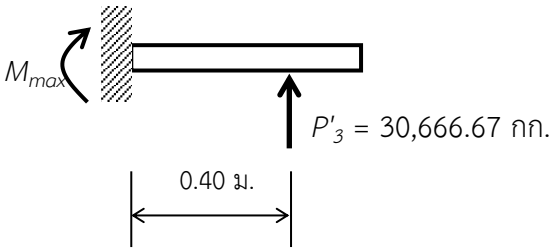
$$P_2' = \frac{132{,}500}{5} = 26{,}500.00 \text{ กก.}$$

$$P_3' = \frac{132{,}500}{5} + \frac{10{,}000(0.60)}{4\times(0.60)^2} = 30{,}666.67 \text{ กก.}$$

ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

$$M_{\max} = P'L = 2(30{,}666.67)0.40$$

= 24,533.33 กก.–ม



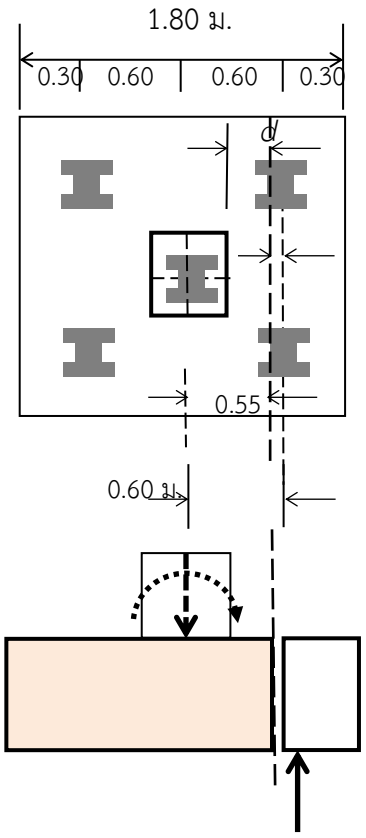
ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$$n = 9 \quad , \qquad k = 0.402, \qquad j = 0.865, \qquad R = 19.55 \text{กก./ซม.}^2$$

หาความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการ : d

$$d = \sqrt{\frac{M_{\max}}{Rb}} = \sqrt{\frac{24{,}533.33\times100}{19.55\times180}} = 26.40 \text{ ซม.}$$ ใช้ d = 35.00 ซม.

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก : v



หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบคาน : v_c

$$v_c = 0.29\sqrt{fc'} = 0.29\sqrt{250} = 4.58 \text{ กก./ซม.}^2$$

ศูนย์กลางเสาเข็มอยู่ห่างจากแนวหน้าตัดวิกฤต

ออกไปภายนอก 5.0 ซม. ; $V = \frac{1}{30}(x+15)P'$

$$V = \frac{1}{30}(5+15)(30{,}666.67) = 20{,}444.45 \text{ กก.}$$

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$

$$v = \frac{2\times20{,}444.45}{(180)(35)} = 6.49 \text{ กก./ซม.}^2 > v_c$$

ใช้ไม่ได้ ต้องเพิ่มความหนาฐานราก

ความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการ :

$$d = \frac{V}{v_c b} = \frac{2\times2044.45}{4.58(180)}$$

= 49.59 ซม. ใช้ d = 55.00 ซม. P'_3= 30,666.67 กก.

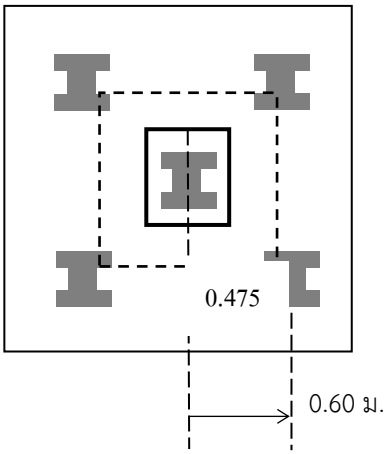
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบทะลุ : v_c

$v_c = 0.53\sqrt{fc'} = 0.53\sqrt{250}$ = 8.38 กก./ซม.^{2}

ศูนย์กลางเสาเข็มอยู่ห่างจากแนวหน้าตัดวิกฤต

ออกไปภายนอก 12.5 ซม. ; $V = \frac{1}{30}(x+15)P'$

$V = \frac{1}{30}(12.5+15)(26{,}500)$ = 24,291.67 กก.



หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$

$v = \frac{4\times 24{,}291.67}{(4\times 95)(55)}$ = 4.64 กก./ซม.^{2} < v_c

สรุปขนาดของฐานราก 1.80 x 1.80 x 0.65 ม. ระยะ d = 55.00 ซม.

น้ำหนักฐานราก : 1.60 x 1.60 x 0.65 x 2,400 = 5,054.40 กก. < 7,500 กก. ใช้ได้

ตรวจสอบน้ำหนักสูงสุดที่เสาเข็มรับ :

$P'_3 = \frac{125{,}000+5{,}054.4}{5} + \frac{10{,}000(0.60)}{4\times(0.60)^2}$ = 30,177.55 กก. ใช้ได้

ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

$M_{\max} = P'L = 2(30{,}177.55)0.40$

= 24,142.04 กก.–ม

ข้อสังเกต : น้ำหนักสูงสุดที่เสาเข็มรับ และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในฐานรากไม่ต่างจากที่คำนวณได้ก่อนหน้านี้ ดังนั้น จึงอาจใช้ค่าโมเมนต์เดิม คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมในฐานราก ก็ได้

คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริม

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม : As

$As = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{24{,}142.04\times 100}{1{,}500(0.865)55}$

= 33.83 ซม.^{2} (DB 16 = 16.83 เส้น)

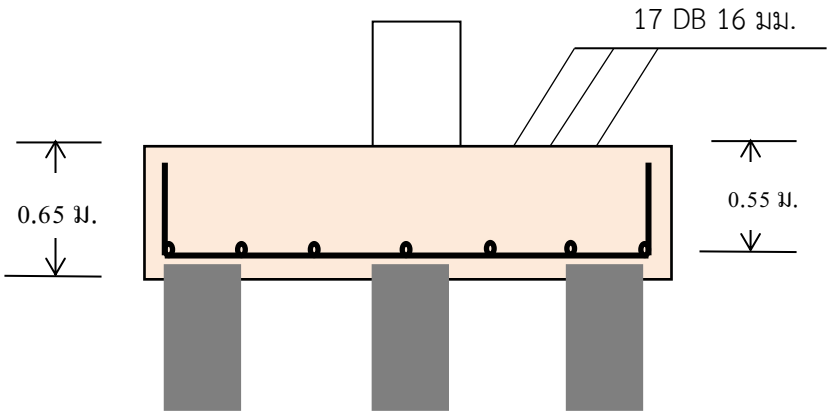
เส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการทางด้านยาว : $\sum_o$

$\sum_o = \frac{V}{u.jd} = \frac{2\times 30{,}177.55}{22.63(0.865\times 55)}$, $u = \frac{3.23\sqrt{fc'}}{d_b}$ = 22.63 กก./ซม.^{2}

= 56.05 ซม. (DB 16 = 11.15 เส้น)

ดังนั้น วางเหล็กเสริมกระจายแบบสม่ำเสมอเท่ากันๆ ทั้งสองด้านจำนวน 17 DB 16 : As = 34.17 ซม.^{2}, $\sum_o$ = 85.45ซม.

รายละเอียดการเสริมเหล็ก

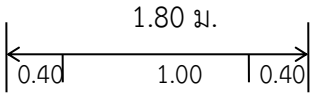


ตัวอย่างที่ 7.12 จงออกแบบฐานรากแผ่วางบนเสาเข็มรับน้ำหนักจากเสาตอม่อ 60,000 กก. ขนาดเสาเท่ากับ 0.35x0.35 ม. ใช้เสาเข็ม I-30 (ขนาด 0.30x0.30x21.00 เมตร) รับน้ำหนักปลอดภัย 35,000 กก./ต้น

กำหนดให้ fc' = 160 กก./ซม.^{2}, fy = 3,000 กก./ซม.^{2}

ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

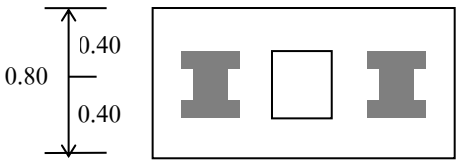
วิธีทำ



น้ำหนักจากเสาตอม่อ = 60,000 กก.

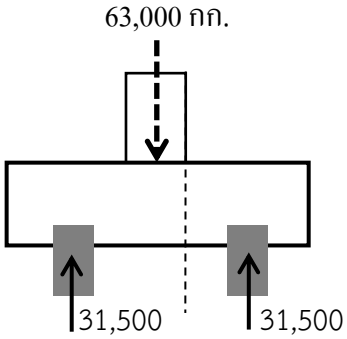
สมมติน้ำหนักฐานราก = 3,000 กก.

น้ำหนักรวม = 63,000 กก.

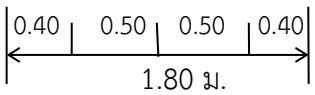


จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ $= \frac{63{,}000}{35{,}000} = 1.80$ ต้น

ใช้เสาเข็ม I-30 จำนวน 2 ต้น ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเสาเข็มเท่ากับ 1.00 ม. และระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเสาเข็มถึงขอบฐานรากเท่ากับ 0.40 ม. ดังนั้น ขนาดฐานรากที่ใช้เท่ากับ 0.80 x 1.80 เมตร



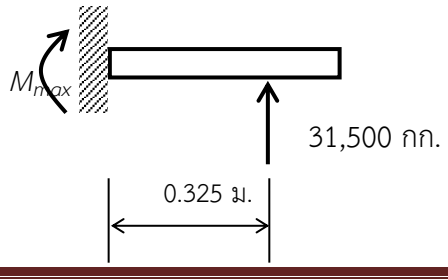
น้ำหนักที่เสาเข็มแต่ละต้นรับ : $\frac{63{,}000}{2}$ = 31,500 กก.



ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

$M_{\max} = P'L = 31{,}500(0.325)$

= 10,237.50 กก.–ม



ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$n = 11$, $k = 0.345$,

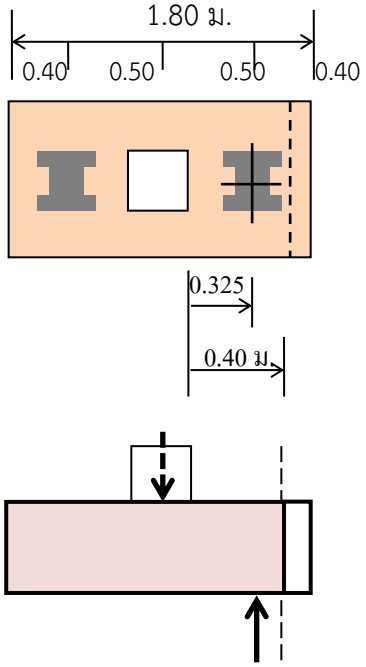
$j = 0.885$, $R = 10.99$ กก./ซม.^{2}

หาความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการ : d

$$d = \sqrt{\frac{M_{max}}{Rb}} = \sqrt{\frac{10{,}237.50 \times 100}{10.99 \times 80}} = 34.12 \text{ ซม.}$$

ใช้ $d = 40.00$ ซม.

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก : v



หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบคาน : v_c

$v_c = 0.29\sqrt{fc'} = 0.29\sqrt{160}$ = 3.66 กก./ซม.^{2}

ศูนย์กลางเสาเข็มอยู่ห่างจากแนวหน้าตัดวิกฤต

เข้ามาภายใน 7.5 ซม. ; $V = \frac{1}{30}(x+15)P'$

$V = \frac{1}{30}(-7.5+15)(31{,}500)$ = 7,875.00 กก.

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$

$v = \frac{7{,}875.00}{(80)(40)}$ = 2.46 กก./ซม.^{2} < v_c ใช้ได้

P' = 31,500 กก.

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบทะลุ : v_c

$v_c = 0.53\sqrt{fc'} = 0.53\sqrt{160}$ = 6.70 กก./ซม.^{2}

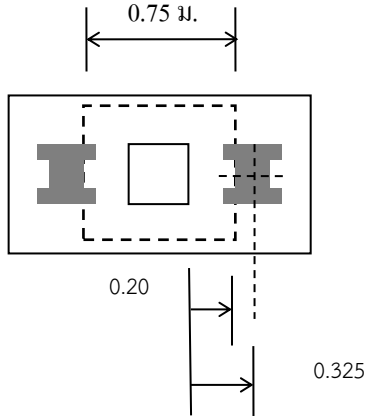
ศูนย์กลางเสาเข็มอยู่ห่างจากแนวหน้าตัดวิกฤต

ออกไปภายนอก 12.5 ซม. ; $V = \frac{1}{30}(x+15)P'$

$V = \frac{1}{30}(12.5+15)(31{,}500)$ = 28,875.00 กก.

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$

$v = \frac{2 \times 28{,}875.00}{(4 \times 75)(40)}$ = 4.81 กก./ซม.^{2} < v_c ใช้ได้



สรุปขนาดของฐานราก 0.80 x 1.80 x 0.50 ม. ระยะ d = 40.00 ซม.

น้ำหนักฐานราก : 0.80 x 1.80 x 0.50 x 2,400 = 1,728 กก. < 3,000 กก. ใช้ได้

น้ำหนักที่เสาเข็มแต่ละต้นรับ : $P' = \frac{60{,}000+1{,}728}{2}$ = 30,864 กก.

ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

$$M_{\max} = P'L = 30{,}864(0.325)$$

= 10,030.80 กก.–ม

คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริม

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมต้านทานโมเมนต์ดัด : As

$$As = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{10{,}030.80 \times 100}{1{,}500(0.885)40}$$

= 18.89 ซม.^{2} (DB 20 = 6.01 เส้น)

เส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการ : $\sum_o$

$$\sum_o = \frac{V}{u.jd} = \frac{30{,}864}{20.42(0.885 \times 40)}, \qquad u = \frac{3.23\sqrt{fc'}}{d_b} = 20.42 \text{ กก./ซม.}^2$$

= 42.69 ซม. (DB 20 = 6.79 เส้น)

ใช้เหล็กเสริมวางกระจายแบบสม่ำเสมอ จำนวน 7 DB 20 : As = 21.99 ซม.^{2}, $\sum_o$ = 43.98 ซม.

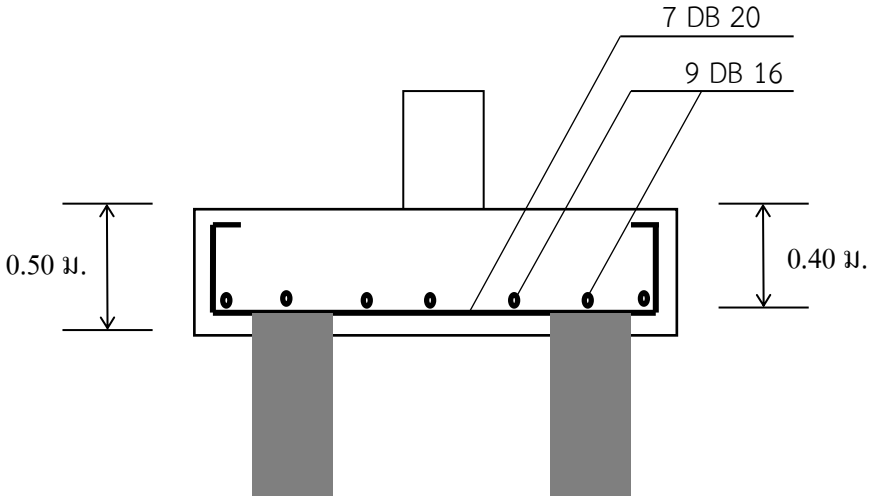
พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมด้านสั้น (เหล็กเสริมกันร้าว) : As^t

$As^t = 0.0020bt$ = 0.0020(180)50

= 18.00 ซม.^{2} (DB 16 = 8.95 เส้น)

ใช้เหล็กเสริมวางกระจายแบบสม่ำเสมอ จำนวน 9 DB 16 : As = 18.09 ซม.^{2}

รายละเอียดการเสริมเหล็ก



ตัวอย่างที่ 7.14 จงออกแบบฐานรากแผ่วางบนเสาเข็มรับน้ำหนักจากเสาตอม่อ 84,000 กก. ขนาดเสาเท่ากับ 0.40x0.40 ม. ใช้เสาเข็ม I-22 (ขนาด 0.22x0.22x21.00 เมตร) รับน้ำหนักปลอดภัย 25,000 กก./ต้น

กำหนดให้ $f_c' = 160$ กก./ซม.^{2}, $f_y = 3{,}000$ กก./ซม.^{2}

ใช้มาตรฐาน ว.ส.ท. ในการออกแบบ

วิธีทำ

น้ำหนักจากเสาตอม่อ = 84,000 กก.

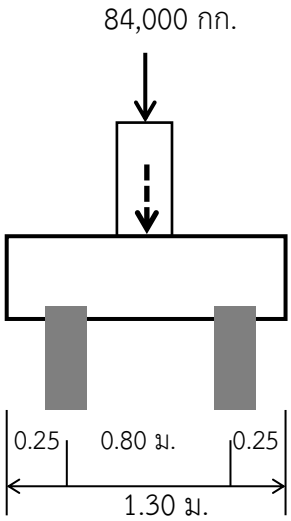
สมมติน้ำหนักฐานราก = 8,400 กก.

น้ำหนักรวม = 92,400 กก.

จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ = $\frac{92{,}400}{25{,}000}$ = 3.69 ต้น

ใช้เสาเข็ม I-22 จำนวน 4 ต้น ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเสาเข็มเท่ากับ 0.80 ม. และระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเสาเข็มถึงขอบฐานรากเท่ากับ 0.25 ม. ดังนั้น ขนาดฐานรากที่ใช้เท่ากับ 1.30 x 1.30 เมตร

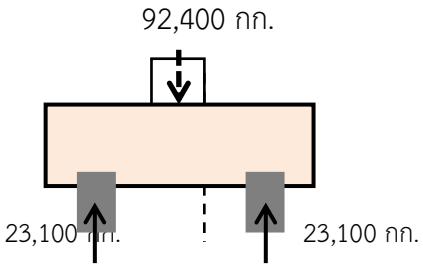
น้ำหนักที่เสาเข็มแต่ละต้นรับ : $\frac{92{,}400}{4}$ = 23,100 กก.



ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

$M_{\max} = P'L = 2(23{,}100)0.20$

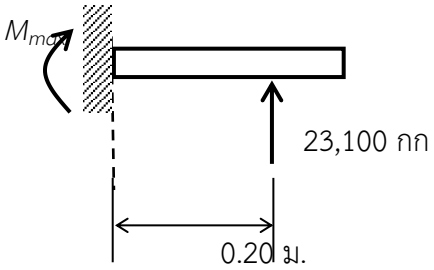
= 9,240.00 กก.–ม



ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ

$n = 11$, $k = 0.345$,

$j = 0.885$, $R = 10.99$ กก./ซม.^{2}



หาความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการ : d

$d = \sqrt{\frac{M_{\max}}{Rb}} = \sqrt{\frac{9{,}240.00 \times 100}{10.99 \times 130}}$ = 25.43 ซม.

ใช้ d = 30.00 ซม.

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานราก : v

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบคาน : v_c

$v_c = 0.29\sqrt{fc'} = 0.29\sqrt{160}$ = 3.66 กก./ซม.^{2}

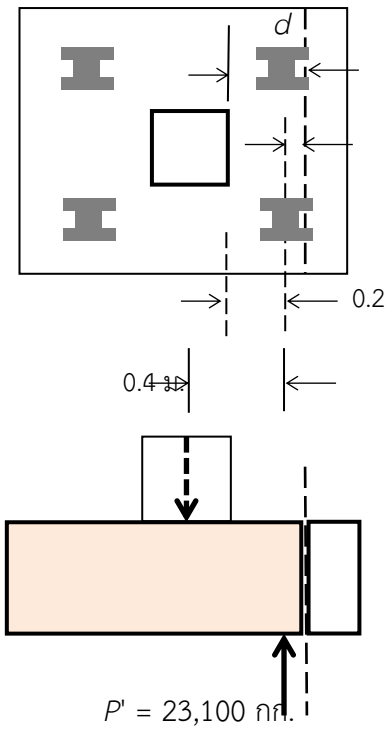
ศูนย์กลางเสาเข็มอยู่ห่างจากแนวหน้าตัดวิกฤต

เข้ามาภายใน 10 ซม. ; $V = \frac{1}{30}(x+15)P$

$V = \frac{1}{30}(-10+15)(23{,}100)$ = 3,850 กก.

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$

$v = \frac{2\times 3{,}850}{(130)(30)}$ = 1.97 กก./ซม.^{2} < v_c ใช้ได้



หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีตแบบทะลุ : v_c

$v_c = 0.53\sqrt{fc'} = 0.53\sqrt{160}$ = 6.70 กก./ซม.^{2}

ศูนย์กลางเสาเข็มอยู่ห่างจากแนวหน้าตัดวิกฤต

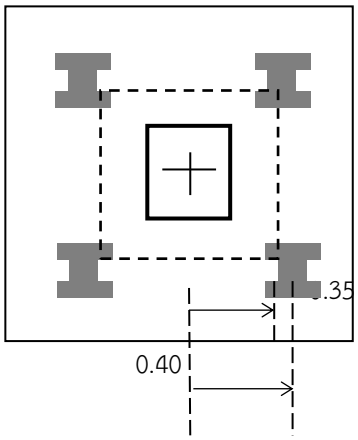
ออกไปภายนอก 5 ซม. ; $V = \frac{1}{30}(x+15)P'$

$V = \frac{1}{30}(5+15)(23{,}100)$ = 15,400 กก.

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น : $v = \frac{V}{bd}$

$v = \frac{4\times 15{,}400}{(4\times 70)(30)}$ = 7.33 กก./ซม.^{2} > v_c

ใช้ไม่ได้ ต้องเพิ่มความหนาฐานราก



ความลึกประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการโดยประมาณหาจากสูตร :

$d = \frac{V}{v_c b} = \frac{4\times 15{,}400}{6.70(4\times 70)}$ = 32.83 ซม. ใช้ d = 35.00 ซม.

สรุปขนาดของฐานราก 1.30 x 1.30 x 0.45 ม. ระยะ d = 35.00 ซม.

น้ำหนักฐานราก : 1.30 x 1.30 x 0.45 x 2,400 = 1,825.2 กก. < 8,400 กก. ใช้ได้

น้ำหนักที่เสาเข็มแต่ละต้นรับ : $P' = \frac{84{,}000+1{,}825.2}{4}$ = 21,456.30 กก.

ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ขอบเสาตอม่อ : M_{max}

$$M_{\max} = P'L = 2(21{,}456.30)0.20$$

= 8,582.52 กก.–ม

คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริม

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม : As

$$As = \frac{M_{\max}}{fs.jd} = \frac{8{,}582.52 \times 100}{1{,}500(0.885)35}$$

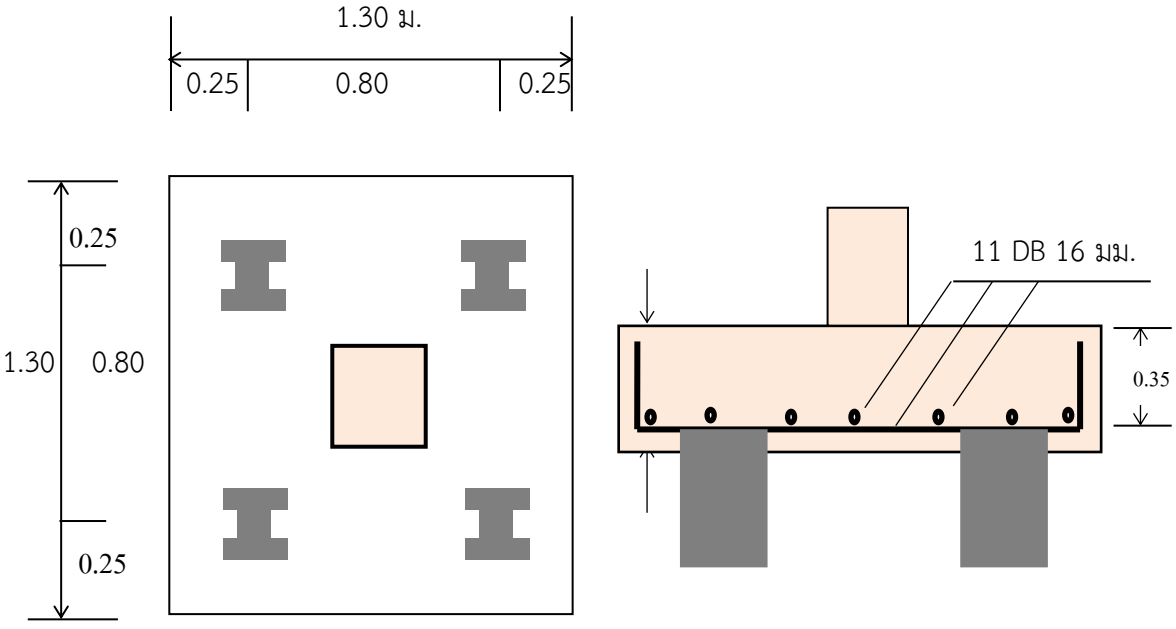
= 18.47 ซม.^{2} (DB 16 = 9.18 เส้น)

เส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการ : $\sum_o$

$$\sum_o = \frac{V}{u.jd} = \frac{2 \times 21{,}456.30}{25.53(0.885 \times 35)}, \qquad u = \frac{3.23\sqrt{fc'}}{d_b} = 25.53 \text{ กก./ซม.}^2$$

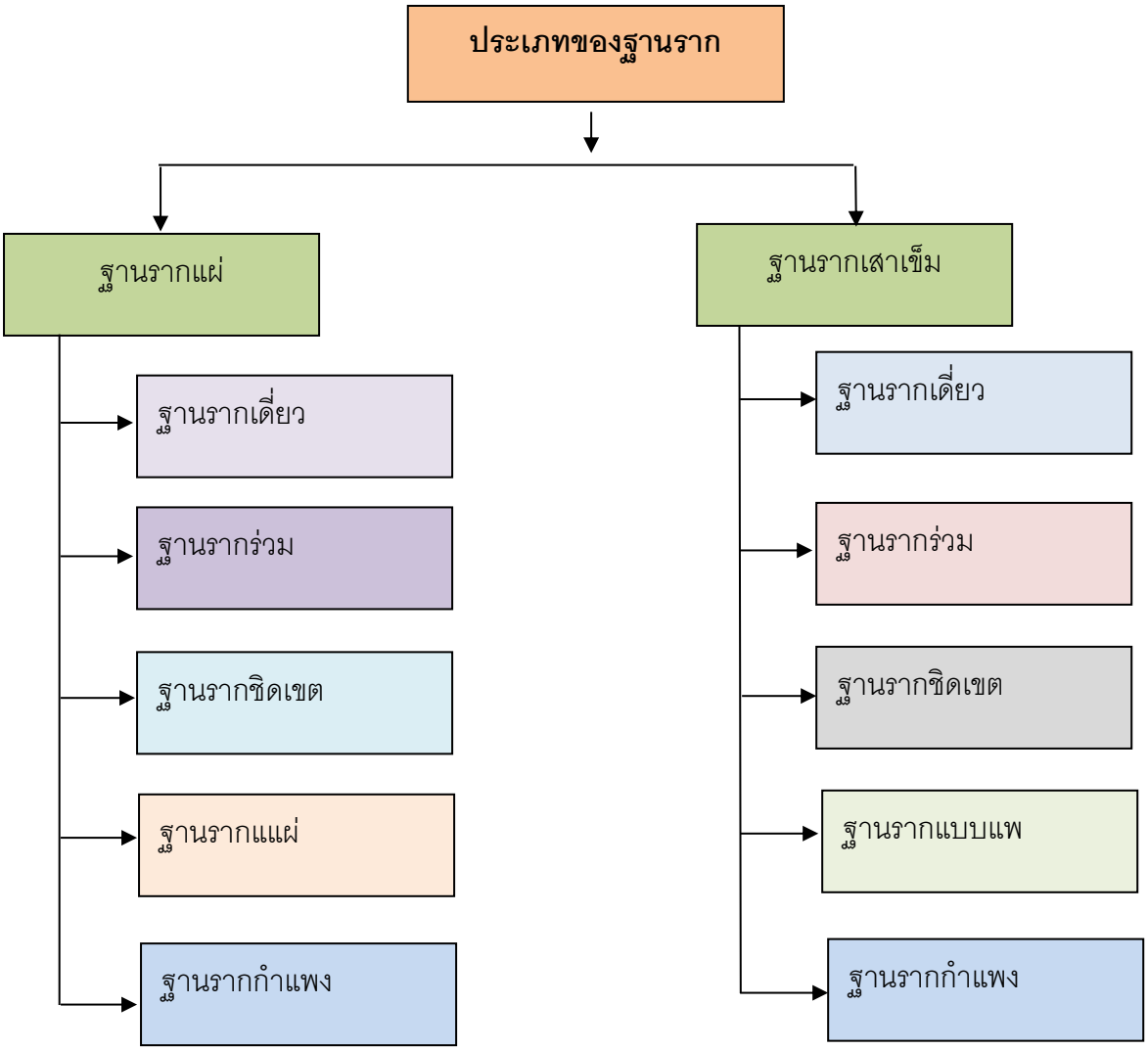
= 54.26 ซม. (DB 16 = 10.79 เส้น)

ดังนั้น วางเหล็กเสริมกระจายแบบสม่ำเสมอเท่าๆ กันทั้งสองด้าน จำนวน 11 DB 16 : As = 22.11 ซม.^{2}, $\sum_o$ = 55.29 ซม.



7.8 สรุปการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. ประเภทของฐานราก



2. การคำนวณออกแบบฐานรากแผ่ พิจารณา

ชั้นดินรับน้ำหนัก

ตัวฐานรากรับน้ำหนัก

- การเกิดโมเมนต์ดัด
- การเกิดแรงเฉือน
- การตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว

3. การคำนวณออกแบบฐานรากเสาเข็ม การวิเคราะห์พฤติกรรมฐานรากเสาเข็ม

เสาเข็มรับฐานรากพิจารณาตัวฐานราก

- การเกิดโมเมนต์ดัด
- การเกิดแรงเฉือน
- การตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว

แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

1. จงออกแบบฐานแผ่สี่เหลี่ยมจัตุรัส รับน้ำหนักจากเสา ตอม่อ 30 x 30 ซม. โดยเสารับน้ำหนักดังรูปตัด ให้หน่วยแรงแรงดันของดินที่รับน้ำหนักปลอดภัยเท่ากับ 10,000 กก./ม.^{2}
กำหนดให้หน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้ fc' = 150+รหัส น.ศ.=_____ กก./ซม.^{2}
Fs = 1500 กก./ซม.^{2} R = 9.00 กก./ซม.^{2} j = 0.80 n= 11

1. น้ำหนักจากเสา =_____ กก.

2.สมมติน้ำหนักฐาน =_____กก.

3. น้ำหนักรวม (W) =_____ กก.

4. พื้นที่ฐานราก =_____ =_____ม.^{2}

5.ออกแบบขนาดฐานราก =_____x_____ ม.

6.พื้นที่ฐานรากที่ออกแบบ =_____ ม.^{2} > _____ม.^{2}

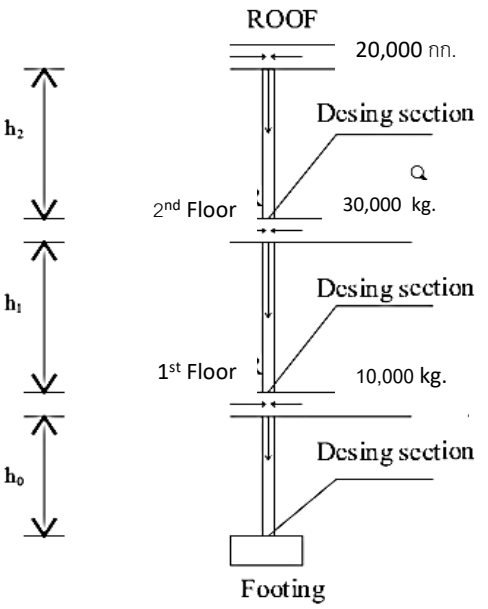
7.หน่วยแรงดันขึ้นของดิน (w) =_____

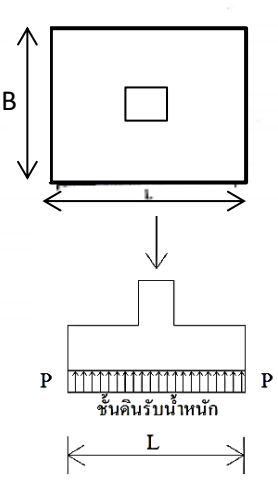
=_____กก./ม.^{2}

8. สูตรโมเมนต์ที่ขอบเสา (M) =_____กก.-ม.

9. ระยะความยาว ℓ =_____=_____ ม.

10. ค่า M =_____=_____ กก.-ม.





แบบฝึกหัด หลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

1. จงออกแบบฐานแผ่สี่เหลี่ยมจัตุรัส รับน้ำหนักจากเสา ตอม่อ 30 x 30 ซม. โดยเสารับน้ำหนักดังรูปตัด C(B-2) ให้หน่วยแรงแรงดันของดินที่รับน้ำหนักปลอดภัยเท่ากับ 10,000 กก./ม.^{2}

กำหนดให้หน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้ fc' = 150+รหัส น.ศ.=_____ กก./ซม.^{2}

Fs = 1500 กก./ซม.^{2} R = 9.00 กก./ซม.^{2} j = 0.80 n= 11

1. น้ำหนักจากเสา =_____ กก.

2.สมมติน้ำหนักฐาน =_____กก.

3. น้ำหนักรวม (W) =_____กก.

4. พื้นที่ฐานราก =_____ =_____ม.^{2}

5.ออกแบบขนาดฐานราก =_____x_____ ม.

6.พื้นที่ฐานรากที่ออกแบบ =_____ ม.^{2} > ___ ม.^{2}

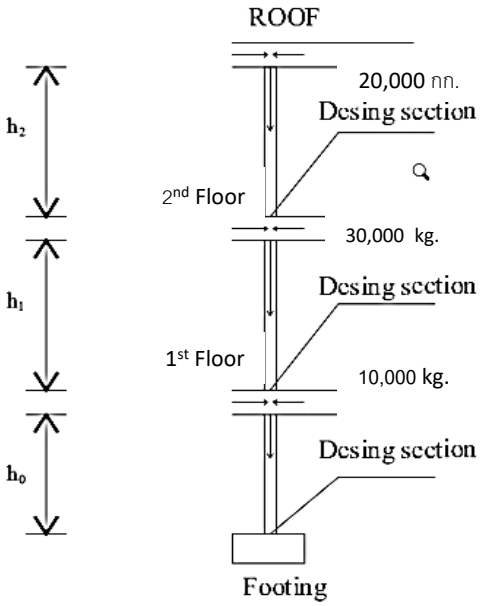
7.หน่วยแรงดันขึ้นของดิน (w) =_____

=_____กก./ม.^{2}

8. สูตรโมเมนต์ที่ขอบเสา (M) =_____ กก.-ม.

9. ระยะความยาว ℓ =_____=_____ม.

10. ค่า M =_____=_____กก.-ม.



11. สูตรความหนาของฐาน (d) =_____ ซม.

แทนค่า d =_____ซม.

12. ออกแบบความหนาฐานราก =_____ซม.

$d_{ออกแบบ}$ =_____ซม.

ตรวจสอบแรงเฉือน: พิจารณาแรงเฉือนแบบคาน

13. สูตรหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ Vc =_____กก./ซม.^{2}

แทนค่า Vc =_____=_____กก./ซม.^{2}

14. สูตรค่าแรงเฉือน V =_____

แทนค่า V =_____=_____กก.

15. สูตรหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น v=_____ กก./ซม.^{2}

แทนค่า v =_____=_____กก./ซม.^{2}

16. ปลอดภัย หรือ ไม่ปลอดภัย_____ เพราะ _____>_____

ตรวจสอบแรงเฉือน : พิจารณาแรงเฉือนแบบเสาเจาะทะลุ

17. สูตรหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ Vc =_____กก./ซม.^{2}

แทนค่า Vc =_____=_____กก./ซม.^{2}

18.สูตรค่าแรงเฉือน V =_____

แทนค่า V = _____

V =_____=_____กก.

19. ความกว้างที่ถูกเฉือน b =_____=_____ซม.

20. แทนค่า $\boldsymbol{v}$ =_____=_____กก./ซม.^{2}

21. ปลอดภัย หรือ ไม่ปลอดภัย_____ เพราะ _____>_____

22. สูตรเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริม As =_____

แทนค่า As =_____=_____ ซม.^{2}

23. ใช้เหล็ก _____มม. จำนวน _____เส้น (As=_____ซม.^{2})

24. เส้นรอบรูปของเหล็กทั้งหมด ∑o =_____=_____ซม.

25. สูตรหน่วยแรงยึดเกาะที่ยอมให้ Ua =_____<_____กก./ซม.^{2}

แทนค่า Ua =_____=_____กก./ซม.^{2}

26. สูตรค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจริง ***U*** =_____กก./ซม.^{2}

แทนค่า ***U*** =_____=_____ กก./ซม.^{2}

ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว ปลอดภัย หรือ ไม่ปลอดภัย _____

เพราะ_____>_____หรือ _____>_____กก./ซม.^{2}

สรุป ออกแบบฐานรากแผ่

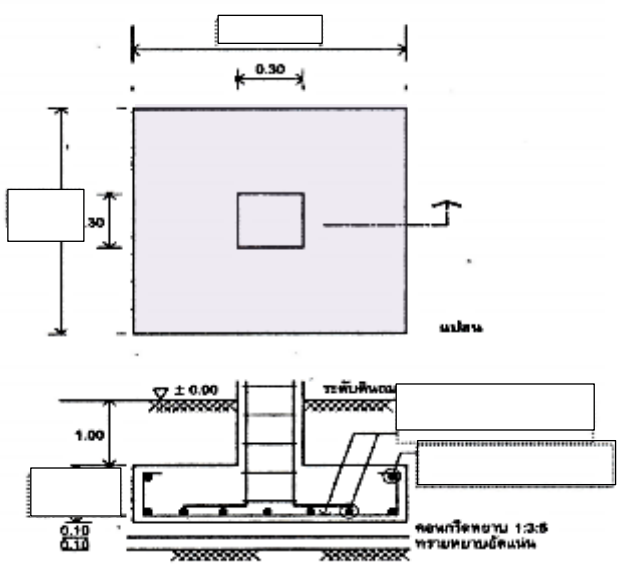
ขนาด_____x_____x_____ม.

ขนาดเหล็กเสริมหลักสองทางเท่ากัน

_____มม.

ตำแหน่งวางเหล็กเสริม

วางชิดขอบ_____ฐานราก



แสดงรูปขยายหน้าตัดฐานรากที่ออกแบบ

ใบงานที่ 7.1 แบบฝึกหัด

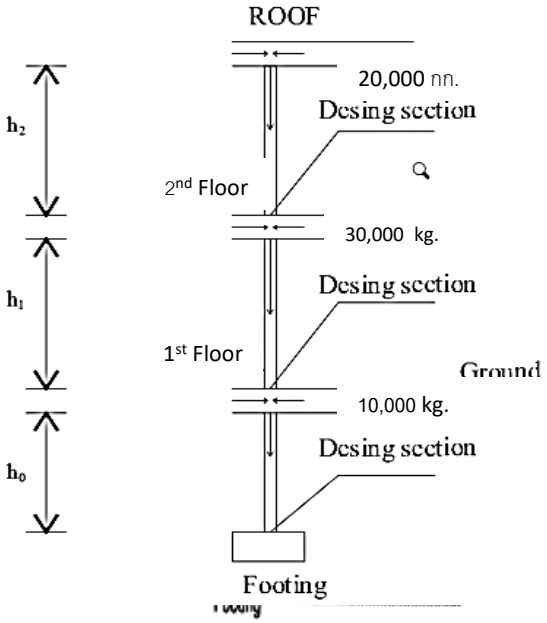
โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

คำชี้แจง ให้นักศึกษาคำนวณและออกแบบฐานรากต่อไปนี้

1. จงออกแบบฐานแผ่สี่เหลี่ยมจัตุรัส รับน้ำหนักจากเสา ตอม่อ 20 x 20 ซม. โดยเสารับน้ำหนักดังรูปตัด ใช้เสาเข็มคอนกรีตสี่เหลี่ยมขนาด 0.25 x 0.25 ม. รับน้ำหนักได้ปลอดภัย 15,000+รหัสน.ศ.=_____กก./ต้น และระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม 0.10 ม. มาตรฐาน วสท.

กำหนดให้หน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้ fc' = 150+รหัสน.ศ. =_____ กก./ซม.^{2}

Fs = 1500 กก./ซม.^{2} R = 9.00 กก./ซม.^{2} j =



1. น้ำหนักจากเสา =_____กก.

2.สมมติน้ำหนักฐาน =_____กก.

3. น้ำหนักรวม (W) =_____กก.

4. สูตร จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ N =_____

แทนค่า N =_____=_____ใช้_____ต้น

5. เสาเข็มรับน้ำหนักจริงต้นละ

Pa =_____=_____กก./ต้น

6.ข้อกำหนดให้ระยะห่างเสาเข็มจากศูนย์กลางเสาเข็มถึงศูนย์เสาเข็มถึงศูนย์เสาเข็ม

ต้นในไม่น้อยกว่า = _____

ต้นชิดขอบฐาน = _____

แทนค่า ระยะห่างเสาเข็มต้นใน =_____=_____ใช้_____ซม.

ระยะห่างขอบฐาน =_____=_____ใช้_____ซม.

7. ออกแบบขนาดฐานรากเสาเข็ม _____

8. เขียนรูปแปลนฐานรากโดยกำหนดระยะเสาเข็มต่าง ๆ

9. สูตรโมเมนต์มากที่สุดขอบเสา

M_{max} =_____

แทนค่า M_{max} =_____=_____กก.-ม.

10. สูตรความลึกประสิทธิผล d =_____

แทนค่า d = _____=_____ ใช้ _____ซม.

11. ออกแบบความหนาฐานราก =_____=_____ ซม.

d_d =_____=_____ซม.

12.ตรวจสอบแรงเฉือน แบคาน

แนววิกฤติห่างจากขอบเสาตอม่อ =_____=_____ซม.

เสาเข็มอยู่ นอก หรือ ใน แนววิกฤติ =_____

เป็นระยะทาง =_____ ไม่เกิน _____ ซม.

สูตร ค่าแรงเฉือนเสาเข็มลดลง P_a' =_____

แทนค่า P_a' =_____=_____ กก./ต้น

∴ รวมแรงเฉือนแบบคานทั้งหมด

v =_____=_____=_____ กก.

∴ หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น สูตร v =_____

แทนค่า v =_____=_____กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ สูตร Vc =_____

แทนค่า Vc =_____=_____กก./ซม.^{2}

ฐานรากรับแรงเฉือนแบบคานได้ปลอดภัยเมื่อ

_____>_____ หรือ _____>_____กก./ซม.^{2}

13. ตรวจสอบแรงเฉือน เสาเจาะทะลุ

แนววิกฤติห่างจากขอบเสาตอม่อโดยรอบข้างละ =_____=_____=_____ซม.

เสาเข็มอยู่ นอก หรือ ใน แนววิกฤติ =_____

เป็นระยะทาง =_____ ไม่เกิน _____ซม.

สูตร ค่าแรงเฉือนเสาเข็มลดลง P_a' =_____

แทนค่า P_a' =_____=_____กก./ต้น

∴ รวมแรงเฉือนแบบคานทั้งหมด

V =_____=_____=_____ กก.

∴ หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น แทนค่า v =_____=_____กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ Vc =_____=_____=_____กก./ซม.^{2}

ฐานรากรับแรงเฉือนแบบคานได้ปลอดภัยเมื่อ _____>_____

หรือ _____>_____ กก./ซม.^{2} _____

14. ออกแบบความหนาใหม่ ให้ d =_____ซม.

ตรวจสอบแรงเฉือน เสาเจาะทะลุ

แนววิกฤติห่างจากขอบเสาตอม่อโดยรอบข้างละ =_____=_____ซม.

เสาเข็มอยู่ _____แนววิกฤติเป็นระยะทาง =_____ซม.

แทนค่า P_a' =_____=_____กก./ต้น

∴ รวมแรงเฉือนแบบคานทั้งหมด

V =_____=_____=_____ กก.

∴ หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น แทนค่า v =_____=_____กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ Vc =_____=_____=_____กก./ซม.^{2}

ฐานรากรับแรงเฉือนแบบคานได้ปลอดภัยเมื่อ _____>_____หรือ _____>_____กก./ซม.^{2}

15. สูตรเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริม As =_____

แทนค่า As =_____=_____ซม.^{2}

ใช้เหล็ก _____มม. จำนวน _____เส้น (As=_____ซม.^{2})

16. ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว สำหรับเหล็ก _____มม.

เส้นรอบรูปของเหล็กทั้งหมด ∑o = _____=_____ซม.

17. สูตรหน่วยแรงยึดเกาะที่ยอมให้ Ua =_____<_____ กก./ซม.^{2}

แทนค่า Ua =_____=_____กก./ซม.^{2}

18. สูตรค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจริง U =_____ กก./ซม.^{2}

แทนค่า U =_____=_____กก./ซม.^{2}

ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว ปลอดภัย หรือ ไม่ปลอดภัย _____ เพราะ

_____>_____หรือ _____>_____กก./ซม.^{2}

สรุป ออกแบบฐานรากเสาเข็ม ขนาด_____x_____x_____ม.

เสริมเหล็กหลักสองทางเท่ากัน _____มม.

ตำแหน่งวางเหล็กเสริม วางชิดขอบ_____ฐานราก

แสดงรูปขยายหน้าตัดฐานรากที่ออกแบบ

ใบงานที่ 7.2 กิจกรรมกลุ่ม

โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

คำชี้แจง

1. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มละ 3-5 คน คัดลอกเนื้อหา และศึกษาทำความเข้าใจในงานกิจกรรมการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งหลัง ทำเป็นรายงานกลุ่ม

2.ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มละ 3-5 คน ทำการบ้านเรื่อง การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำเป็นรายงานกลุ่ม (ใช้รหัสนักศึกษาตัวแทนกลุ่ม)

จงออกแบบฐานรากแผ่ฐานเดี่ยวสี่เหลี่ยมผืนผ้า เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกจากเสาตอม่อ 50,000 กก. ให้เสาตอม่อมีขนาด 0.25 x 0.30 ม. และชั้นดินมีความสามารถรับน้ำหนักได้ปลอดภัย 15,000 กก./ตร.ม. และระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม 0.05 ม. ใช้ข้อบัญญัติของ วสท.

กำหนดให้หน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้ fc’ = 160+รหัสน.ศ.=_____ กก./ซม.^{2}

fs = 1500 กก./ซม.^{2} R = 7.30 กก./ซม.^{2} j = 0.90 n= 11

รายการคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

รายการคำนวณ

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ/สกุล.....เลขที่.....กลุ่ม.....ชั้น/ปี.....

ลำดับที่	พฤติกรรมที่ประเมิน	ระดับคะแนน					หมายเหตุ
		5	4	3	2	1	
1	ความตรงต่อเวลา						**ความหมายของระดับคะแนน** ระดับการปฏิบัติมาก = 5 ระดับการปฏิบัติดี = 4 ระดับการปฏิบัติปานกลาง = 3 ระดับการปฏิบัติน้อย = 2 ระดับการปฏิบัติน้อย = 1
2	ความมีระเบียบวินัย						
3	ความซื่อสัตย์สุจริต						
4	ความสนใจใฝ่รู้						
5	ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์						
6	การละเว้นสิ่งเสพติดและการพนัน						
7	ความรับผิดชอบต่อหน้าที่และงานที่ได้รับมอบหมาย						**การสรุปผล** กอยู่ในระดับดีมา = 50-41 อยู่ในระดับดี = 40-31 ในระดับปานกลาง = 30-21 อยู่ในระดับน้อย = 20-11 อยู่ในระดับต้องปรับปรุ = 10-0
8	มารยาทไทย						
9	ความสามัคคีในหมู่คณะ						
10	ความมีจิตสำนึกที่เห็นแก่ส่วนรวม						
รวมคะแนน							
รวมคะแนนทั้งหมด							

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ประเมิน

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์
วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายบุคคล

ที่	คะแนน / ชื่อสกุล-	การรับฟังความคิดเห็น	การเสนอความคิดเห็น	การยอมรับคนอื่น	การสร้างบรรยากาศในกลุ่ม	รวมคะแนน	ระดับการมีส่วนร่วม
		5	5	5	5	20	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

2. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายกลุ่ม

คะแนน / กลุ่ม	การนำเสนอผลงาน		การบันทึกผลงาน			รวมคะแนน	ระดับคุณภาพของผลงาน
	ขั้นนำ	ขั้นเสนอ	ขั้นสรุป	ถูกต้อง	เรียบร้อย		
	10	10	10	10	10	50	
1							
2							
3							
4							
5							

ระดับของคะแนนย่อย 5 = มากที่สุด 4 = ค่อนข้างมาก 3 = ปานกลาง 2 = ค่อนข้างน้อย 1 = น้อยที่สุด

เกณฑ์การประเมินผล 20-15 = มาก 8-14 = ปานกลาง 7-1 = น้อย

ลงชื่อผู้ประเมิน.....

(.....)

ผู้ประเมิน

กิจกรรมการบูรณการความรู้การคำนวณและออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

เนื้อหาสาระกิจกรรมการบูรณการความรู้

ผู้เรียนเมื่อผ่านการเรียนบทเรียนโมดูลการเรียนรู้วิชาการออกแบบโครงคอนกรีตเสริมเหล็กทั้ง 7 โมดูลแล้ว ควรจะต้องทำกิจกรรมการบูรณการความรู้สู่การคำนวณและออกแบบอาคารโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งตัวอาคาร ซึ่งเป็นการคำนวณออกแบบซึ่งต้องใช้ความรู้จักการเรียนที่ผ่านมาตั้งแต่โมดูลที่ 1 ถึงโมดูลที่ 7 ซึ่งเป็นหลักการออกแบบองค์อาคารต่าง ๆ ได้แก่ คาน พื้น บันได เสาและฐานรากในการคำนวณออกแบบอาคารจะเริ่มด้วยการออกแบบชิ้นส่วนหลังคาก่อนแล้วถ่ายน้ำหนักให้แก่คานหรือเสาสำหรับในชั้นต่าง ๆ ของอาคารต่อไป เป็นการตรวจสอบความรู้ของตนเองว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้หรือไม่

จุดประสงค์กิจกรรมการบูรณการความรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

1. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. เพื่อให้มีทักษะพื้นฐาน การคำนวณโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก
3. เพื่อให้มีกิจนิสัยในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. อธิบายข้อกำหนดพื้นฐานในการคำนวณออกแบบ ได้ถูกต้อง
2. แสดงวิธีการคำนวณ การถ่ายน้ำหนักของโครงสร้าง ได้ถูกต้อง
3. ปฏิบัติขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งตัวอาคารคำนวณ โครงสร้างคอนกรีตและเหล็กเสริม ได้ถูกต้อง

หัวข้อเนื้อหาสาระ

กิจกรรมการบูรณการความรู้สู่การคำนวณและออกแบบอาคารโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งตัวอาคาร ประกอบด้วย

1. ข้อกำหนดพื้นฐานในการคำนวณออกแบบ
2. การถ่ายน้ำหนักของโครงสร้าง
3. คำนวณและออกแบบอาคาร โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งตัวอาคาร อาทิ ฐานราก เสา คานพื้น หลังคา เป็นต้น

แนวทางการการปฏิบัติงาน

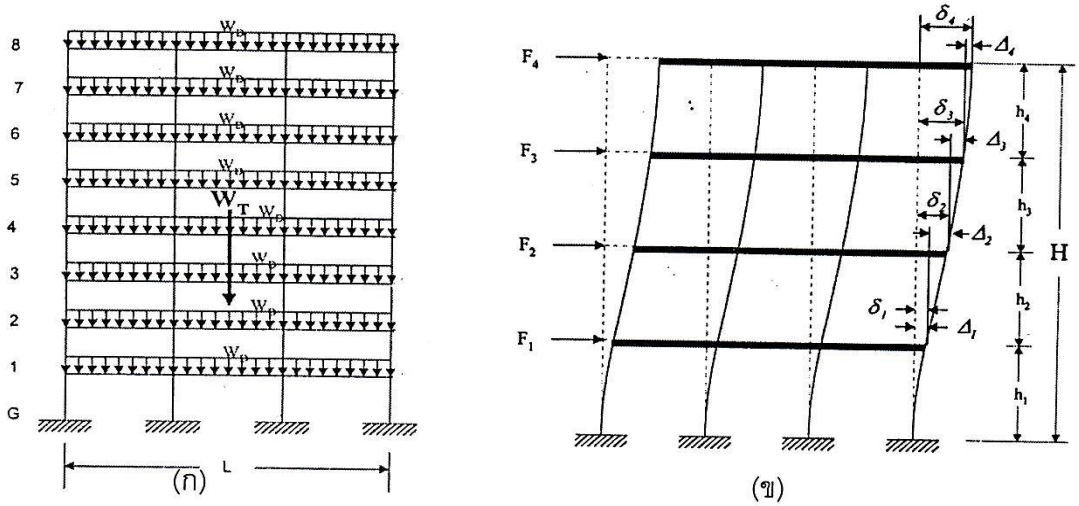
การปฏิบัติงานในกิจกรรมการบูรณาการมี 2 ส่วน ดังนี้

1. ให้ทำแบบประเมินท้ายชุดกิจกรรม
2. ให้ออกแบบโครงสร้างอาคารบ้านพักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ชั้น โดยให้ผู้เรียนนำแบบมาให้ครูผู้สอนตรวจสอบและอนุญาตให้ดำเนินการออกแบบ อาทิ แบบรูปแปลน รูปด้าน ของอาคาร

กิจกรรมการบูรณการความรู้สู่การคำนวณและออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

8.1 สาระสำคัญ

ผู้เรียนเมื่อผ่านการเรียนบทเรียนโมดูลการเรียนรู้วิชาการออกแบบโครงคอนกรีตเสริมเหล็กทั้ง 7 โมดูลแล้ว ควรจะต้องทำกิจกรรมการบูรณการความรู้สู่การคำนวณและออกแบบอาคารโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งตัวอาคาร ซึ่งเป็นการคำนวณออกแบบซึ่งต้องใช้ความรู้จักการเรียนที่ผ่านมาตั้งแต่โมดูลที่ 1 ถึงโมดูลที่ 7 ซึ่งเป็นหลักการออกแบบองค์อาคารต่าง ๆ ได้แก่ คาน พื้น บันได เสาและฐานรากในการคำนวณออกแบบอาคารจะเริ่มด้วยการออกแบบชิ้นส่วนหลังคาก่อนแล้วถ่ายน้ำหนักให้แก่คานหรือเสาสำหรับในชั้นต่าง ๆ ของอาคาร จะเริ่มด้วยการออกแบบพื้นแล้วถ่ายน้ำหนักให้แก่คานแล้วจึงออกแบบคานต่อไป เมื่อออกแบบคานแล้ว จึงนำน้ำหนักถ่ายไปสู่เสาและฐานราก ก่อนที่จะถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินต่อไป ในการวิเคราะห์และคำนวณออกแบบโครงสร้างนั้นโครงสร้าง จะรับแรง 2 ประเภทตามทิศทางของแรงที่กระทำแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แรงกระทำในแนวดิ่ง เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity Load) ได้แก่น้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจร ส่วนแรงที่กระทำอีกประเภทหนึ่งคือ แรงกระทำด้านข้างได้แก่ แรงลม และแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว ดังพฤติกรรมของอาคารดู้แสดงในรูปที่ 8.1



รูปที่ 8.1 พฤติกรรมของอาคารเมื่อมีแรงมากระทำ

ที่มา: ไพบูลย์ ปัญญาตะโป, 2546

8.2 ข้อกำหนดพื้นฐานในการคำนวณออกแบบ

ข้อกำหนดพื้นฐานในการคำนวณออกแบบ โดยการคำนวณน้ำหนักที่ถ่ายลงเสา คาน และฐานราก ให้ใช้น้ำหนักบรรทุกคงที่ของอาคารเต็มที่สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร เนื่องจากโอกาสที่น้ำหนักบรรทุกจรจะวางเต็มในทุกพื้นที่และทุกชั้นของอาคารเป็นไปได้ยาก โดยปกติการรับน้ำหนักบรรทุกจรเต็มอัตราจะอยู่ในชอบเขตพื้นที่บางส่วนของอาคารนั้นข้อกำหนดของการออกแบบอาคารในกฎกระทรวงฉบับที่6 (พ.ศ.2527) จึงได้ยอมให้ลดส่วนของน้ำหนักบรรทุกจรลงได้ ตามตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 อัตราการลดน้ำหนักบรรทุกจรบนอาคาร จากกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ.2527)

การรับน้ำหนักของพื้น	อัตราการลดน้ำหนักบรรทุกจรบนพื้นแต่ละชั้น (%)
1) หลังคาหรือดาดฟ้า	-
2) ชั้นที่ 1 ถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	-
3) ชั้นที่ 2 ถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	
4) ชั้นที่3 ถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	10
5) ชั้นที่ 4 ถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	20
6) ชั้นที่ 5 ถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	30
7) ชั้นที่ 6 ถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	40
8) ชั้นที่ 7 ถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้าและชั้นต่อลงไป	50

ที่มา: กฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ.2527)

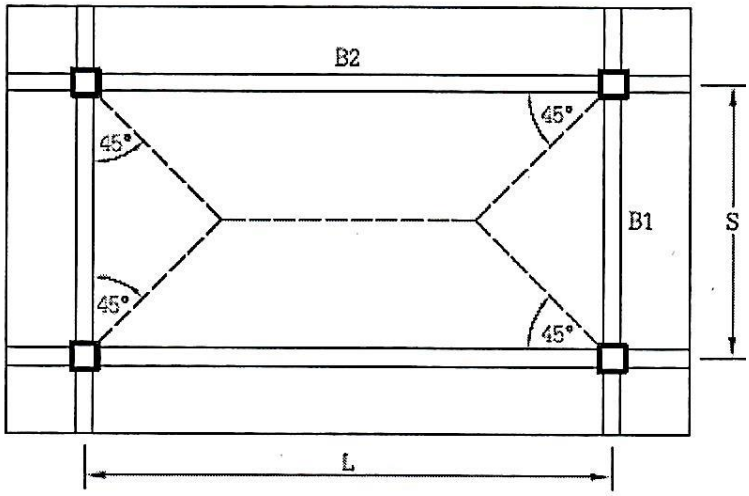
สำหรับการออกแบบอาคารที่มีความสำคัญต่อสาธารณชน อาทิ ห้องประชุม หอประชุม ห้องสมุด พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงมหรสพ คลังสินค้า โรงงานอุตสาหกรรม อาคารจอดรถ เป็นต้นในการงานจริง อาคารเหล่านี้อาจมีการวางน้ำหนักบรรทุกจรเต็มที่ การคิดลดน้ำหนักบรรทุกจรอาจเป็นอันตรายต่อโครงสร้างอาคารตลอดจนถึงความปลอดภัยในทรัพย์สินภายในอาคารและผู้อาศัยในขณะใช้งานได้ ข้อกำหนดของการออกแบบอาคารจึงให้คิดน้ำหนักบรรทุกจรเต็มอัตราสำหรับอาคารทั่วไปก็ได้ หากต้องการออกแบบอาคารให้มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ซึ่งไม่จัดว่าผิดต่อข้อกำหนดในการออกแบบ

8.3 การถ่ายน้ำหนักของโครงสร้าง

การถ่ายน้ำหนักของโครงสร้าง ซึ่งในหัวข้อนี้จะทบทวนและเพิ่มเติมเนื้อหาจากหน่วยก่อนๆ ในเรื่องการถ่ายน้ำหนักจากองค์อาคารหนึ่งไปยังอีกองค์อาคารหนึ่งเช่นจากพื้นไปสู่คานจากคานไปสู่เสา และจากเสาไปสู่ฐานราก เป็นต้น

8.3.1 การถ่ายน้ำหนักจากพื้น คสล. สู่คาน คสล.

1) การถ่ายน้ำหนักจากแผ่นพื้นสองทาง พิจารณาจากตัวอย่าง รูปที่ 8.2 เป็นแผ่นพื้น คสล. สี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง S ยาว L ถ้าให้น้ำหนักบรรทุกสม่ำเสมอจนแตกแล้วแนวแตกจะประมาณตามแนวเส้นประ ซึ่งเกิดจากลากเส้นทำมุม 45 องศากับขอบจากมุมทั้งสี่ไปตัดกับเส้นกึ่งกลางที่ขนานกับด้านยาว คาน B1 จะรับน้ำหนักจากแผ่นพื้นเป็นรูปสามเหลี่ยม และคาน B2 จะรับน้ำหนักจากแผ่นพื้นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังแสดงในรูปที่ 8.2



รูปที่ 8.2 การถ่ายน้ำหนักจากแผ่นพื้นสองทาง

ที่มา: วินิต ช่อวิเชียร, 2545

จากมาตรฐาน ว.ส.ท. เมื่อจะคิดโมเมนต์ดัดในคานให้กระกระจายน้ำหนักจากพื้นลงบนคานเป็นน้ำหนักแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ หน่วย kg/m ดังนี้

น้ำหนักจากพื้นลงบนคานด้านสั้น $W_S = \frac{ws}{3}$ (8.1)

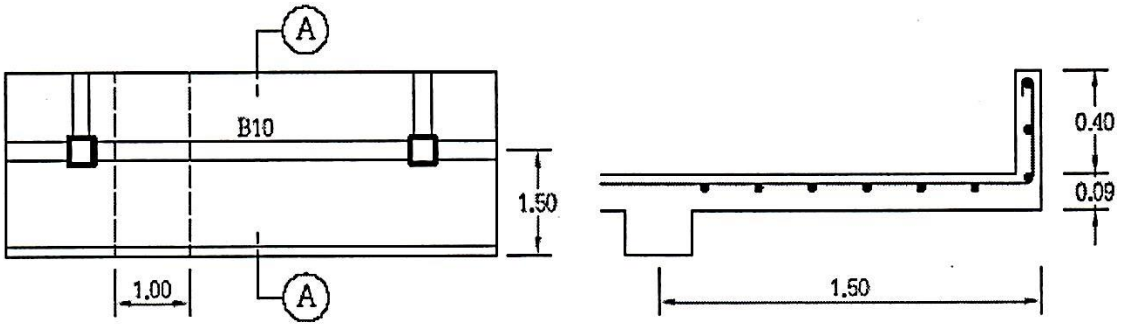
น้ำหนักจากพื้นลงบนคานด้านยาว $W_L = \frac{ws}{3} \cdot \frac{(3-m^2)}{n}$

เมื่อ w = น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดของแผ่นพื้น kg/m^2

$$M = \frac{\text{ความยาวด้านสั้น}}{\text{ความยาวด้านยาว}} = \frac{S}{L} \quad \text{ไม่มีหน่วย} \le M \le 0.5 \qquad (8.2)$$

น้ำหนักจากคานด้านสั้นแบ่งลงบนเสาที่ปลายคานทั้งสองข้างเพียง $ws^2/$ B และคานด้านยาวแบ่งลงบนเสา $\frac{1}{4}ws^2\left(\frac{2}{M}-1\right)$ แต่ถ้าจะคิดจากน้ำหนักแผ่กระจายในสมการที่ (8.1) และ สมการที่ (8.2) จะได้จากคานสั้น $ws^2/6$ และจากคานยาว $\frac{1}{12}wSL^2(3-m^2)$ ซึ่งมากกว่าหรือเราต้องใช้น้ำหนักคำนวณสูงขึ้นจึงอยู่ในค่าที่ปลอดภัยมากขึ้น

2) การถ่ายน้ำจากแผ่นพื้นทางเดียว ถ้า M < 0.5 เราเรียกว่าแผ่นพื้นทางเดียว การกระจายน้ำหนักลงบนด้านสั้นยังคงเป็น Ws/3 แต่ด้านยาวควรจะใช้ $W_L/2$ แต่ในกรณีแผ่นพื้นที่ยื่นในรูปที่ 8.3 ต้องคิดน้ำหนักทั้งหมดของแผ่นพื้นลงบนคาน

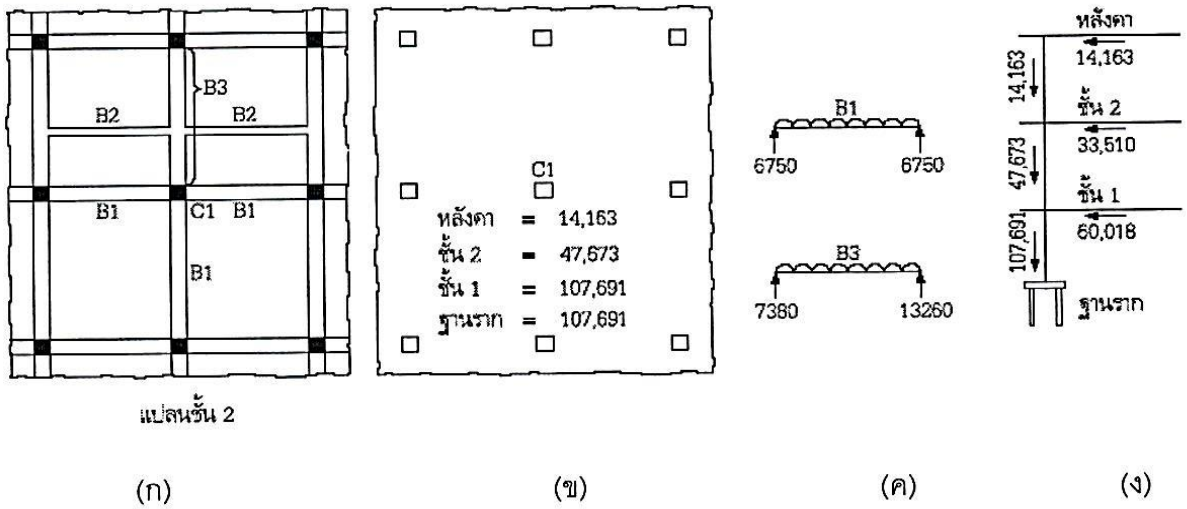


รูปที่ 8.3 ตัวอย่างการพิจารณากระจายน้ำหนักในแผ่นพื้นที่ยื่น
ที่มา: สมศักดิ์ คำปลิว, 2547

3) การถ่ายน้ำหนักจากผนังลงสู่คาน สำหรับการถ่ายน้ำหนักจากผนังชนิดต่างๆ ให้แก่คานนั้นได้แสดงรายละเอียดในหัวข้อน้ำหนักบรรทุกในโมดูลที่ 1

8.3.2 การถ่ายน้ำหนักลงสู่เสา

การถ่ายน้ำหนักลงสู่เสา ซึ่งเสาเป็นองค์อาคารที่รับน้ำหนักในแนวดิ่งและบางครั้งต้องรับโมเมนต์ดัดด้วย การถ่ายน้ำหนักจากคานและพื้นแต่ละชั้นลงเสาที่นิยมกันมีสองวิธี ตามรูปที่ 8.4



รูปที่ 8.4 การถ่ายน้ำหนักจากพื้น คสล สู่คาน คสล. วิธีที่ 1
ที่มา: สมศักดิ์ คำปลิว, 2547

วิธีที่ 1 ตามรูปที่ 8.4(ก) ต้องการหาน้ำหนักจากพื้นและคานบนเสา c1 โยงเส้นตรงระหว่างจุดศูนย์กลาง c1 กับ c2 ลากเส้นประแบ่งครึ่งและตั้งฉากโยงเส้นตรง c1 กับ c3 ลากเส้นประแบ่งครึ่งและตั้งฉากแนวเส้นประติดกันเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 4/2+1.5 = 3.5 เมตร ยาว 4/2+4/2 = 4.00 เมตร น้ำหนักในสี่เหลี่ยมนี้จะถ่ายลงเสา สมมติ พื้น s1 และ s2 หนา 0.10 เมตร รับน้ำหนักบรรทุกจร 200 kg/m^2 คาน B2 และ B3 มีขนาด 0.15×0.50 มีกำแพงอิฐมอญก่อครึ่งแผ่นสูง 2.5 เมตร คาน B4 ขนาด 0.15×0.14 มีครีบ 0.8×0.70 ตั้งอยู่หาน้ำหนักลงบน c1 ได้ดังนี้

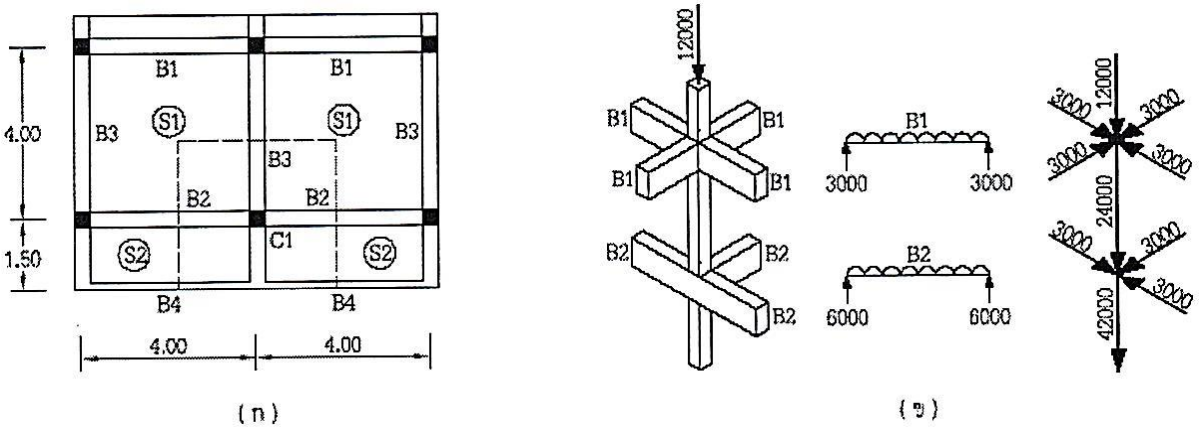
น้ำหนักจากพื้น s1 และ s2	= (2,400×0.10+200)(3.5×4.00)	= 6,160 kg
น้ำหนักจาก B2	= [2,400(0.15×0.50)+180×2.50](4.00)	= 2,520 kg
น้ำหนักจาก B3	= [2,400(0.15×0.40)+180×2.50](3.50)	= 2,205 kg
น้ำหนักจาก B4	= 2,400(0.15×0.40×0.80×0.70×(4.00)	= 1,114 kg
รวมน้ำหนักลงบน c1	= 6,160+2,520+2,205+1114	= 11,999 kg

วิธีนี้ค่อนข้างยุ่งยากและเสียเวลามากค่าที่ได้คาดเคลื่อนเล็กน้อยแต่จะมีประโยชน์ในกรณีอาคารสูงหลาย ๆ ชั้นที่เข้าบัญญัติอนุญาตให้ลดน้ำหนักบรรทุกจรเพื่อเป็นการประหยัดฐานราก

วิธีที่ 2 ตามรูปที่ 8.5 (ข) น้ำหนักจากชั้นบนลงเสา 12,000 kg kg มีคาน B1 สี่ตัวมาฝากเสา ตัวมาฝากเสาร์ต้อง ดูจากแปลนของแต่ละชั้นที่เราออกแบบไว้แล้วจากรายการคำนวณได้แรงเฉือนที่ปลาย B1 เป็น 3000 kg เสาชั้นล่างมีขายมี คาน B2 3 ตัวมาฝากเสาโดยแรงเฉือนในรายการคำนวณของ B2 เป็น 6,000 kg เขียน เขียนแผนภาพการน้ำหนักลงเสา 200 kg ได้มาจาก 12,000 + 4(3,000) และน้ำหนัก 42,000 kg ได้มาจาก 24,000 + 3(6,000) สังเกตว่าเราไม่ได้คิดน้ำหนักของตัวเสาเลยเนื่องจากน้ำหนักที่ เสาต้องรับมากกว่าน้ำหนักของตัวเสาเองมากหลายเท่าตัว และสูตรคำนวณเสาก็เผื่อส่วนปลอดภัยไวมากแล้ววิธีนี้เร็วกว่าวิธีแรกและได้น้ำหนักที่ถูกต้องกว่าวิธีถ่ายน้ำหนักทั้ง 2 วิธีดังกล่าวอย่างช้าในการปฏิบัติจริงวิธีที่เร็วที่สุดและง่ายที่สุดให้ใช้ทั้งสองวิธีผสมกันและดัดแปลงอีกเล็กน้อยดังนี้

1) หลังจากทำรายการคำนวณพื้นและคานทุกชั้นเสร็จแล้วขณะนี้จะมีเป็นโครงสร้างในกระดาษลอกลายรายการคำนวณ พื้น,คาน,บันได,ครีบ ห้องมั่นคง ฯลฯ ให้ใช้กระดาษลอกลายภาพแบบแต่ละชั้นเขียนเฉพาะหัวเสาทุกต้นที่มีไม่เกี่ยวกับเสาเอ็น

2) เอาไปหัวเสาเทียบกับแฟนแต่ละชั้นโดยเริ่มจากหลังคาลงมาในแต่ละชั้นจะมีคานต่าง ๆ ไปฝากเสาที่กำลังพิจารณาเปิดรายการคำนวณของคานที่ฝากเสาอยู่นั้นจะมีแรงเฉือนที่ปลายคานหรือน้ำหนักที่ถ่ายลงเสารวมน้ำหนักจากปลายทางทั้งหมดที่ฝากเสาและเขียนไว้ข้าง ๆ หัวเสาในแปลน



รูปที่ 8.5 การถ่ายน้ำหนักจากพื้น คสล สู่คาน คสล.
ที่มา: สมศักดิ์ คำปลิว, 2547

3. ในชั้นถัดลงไปเมื่อรวมน้ำหนักจากปลายคานแล้วให้รวมกับน้ำหนักในเสาบนด้วยทำจนถึงฐานรากแล้วจึงจะทำการออกแบบเสาต่อไป

พิจารณารูปที่ 8.5(ก) เป็นแปลนชั้น 2 ของอาคารหลังหนึ่ง ของอาคารหลังหนึ่งต้อง C1 ในรูปที่ 8.5 (ข) เป็นปัญหาหัวเสาไม่แสดงคานพิจารณารูปที่ 8.5(ก) เสาร์ C1 มีคาน B1 สามตัวและ คาน B3 หนึ่งตัวมาฝาก รูปที่ 8.5(ค) ได้จากรายการคำนวณคาน สมมุติชั้นหลังคามีน้ำหนักลงเสา C1 จำนวน 14,163 kg เขียนในรูปที่ 8.5 (ข) และ(ง) เสาระหว่างชั้น 2 กับหลังคาเป็นผู้รับไว้ต่อไปดูรูปที่ 8.5 (ก) น้ำหนัก จากคาน B1 และ B3 ถ่ายลงเสา C1 คือ 3(6,750) + 13,260 = 33,510kg ให้สังเกต B3 ในรูปที่ 8.5(ก) มีคาน B2 ฝากค่อนมาทาง C1 เมื่อดูรูปที่ 8.4(ก) เราจึงใช้น้ำหนัก 13,260 kg แทนที่จะใช้ 7,380 kg เขียนน้ำหนักชั้น 2 ในรูปที่ 8.5(ข) เป็น 47,673 kg เสาระหว่างชั้น 2 กับชั้น 1 จะเป็นผู้รับเอาไว้ตามรูปที่ 8.5

สมมติ น้ำหนักจากคานชั้น 1 ถ่ายลงเสา C1 เป็น 60,018 kg ตามรูปที่ 8.5(ง) รวมกับน้ำหนักจากเสาระหว่างชั้น 1 กับชั้น 2 เป็น 60,018 + 47,673 = 107,691 kg เขียนใน แปลนหัวเสาตามรูปที่ 8.5(ข) โดยตอม่อระหว่างฐานรากกับชั้น 1 เป็นผู้รับไว้ดังรูปที่ 8.5(ง) ในกรณีนี้ไม่มีห้องใต้ดินหรือถังเก็บน้ำใต้พื้นเราจึงเขียนน้ำหนักลงฐานรากเป็น 107,691 kg ตามรูปที่ 8.5(ข) เสาต้นอื่น ๆก็หาได้ในทำนองเดียวกัน

8.3.3 การถ่ายน้ำหนักลงสู่ฐานรากและชั้นดิน

ฐานรากเป็นส่วนที่สำคัญของอาคารในการแบกรับน้ำหนักบรรทุกสะสมของโครงสร้างตั้งแต่หลังคาลงมารวมกับน้ำหนักแต่ละชั้นจากบนสุดลงมาจนถึงข้างล่างโดยถ่ายน้ำหนักผ่านเสาอาคารแต่ละชั้นลงมาอย่างต่อหม้อและจากตอม่อลงสู่ฐานรากและฐานรากจะทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากตอม่อลงสู่ดิน การถ่ายน้ำหนักของตัวอาคารผ่านฐานรากลงสู่พื้นดินอาจจะกระทำได้ใน 2 ลักษณะคือโดยการวางฐานรากบนชั้นดินที่รับน้ำหนักในกรณีนี้ชั้นดินใต้ฐานรากจะต้องมีคุณสมบัติที่ดีและสามารถต้านทานหน่วยแรงที่เกิดใต้ฐานรากได้โดยปลอดภัยฐานรากชนิดนี้เรียกว่าฐานรากแผ่สำหรับการก่อสร้างในบริเวณที่ชั้นดินมีคุณสมบัติการรับน้ำหนักได้น้อยเช่นชั้นดินที่เป็นดินเหนียวการออกแบบโดยใช้ฐานรากแผ่จะไม่เหมาะสมเนื่องจากต้องใช้ขนาดฐานรากที่ใหญ่มากมันเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในกรณีนี้จะต้องออกแบบโดยวางฐานรากบนเสาเข็มเพื่อใช้เสาเข็มเป็นตัวกลางในการถ่ายเทน้ำหนักจากฐานรากลงสู่ชั้นดินในระดับที่ลึกลงไปการถ่ายเทน้ำหนักของเสาเข็มเป็นไปใน 2 รูปแบบคือโดยแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวของสารเข็มกับดิน อยู่โดยรอบและโดยแรงกดที่ปลายเสาเข็มในกรณีที่ระดับของปลายเสาเข็มตั้งอยู่บนชั้นดินแข็งชั้นทรายหรือชั้นหิน

8.4 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งตัวอาคาร

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือ คสล.ทั้งตัวอาคารโดยปกติจะทำเป็นรายการคำนวณมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

ออกแบบส่วนโครงสร้างหลังคาไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างหลังคาไม้โครงสร้างหลังคาเหล็กหรือโครงสร้างหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กที่เรียกว่าดาดฟ้าในกรณีที่โครงสร้างหลังคาเป็นแบบดาดฟ้า คสล.ก็จะเริ่มทำการออกแบบแผ่นพื้นดาดฟ้า คสล.แล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่คานและเสาต่อไปตามรายละเอียดในเนื้อหาโมดูลที่ 1-2

ขั้นตอนที่ 2

ออกแบบพื้น คสล.ในกรณีที่หลังคาไม่ได้เป็นดาดฟ้า คสล. การออกแบบพื้น คสล. ก็จะทำเป็นขั้นตอนต่อจากการออกแบบโครงสร้างหลังคาไม่ว่าจะเป็นแผ่นพื้น คสล.แบบเสริมเหล็กทางเดียว แผ่นพื้นเสริมเหล็ก 2 ทางหรือแบบอื่น ๆ ก่อนที่จะถ่ายน้ำหนักลงสู่คานตามแต่กรณี ตามรายละเอียดเนื้อหาโมดูลที่ 3

ขั้นตอนที่ 3

ออกแบบบันไดเพื่อที่จะหาแรงปฏิกิริยาถ่ายให้กับคานที่รองรับบันไดทั้งด้านบนและด้านล่างตามรายละเอียดในเนื้อหาโมดูลที่ 4

ขั้นตอนที่ 4

ออกแบบคานที่ซึ่งรับน้ำหนักจากพื้นบันไดและ/หรือผนังถ้ามีตามรายละเอียดในเนื้อหาโมดูลที่ 5

ขั้นตอนที่ 5

ออกแบบเสาเมื่อเสารับน้ำหนักจากหลังคาจากพื้นและคาน ก็จะทำการคำนวณออกแบบเสาตามรายละเอียดในเนื้อหาโมดูลที่ 6

ขั้นตอนที่ 6

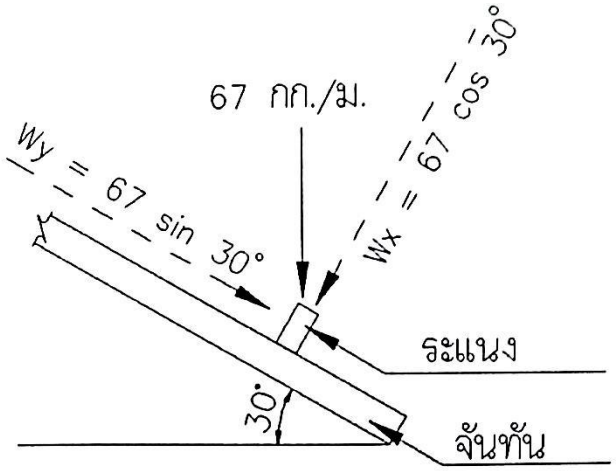
ออกแบบฐานรากเมื่อฐานรากรับน้ำหนักจากเสาตอม่อซึ่งอาจเป็นแรงในแนวแกนเพียงอย่างเดียวหรืออาจมีโมเม้นด้วยก็ทำการออกแบบฐานรากตามรายละเอียดในเนื้อหาโมดูลที่ 7 โดยอาจออกแบบเป็นฐานรากแผ่หรือฐานรากเสาเข็มซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของดินในสถานที่ก่อสร้างนั้น ๆ

ในกรณีบ้านพักอาศัยทั่วๆ ไปจะออกแบบเสาและฐานรากรวมกันแต่ในกรณีที่เป็นอาคารสูงให้นำคานและเสาที่ออกแบบไว้แล้วมาวิเคราะห์ผลของแรงลมและแรงแผ่นดินไหว ตามกฎกระทรวงด้วยเมื่อได้ทำรายการคำนวณโครงสร้างครบทั้งอาคารแล้วก็ให้เอามารวมกันทั้งหมดโดยการเรียงลำดับจากส่วนโครงสร้างหลังคาแผ่นพื้นบันไดคานเสาและฐานรากดังต่อไปนี้

8.5 ตัวอย่างการบรูณการจากบทเรียนโมดูลที่ 1-7 สู่การออกแบบคำนวณโครงสร้าง

มีขั้นตอนรายละเอียดต่อไปนี้

8.5.1 ออกแบบโครงหลังคา (โครงสร้างเหล็ก)



1) ออกแบบแป (ระแนง) ความยาวช่วงพาด = 1.0 มม.

1.1) หาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อแป (ระแนงเหล็ก)

- น้ำหนักของวัสดุมุง (กระเบื้องคอนกรีต) = 45 กก./ตร.ม. = 45 ตร.ม.
  หรือ = 3.3×4.4 = 14.52 กก./ม.
- น้ำหนักของระแนงเหล็ก = 2.38 กก./ม.
- น้ำหนักบรรทุกจร = 50 กก./ม.

รวมน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อแป = 66.9 กก./ม. ≈ 67 กก./ม.

∴ น้ำหนักที่บรรทุกในแนวแกน x = 67 *cos* 30°
= 58 กก.

∴ น้ำหนักที่บรรทุกในแนวแกน y = 67 *sin* 30°
= 33 กก.

1.2) สมมติ เลือกใช้ระแนงขนาด 25×25×1.6 มม., **w** = 2.38 กก./ม.

$S_x = S_y$ = 4.68 ซม.^{3}

1.3) หาโมเมนต์หมุนรอบแกน $x = \frac{1}{8} \times 33.5 \times 1.00 \times 1.00$

S_x = 4.19 กก.ม.

1.4) หาโมเมนต์หมุนรอบแกน $y = \frac{1}{32} \times 58 \times 1.00 \times 1.00$

M_y = 1.81 กก.ม.

1.5) หน่วยแรงอัดรอบแกน x, fb_x = 0.66×2520 = 1663.2 กก./ซม.^{2}

1.6) หน่วยแรงอัดรอบแกน y, fb_y = 0.75×2520 = 1890.00 กก./ซม.^{2}

1.7) ตรวจสอบค่าความมั่นคงจาก $\frac{M_x}{s_x\, Fb_y} + \frac{M_Y}{s_x\, Fb_y} \leq 1$

$$\frac{4.19 \times 100}{4.68 \times 1663.2} + \frac{1.82 \times 100}{4.68 \times 1890} \leq 1$$

ผลการตรวจสอบค่าความมั่นคง = 0.075 ≤ 1 → ใช้ได้

1.8) ตรวจสอบค่าการโก่งตัวจากค่าการโก่งตัวที่ยอมให้ $\Delta_{all} = \frac{L}{360}$

$= \frac{100}{360}$

∴ ค่าความโก่งที่ยอมให้ = 0.27 ซม.

1.9) ตรวจสอบค่าการโก่งที่เกิดขึ้นสูงสุด $\Delta_{max} = \frac{wL}{324EI}$

$= \frac{67.05 \times 100^4}{324 \times 2040000 \times 11.71}$

Δ_{max} = 0.0087 *ซม.* → *ใช้ได้*

∴ ใช้ระแนงเหล็กขนาด 25×25×1.6 มม. *W* = 2.38กก./ม

2) ออกแบบจันทันเหล็ก ความยาวช่วงพาด = 3.5 ม.

2.1) คำนวณหาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อจันทัน

- น้ำหนักวัสดุมุง = 11×4.4=48.4 กก./ม.

- น้ำหนักวัสดุโครงหลังคา = นน.ของระแนง + น้ำหนักของจันทัน

= 4+2.38+(1×55) = 15.02 กก./ม.

- น้ำหนักบรรทุกจร = 50 กก./ม.

รวมน้ำหนักบรรทุก = 113.42 กก./ม.

2.1.1) คำนวณหาโมเมนต์ดัดสุงสุด = $\frac{wL^2}{8}$ = 173.67 *กก.*ม.

2.1.2) คำนวณหาขนาดหน้าตัดจันทัน

- จากหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ = $0.6f_y$ เมื่อ

f_y = หน่วยแรงที่แรงครากต่ำสุด

= 2500 กก./ซม.^{2}

f_b = 1500 กก./ซม.^{2}

- **คำนวณหาโมดูลัสของหน้าตัด** (Section modulus), S_x

จาก $S_x = \frac{M(100)}{fb}$

$= \frac{173.67\times100}{1500}$ = 11.58 ซม.^{2}

2.1.3) เลือกใช้เหล็กรูป C 100×50×20×3.2 มม., = 5.5 กก./ม.

A = 7.007 ซม.^{2}, Sx = 21.3 ซม.^{2}

2.1.4) ตรวจสอบแรงเฉือน

แรงเฉือนสูงสุด $= \frac{wL}{2} = \frac{113.42 \times 3.5}{2}$

$= 198.49$ กก.

ค่าหน่วยแรงเฉือน $= \frac{V}{A} = \frac{198.49}{7.04}$

$= 28.33$ กก./ซม.^{2}

ค่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น = 28.33 กก./ซม.^{2}

ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ = $0.4f_y$ = 1,000 กก./ซม.^{2} → ใช้ได้

2.1.5) ตรวจสอบค่าการโก่งตัว

ค่าการโก่งตัว $= \frac{wL^4}{324EI} > \frac{L}{360}$

$= \frac{113.4 \times 23.5^4}{324 \times 2040000 \times 107 \times 100}$

$= 0.24$ *ซม.*

ค่าการโก่งตัวที่เกิดขึ้น $= 0.24 < \frac{350}{360} = 0.07$ ซม. → ใช้ได้

เลือกใช้จันทันเหล็กรูป C 100×50×20×3.2, *w* = 5.5 กก./ม.

A = 7.007 ซม.^{2}

3) การออกแบบตะเฆ่สันความยาวช่วงพาด = 4.00 ม.

3.1) คำนวณน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อตะเฆ่สัน

- น้ำหนักวัสดุมุง = 11×4.4×2 = 96.8 กก./ม.

- น้ำหนักวัสดุโครงหลังคา = น้ำหนักของระแนง+น้ำหนักของจันทัน+น้ำหนักตะเฆ่สัน

= (4×2.38) + (2×5.14) + (2×5.5)

= 30.8 กก./ม.

น้ำหนักบรรทุกจร = 50 กก./ม.

รวมน้ำหนักบรรทุก = 177.6 กก./ม.

3.2) คำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดสุงสุด

$$= \frac{wL^2}{8} = \frac{177.6 \times 4.4^2}{8} = 355.2 \text{ กก.ม.}$$

3.3) คำนวณหาขนาดหน้าตัดตะเฆ่สัน

- จากหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ f_b = 0.6 f_y

f_b = 0.6×2500 = 1500กก./ ซม.^{2}

- คำนวณหาโมดูลัสของหน้าตัด (Section Modulus) , S_x

จาก $S_x = \frac{M(100)}{fb}$

$= \frac{355.2 \times 100}{1500}$ = 23.68 ซม.^{2}

3.4) เลือกใช้เหล็ก 2- 100×50×2.3 มม., w = 4.06 กก./ม.

A = 5.172 ซม^2, S_x=16.1

3.5) ตรวจสอบแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

- จากแรงเฉือนสูงสุด $V = \frac{wL^2}{2} = \frac{177.6 \times 4^2}{2}$

$= 355.2$ กก.

- ค่าหน่วยแรงเฉือน $= \frac{V}{A} = \frac{355.2}{10.344}$

$= 34.34$ กก./ ซม.^{2}

∴ ค่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น $= 34.34$ กก./ซม.^{2} < ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ $= 0.4f_y = 1000$กก./ซม.^{2} → **ใช้ได้**

3.6) ตรวจสอบค่าการโก่งตัว

จากค่าการโก่งตัว (Δ_{max}) $= \frac{wL^4}{324EI} > \frac{L}{360}$

$= \frac{177.6 \times 4^4}{324 \times 2040000 \times 161.4 \times 100}$

$= 0.00000043$ ซม. $< \frac{400}{360} = 1.11$ ซม. → **ใช้ได้**

สรุป เลือกใช้ตะเฆ่สันเหล็กรูปตัวซี 2-C 100×50×20×2.3 มม., W = 4.06 กก./ม.

A = 5.172 ซม.^{2} , $S_x = 16.1$ ซม.^{3}

8.5.2 การออกแบบพื้น (Floor & Slab)

1) พื้นวางบนดิน (GS)

สมมุติให้พื้นหนา 0.06 ม.

ออกแบบเหล็กเสริมกันร้าว A_{st} = 0.0025 × b×d

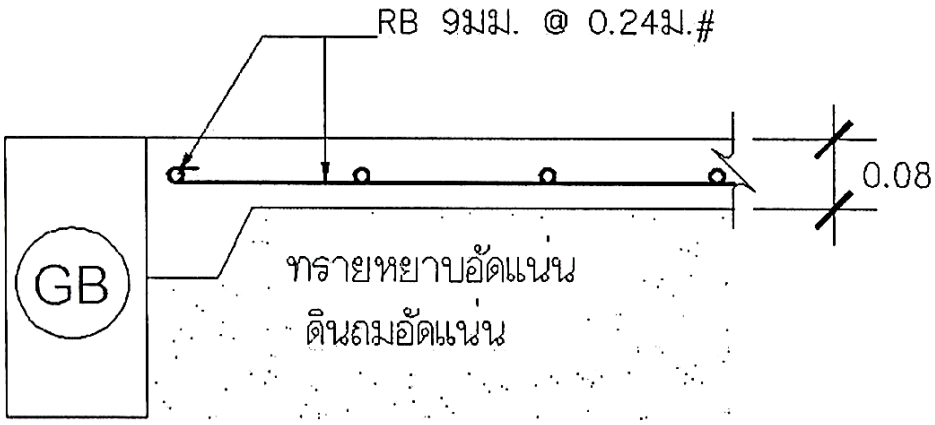
เมื่อ กำหนดให้

B = ความกว้างของแผ่นพื้น =100 ซม.

d = ความหนาของแผ่นพื้น = 8 ซม.

∴ เหล็กเสริมกันร้าว A_{st}0.0025 × 100×8 = (A_s = 2.54 ซม.^{2})

เลือกใช้เหล็กขนาดRB9 มม. @0.30 ม.(A_s = 2.54 ซม^2)2 ซม.^{2} → **ใช้ได้** ø 9 มม. @ 0.30 ม. (A_s = 2.54 ซม.^{2})



2) พื้นสำเร็จรูปแบบท้องเรียบ

2.1) คำนวณหาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อพื้น

- น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ของบ้านพักอาศัย

ตามเทศบัญญัติ = 150 กก./ม.^{2}

- น้ำหนักวัสดุตกแต่งผิวพื้น = 0.050×1.00×1.00×2400

= 120 กก/ม.^{2}

รวมน้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำต่อพื้น = 270 กก/ม.^{2}

เลือกใช้แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงชนิดห้องเรียบกว้าง 35 ซม. หนา 5 ซม. เสริมลวดเหล็กรับแรงดึงสูง 5-ø4 มม. รับน้ำหนักบรรทุกจรได้ไม่น้อยกว่า 350 กก/ม.^{2}

2.2) หาเหล็กกันร้าว

จากเหล็กเสริมร้าว (A_s) = 0.00250×b×d

∴ พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมกันร้าว, Ast = 1.25 ซม.^{2}

เลือกใช้เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ Ø6มม.@25ม. (A_{st} = 1.42 ซม^2) 1.25 ซม.^{2} → **ใช้ได้**

2.3) หาเหล็กเสริมต้านโมเมนต์ลบ

จากโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น , M = $\frac{wL^2}{10}$ เมื่อ

M = โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น; ≠ กก.-ม.

W = น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อแผ่นพื้นหาได้จาก

W_1 = น้ำหนักบรรทุกจรบนแผ่นพื้น = 270 *กก./*ม.^{2}

W_2 = น้ำหนักของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง+คอนกรีตทับหน้า

= 0.10×1.00×1.00×2400

= 240 กก./ม.^{2}

น้ำหนักที่กระทำต่อพื้นทั้งหมด = 270+240 = 510 *กก./ม.*^{2}

L = ความยาวของช่วงคานด้านสั้น = 350 ม.

แทนค่า $M = \frac{210\times2.5\times3.5^2}{10}$ = 624.75 กก.-ม.

2.4) หาพื้นหน้าตัดเหล็กเสริมต้านโมเมนต์ลบ

จาก $A_s = \frac{M}{f_s\, jd}$

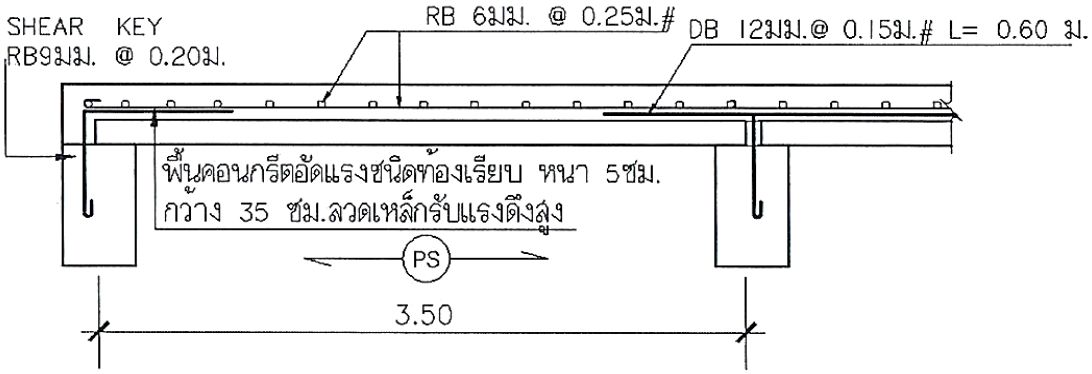
$= \frac{624.75\times10}{120\times0.876\times75}$ = 7.92 ซม.^{2}

2.5) เลือกใช้เหล็กเสริมโมเมนต์ลบ

เลือกใช้เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ RB12 มม. ระยะห่าง = 0.15 ม$^{\#}$

$A_s = 9.05$ ซม.$^2 > 7.92$ ซม.^{2}

2.6) เขียนรูปตัดแสดงรายละเอียดพื้น



3) ออกแบบพื้นเทในที่ ขนาด 2.00 x 3.50 ซม.

ความยาวด้านสั้น = 2.00 ม. (S)

ความยาวด้านยาว = 3.50 ม. (L)

3.1) ตรวจสอบระบบพื้น

$$m = \frac{S}{L},\ m > 0.5\ ,(two\ way\ slab),\ m < 0.5\ ,(one\ way\ slab)$$

หา $m = \frac{2}{3.50} = 0.57 > 0.5, (two\ way\ slab)$

3.2) ประมาณความหนาของพื้น

จาก $d = \frac{1}{180}$ (หาผลรวมของเส้นรูปพื้น)

$$d = \frac{1}{180}\ [2 + 2 + 3.5 + 3.5] = 0.06 \text{ ม.}$$

∴ ให้ความหนา = 10 ซม.

กำหนดระยะหุ้มของคอนกรีตต่อเหล็กเสริม = 2.5 ซม.

$$\therefore\ d = 0.10 - 0.025 \text{ ม.}$$

ความลึกประสิทธิผล = 0.075 ม.

3.3) หาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อพื้น S

- น้ำหนักบรรทุกตายตัว $= 0.10 \times 1.00 \times 1.00 \times 2400 = 240$ กก./ม^2
- น้ำหนักบรรทุกจร (อาคารพักอาศัย) $= 150$ กก./ม^2
- น้ำหนักวัสดุตกแต่งผิว $= 0.50 \times 1.00 \times 1.00 \times 2400 = 120$ กก./ม^2

รวมน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อพื้น $= 510$ กก./ม^2

3.4) หาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น

เนื่องจากเป็นพื้นไม่ต่อเนื่องทั้ง4ด้าน ค่า สปส. ของโมเมนต์มีค่าดังนี้ m = 0.57 พิจารณาที่ ค่า สปส. ของโมเมนต์ = *0.6* จะได้ค่า สปส. ของโมเมนต์ลบด้านสั้น $C_{-s} = 0.053$ ค่า สปส. ของโมเมนต์ลบด้านยาว $C_{+L} = 0.050$

พิจารณาด้านสั้น โมเมนต์ดัดสูงสุดด้านสั้น = 0.083x510x2x2 = 169.32 กก.-ม.

คำนวณหาพื้นหน้าตัดเหล็กเสริมพื้นด้านสั้น

จาก $A_s = \frac{M}{f_s jd}$

$= \frac{169.32 \times 100}{1200 \times 0.876 \times 7.5} = 2.15$ ซม^2

เลือกขนาดของเหล็กเสริมพื้นด้านสั้นใช้ RB6 มม. @ **0.125**ม.$^{\#}$ → ใช้ได้

พิจารณาด้านยาว

ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดของแผ่นพื้นด้านยาว = 0.050 x 510 x 2 x 2

M = 102 กก.-ม.

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมพื้นด้านยาว

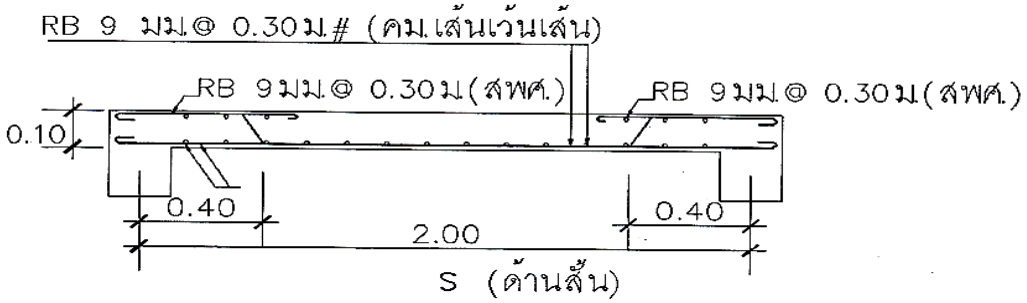
$A_s = \frac{M}{f_s jd}$

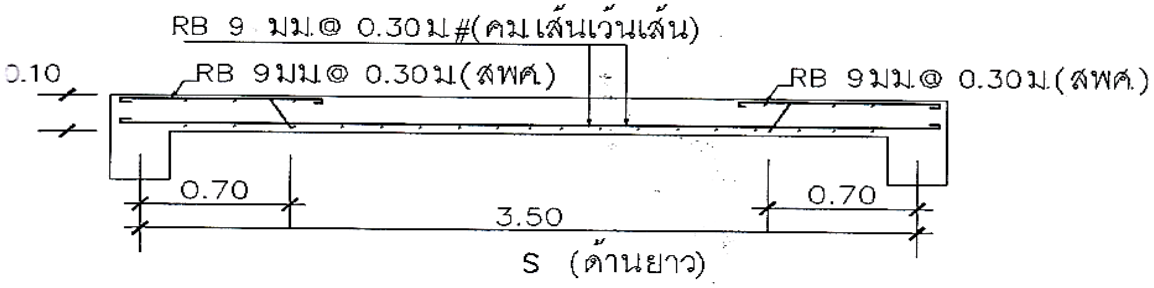
$= \frac{102 \times 100}{1200 \times 0.876 \times 7.5} = 1.30$ ซม^2

เลือกขนาดของเหล็กเสริมพื้นด้านยาวใช้ *RB6* มม. *@ 20* ม.$^{\#}$

$A_s = 1.40$ ซม^2 > 1.30 ซม.^{2} → ใช้ได้

3.5) เขียนรูปตัดแผ่นพื้นแสดงรายละเอียดเหล็กเสริม





หมายเหตุ (คม. = เหล็กเสริมพิเศษ คอม้า

(สพศ.) = เหล็กเสริมพิเศษ

8.5.3. ออกแบบบันได

ช่วงพาดบันได = 2.50 ม.

1) ประมาณความหนาบันได จาก $\boldsymbol{d} = \dfrac{\text{ช่วงพาดบันได}}{\mathbf{20}}$

$$\boldsymbol{d} = \frac{2.50}{20} = 0.125 \text{ ม.}$$

เลือกความหนาบันได = 0.16ม.

กำหนดให้ระยะหุ้มเหล็กเสริม = 2.5 ซม.

∴ ค่าความลึกประสิทธิผลของบันได = 16 - 2.5 = 13.5 ซม.

2) หาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อบันได

2.1) น้ำหนักของพื้นบันได $= 0.16 \times 0.10 \times 2400 = 384$ กก./ม.^{2}

2.2) น้ำหนักของขั้นบันได $= \frac{1}{2} \times 0.18 \times 0.25 \times 2400 \times 1.0 \times 4 = 216$ กก./ม.^{2}

2.3) น้ำหนักบรรทุกจร $= 200$ กก./ม.^{2}

รวมน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อบันได $= 800$ กก./ม.^{2}

3) คำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด

$$M = \frac{wL^2}{8}$$

$$= \frac{800 \times 2.5 \times 2.5}{8} = 625 \text{ กก./ม.}^2$$

4) ตรวจสอบค่าความลึกประสิทธิผล

$$d = \sqrt{\frac{M}{Rb}}$$

$$= \sqrt{\frac{625 \times 100}{9.36 \times 100}} = 8.17 \text{ ซม.}$$

ค่า d จากการคำนวณ $= 8.17$ ซม. < 13.5 ซม. → ใช้ได้

5) คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริม จาก

$$A_s = \frac{M}{f_s jd}$$

$$= \frac{625\times100}{1500\times0.892\times13.5} \quad = 3.46 \text{ ซม.}^2$$

6) **เลือกใช้เหล็กเสริมบันได**

เลือกใช้ *DB 12* มม. *@ 0.20*ม. $A_s = 5.65$ ซม.$^2 > 3.46$ ซม.^{2} → **ใช้ได้**

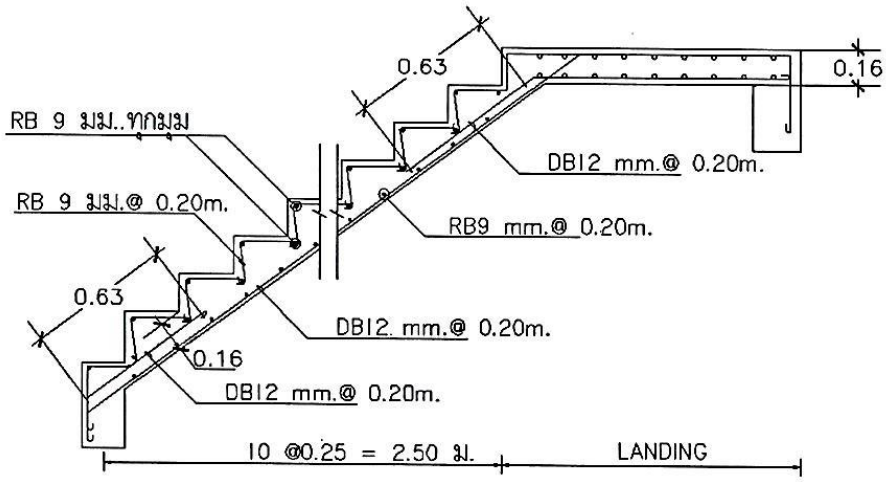
7) คำนวณหาเหล็กเสริมกันร้าว

$$A_s = 0.0025 \times b \times d$$

$$= 0.0025 \times 100 \times 16 = 4 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ RB9 *มม.* @ 0.15 ม. A_s = **4.27** ซม.^{2} > **4** ซม.^{2} → ใช้ได้

8) เขียนรูปแสดงการเสริมเหล็กบันได



8.5.4. ออกแบบคาน

1) คานรับโครงหลังคา *RB* ความยาวช่วง = 3.50 ม.

1.1) สมมุติขนาดหน้าตัดคาน = 0.15×0.30 ม.

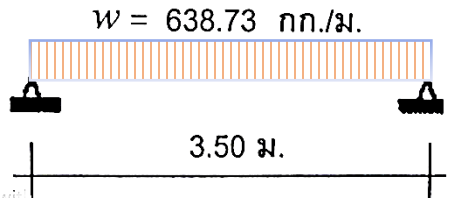
น้ำหนักบรรทุกของคาน = 0.15×0.35×2400 = 126 กก./ม.^{2}

น้ำหนักบรรทุกจากโครงหลังคา = น้ำหนักบรรทุกของจันทัน $\times \frac{\text{ความยาวจันทัน}}{2}$

$= 143.42 \times \left[\left(\frac{4.75}{2}\right) + 1.20\right]$

$= 512.7265$ กก./ม.

∴ รวมน้ำหนักบรรทุก = 638.73 กก./ม.



2) หาค่าโมนต์ดัดสูงสุด

$\frac{638.73 \times 3.5 \times 3.5}{8}$ = **978.05 กก.-ม.**

3) หาค่าโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต

$M_c = Rbd^2$

$= 9.36 \times 0.15 \times 32.5 \times 32.5$

$M_c = 1{,}482.075$ กก.–ม. $>$ 978.05 กก.–ม. → ใช้ได้

4) ออกแบบเหล็กเสริมต้านทานแรงดึง

$$A_s = \frac{M}{f_s jd}$$

$$= \frac{678.05 \times 100}{1500 \times 0.892 \times 32.5} = 1.56 \text{ ซม}^2$$

5) เลือกใช้เหล็กเสริมต้านทานแรงดึง

ใช้ *DB12* มม. $A_s = 2.26$ ซม.^{2}

6) ตรวจสอบค่าแรงเฉือนสูงสุด

จาก $V_{max} = \frac{wL}{2} - w.d$

$$= (638.73 \times 3.5) - (638.73 \times 0.325)$$

$$= 910.9025 \text{ กก.}$$

7) จรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

จาก $V_s = \frac{V}{bd}$

$$= \frac{910.9025}{15\times} = 1.87 \text{ กก./ซม.}^2$$

8) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (V_c)

จาก $V_c = 0.29\sqrt{f_c'}$

$$= 0.29\sqrt{145} = 3.49 \text{ กก./ซม.}^2$$

ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (V_c) มากกว่าค่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นแสดงว่าคานคอนกรีตสามารถต้านทานแรงเฉือนได้ไม่จำเป็นต้องออกแบบเหล็กปลอกรับแรงเฉือนทั้งนี้ข้อกำหนดด้านวิศวกรรมสถานแห่งประเทศ กำหนดให้ลือกขนาดเหล็กปอกเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 6 มม. และระยะห่างของเหล็กปอกไม่เกิน *b* ให้เหล็กปอก *RB 6* มม. @ 0.15 ม.

9) ตรวจสอบค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้

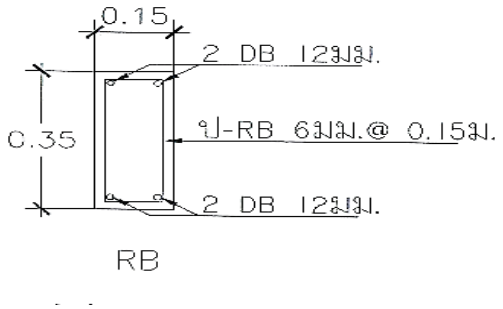
เมื่อ u = หน่วยแรงที่ยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ของเหล็กข้ออ้อย

$$u = 2.29\frac{\sqrt{f_c'}}{D}$$

$$= 2.29\frac{\sqrt{145}}{1.2} = 22.98 \text{ กก./ซม.}^2$$

ตามข้อกำหนดของ วสท. กำหนดให้ค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้มีค่าไม่เกิน 25 กก./ซม.^{2} สำหรับเหล็กข้ออ้อยถือว่าใช้ได้

10) เขียนรูปตัดแสดงการเสริมเหล็ก คาน *RB1*



8.5.5 ออกแบบคานระดับพื้น ชั้นที่ 1

คานคอนดิน (*GB1*) ความยาวช่วง = *2.50* ม. (เป็นคานช่วงเดียว)

1) สมมุติให้หน้าตัดคาน = *0.15×0.30* ม.

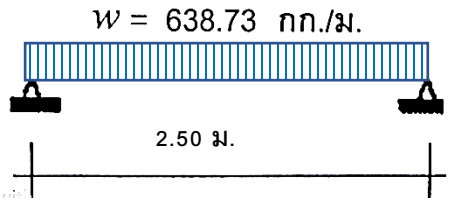
- หาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน

- น้ำหนักบรรทุกตายตัวของคาน = *0.15×0.30×2400 =108* กก./ม.

- น้ำหนักบรรทุกของผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูนเรียบสูง 3.00ม.

= *180×3.00 =540* กก./ม.

รวมน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน = 638.73 กก./ม.



2) คำนวณหาโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น

$$M = \frac{wL^2}{8}$$

$$M = \frac{648 \times 2.5 \times 2.5}{8} = 506.25 \text{ กก./ม.}$$

3) คำนวณหาโมเมนต์ต้านโดยคอนกรีตคาน

$$M_c = Rbd^2$$

$$= 9.36 \times 0.15 \times 27.5 \times 27.5$$

$$= 1061.18 \text{ กก.–ม} > M$$

แสดงว่าคานสามารถต้านทานโมเมนต์ที่เกิดขึ้นได้

4) ออกแบบเหล็กเสริม

$$\text{จาก } A_s = \frac{M}{f_s jd}$$

$$= \frac{506.25\times100}{1500\times0.892\times27.5} = 1.49 \text{ ซม}^2$$

5) เลือกเหล็กเสริมคาน ใช้ *2-DB12* มม. $A_s = 2.26$ ซม^2 > 1.49 ซม^2 → ใช้ได้

6) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนสูงสุด

$$\text{จาก } = \frac{wL}{2} - w.d$$

$$V_{max} = \frac{648\times25}{2} - 648\times0.275 = 631.8 \text{ กก.}$$

7) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

$$v = \frac{V}{bd}$$

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น $v = \frac{631.8}{15\times27.5} = 1.53$ กก./ซม.^{2}

8) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

$$v_c = 0.29\sqrt{f_c'} = 0.29\sqrt{145} = 3.49 \text{ กก./ซม.}^2$$

สรุปค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (v_c) มีค่ามากกว่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น(v)แสดงว่าคานคอนกรีตสามารถต้านทานแรงเฉือนได้ไม่จำเป็นต้องออกแบบเหล็กปอกรับแรงเฉือน ทั้งนี้ข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดให้เลือกขนาดของเหล็กปลอกเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยไปกว่า 6 มม. และระยะห่างเหล็กปอกไม่น้อยกว่า b ใช้เหล็กปลอก *RB 6* มม. *@ 0.15* ม.

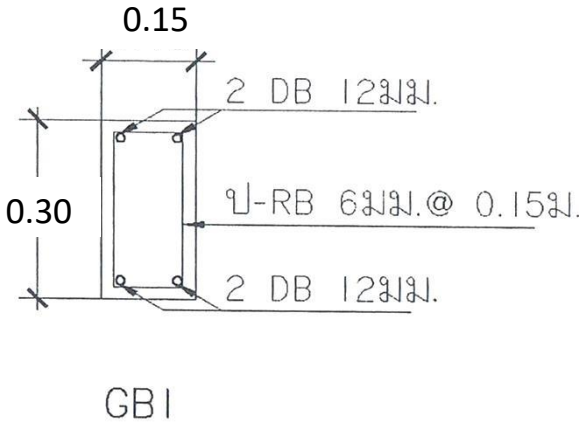
9) ตรวจสอบค่าแรงที่ยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ (u)

$$V_c = 0.29\sqrt{f'_c}$$

$$= 0.29\sqrt{\frac{145}{2}} = 22.98 \text{ กก./ซม.}^2$$

จากข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้มีค่าไม่เกิน 22 กก./ซม.^{2} **สำหรับเหล็กข้ออ้อย แสดงว่าที่เกิดขึ้นอยู่ในเกณฑ์** → **ใช้ได้**

10) **เขียนรูปการเสริมเหล็ก GB1**



GB1

8.5.6 ออกแบบคานคอดิน (*GB2*) ความยาว 3.50 ม.เป็นคานต่อเนื่อง

1) สมมุติหน้าตัดคาน 0.15×0.35 ม.

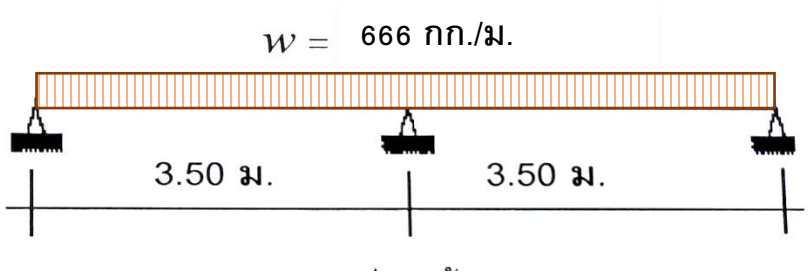
-หาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน

-น้ำหนักบรรทุกตายตัวของคาน = *0.15×0.35×2400* = 126 กก./ม.

-น้ำหนักบรรทุกของผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูนเรียบสูง 3.00 ม.

= *180×3.00 = 540* กก./ม.

รวมน้ำหนักบรรทุกของคาน *GB2* = 666 กก./ม.



2) คำนวณหาโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น

$$M = \frac{wL^2}{9}$$

โมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น $M = \frac{666\times3.5^2}{9} = 906.5$ กก.-ม.

3) คำนวณหาโมเมนต์ต้านโดยคอนกรีต

$$M_c = Rbd^2$$

$$= 9.36 \times 15 \times 32.5^2$$

โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต = 1482.975 กก.-ม

แสดงว่าคานคอนกรีตสามารถต้านทานโมเมนต์ที่เกิดขึ้นได้

4) ออกแบบเหล็กเสริม

จาก $A_s = \frac{M}{f_s jd}$

$$= \frac{906.5 \times 100}{1500 \times 0.892 \times 32.5} = 2.08 \text{ ซม}^2$$

5) เลือกเหล็กเสริมคานใช้ *2*-DB12 มม. $A_s = 2.26 \text{ซม}^2 > 2.08 \text{ ซม}^2 \rightarrow$ ใช้ได้

6) ตรวจสอบค่าแรงเฉือนสูงสุด

จาก $V_{max} = \frac{wL}{2} - w.d$

$$= \frac{666 \times 3.5}{2} - 648 \times 3.25$$

$$= 949.05 \text{ กก.}$$

7) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

$$v = \frac{V}{bd}$$

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น $\boldsymbol{v} = \frac{949.05}{15 \times 32.5} = 1.95$ กก./ซม.^{2}

8) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

$$V_c = 0.29\sqrt{f_c'}$$

$$= 0.29\sqrt{145} = 3.49 \text{ กก./ซม.}^2 > \boldsymbol{v} = 1.95 \text{ กก./ซม.}^2 \rightarrow \text{ใช้ได้}$$

สรุปค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (V_c)มีค่ามากกว่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น $(\boldsymbol{v})$ แสดงว่าคานคอนกรีตสามารถต้านทานแรงเฉือนได้ไม่จำเป็นต้องออกแบบเหล็กปอกรับแรงเฉือน ทั้งนี้ข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดให้เลือกขนาดของเหล็กปลอกเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยไปกว่า 6 มม. และระยะห่างเหล็กปอกไม่น้อยกว่า *b* หรือ *d*/2 ***ใช้เหล็กปลอก*** RB 6 *มม.* @ 0.15 *ม.*

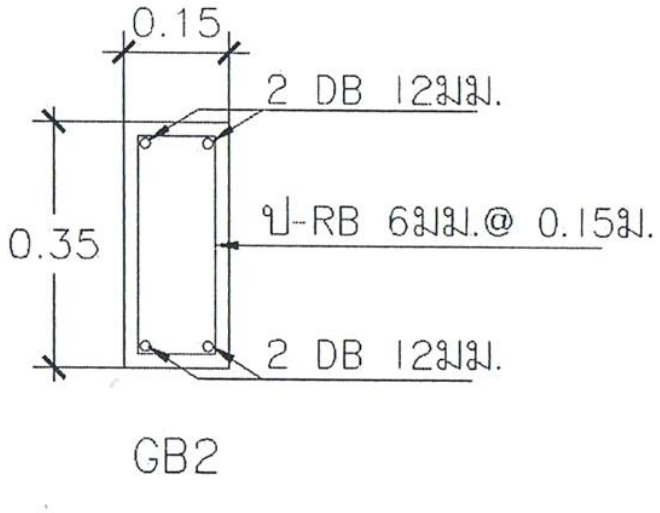
9) ตรวจสอบค่าแรงที่ยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ (u)

$$u = 2.29\sqrt{f'_c}$$

$$= 2.29\sqrt{\frac{145}{2}} \quad = \quad 22.98 \text{ กก./ซม.}^2$$

จากข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้มีค่าไม่เกิน 25 กก./ซม.^{2} สำหรับเหล็กข้ออ้อย แสดงว่าที่เกิดขึ้นอยู่ในเกณฑ์ → ใช้ได้

10) เขียนรูปแสดงเสริมเหล็ก *GB2*



GB2

8.5.7 ออกแบบคานพื้นชั้น 2

1) คาน *B1* ความยาวช่วงคาน = *2.5* ม. (คานช่วงเดียว)

สมมุติให้หน้าตัดคาน 0.15 × 0.35ม.

- หาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน

- น้ำหนักบรรทุกตายตัวของคาน = 0.15×0.35×2400 =126 กก./ม.

- น้ำหนักบรรทุกของผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูนเรียบสูง 3.00 ม.

= 180×3.00 = 540 กก./ม.

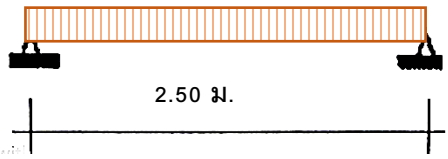
- น้ำหนักของพื้น $S_1 = \frac{ws}{3}\left(\frac{3-m^2}{2}\right)$

$$= \frac{510 \times 2}{3}\left[\frac{3-(0.57)^2}{2}\right]$$

= 452.2 **กก./ม.**

รวมน้ำหนักบรรทุกของคาน B_1 = 1,118.2 กก./ม.

w = 1,118.2 กก./ม.



2) คำนวณหาโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น

จาก $M = \frac{wL^2}{8}$

$$= \frac{1118.2 \times 2.5 \times 2.5}{8}$$

โมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น M = 873.6 กก./ม.

3) คำนวณหาโมเมนต์ต้านโดยคอนกรีตคาน

จาก $M_c = Rbd^2$

$= 9.36 \times 0.15 \times 32.5 \times 32.5$

โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต $= 1482.98$ กก.-ม

ค่า $M_c > M$ แสดงว่าคานคอนกรีตสามารถต้านทานโมเมนต์ที่เกิดขึ้นได้

4) ออกแบบเหล็กเสริม

จาก $A_s = \frac{M}{f_s jd}$

$= \frac{873.6 \times 100}{1500 \times 0.892 \times 32.5} = 2.0$ ซม^2

5) เลือกเหล็กเสริมคานใช้2-*DB12* มม. $A_s = 2.26 > 2.02$ ซม^2 → ใช้ได้

6) ตรวจสอบค่าแรงเฉือนสูงสุด

$$V_{max} = \frac{wL}{2} - w.d$$

$$= \frac{1118.2 \times 2.5}{2} - 1118.2 \times 0.325$$

$= 1034.34$ กก.

7) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

$$v = \frac{V}{bd}$$

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น $v = \frac{1034.34}{15 \times 32.5} = 2.12$ กก./ซม.^{2}

8) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

$$V_c = 0.29\sqrt{f'_c} = 0.29\sqrt{145} = 3.49 \text{ กก./ซม.}^2$$

สรุปค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (V_c) มีค่ามากกว่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น (v) แสดงว่าคานคอนกรีตสามารถต้านทานแรงเฉือนได้ไม่จำเป็นต้องออกแบบเหล็กปอกรับแรงเฉือน ทั้งนี้ข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดให้เลือกขนาดของเหล็กปลอกเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยไปกว่า 6 มม. และระยะห่างเหล็กปอกไม่น้อยกว่า *b* หรือ *d/2* **ใช้เหล็กปลอก *RB 6* มม. *@ 0.15* ม.**

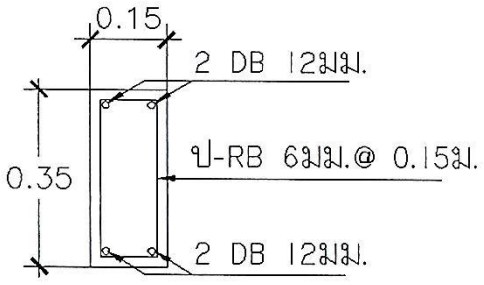
9) ตรวจสอบค่าแรงที่ยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ (u)

$$u = 2.29\sqrt{f'_c}$$

$$= 2.29\sqrt{\frac{145}{2}} = 22.98 \text{ กก./ซม.}^2$$

จากข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้มีค่าไม่เกิน 25 กก./ซม.^{2}สำหรับเหล็กข้ออ้อย แสดงว่าที่เกิดขึ้นอยู่ในเกณฑ์→ ใช้ได้

10) เขียนรูปแสดงเสริมเหล็ก *B*1



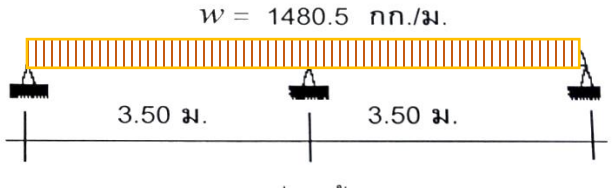
B1

8.5.8 คาน B_2 ความยาวช่วงคาน = 3.50ม.(คานต่อเนื่อง)

1) สมมุติให้หน้าตัดคาน 0.15×0.35 ม.

- หาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน
- น้ำหนักบรรทุกตายตัวของคาน = *0.15×0.35×2400* = 126 กก./ม.
- น้ำหนักบรรทุกของผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูนเรียบ = *180×3.00 = 540* กก./ม.
- น้ำหนักของพื้น S_3 = 0.10×0.55×2400=132 *กก./ม.*
- น้ำหนักของพื้น P = 390×1.75 = *682.5* กก./ม.

∴ รวมน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน = 1480.5 กก./ม.



2) คำนวณหาโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น

จาก $M = \frac{wL^2}{9}$

$= \frac{1480.5 \times 3.5 \times 3.5}{9}$

ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น = 2,014.13 กก./ม.

3) คำนวณหาโมเมนต์ต้านโดยคอนกรีต

จาก $M_c = Rbd^2$

$= 9.36 \times 15 \times 32.5 \times 32.5$

ค่าโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต = *1,482.98* กก.-ม

∴ ค่า $M_c > M$ **แสดงว่าคานไม่สามารถต้านทานโมเมนต์ที่เกิดขึ้นได้ ต้องออกแบบเหล็กเสริมช่วยในการต้านทาน**

4) ออกแบบเหล็กเสริม

$A_s = A_{s1} + A_{s2}$ เมื่อ

A_{s1} = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมส่วนที่คอนกรีตต้านทานแรงโมเมนต์

$$A_{s1} = \frac{M}{f_s jd}$$

$$= \frac{1482.98 \times 100}{1500 \times 0.892 \times 32.5} = 3.41 \text{ ซม}^2$$

A_{s2} = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมส่วนที่ต้านทานแรงโมเมนต์ส่วนเกิน

$$= \frac{M_1}{f_s(d - d')}$$

$$= \frac{(2015.13 - 1482.98) \times 100}{1500(32.5 - 2.5)} = 1.18 \text{ ซม}^2$$

พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมต้านทานแรงดึง $A_{s1} + A_{s2} = 3.41 + 1.18 = 4.592$ ซม.^{2}

5) เลือกใช้เหล็กต้านแรงดึง = *2-DB16* มม.,1DB16 *มม.*

โดยพื้นที่หน้าตัดรวม = *4.02+1.13 > 4.592* → ใช้ได้

6) ออกแบบเหล็กเสริมเพื่อต้านทานแรงอัด (โมเมนต์ลบ)

จาก $= \frac{1}{2} A_{s1} \left[\frac{1-k}{k-(d/d')}\right]$

$$= \frac{1}{2}(1.18)\left[\frac{1-0.323}{0.323-\left(\frac{2.5}{32.5}\right)}\right]$$

$$A'_s = 0.59\left[\frac{0.677}{0.25}\right] = 1.597 \text{ ซม}^2$$

7) เลือกใช้เหล็กต้านแรงอัด *2DB-16*มม. มม. $A_s = 4.05$ซม^2 > 1.597 ซม^2

8) ตรวจสอบแรงเฉือนสูงสุด

แรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นระยะ d จากฐานรองรับ

ค่าแรงเฉือนสูงสุด $V_{max} = 0.6wL - w.d$

$$= 0.6 \times 1480.5 \times 3.5 - 1480.5 \times 0.325$$

แรงเฉือนสูงสุด $V_{max} = 2627.8875$ กก.

ค่าแรงหน่วยเฉือนที่เกิดขึ้น $v = 5.391$ ซม.^{2}

9) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

$$v = \frac{V}{bd}$$

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น $v = \frac{2527.8875}{15 \times 32.5} = 5.391$ กก./ซม.^{2}

10) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

$$V_c = 0.29\sqrt{f'_c} = 0.29\sqrt{145} = 3.49 \text{ กก./ซม.}^2$$

พบว่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น (v) มีค่า 5.351 กก./ซม.^{2} มากกว่าค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (V_c) = 3.49 กก./ซม.^{2} ต้องออกแบบเหล็กปลอกเพื่อต้านทานแรงเฉือน กก./ซม.^{2}

11) ออกแบบเหล็กปลอก

- เลือกใช้เหล็กปลอกขนาด *RB6* มม.

$$S = \frac{A_v f_v d}{v'}$$

กำหนดให้ S = ระยะห่างเหล็กปลอก ซม.

A_v = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กปลอก = *0.28× 2= 0.56* ซม.^{2}

f_v = หน่วยรับแรงดึงของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน = *1200*

D = *32.5* ซม.

$V' = v - v_c$ = 2627.8875-[3.49×15×32.5]

= 926.5152 กก.

แทนค่า $S = \frac{0.56\times1200\times32.5}{926.5152} = 23.57$ ซม.

แต่ข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) กำหนดให้เหล็กเสริมเหล็กข้อยกระยะห่างไม่เกิน *b*

∴ ให้เหล็กปลอก *RB6* มม. *@ 0.15* มม.

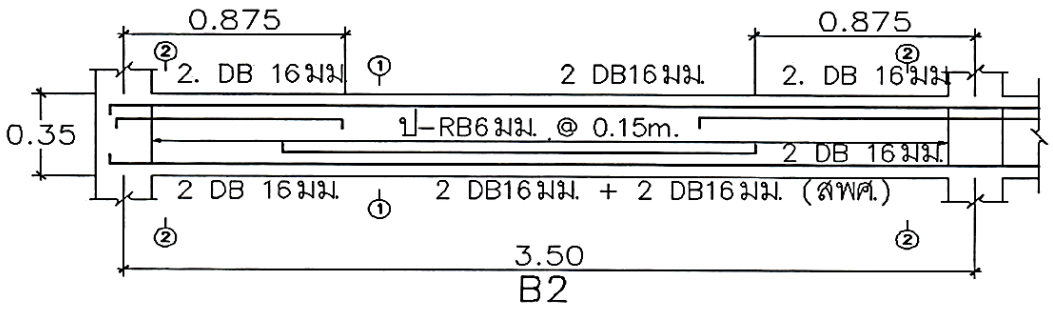
12) ตรวจสอบค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ (u)

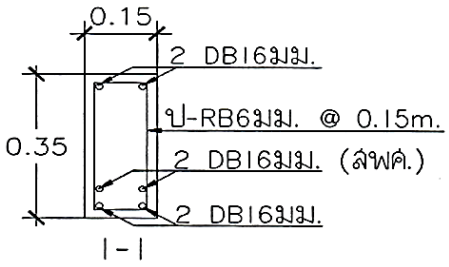
$V_c = 2.29\sqrt{f_c'}$

$= 2.29\sqrt{\frac{145}{1.6}}$ = 17.23 กก./ซม.^{2}

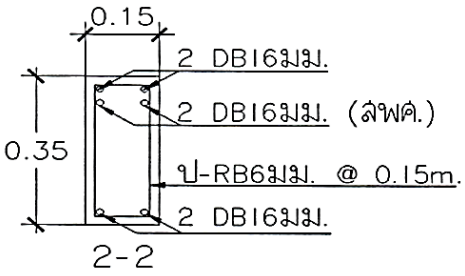
จากข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้มีค่าไม่เกิน 25 กก./ซม.^{2} สำหรับเหล็กข้ออ้อย แสดงว่าที่เกิดขึ้นอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ แต่ u =17.23 < 25 กก./ซม.^{2}

13) **เขียนรูปแสดงเสริมเหล็ก**





B2 (ช่วงกลางคาน)



B2 (บริเวณจุดรองรับ)

8.5.9 B3 ความยาวช่วงคาน 5.3 ม.

1) สมมุติให้ขนาดหน้าตัดคาน *0.20×0.50* ม.

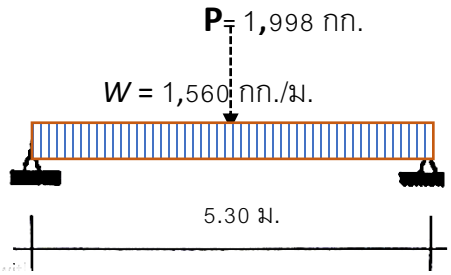
- หาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน

- น้ำหนักบรรทุกตายตัวของคาน = 0.25×0.50×2400 =24.0 กก./ม.

- น้ำหนักบรรทุกจากพื้น = 440×3 = 1320 กก./ม.

รวมน้ำหนักบรรทุกบนคาน B3 = 1,560 *กก./ม.*

- น้ำหนักแบบกระทำเป็นจุดจาก B4 = 666×3 =1998 กก.



2) วิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดของคาน *B3*

- โมเมนต์ดัดสูงสุดของคาน *B3 = 8155* กก.-ม.

3) คำนวณหาค่าโมเมนต์ต้านโดยคอนกรีต

$$M_c = Rbd^2$$

$$= 9.36 \times 20 \times 47.5 \times 47.5$$

$$= 4223.7 \text{ กก.}-\text{ม}$$

$\therefore$ ค่า $M_c < M$ $= 8155 - 4223.7 = 3931.3$ กก.-ม. → ใช้ได้

4) ออกแบบเหล็กเสริมต้านทานโมเมนต์บวก (แรงดึง)

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$A_{s1} = \frac{M}{f_s jd} = \frac{4223.7\times100}{1500\times0.892\times47.5} = 7.22 \text{ ซม}^2$$

$$A_{s2} = \frac{M_1}{f_s(d-d')} = \frac{3931.3\times100}{1500(47.5-2.5)} = 5.82 \text{ ซม}^2$$

$$A_s = 13.04 \text{ ซม}^2 (7.22 + 5.82) \text{ซม}^2$$

5) เลือกใช้เหล็กเสริม *5DB20* มม. $A_s = 14.20 \text{ซม}^2 > 13.04 \text{ ซม}^2$ → ใช้ได้

6) ออกแบบเหล็กเสริมต้านทานโมเมนต์ลบ (แรงอัด)

จาก $A'_s = \frac{1}{2} A_{S2} \left[\frac{1-k}{k-(d'/d}\right]$

$$= \frac{1}{2}(5.82)\left[\frac{1-0.323}{0.323-\left(\frac{2.5}{47.5}\right)}\right]$$

$$A'_s = 7.296 \text{ ซม.}^2$$

7) เลือกใช้เหล็กเสริมต้านโมเมนต์ลบ (แรงอัด) = 3-DB 20 มม.

$$A_s = 8.52 \text{ซม}^2 > 7.296 \text{ ซม}^2$$ → ใช้ได้

8) ตรวจสอบค่าแรงเฉือนสูงสุด

ค่าแรงเฉือนสูงสุด V_{max} = 6012 กก.

9) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น (v)

จาก $v = \frac{V}{bd} = \frac{6012}{20\times47.5}$

∴ ค่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น v = 6.33

11) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (V_c)

$$\text{จาก } V_c = 0.29\sqrt{F'_C}$$

$$= 0.29\sqrt{145} = 3.49 \text{ กก./ซม}^2$$

พบว่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิด (v) มีค่า 6.33 กก./ซม^2 มากกว่าค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ $(V_c) = 3.49$ กก./ซม^2 ต้องออกแบบเหล็กปลอกเพื่อต้านทานแรงเฉือน

12) ออกแบบเหล็กปลอก เลือกใช้เหล็กปลอกขนาด *RB 6* มม.

$$\text{จาก } S = \frac{A_v F_v d}{V'}$$

$$S = \frac{0.56\times1200\times47.5}{2696.5} = 11.84$$

ให้เหล็กปลอก 2- *RB*6 มม.@ 0.15 ม.

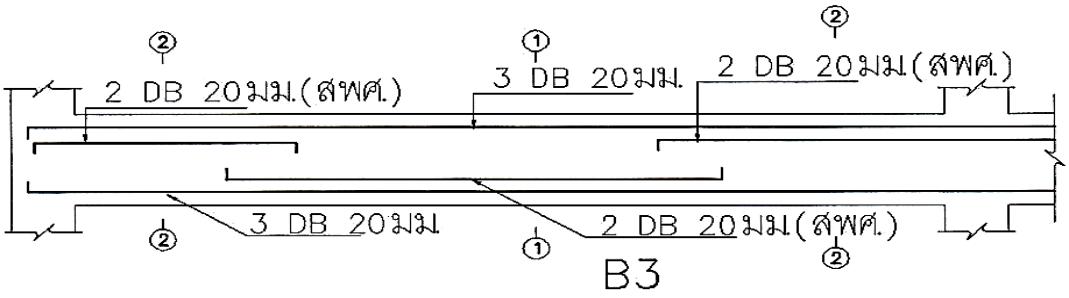
13) ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ (u)

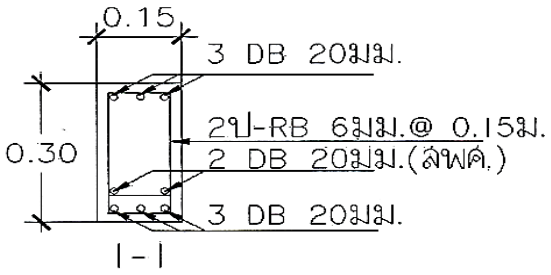
$$\text{จาก } u = 2.29\frac{\sqrt{F'_c}}{d} = 2.29\frac{\sqrt{145}}{2}$$

$u = 13.48$ **กก./ซม^2**

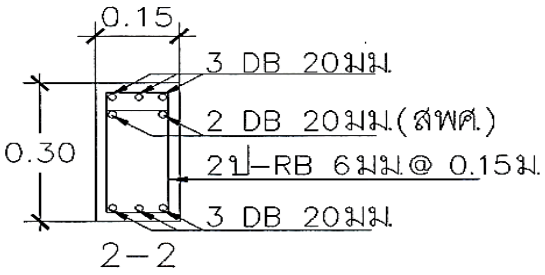
จากข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้มีค่าไม่เกิน 25กก./ซม^2 สำหรับเหล็กข้ออ้อย แสดงว่าที่เกิดขึ้นอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ แต่ $u = 13.78 < 25$ กก./ซม^2

14) เขียนรูปแสดงการเสริมเหล็ก





B3 (ช่วงกลางคาน)



B3 (บริเวณจุดรองรับ)

8.5.10 B4 ความยาวช่วงคาน = 3.50 ม.

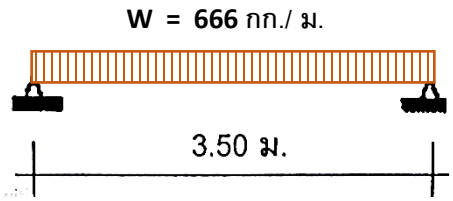
1) สมมุติให้ขนาดหน้าตัดคาน *0.15×0.35* ม.

-หาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน

-น้ำหนักบรรทุกตายตัวของคาน $B4 = 0.15 \times 0.35 \times 2400 = 126$ กก./ม.

-น้ำหนักบรรทุกของผนังก่ออิฐ $\frac{1}{2}$ แผ่น สูง 3.00 ม. $= 180 \times 3 = 540$ กก./ม.

รวมน้ำหนักบรรทุกต่อคาน **BA = 666 กก./ม.**



เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนคาน *B4* มีปริมาณเท่ากับน้ำนักบรรทุกของคาน *GB2* และความยาวช่วงพาดขนาดเท่ากัน คือ 3.50 ม.

∴การเสริมเหล็กให้ใช้เหมือนกับคาน *GB2*

2) ความยาวช่วงพาด = *3.50* ม. (คานต่อเนื่อง *continuous Beam*)

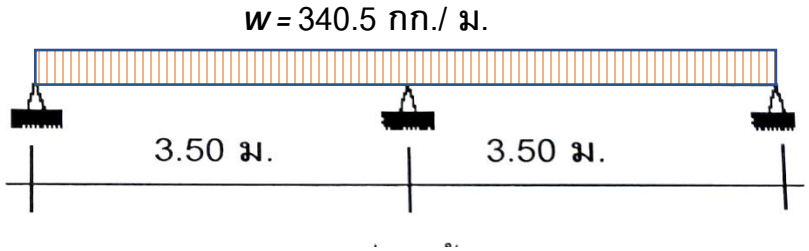
สมมุติให้หน้าตัดคาน 0.15×0.35 ม.

- หาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน B5

- น้ำหนักบรรทุกตายตัวของคาน B5 = 0.15×0.35×2400 = *126* กก./ม.

- น้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้น = *390×0.55* = *214.5* กก./ม.

∴ รวมน้ำหนักบรรทุกบนคาน *B5* = 340.5 กก./ม.



3) คำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น (ณ ตำแหน่งหัวเสา)

จาก $M = \frac{wL^2}{9}$

โมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น $M = \frac{340.5 \times 3.5 \times 3.5}{9} = 463.46$ *กก.-ม.*

4) คำนวณหาโมเมนต์ต้านโดยคอนกรีต

$M_c = Rbd^2$

$= 9.36 \times 15 \times 32.5 \times 32.5$

โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต = 1482.975 กก.-ม $>$ $M \rightarrow$ ใช้ได้

แสดงว่าคานคอนกรีตสามารถต้านทานโมเมนต์ที่เกิดขึ้นได้

5) ออกแบบเหล็กเสริม

จาก $A_s = \frac{M}{f_s jd}$

$= \frac{463.46 \times 100}{1500 \times 0.892 \times 32.5} = 107$ ซม^2 กก./ซม^2

6) เลือกเหล็กเสริมคาน ใช้ *2-DB12* มม.

$A_s = 2.26$ ซม^2 > 1.07 ซม^2

7) ตรวจสอบค่าแรงเฉือนสูงสุด

จาก $V_{max} = \frac{wL}{2} - w.d$

$= \frac{340.5 \times 2.5}{2} - 340.5 \times 0.325$

= 485.2125 กก.

8) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

$$v = \frac{V}{bd}$$

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น $v = \frac{485.2124}{15 \times 32.5} = 0.995$ กก./ซม^2

9) ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

$$v_c = 0.29\sqrt{f'_c} = 0.29\sqrt{145} = 3.49 \text{ กก./ซม}^2$$

สรุปค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (v_c) มีค่ามากกว่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น (v) แสดงว่าคานคอนกรีตสามารถต้านทานแรงเฉือนได้ไม่จำเป็นต้องออกแบบเหล็กปอกรับแรงเฉือน ทั้งนี้ข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดให้เลือกขนาดของเหล็กปลอกเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยไปกว่า 6 มม. และระยะห่างเหล็กปอกไม่น้อยกว่า b ใช้เหล็กปลอก *RB 6* มม. *@ 0.15* ม.

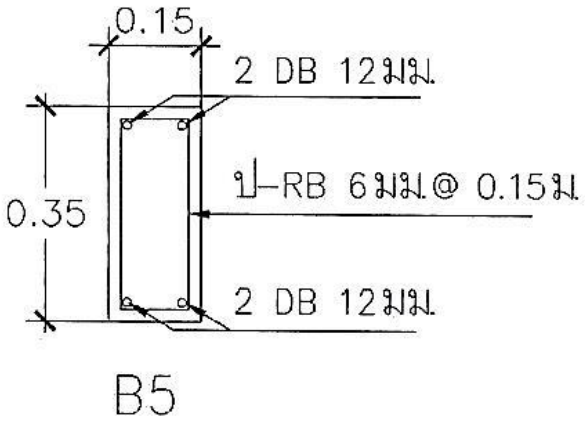
10) ตรวจสอบค่าแรงที่ยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ (V_c)

$$V_c = 0.29\sqrt{f'_c}$$

$$= 0.29\sqrt{\frac{145}{2}} = 22.98 \text{ กก./ซม}^2$$

จากข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้มีค่าไม่เกิน 25กก./ซม^2 สำหรับเหล็กข้ออ้อย แสดงว่าแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นมีไม่เกิน 25 กก./ซม^2 → ใช้ได้

11) เขียนรูปแสดงรายละเอียดการเสริมเหล็กคาน



8.5.11) CB คานยื่น ช่วงยื่น = 1.00 ม.

1) สมมุติให้หน้าตัดคาน 0.15×0.35 ม.

- หาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อคาน
- น้ำหนักบรรทุกตายตัวของคาน = $0.15\times0.35\times2400$ =126 กก./ม.
- น้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้น = 180×0.80 = 144 กก./ม.
  รวมน้ำหนักบรรทุกบนคาน = 270กก./ม.
- น้ำหนักแบบกระทำเป็นจุดที่ปลายคาน = 1191.75กก.

P= 1,191.75 กก.

W = 340.5 กก./ม.

2) วิเคราะห์โมเมนต์สูงสุดบนคาน

โมเมนต์ดัดสูงสุด = 270×1.00×0.5+1991.75×1.00

∴โมเมนต์ดัดสูงสุด = 1326.75 กก.-ม

3) คำนวณหาค่าโมเมนต์ต้านโดยคอนกรีต

$$M_c = Rbd^2$$

โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต=1482.975 กก.-ม < M แสดงว่าคานคอนกรีตสามารถต้านทานโมเมนต์ที่เกิดขึ้นได้

4) ออกแบบเหล็กเสริม

จาก $A_s = \frac{M}{f_s jd}$

$$= \frac{1326.75 \times 100}{1500 \times 0.892 \times 32.5} = 3.051 \text{ ซม}^2$$

***5)* เลือกเหล็กเสริมคาน** ใช้ *3-DB12* มม. $A_s = 3.39$ ซม^2

***6)* ตรวจสอบค่าแรงเฉือนสูงสุด**

= (270×1)+(1191.75)

= 1461.75กก.

***7)* ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น**

$$v = \frac{V}{bd}$$

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น $v = \frac{1461.75}{15 \times 32.5} = 2.998$ กก./ซม^2

***8)* ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้**

$v_c = 0.29\sqrt{f'_c} = 0.29\sqrt{145} = 3.49$ กก./ซม^2

สรุปค่าหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ (v_c) มีค่ามากกว่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น(v)แสดงว่าคานคอนกรีตสามารถต้านทานแรงเฉือนได้ไม่จำเป็นต้องออกแบบเหล็กปอกรับแรงเฉือน ทั้งนี้ข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดให้เลือกขนาดของเหล็กปลอกเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยไปกว่า 6 มม. และ **ระยะห่างเหล็กปอกไม่น้อยกว่า *b* หรือ *d/2* ใช้เหล็กปลอก *RB 6* มม. *@ 0.15* ม.**

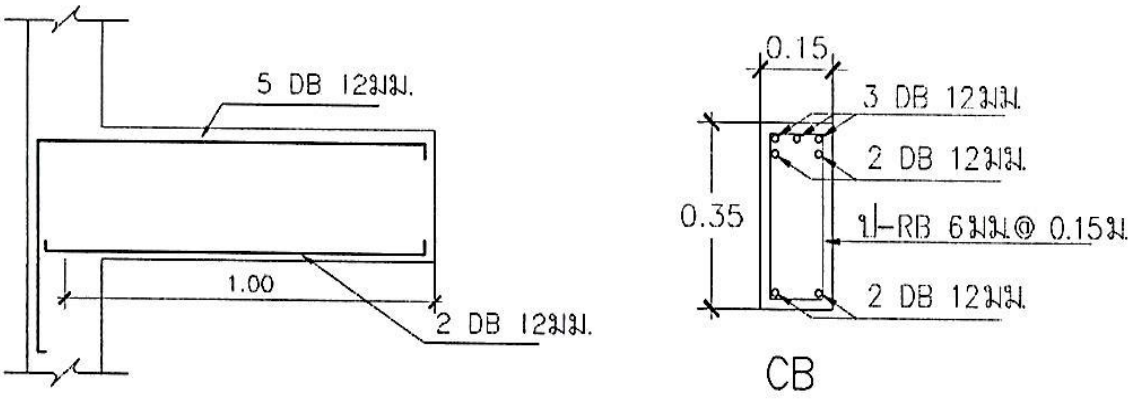
***9)* ตรวจสอบค่าแรงที่ยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ (V_c)**

$$V_c = 2.29\sqrt{\frac{f'_c}{D}}$$

= 22.98 กก./ซม^2

จากข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยกำหนดค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้มีค่าไม่เกิน 25 กก./ซม^2 สำหรับเหล็กข้ออ้อย แสดงว่าแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นมีไม่เกิน 25 กก./ซม^2 → ใช้ได้

10) **เขียนรูปตัดแสดงรายละเอียดการเสริมเหล็กคาน**



*8.5.*12. ออกแบบเสา

1) **เสา *C1*** **รับคานหลังคา**

2) **สมมุติหน้าตัดเสา** ขนาด *0.15×0.15* มม.

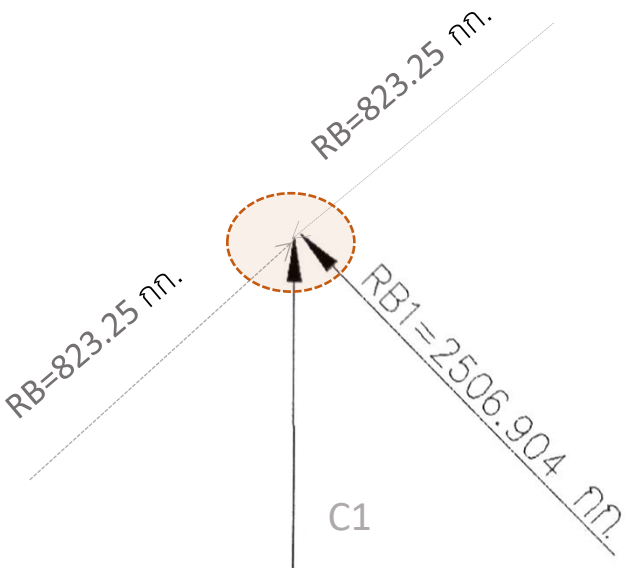
3) **ตรวจสอบประเภทเสา**

จากเสาสั้น $\frac{h}{t} \leq 15$

$$\frac{h}{t} = \frac{320}{15} = 21.33 > 15$$

ออกแบบเสาเป็นเสายาว (*long column*)

4) **น้ำหนักบรรทุกของเสา** = 4,153.404 กก.



5) ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสายาว

$$P' = PR$$

จาก สูตรเสาสั้น $P = 0.85A_g(0.25f'_c + f_s p_g)$

$$A_g = 15 + 15 = 225 \text{ ซม}^2$$

$f'_c = 145$ กก./ซม^2

$f_s = 0.4\, f_y = 0.4 \times 3200 = 1200$ กก./ซม

เลือกใช้เหล็กเสริมเสา = *4-DB12* มม. $A_s = 4.52$ ซม^2

$p_g = \frac{A_s}{A_g}$

$p_g = \frac{4.52}{225} = 0.020$

$0.01 < p_g = 0.02 < 0.08$

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสา

Pg = 0.85 225(0.25×145×1200×0.02)

= 151.25(60.25)

= 11,522.0125 กก.

6) คำนวณหาตัวคูณลด *ค่า* R = *1.07-0.008 = h/r*

H = 1×320 = 320 ซม

R = 0.3t = 0.3×15 = 4.5 ซม.

$\therefore \frac{h}{r} = \frac{320}{4.5} = 71.11$

R = 1.07 + (0.008×71.11)

$R = 0.501 < 1$ → ใช้ได้

ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสายาว = *PR*

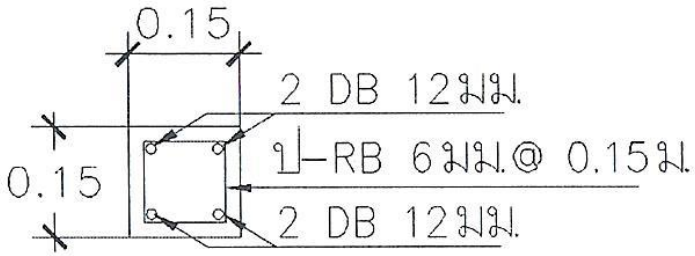
= 11,522.825×0.501

= 5,772.929*กก.* > 4,153.40 *กก.* → ใช้ได้

7) ตามข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานของประเทศไทย (วสท.)

กำหนดให้เหล็กปลอกเดี่ยวมีขนาดไม่เล็กกว่า 6 มม. ระยะห่างของเหล็กปลอกไม่เกิน 16 เท่าของขนาดเหล็กแกนนั้น หรือ 48 เท่าของขนาดเหล็กปลอกหรือไม่เกินด้านแคบของเสา เลือกใช้เหล็กx ลอกขนาด *6* มม.ระยะห่าง= *15* ซม.

***8)* เขียนรูปตัดแสดงรายะเอียด**



C1 รับคานหลังคา

8.5.13 เสา C1 รับพื้นชั้น 2 ความสูง 3.00ม.

1) **สมมุติหน้าตัดเสาขนาด 0.20 × 0.20ม.**

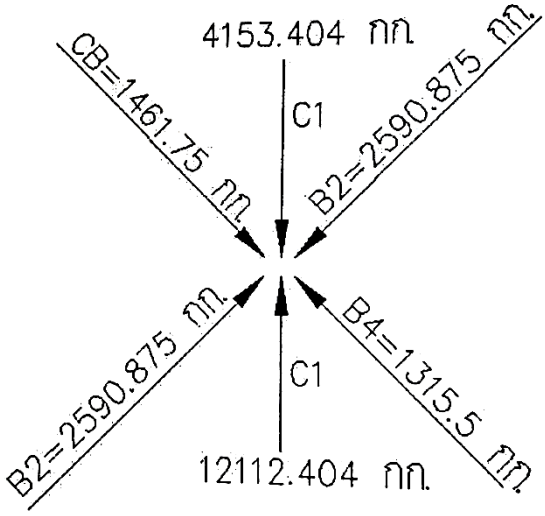
2) **ตรวจสอบประเภทเสา**

จากเสาสั้น $\frac{h}{t} \leq 15$

$$\frac{h}{t} = \frac{320}{20} = 15$$

ออกแบบเสาเป็นเสายาว (*short column*)

3) ***น้ำหนัก*บรรทุกของเสา *12,112.404* กก.**



4) **ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาสั้น**

$P = 0.85A_g(0.25f'_c + f_s p_g)$

$A_g = 20 \times 20 = 400$ ซม.^{2}

$f'_c = 145$ กก./ซม.^{2}

$f_s = 0.4\, f_y = 0.4 \times 3200 = 1200$ กก./ซม.

∴ เลือกใช้เหล็กเสริมเสา = *4-DB12* มม. $A_s = 4.52$ ซม.^{2}

$$p_g = \frac{A_s}{A_g}$$

$$p_g = \frac{4.52}{400} = 0.0113$$

∴ $0.01 < p_g = 0.0113 < 0.08$ → ใช้ได้

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสา

Pg = 85×400(0.25×145×1200×0.0113)

= 340(36.25×13.56)

= 16935.4 กก.

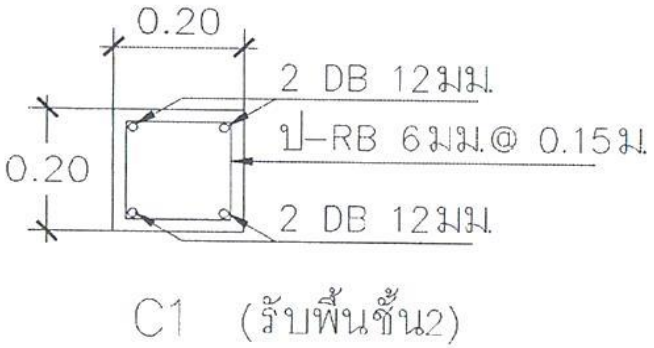
∴ สรุปเสาสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ *16,935 > 12,112.404* กก. → ใช้ได้

***5)* การเสริมเหล็กปลอกเดี่ยวตามข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานของประเทศไทย(วสท.)**

กำหนดให้เหล็กปลอกเดี่ยวมีขนาดไม่เล็กกว่า 6 มม.ระยะห่างของเหล็กปลอกไม่เกิน16เท่าของขนาดเหล็กแกนหรือ48เท่าของขนาดเหล็กปลอกนั้นหรือไม่เกินด้านแคบของเสา

∴ เลือกใช้เหล็กปลอกขนาด 6 มม. ระยะห่าง 0.15 ม. → ใช้ได้

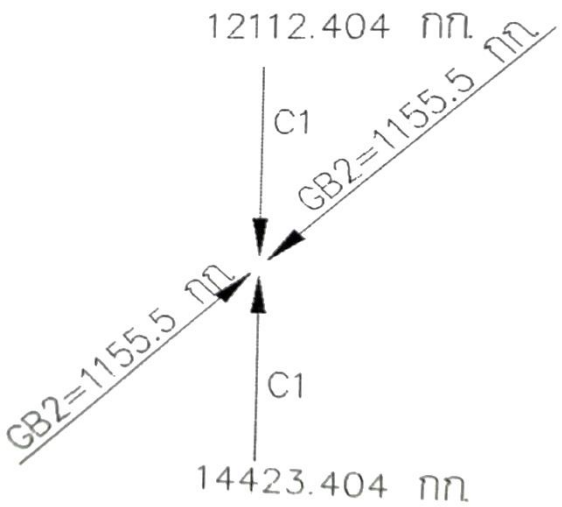
***6)* เขียนรูปตัดแสดงรายละเอียด**



C1 (รับพื้นชั้น2)

8.5.14 เสา *C1* รับพื้นชั้น 1 ความสูง 2.00 ม.

1) **สมมุติหน้าตัดเสาขนาด *0.20* × *0.20* ม.**



2) ตรวจสอบประเภทเสา

จาก $\frac{h}{t} \leq 15$

$$\frac{h}{t} = \frac{200}{15} = 13.33 \leq 15$$

∴ ออกแบบเสาเป็นเสาสั้น (*short column*)

3) **น้ำหนักบรรทุกของเสา = 14,123.404 กก.**

4) **ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาสั้น**

$$P = 0.85A_g(0.25f'_c + f_s p_g)$$

$$A_g = 20 \times 20 = 400 \text{ซม.}^2$$

$$f'_c = 145 \text{กก./ซม.}^2$$

$$f_s = 0.4\, f_y = 0.4 \times 3200 = 1200 \text{กก./ซม.}$$

เลือกใช้เหล็กเสริมเสา = *4-DB12* มม. $A_s = 4.52$ ซม.^{2}

$$p_g = \frac{A_s}{A_g}$$

$$p_g = \frac{4.52}{400} = 0.0113$$

∴ *0.01<Pg = 0.0113<0.08* → ใช้ได้

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสา

$$p_g = 0.85 \times 400(0.25 \times 145 \times 1200 \times 0.0113)$$
$$= 340(36.25 \times 13.56)$$
$$= 16{,}935.4 \text{ กก.}$$

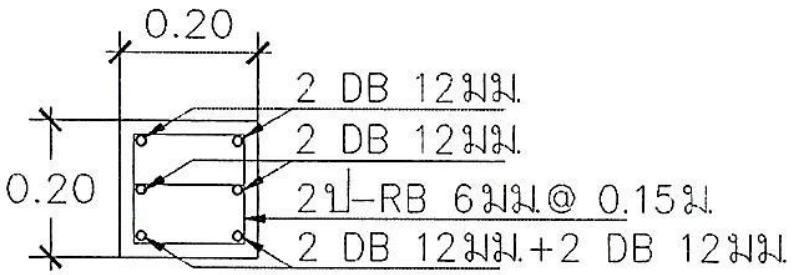
∴ **สรุปเสาสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้** *16,935 > 14,423.404* **กก.** → ใช้ได้

5) **การเสริมเหล็กปลอกเดี่ยวตามข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานของประเทศไทย(วสท.)**

กำหนดให้เหล็กปลอกเดี่ยวมีขนาดไม่เล็กกว่า6 มม.ระยะห่างของเหล็กปลอกไม่เกิน16เท่าของขนาดเหล็กแกนหรือ 48เท่าของขนาดเหล็กปลอกนั้นหรือไม่เกินด้านแคบของเสา

∴ **เลือกใช้เหล็กปลอกขนาด 6 มม.ระยะห่าง 0.15ม.**

6) **เขียนรูปตัดและแสดงรายละเอียด**



C1 (เสาตอม่อ)

8.5.15 *เสา* C2 รับคานหลังคา

1) สมมุติหน้าตัดเสาขนาด *0.15×0.15* มม.

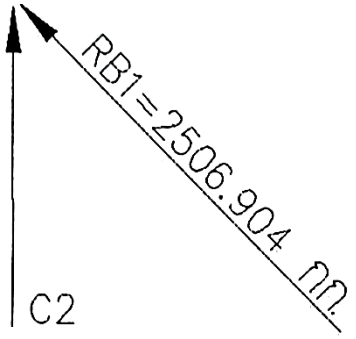
2) ตรวจสอบประเภทเสา

จากเสาสั้น $\frac{h}{t} \leq 15$

$$\frac{h}{t} = \frac{320}{15} = 21.33 > 15$$

ออกแบบเสาเป็นเสายาว (*long column*)

3) น้ำหนักบรรทุกของเสา



∴ C2 = 2,506.904 *กก.*

4) ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสายาว *P'= PR*

จากสูตรเสาสั้น $P = 0.85A_g(0.25f'_c + f_s p_g)$

$A_g = 15 + 15 = 225$ซม.^{2}

$f'_c = 145$กก./ซม.^{2}

$f_s = 0.4\, f_y = 0.4 \times 3200 = 1200$กก./ซม.

∴ เลือกใช้เหล็กเสริมเสา = *4-DB12*มม. $A_s = 4.52$ ซม.^{2}

$$p_g = \frac{A_s}{A_g}$$

$$p_g = \frac{4.52}{225} = 0.20$$

∴ *0.01<0.20 = 0.08* ค่า p_g

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสา

p_g = 0.85 ×225(0.25×145×1200×0.02)

= 191.25(60.25)

= 16935.4 *กก.*

5) *คำนวณหา*ตัวคูณลดค่า

R =1.07-0.008 h/r

h =1×320 =320 *ซม.*

r = 0.3t = 0.3×15 = 4.5 ซม.

$$\frac{h}{r} = \frac{320}{4.5} = 71.11$$

R = 1.07 + (0.008×71.11)

∴ *R = 0.501 < 1* → ใช้ได้

ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสา

= 11,522.825×0.501

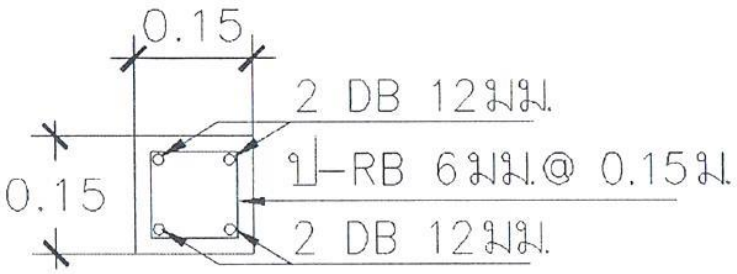
∴ *= 5,772.929*กก. *> 2,506.904* กก. → ใช้ได้

6) **ตามข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานของประเทศไทย (วสท.)**

กำหนดให้เหล็กปลอกเดี่ยวมีขนาดไม่เล็กกว่า 6 มม. ระยะห่างของเหล็กปลอกไม่เกิน 16 เท่าของขนาดเหล็กแกนนั้น หรือ 48 เท่าของขนาดเหล็กปลอกหรือไม่เกินด้านแคบของเสา

∴ เลือกใช้เหล็กปลอกขนาด 6 มม.ระยะห่าง 0.15 ม.

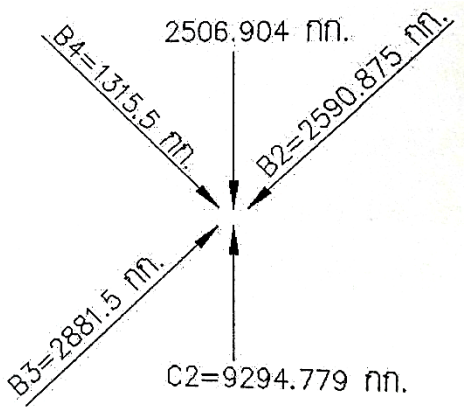
7) เขียนรูปตัดแสดงรายละเอียด



C1 รับคานหลังคา

5.5.16 เสา C2 รับพื้นชั้น 2 ความสูง 3.00ม.

1) สมมุติหน้าตัดเสาขนาด 0.20×0.20 ม.



2) ตรวจสอบตรวจสอบประเภทเสา

จาก $\frac{h}{t} \leq 15$

$$\frac{h}{t} = \frac{200}{15} = 15$$

∴ ออกแบบเสาเป็นเสาสั้น (*short column*)

3) น้ำหนักบรรทุกของเสา = 9294.779 กก.

4) ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาสั้น

$$P = 0.85A_g(0.25f'_c + f_s p_g)$$

$$A_g = 20 \times 20 = 400 \text{ ซม.}^2$$

$$f'_c = 145$$

$$f_s = 0.4\, f_y = 0.4 \times 3200 = 1200 \text{ กก./ซม.}$$

∴ เลือกใช้เหล็กเสริมเสา = *4-DB12* มม. $A_s = 4.52$ ซม.^{2}

$$p_g = \frac{A_s}{A_g}$$

$$p_g = \frac{4.52}{400} = 0.0113$$

∴ *0.01* < *Pg* = 0.0113 < 0.08

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสา

$$p_g = 0.85\times400(0.25\times145\times1200\times0.0113)$$

$$= 340(36.25\times13.56)$$

$$= 16935.4 \text{ กก.}$$

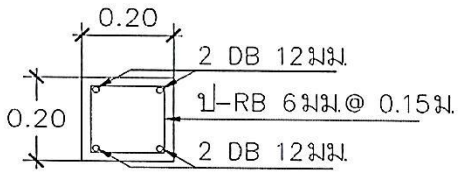
∴ สรุปเสาสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ *16,935.4 > 9294.779* กก. → ใช้ได้

***5)* การเสริมเหล็กปลอกเดี่ยวตามข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานของประเทศไทย (วสท.)**

กำหนดให้เหล็กปลอกเดี่ยวมีขนาดไม่เล็กกว่า6 มม.ระยะห่างของเหล็กปลอกไม่เกิน16เท่าของขนาดเหล็กแกน หรือ48เท่าของขนาดเหล็กปลอกนั้นหรือไม่เกินด้านแคบของเสา

∴ เลือกใช้เหล็กปลอกขนาด*6* มม. ระยะห่าง *0.15* ม.

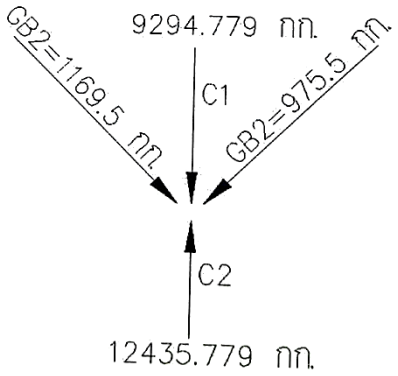
***6)* เขียนรูตัดแสดงรายละเอียด**



C2 (เสารับพื้นชั้น2)

8.5.17 เสา *C2* รับพื้นชั้น 1 (เสาตอม่อ) ความสูง 2.00 ม.

1) สมมติหน้าตัดเสา ขนาด 0.20×0.20 ม.



2) ตรวจสอบตรวจสอบประเภทเสา

จาก $\frac{h}{t} \leq 15$

$\frac{h}{t} = \frac{200}{20} = 10 < 15$

∴ ออกแบบเสาเป็นเสาสั้น (*short column*)

3) น้ำหนักบรรทุกของเสา = *12,435.779* กก.

4) ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาสั้น

$P = 0.85A_g(0.25f'_c + f_s p_g)$

$A_g = 20 \times 20 = 400$ ซม.^{2}

$f'_c = 145$

$f_s = 0.4\, f_y = 0.4 \times 3200 = 1200$ กก./ซม.

∴ เลือกใช้เหล็กเสริมเสา = *4-DB12*มม. $A_s = 4.52$ ซม.^{2}

$p_g = \frac{A_s}{A_g}$

$p_g = \frac{4.52}{400} = 0.0113$

∴ $0.01 < p_g = 0.0113 < 0.08$ → ใช้ได้

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสา

p_g = .85 × 400 (0.25 × 145 × 1200 × 0.0113)

= 340 (36.25 × 13.56)

= 16935.4 กก.

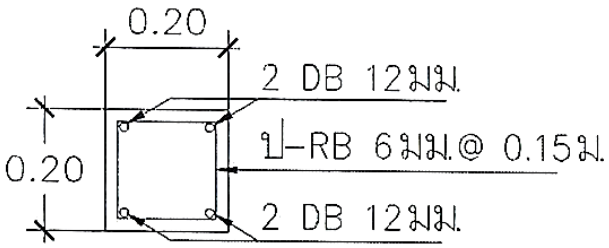
∴ สรุปเสาสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ *16,935 .4 > 12,435.77 9* กก. → ใช้ได้

***5)* การเสริมเหล็กปลอกเดี่ยวตามข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานของประเทศไทย(วสท.)**

กำหนดให้เหล็กปลอกเดี่ยวมีขนาดไม่เล็กกว่า6 มม.ระยะห่างของเหล็กปลอกไม่เกิน16เท่าของขนาดเหล็กแกน หรือ48เท่าของขนาดเหล็กปลอกนั้นหรือไม่เกินด้านแคบของเสา

∴ เลือกใช้เหล็กปลอกขนาด 6 มม.ระยะห่าง0.15ม.

***6)* เขียนรูปตัดแสดงรายละเอียด**



C2 (เสารับพื้นชั้น2)

8.5.18 ออกแบบฐานราก (*FOOTING*)

1) **ฐานราก *F1*** รับน้ำหนักจากเสาตอม่อ = *14,423.404* กก.

2) **สมมติน้ำหนักฐานราก *10%*** ของน้ำหนักบรรทุก

$$= 14423.404 \; x \; \frac{10}{100} = 1442.3404 \text{ กก.}$$

∴ รวมเป็นน้ำหนักที่ฐานรากรองรับ = 15865.7444 กก .

3) **หาขนาดของฐานรากที่ต้องการ** $= \frac{15865.744}{10{,}000} = 1.59 \text{ ม}^2$

4) **เลือกขนาดความกว้างยาวของฐานราก** $= \sqrt{1.59}$

$= 1.26 \times 1.26$ ม.

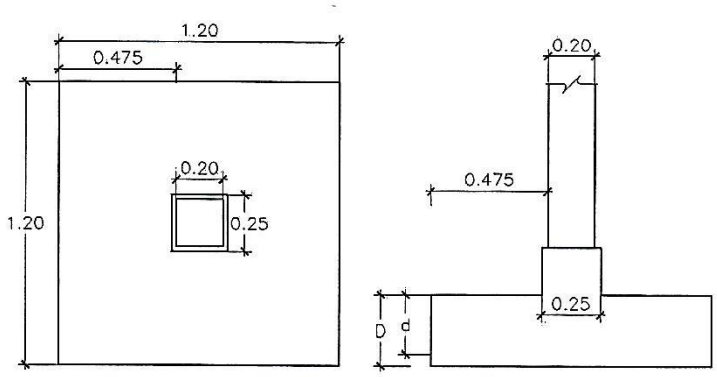
เลือกขนาดความกว้าง *x* ยาวของฐานราก = 1.20×1.20 ม.

5) **หน่วยแรงดันดินจริง** ∴ (*w, p*) $= \frac{p}{B \times L}$

$$= \frac{15865.744}{1.20 \times 1.20}$$

= 11,017.88 กก./ม.

6) เขียนรูปแสดงรายละเอียดของฐานราก



7) คำนวณหาโมเมนต์ที่ขอบเสา

จาก $M = \frac{wL^2}{2}$

$= \frac{11{,}017.88 \times 0.5 \times 0.5}{2}$ = 1,377.235 กก.-ม.

8) คำนวณหาความลึกประสิทธิผล (*d*)

จากความลึกประสิทธิผล (*d*) $= \sqrt{\frac{1377.235 \times 100}{9.36 \times 120}} = \sqrt{122.62}$

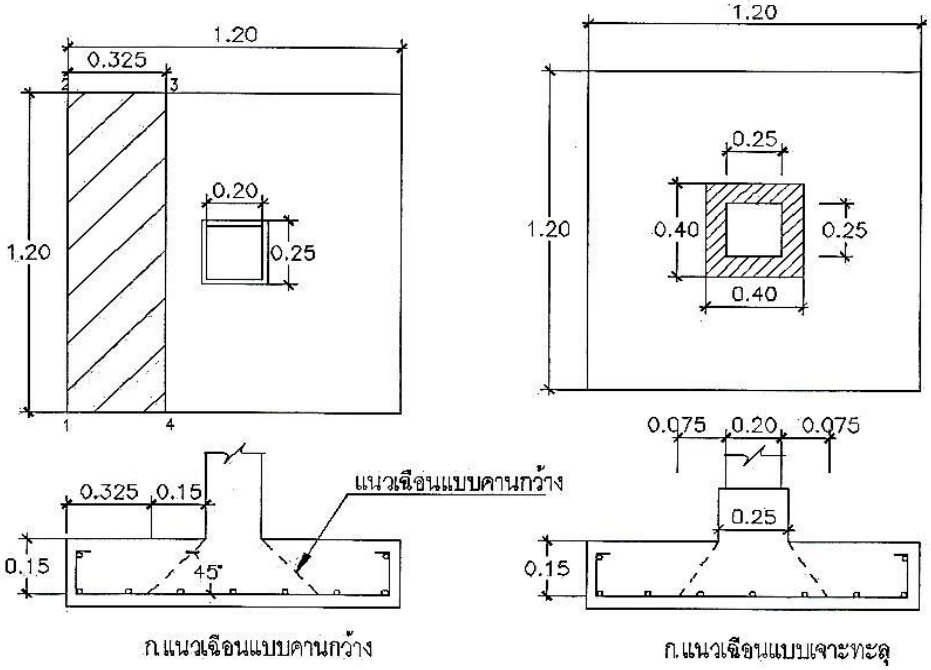
= 11.07 ซม.

ใช้ค่าความลึกประสิทธิผล (*d*) = 15 ซม.

กำหนดให้คอนกรีตหุ้มเหล็กโดยรอบ = 5 ซม.

∴ **ความหนาฐานราก** = 15+5 = 20 ซม.

9) ผลการตรวจสอบแรงเฉือน



-ตรวจสอบแรงเฉือนที่ยอมให้

-หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ $v_c = 0.29\sqrt{f_c'}$

$= 0.29\sqrt{145} = 3.49$ กก./ซม.^{2}

-หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

$$v = \frac{V}{bd}$$

$= 11017.88 \times 0.35 \times 1.20 = 4627.51$

$$v = \frac{4627.15}{120 \times 15} = 2.998 \text{ กก./ซม.}^2$$

$= 2.57$ กก./ซม.$^2 < v_c$. → ใช้ได้

- ตรวจสอบแรงเฉือนแบบทะลุ

-หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้

$$v_c = 0.53\sqrt{f'_c}$$

$$= 0.53\sqrt{145} = 6.38 \text{ กก./ซม.}^2$$

- หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น (v)

$$v = \frac{V}{bd}$$

$$= 11017.88 \times (1.20 \times 1.20) - (0.35 \times 0.35)$$

$$= 14{,}516.06 \text{ กก.}$$

$$B = 4(35) = 140 \text{ ซม.}$$

$$v = \frac{14516.06}{140 \times 15} = 6.91 \text{ กก./ซม.}^2 < v_c \quad \rightarrow \text{ใช้ได้}$$

เนื่องจาก $v_c > v$ ให้เพิ่ม *column capital* ของ ตอม่อเป็น 0.25 x 0.25 ม.

- หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

$$v = \frac{V}{bd}$$

$$= 11{,}017.88 \times (1.20 \times 1.20) - (0.40 \times 0.40)$$

$$= 14{,}102.89 \text{ กก.}$$

$$B = 4(40) = 160 \text{ ซม.}$$

$$v = \frac{14102.89}{160 \times 15}$$

$$= 4.40 < v_c \text{ กก./ซม.}^2 \quad \rightarrow \text{ใช้ได้}$$

***10)* คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริม**

$$A_s = \frac{M}{f_s jd}$$

$$= \frac{1377.235 \times 100}{1500 \times 0.892 \times 15} = 6.86 \text{ ซม}^2$$

***11)* ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว**

- หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ (ใช้เหล็กข้ออ้อย *DB12* มม.)

$$u = \left(3.23\frac{\sqrt{f'_c}}{D}\right) \leq 35 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$= \left(3.23\frac{\sqrt{145}}{1.2}\right)$$

$= 32.41 < 35$ **กก./ซม.**^{2} → ใช้ได้

6.1.12 คำนวณหาเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการสำหรับการยึดเหนี่ยว

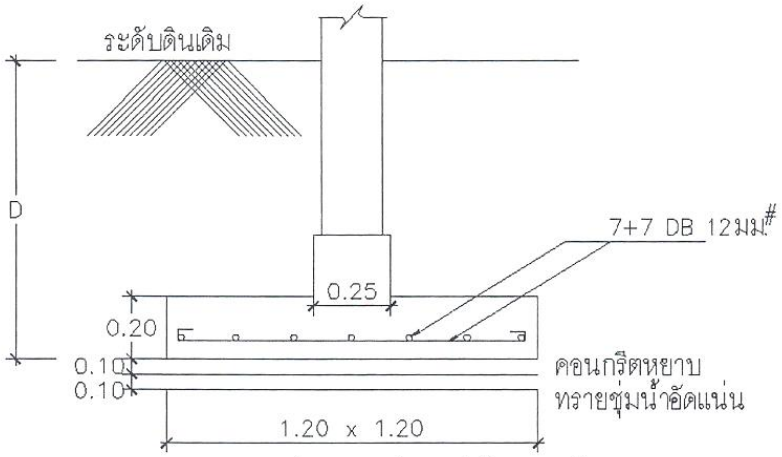
$$\sum o = \frac{v}{ua.j.d}$$

$$= \frac{11017.88 \times 0.30 \times 1.20}{32.41 \times 0.89 \times 20}$$

$= 6.78$ ซม.

∴ **เลือกใช้เหล็ก *DB12* มม. จำนวน *7* ท่อน**, $\sum o$ = *26.39* ซม. *As=7.92* ซม^2

12) เขียนรูปตัดแสดงรายละเอียด



D=ความลึกของฐานราก ที่สภาพดินที่ระดับใต้ฐานรากต้องสามารถ
รับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย ได้ไม่น้อยกว่า 8 ตัน/ตารางเมตร

F1

8.5.19 ฐานราก *F2*

1) **ฐานราก *F2* รับน้ำหนักจากเสาตอม่อ** = 12435.779 กก.

2) **สมมุติน้ำหนักฐานราก** *10%* ของน้ำหนักบรรทุก

$= 12435.779 \times \frac{10}{100}$ = 1,243.58 กก.

รวมเป็นน้ำหนักที่ฐานรากรองรับ = 13,679.36 กก .

3) **หาขนาดของฐานรากที่ต้องการ**

$= \frac{13679.36}{10,000} =$ 1.36 ม^2

4) **เลือกขนาดความกว้างยาวของฐานราก**

$= \sqrt{1.36}$ = 1.17 ม.

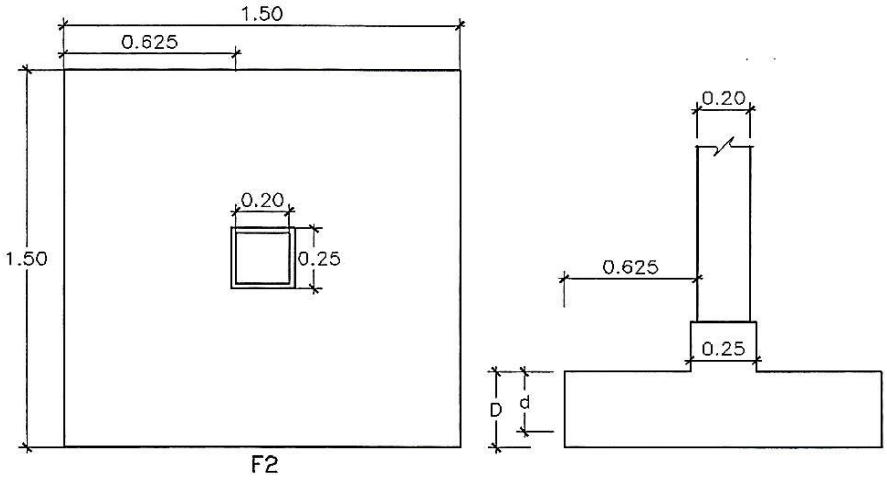
เลือกขนาดความกว้างยาวของฐานราก

= 1.20 × 1.20 ม.

5) **∴ หน่วยแรงดันดินจริง** $(w, p) = \frac{p}{B \times L}$ = $\frac{13679.36}{1.50 \times 1.50}$

= 6080 กก./ม.

6) เขียนรูปแสดงรายละเอียดฐานรากแสดงระยะในการคำนวณค่าโมเมนต์ดัด



7) คำนวณโมเมนต์ที่ขอบเสา

$$\text{จาก} \quad M = \frac{wL^2}{2}$$

$$= \frac{6080 \times 0.65 \times 0.65}{2} = 1284 \text{ กก.-ม.}$$

8) คำนวณหาความลึกประสิทธิผล (d)

จากความลึกประสิทธิผล **(d)** $= \sqrt{\frac{M_c}{Rb}}$

แทนค่า $= \sqrt{\frac{1284 \times 100}{9.36 \times 150}}$

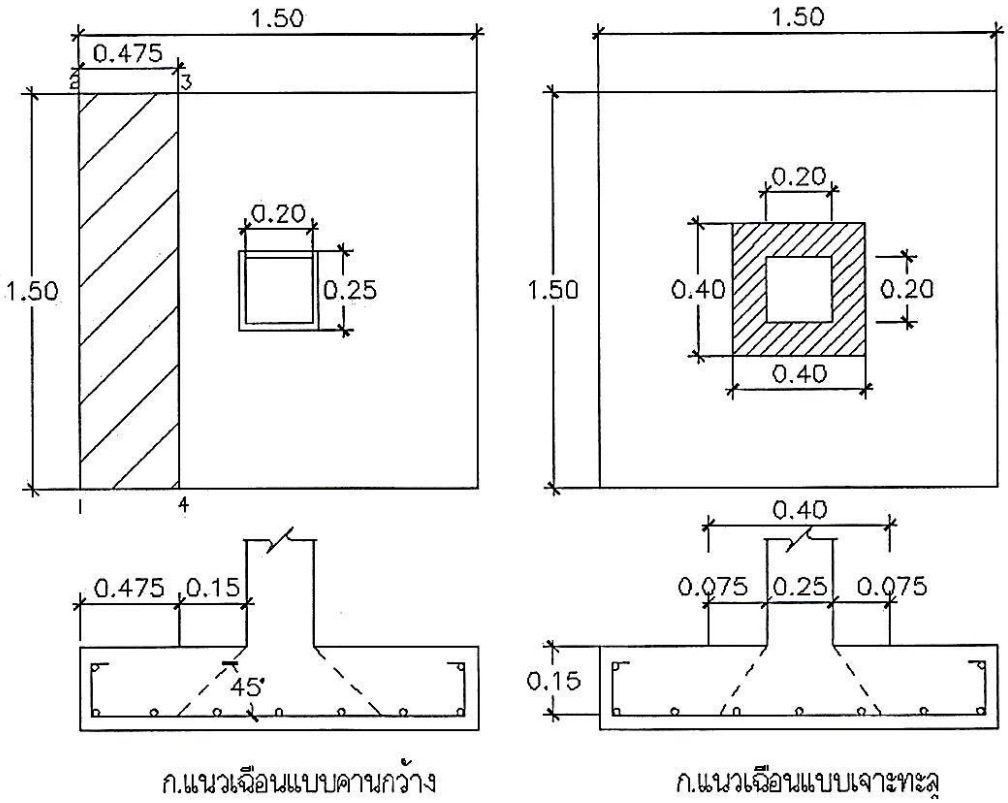
$= 9.56$ ซม.

ใช้ค่าความลึกประสิทธิผล (*d*) = 15 ซม.

กำหนดให้คอนกรีตหุ้มเหล็กโดยรอบ = 0.5 ซม.

∴ ความหนาฐานราก = 0.20 ซม

9) ตรวจสอบแรงเฉือน



ก.แนวเฉือนแบบคานกว้าง ก.แนวเฉือนแบบเจาะทะลุ

- ตรวจสอบแรงเฉือนแบบคานกว้าง

- หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ $v_c = 0.29\sqrt{f'_c}$

$$= 0.29\sqrt{145} = 3.49 \text{ กก./ซม}^2$$

- หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

$$v = \frac{V}{bd}$$

$$= 6080 \times 0.20 \times 1.50 = 1824 \text{ กก.}$$

$$v = \frac{1824}{150 \times 15}$$

$$= 0.81 \quad \text{กก./ซม}^2$$

- ตรวจสอบแรงเฉือนแบบทะลุ

- หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ $v_c = 0.53\sqrt{f'_c}$

$= 0.53\sqrt{145} = 6.38$ กก./ซม^2

- หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น (v)

$$v = \frac{V}{bd}$$

$= 6080\times(1.50\times1.50)-(0.35\times0.35)$

$v = 12935$ กก.

$B = 4(35) = 140$ ซม.

แทนค่า $= \frac{12935}{140\times15}$

$v = 6.15 < v_c$ กก./ซม^2 → ใช้ได้

***10)* คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริม**

$$A_s = \frac{M}{f_s jd}$$

$A_s = \frac{1284\times100}{1500\times0.892\times15} = 4.43$ **ซม^2**

***11)* ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว**

- หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ (ใช้เหล็กข้ออ้อย *DB12* มม.)

$$u = \left(3.23\frac{\sqrt{f'_c}}{D}\right) \leq 35$$

$= \left(3.23\frac{\sqrt{145}}{1.2}\right)$

$= 32.41 < 35$ **กก./ซม^2** → ใช้ได้

12) คำนวณหาเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมที่ต้องการสำหรัฐการยึดเหนี่ยว

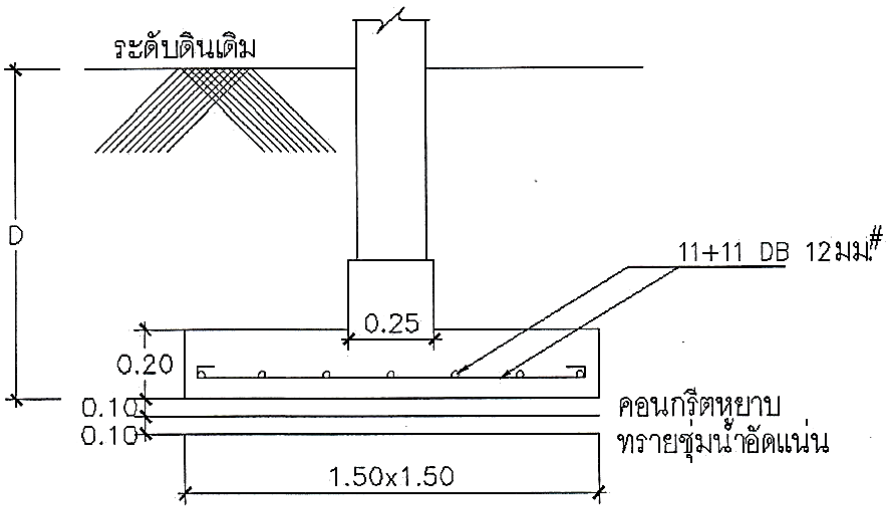
$$\sum o = \frac{v}{ua.j.d}$$

$$= \frac{6080 \times 0.65 \times 1.50}{32.41 \times 0.89 \times 15}$$

เส้นรอบรูปที่ต้องการ = 13.67 ซม.

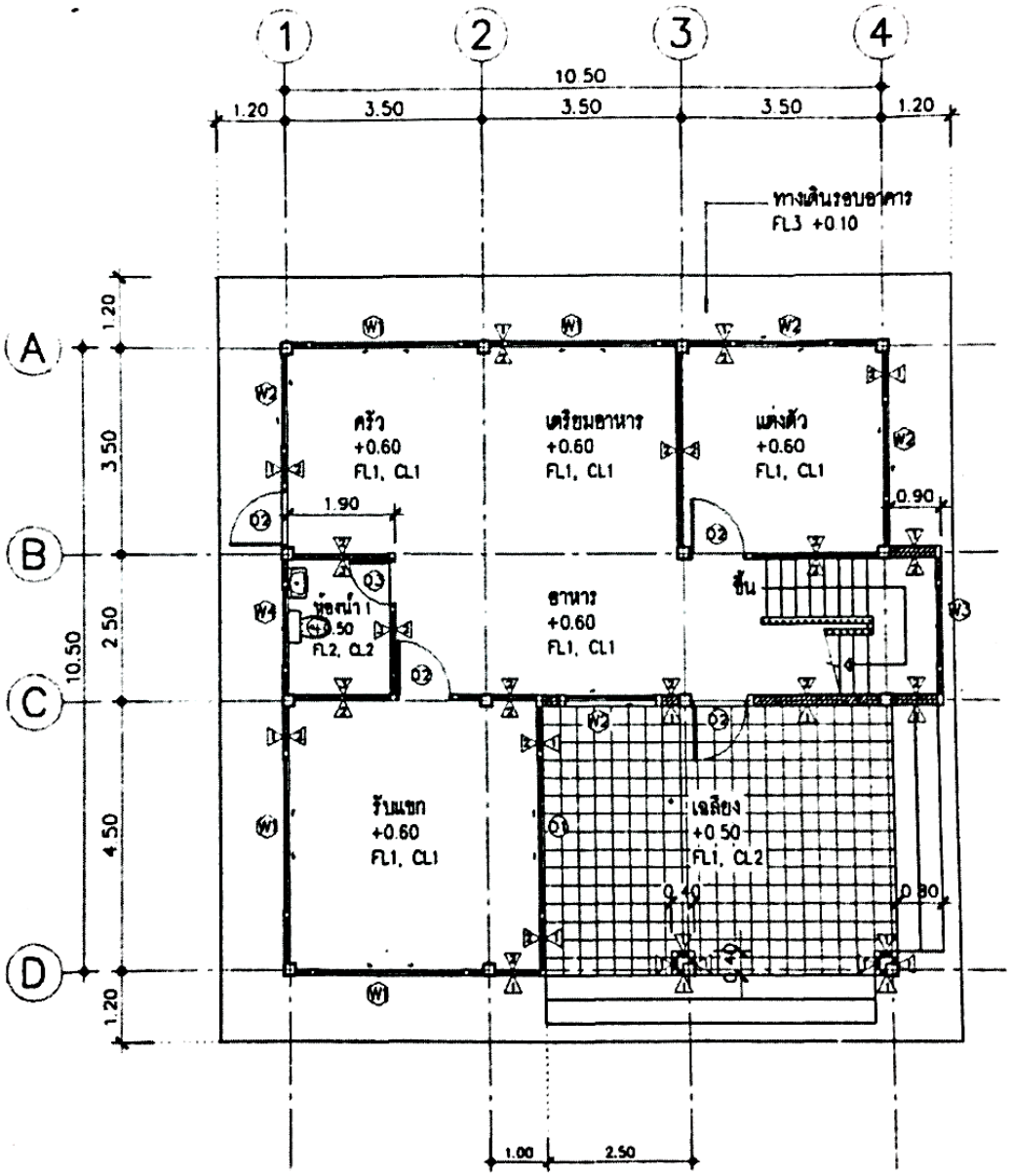
∴ เลือกใช้เหล็ก DB12 **มม. จำนวน 11 ท่อน,** As = 12.43 , $\sum o$ **= 41.49 ซม.**^{2}

13) เขียนรูปแสดงรายละเอียดฐานราก



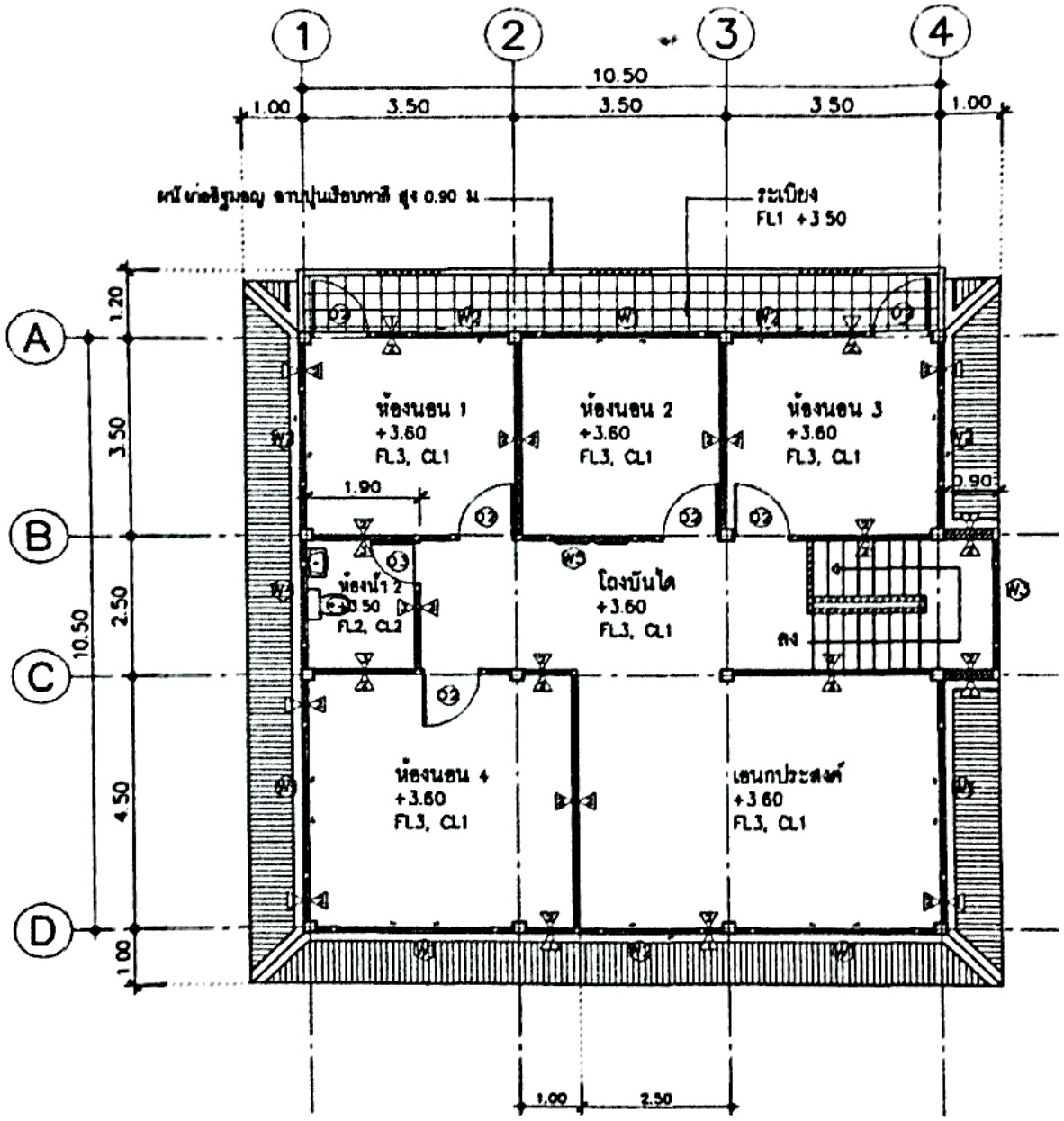
D= ความลึกของฐานราก ที่สภาพดินที่ระดับใต้ฐานรากต้องสามารถ
รับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยได้ไม่น้อยกว่า 8 ตัน/ตารางเมตร

F2



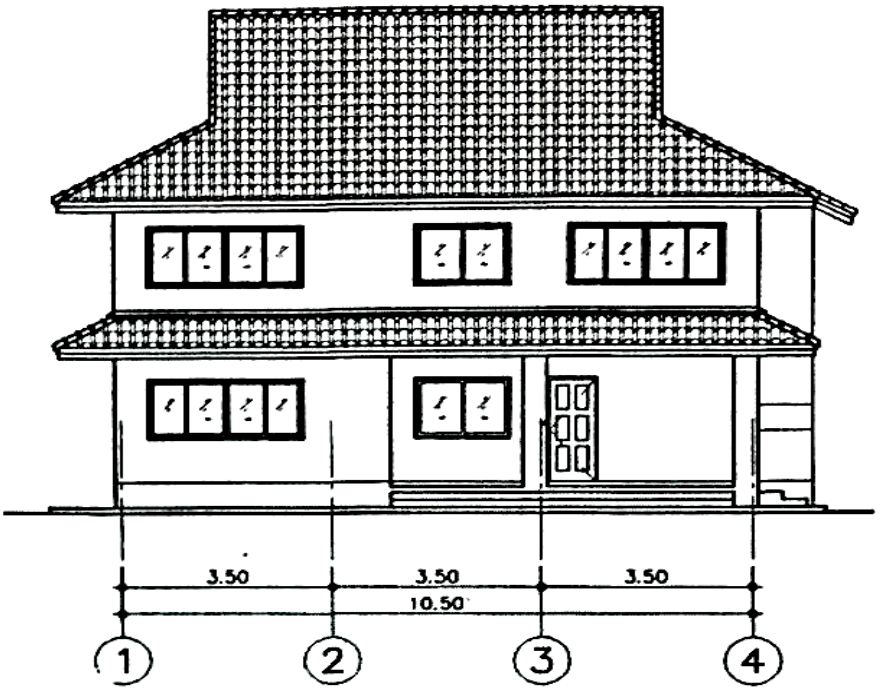
แ ป ล น พื้ น ชั้ น ล่ า ง

มาตราส่วน 1 : 100

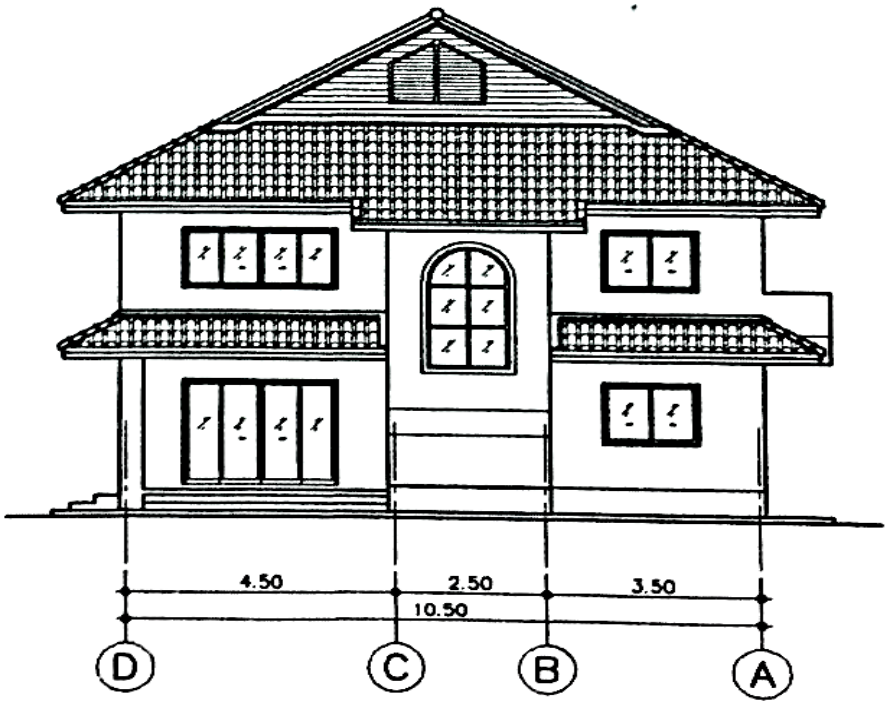


แ ป ล น พื้ น ชั้ น บ น

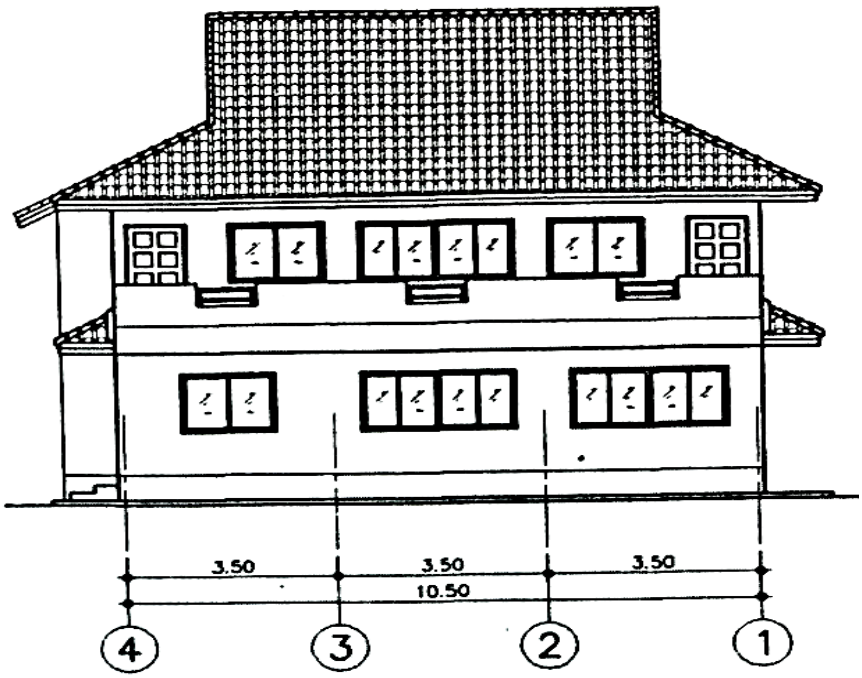
มาตราส่วน 1 : 100



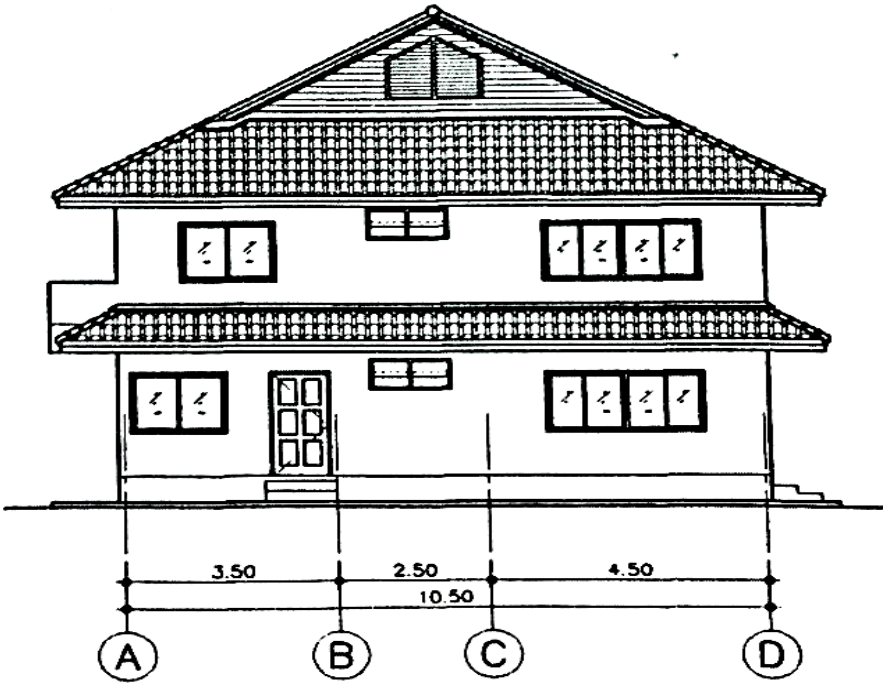
รูปด้าน A
มาตราส่วน 1 : 100



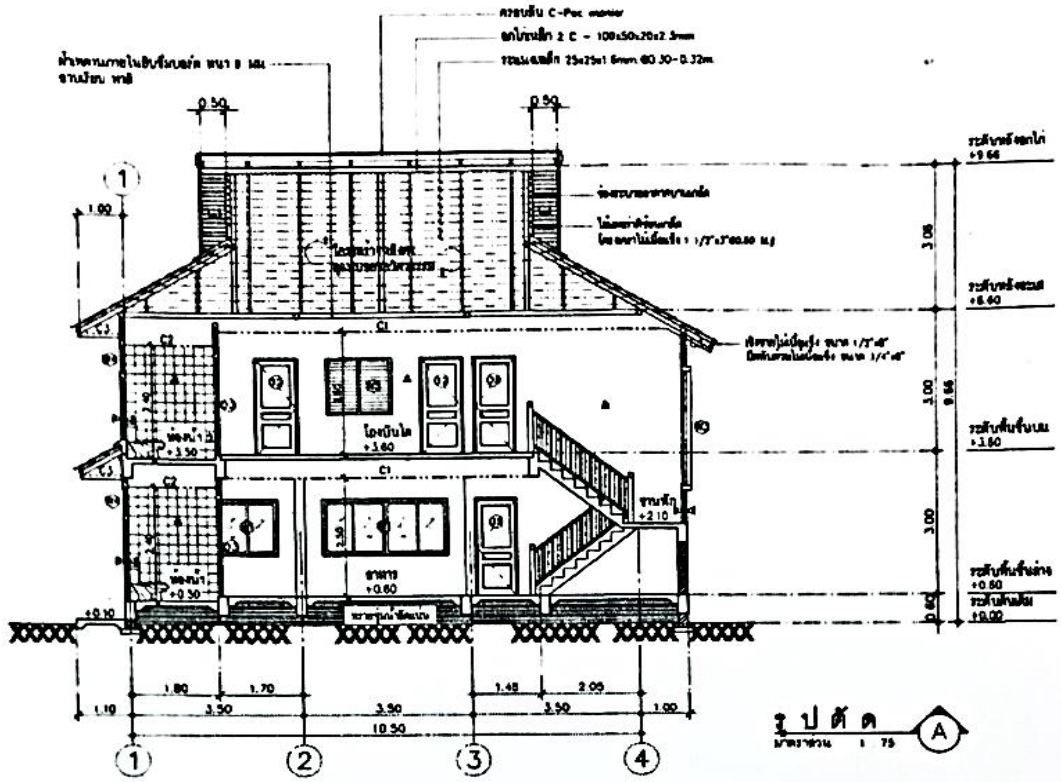
รูปด้าน B
มาตราส่วน 1 : 100

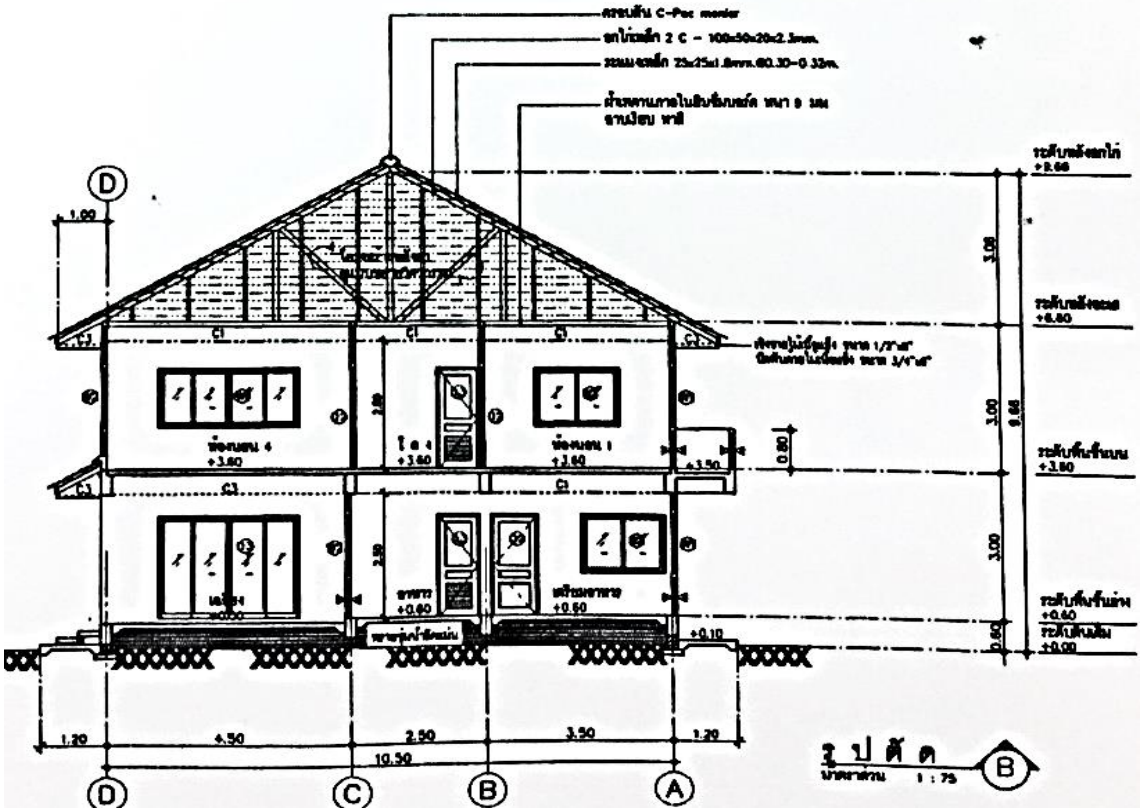


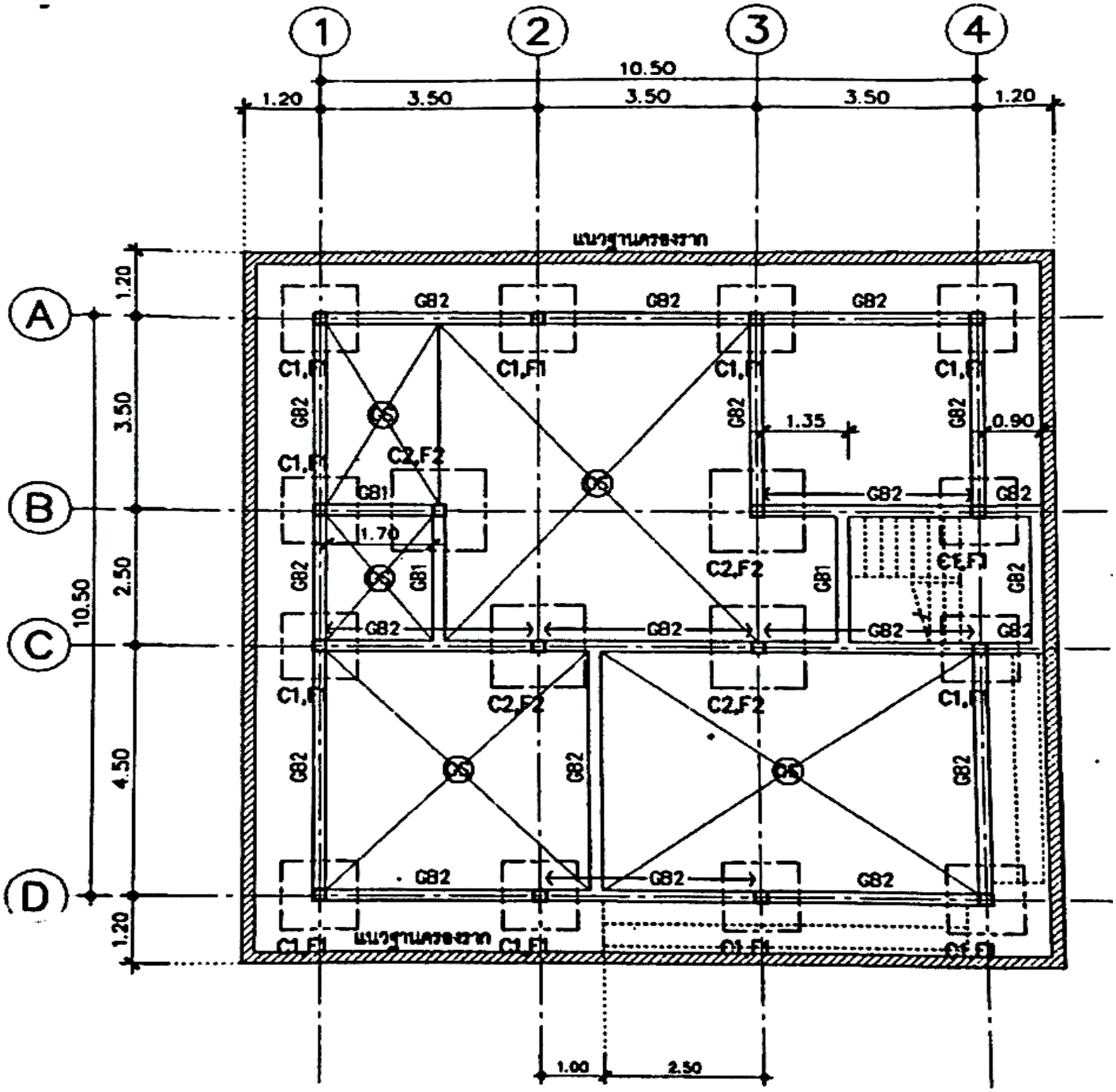
รูปด้าน C
มาตราส่วน 1 : 100



รูปด้าน D
มาตราส่วน 1 : 100

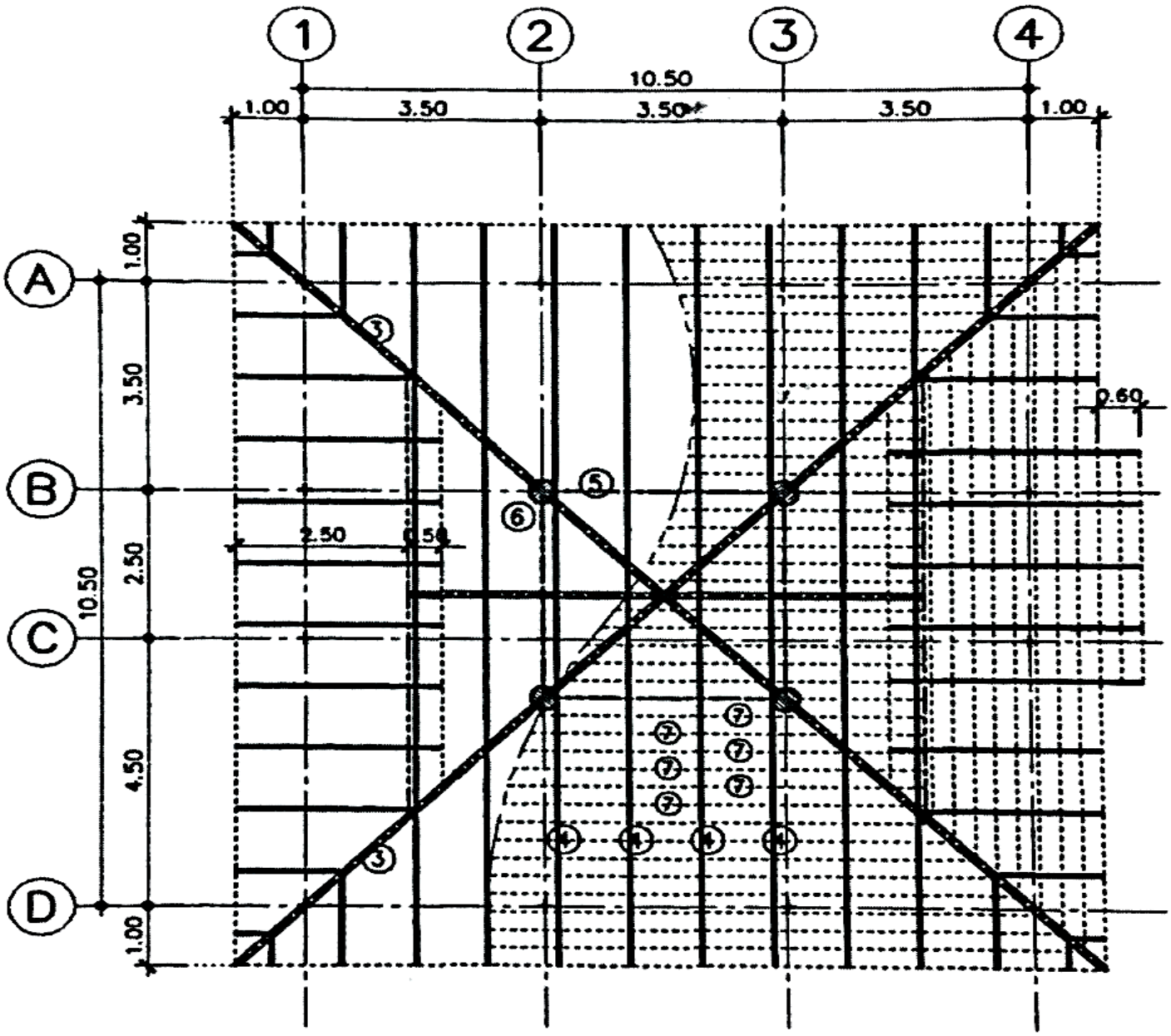

รูปตัด A
มาตราส่วน 1 : 75


รูปตัด B
มาตราส่วน 1 : 75



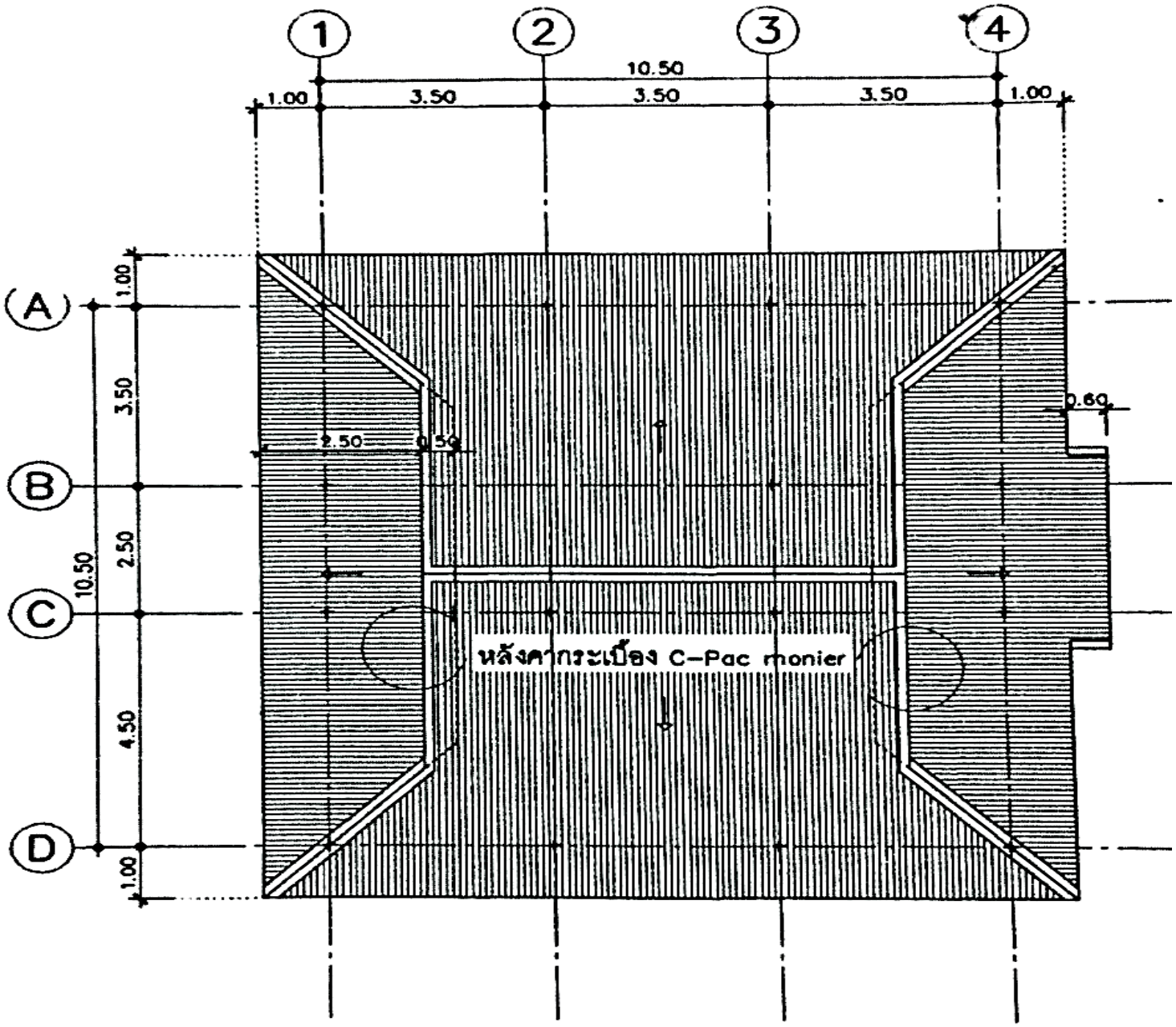
แปลนฐานราก เสาและคานคอดิน

มาตราส่วน 1 : 100



แปลนโครงหลังคา

มาตราส่วน 1 : 100

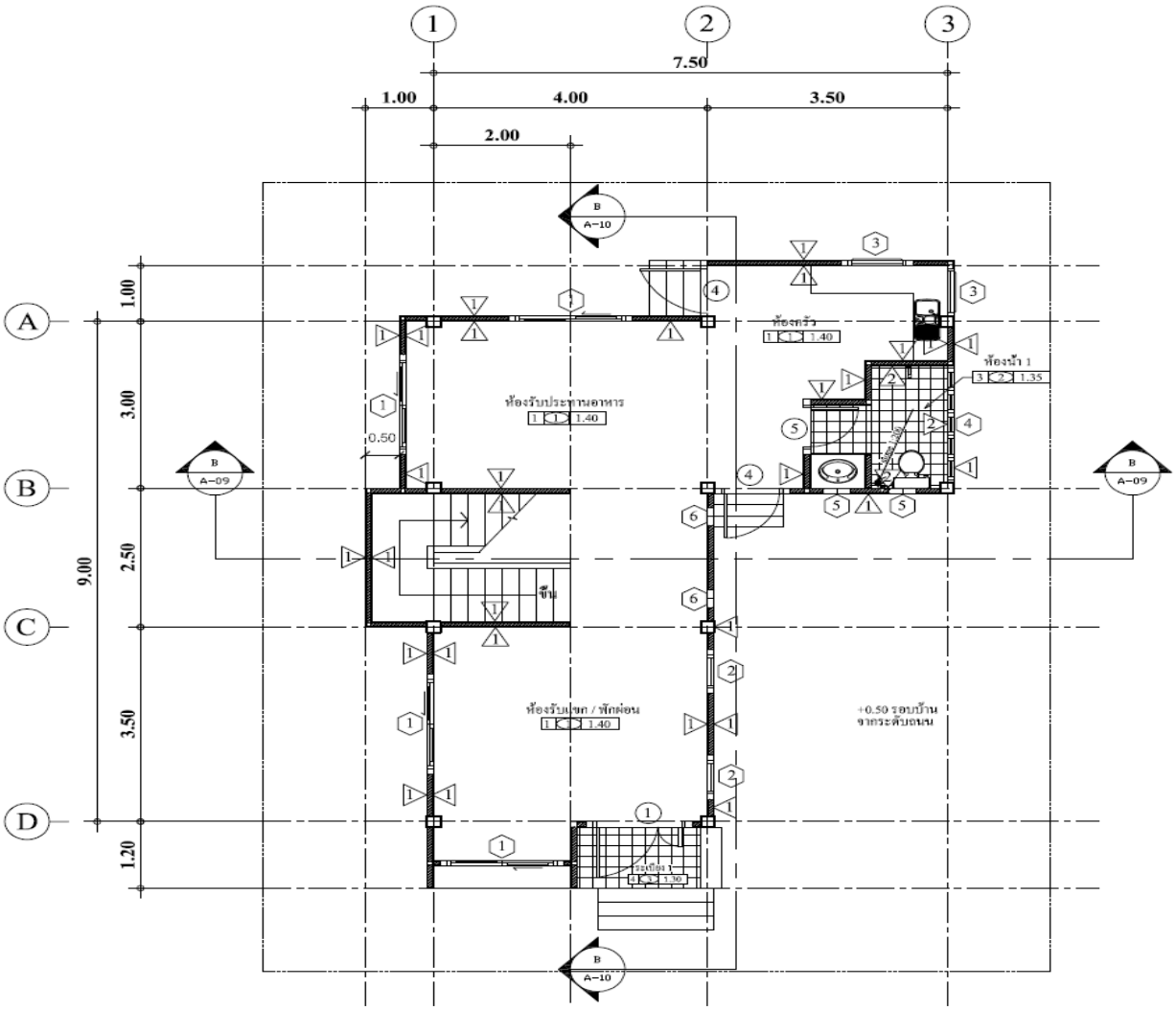


แ ป ล น ห ลั ง ค า

มาตราส่วน 1 : 100

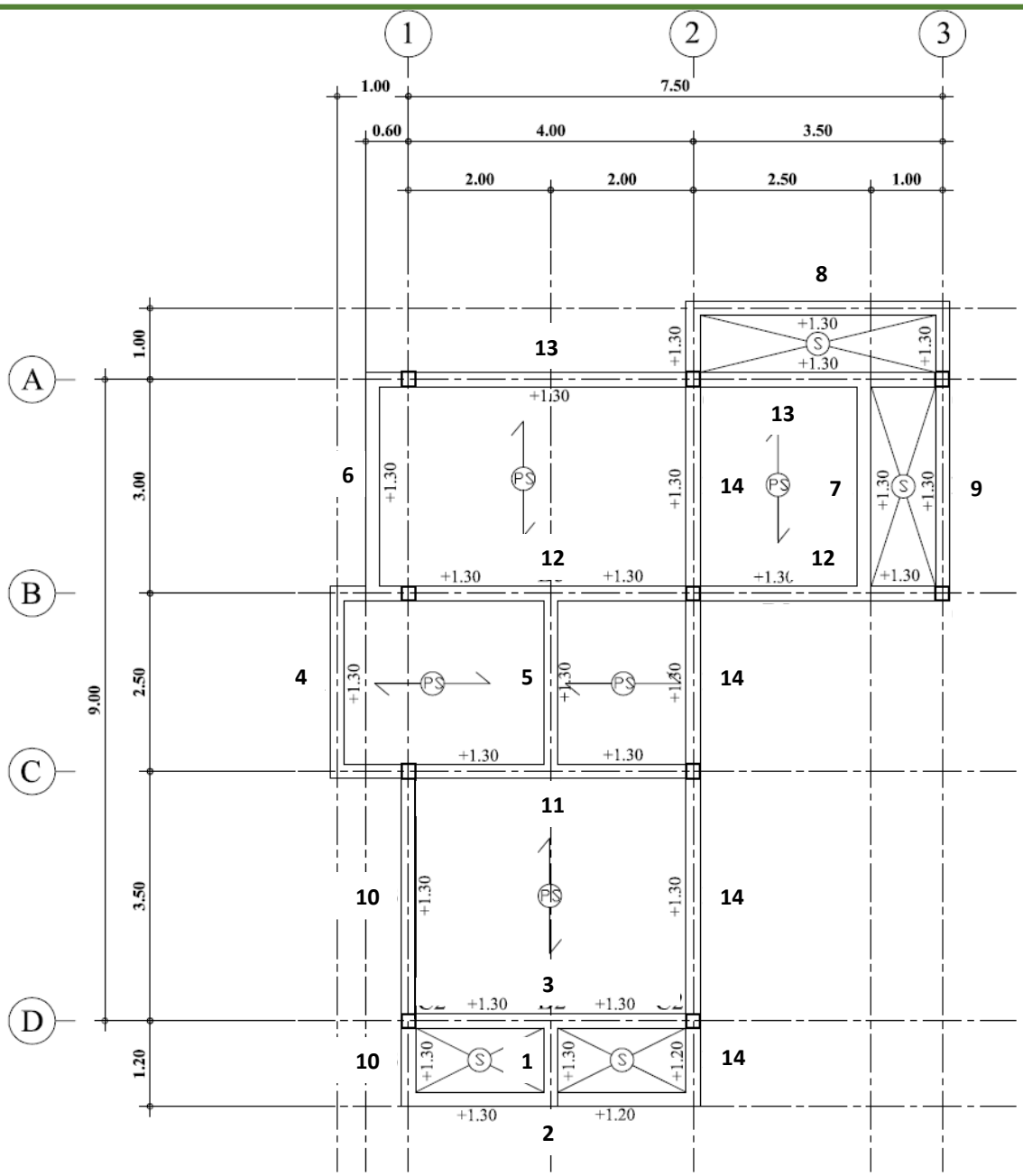
แบบประเมินความรู้รวบยอด
การคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กบ้านพักอาศัย

คำชี้แจง ให้คำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กบ้านพักอาศัย **นำคำตอบมากรอกในช่องว่างให้ถูกต้องครบถ้วน** ดังนี้



แปลนพื้นชั้นที่ 1

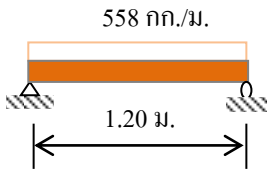
2. เขียนผังโครงสร้างคานเพื่อรองรับพื้นและผนังตามแนว Grid line โดยพิจารณาจากแบบรูปสถาปัตยกรรม พร้อมทั้งกำหนดชนิดของพื้นและระบุหมายเลขคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังรูป ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เป็นพื้นสำเร็จรูป (PS) พื้นเสริมเหล็กทางเดียว (S) และคานจำนวน 14 ตัว



ผังโครงสร้างพื้นและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

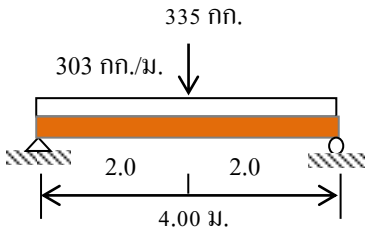
3. เขียนแบบจำลองทางโครงสร้างแล้วทำการถ่ายน้ำหนักจากพื้นและผนังลงคานรองรับ รวมทั้งน้ำหนักของคานเอง และทำการวิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อหาแรงภายใน ได้แก่ แรงปฏิกิริยา แรงเฉือน โมเมนต์ดัด และแรงบิด (ถ้ามี)

คานหมายเลข 1



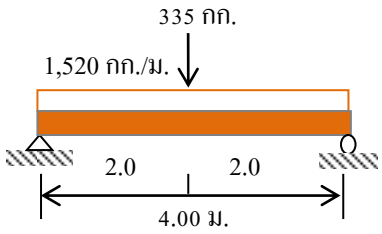
แรงปฏิกิริยา :..... กก.
แรงเฉือน : ..... กก.
โมเมนต์ดัด : ..... กก.–ม.

คานหมายเลข 2



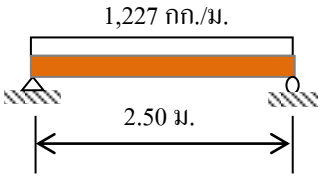
แรงปฏิกิริยา : ..... กก.
แรงเฉือน : ..... กก.
โมเมนต์ดัด : ..... กก.–ม.

คานหมายเลข 3



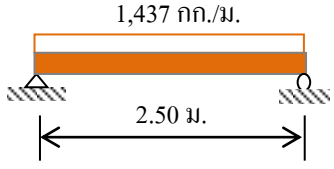
แรงปฏิกิริยา :..... กก.
แรงเฉือน :..... กก.
โมเมนต์ดัด : ..... กก.–ม.

คานหมายเลข 4



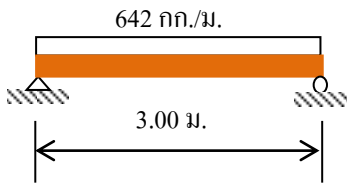
แรงปฏิกิริยา : ..... กก.
แรงเฉือน : ..... กก.
โมเมนต์ดัด : ..... กก.–ม.

คานหมายเลข 5



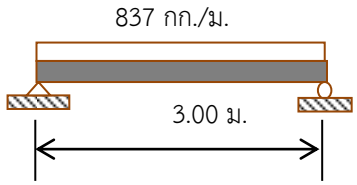
แรงปฏิกิริยา : ..... กก.
แรงเฉือน :..... กก.
โมเมนต์ดัด :.....กก.–ม.

คานหมายเลข 6



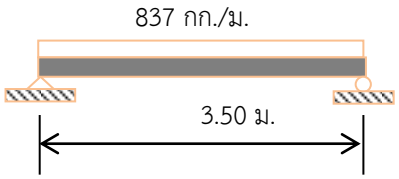
แรงปฏิกิริยา :.....กก.
แรงเฉือน :.....กก.
โมเมนต์ดัด :.....กก.–ม.

คานหมายเลข 7



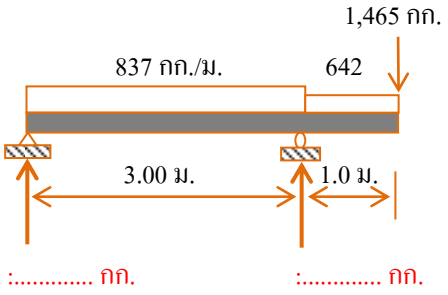
แรงปฏิกิริยา :..... กก.
แรงเฉือน :..... กก.
โมเมนต์ดัด :..... กก.–ม.

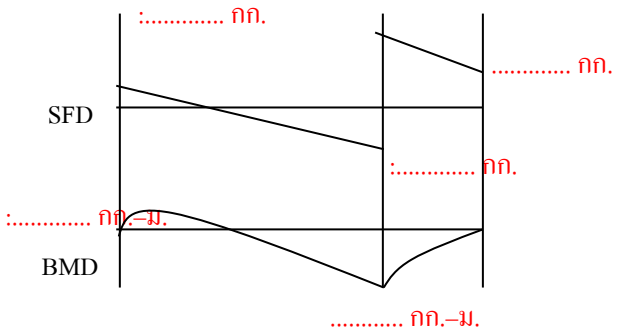
คานหมายเลข 8



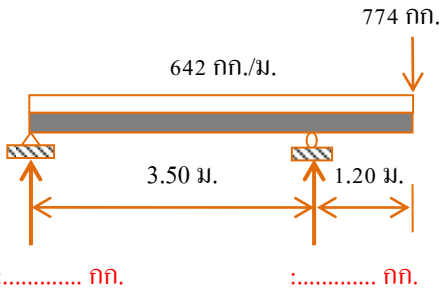
แรงปฏิกิริยา :.....กก.
แรงเฉือน :.....กก.
โมเมนต์ดัด :.....กก.–ม.

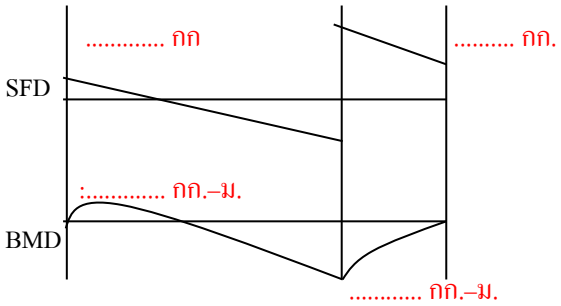
คานหมายเลข 9



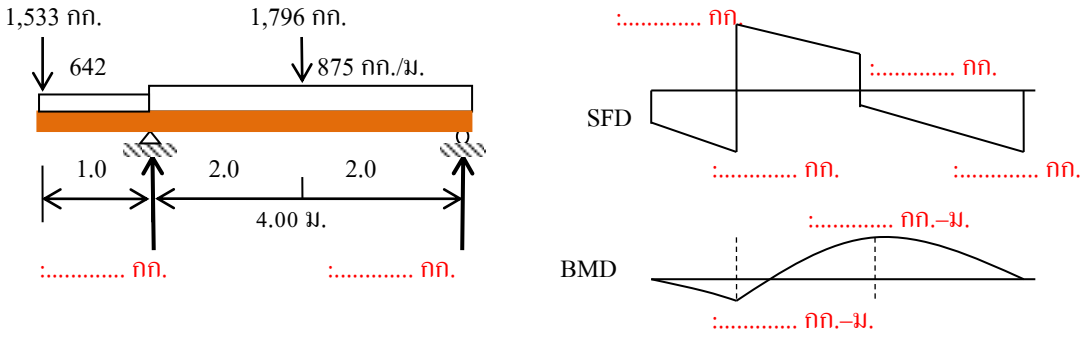


คานหมายเลข 10

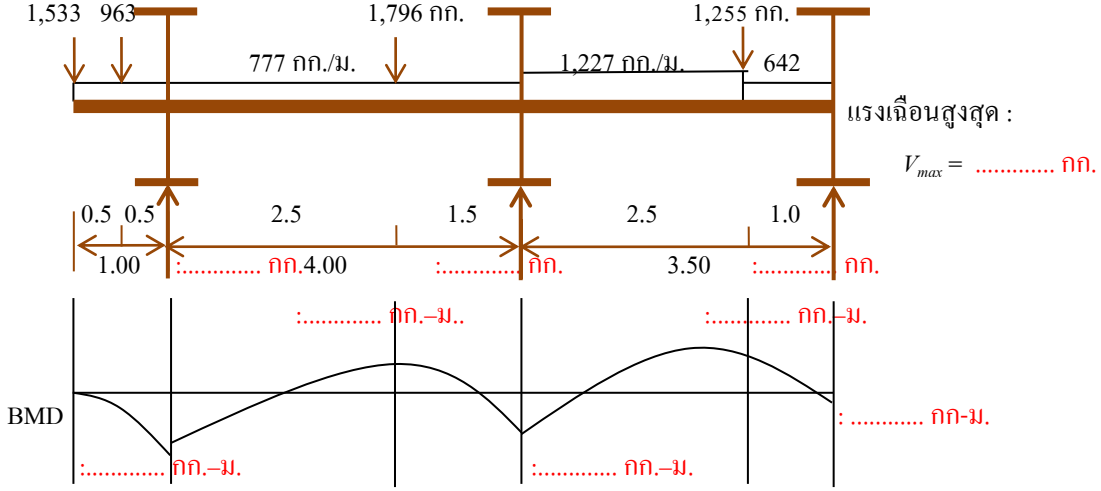




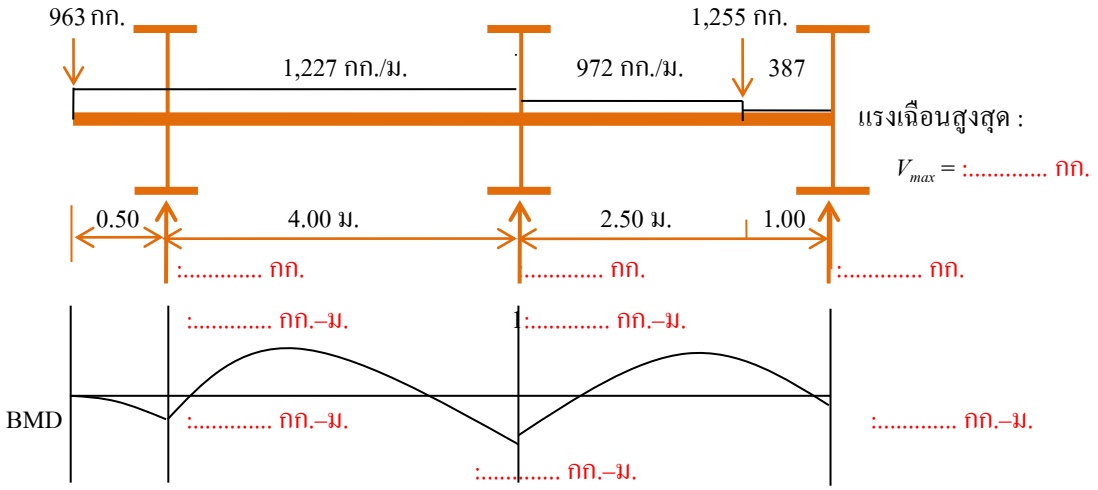
คานหมายเลข 11



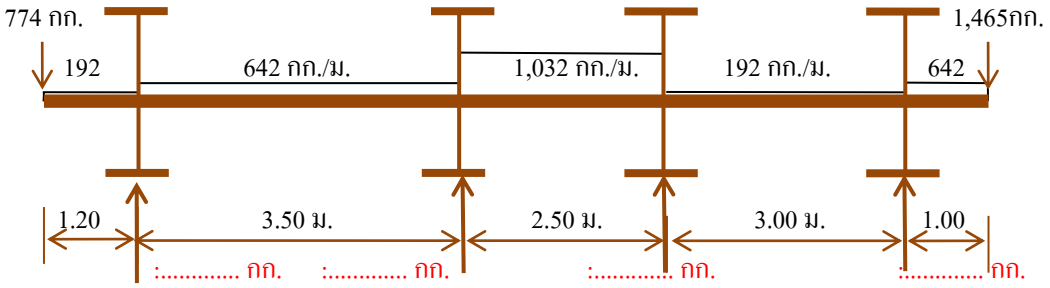
คานหมายเลข 12



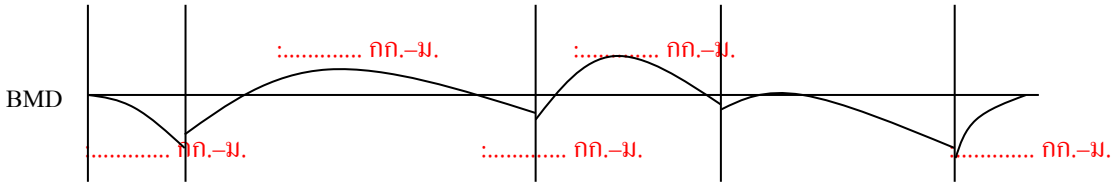
คานหมายเลข 13



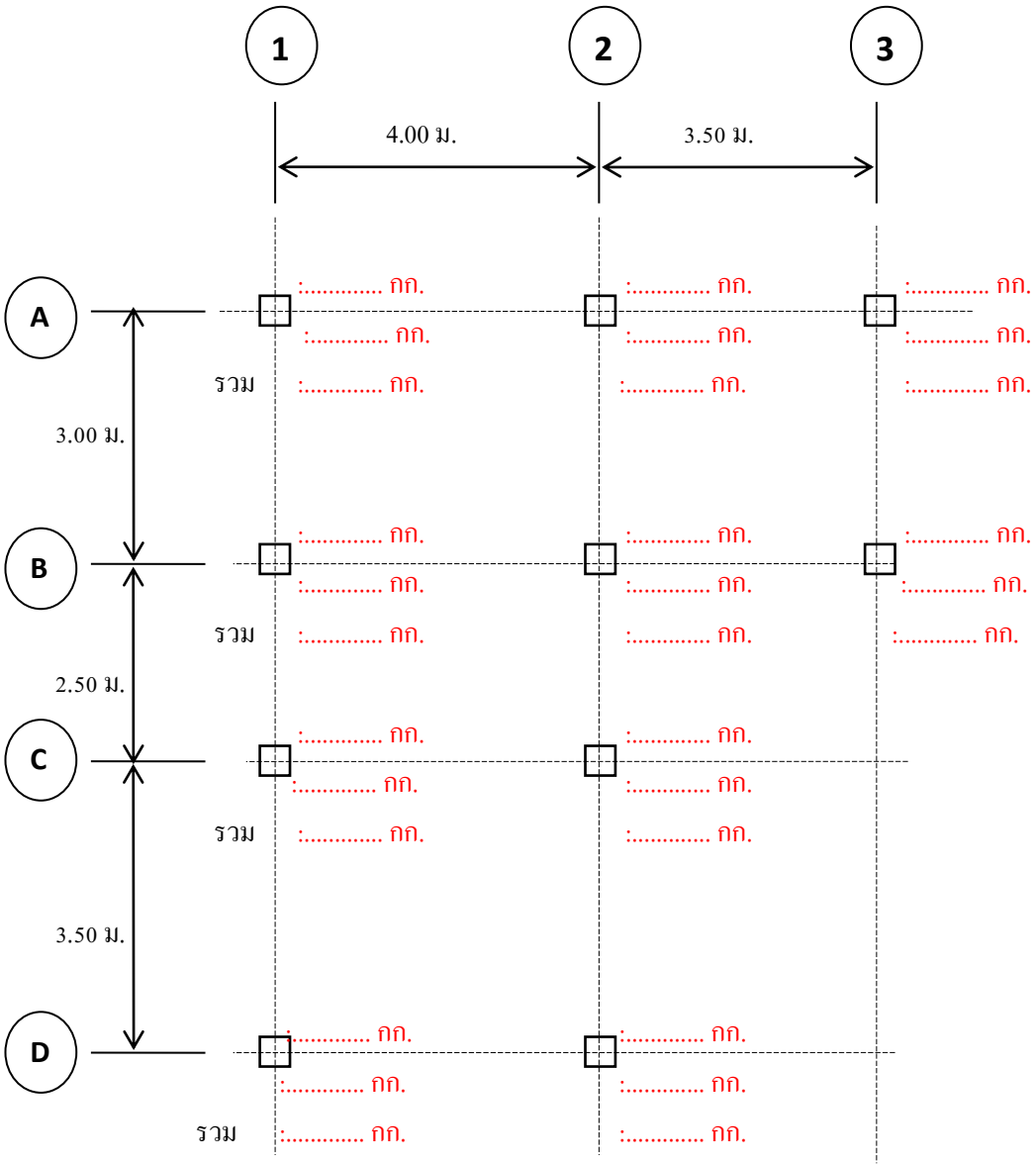
คานหมายเลข 14



แรงเฉือนสูงสุด : V_{max} = ...



4. รวมน้ำหนักถ่ายลงเสา (ชั้นที่ 1) โดยพิจารณาจากแรงปฏิกิริยาที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างในขั้นตอนที่ 3 และเขียนตามแนว Grid line ดังนี้



ข้อสังเกต

ส่วนของโครงสร้างรองรับน้ำหนักชั้นที่ 1 คือ เสาตอม่อ แต่เสาเป็นองค์อาคารที่รับน้ำหนักบรรทุกสะสมจากชั้นอื่นๆ ด้วย ดังนั้น การคำนวณออกแบบเสาตอม่อและฐานรากต้องรวมน้ำหนักชั้น 2 และชั้นหลังคาด้วย (กรณีเป็นบ้าน 2 ชั้น)

5. รายการคำนวณโครงสร้าง

รายการคำนวณโครงสร้าง

ข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบ

1. คอนกรีต : fc' = 150 กก./ซม.^{2}

$fc = 0.45fc'$ = 67.5 กก./ซม.^{2}

2. เหล็กเสริม

เหล็กข้ออ้อย : fy = 3,000 กก./ซม.^{2} fs = 1,500 กก./ซม.^{2}

เหล็กกลม : fy = 2,400 กก./ซม.^{2} fs = 1,200 กก./ซม.^{2}

3. ค่าคงที่สำหรับการออกแบบ :

ค่าคงที่	n	k	j	R
เหล็กข้ออ้อย	11	0.331	0.889	9.93
เหล็กกลม	11	0.382	0.872	11.24

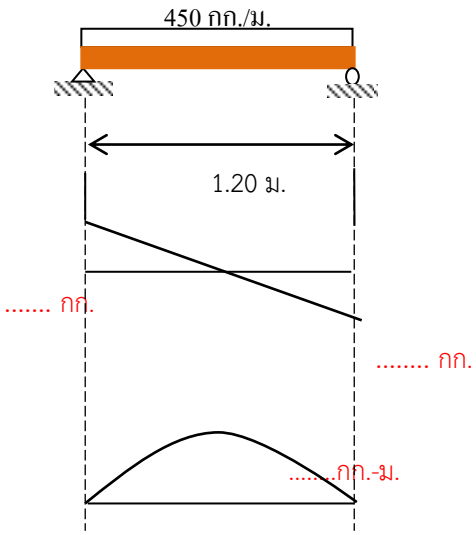
4. น้ำหนักบรรทุกจร (w_{LL}) :

ส่วนพักอาศัย ห้องน้ำ = 150 กก./ม.^{2}

หลังคา = 50 กก./ม.^{2}

5. แผ่นพื้นสำเร็จรูป (PS) เป็นพื้นคอนกรีตอัดแรงแบบท้องเรียบ สามารถรับน้ำหนักบรรทุกจรได้ไม่น้อยกว่า 150 กก./ม.^{2} เทคอนกรีตทับหน้าหนาไม่น้อยกว่า 5.0 เซนติเมตร เสริมเหล็ก ϕ 6 มม. @ 0.20 ม. หรือใช้ตะแกรงลวดเหล็กสำเร็จรูป (Wire mesh)

ออกแบบพื้น (S) : พื้นเสริมเหล็ก.....



$m = S/L :=$ .....: .....: *One way slab* ***or*** *two way slab*

ความหนาพื้นต่ำสุดของพื้นช่วงเดียว

$t = L/20 =$ .....= .....ม. เลือกใช้ ..... ม.

น้ำหนักที่กระทำกับพื้น

w_{DL} = ... = ... กก./ม.^{2}

w_{LL} = ...กก./ม.^{2}

w วัสดุปูพื้น = ...กก./ม.^{2}

น้ำหนักรวม : w = ...กก./ม.^{2}

โมเมนต์ที่ต้านทานโดยคอนกรีต : Mc

$Mc = Rbd^2$ =.....

= ..... กก.–ม. > M_{max}

$$As = \frac{M_{max}}{fs \times j \times d} = \text{.....} = \text{.....ซม.}^2$$

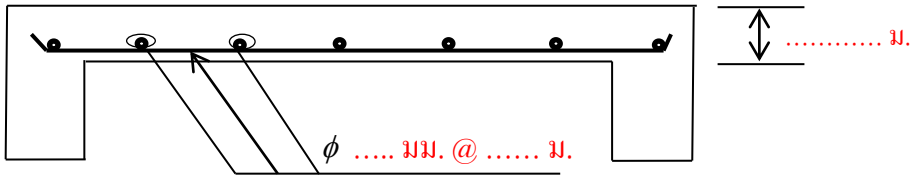
เลือกใช้ ϕ ..... มม. @ ..... ม. (As = ...ซม.^{2})

$As^t = 0.0025bt =$ .....= .....ซม.^{2}

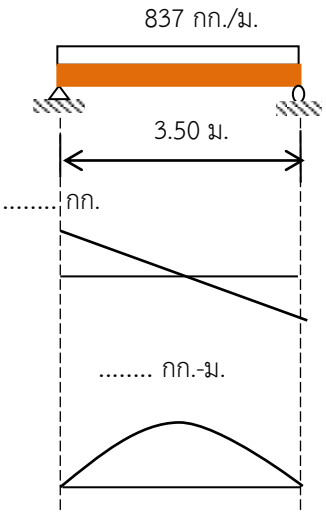
เลือกใช้ ϕ ..... มม. @ ..... ม. (As = ... ซม.^{2})

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น : v

$$v = \frac{V}{bd} = \text{.....} = \text{.....กก./ซม.}^2 < 0.29\sqrt{fc'}$$



ออกแบบคาน B1 (ใช้สำหรับคานหมายเลข 1, 2, 4, 5, 6, 7 และ 8)



เลือกขนาดคาน : .....x..... ม.

$Mc = Rbd^2 =$ .....

= ..... กก.–ม. > M_{max}

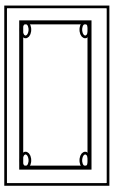
$As = \frac{M_{max}}{fs \times j \times d}$ = ...= ..... ซม.^{2}

เลือกใช้ ..... (As = ... ซม.^{2})

$Vc = 0.29\sqrt{fc'}bd$ = ... กก. > V_{Max}

เสริมเหล็กปลอกปริมาณต่ำสุด : $s = \frac{Av}{0.0015b}$

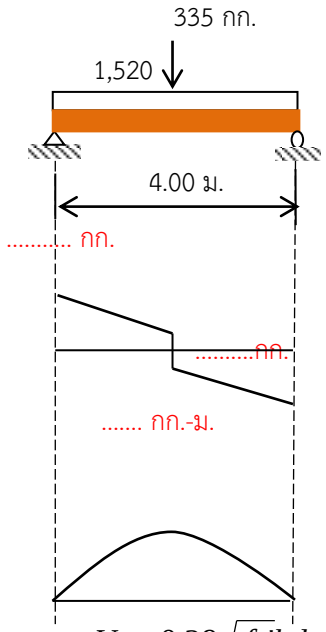
เลือกใช้ ϕ ..... มม. @ ..... ม.



ป ϕ .....

.....

ออกแบบคาน B2 (ใช้สำหรับคานหมายเลข 3)



เลือกขนาดคาน : .....x..... ม.

$Mc = Rbd^2 =$ .....

= ..... กก.–ม. < M_{max}

As_1 = ...= ..... ซม.^{2}

As_2 = ...= ..... ซม.^{2}

As = ... ซม.^{2} เลือกใช้..... (As = ...ซม.^{2})

$As' = \frac{1}{2} As_2 \frac{(1-k)}{(k - \frac{d'}{d})}$ = ... ซม.^{2}

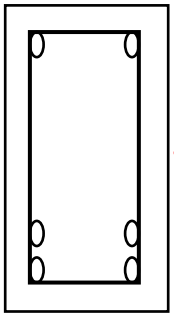
เลือก : ..... (As = ... ซม.^{2})

$Vc = 0.29\sqrt{fc'}bd$ = ... กก. < V_{Max}

V' = ... กก.

$s = \frac{Avfvd}{V'}$ = ... ซม.

เลือกใช้ ϕ ..... มม. @ ..... ม.

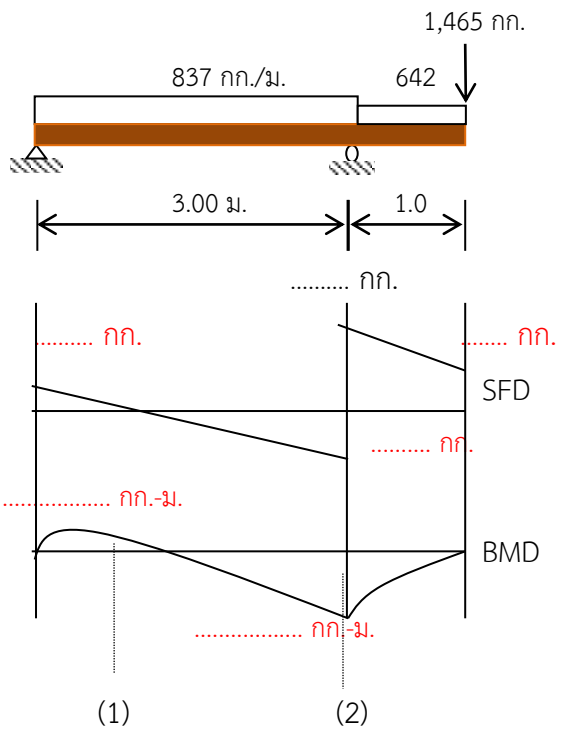


.....

ป ϕ .....

.....

ออกแบบคาน B3 (ใช้สำหรับคานหมายเลข 9 และ 10)



เลือกขนาดคาน : .....x ..... ม.

$Mc = Rbd^2 =$ .....

= ..... กก.–ม. > M_{max}

$As = \frac{M_{\max}}{fs \times j \times d} =$ .....

= ..... ซม.^{2}

เลือกใช้ .....

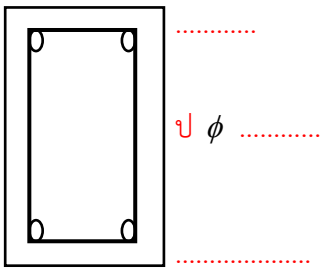
(As = ...ซม.^{2})

$Vc = 0.29\sqrt{fc'}bd$ = ... กก. > V_{Max}

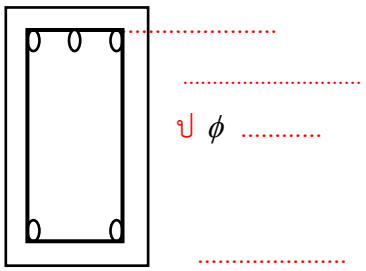
เสริมเหล็กปลอกปริมาณต่ำสุด :

$s = \frac{Av}{0.0015b}$ = ...

เลือกใช้ ϕ .....มม. @ ..... ม.

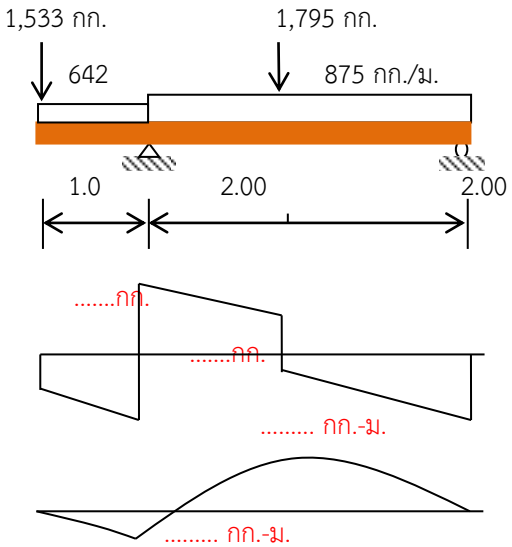


(1) – (1)



(2) – (2)

ออกแบบคาน B4 (ใช้สำหรับคานหมายเลข 11)



เลือกขนาดคาน : .....x..... ม.

$Mc = Rbd^2 =$ .....

= ..... กก.–ม. < M_{max}

ช่วงโมเมนต์บวก (^{+}M)

$As_1 =$ ..... .= ..... ซม.^{2}

$As_2 =$ .....= ..... ซม.^{2}

As = ... ซม.^{2} เลือกใช้ .....

$$As' = \frac{1}{2} As_2 \frac{(1-k)}{(k-\frac{d'}{d})}$$ = ...ซม.^{2}

ช่วงโมเมนต์ลบ (^{-}M)

$$As = \frac{M_{max}}{fs \times j \times d} =$$ .....

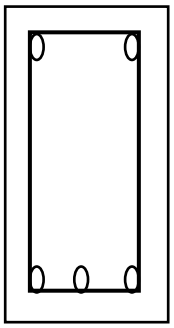
= ..... ซม.^{2} เลือกใช้.....

$Vc = 0.29\sqrt{fc'}bd$ = ... กก. < V_{Max}

V' = ... กก.

$s = \frac{Avfvd}{V'}$ = ... ซม.

เลือกใช้ ϕ .....มม. @ ..... ม.

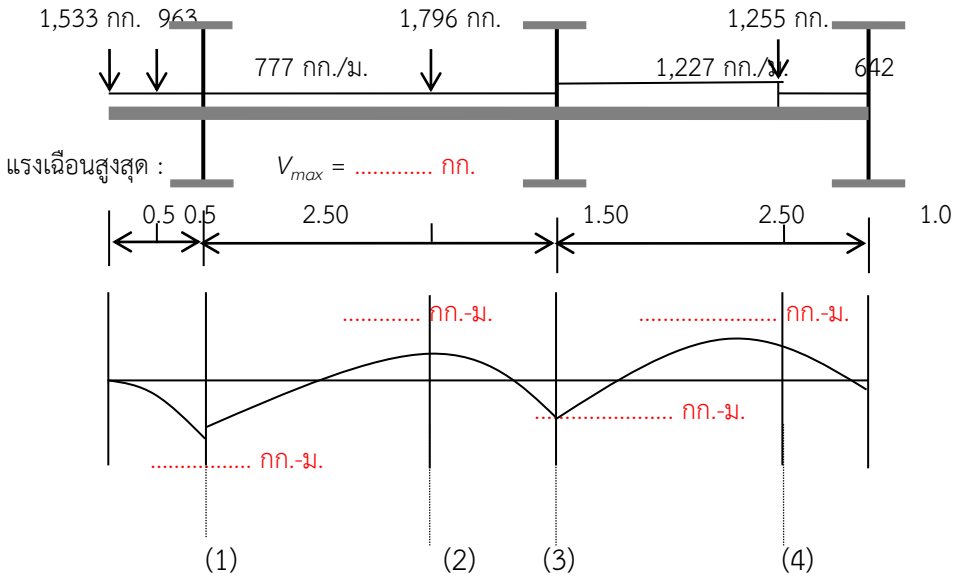


.....

ปลอก ϕ ..... @ ..... ม.

.....

ออกแบบคาน B5 (ใช้สำหรับคานหมายเลข 12 และ 13)



เลือกขนาดคาน : .....x.....ม.

$Mc = Rbd^2$ = ... = ... กก.–ม. > M_{max}

ช่วงโมเมนต์บวก (^{+}M)

As = ...= ..... ซม.^{2}

เลือกใช้ .....

ช่วงโมเมนต์ลบ (^{-}M)

As = ...= ..... ซม.^{2}

เลือกใช้ .....

As = ...= ..... ซม.^{2}

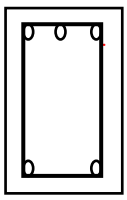
เลือกใช้ .....

$Vc = 0.29\sqrt{fc'}bd$ = ...กก. < V_{Max}

V' = ... กก.

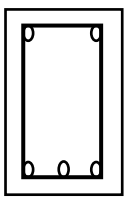
$s = \frac{Avfvd}{V'}$ = ... ซม.

เลือกใช้ ϕ .....มม. @ ..... ม.



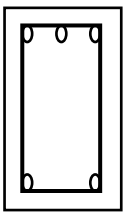
.....

(1) – (1)



.....

(2) – (2)



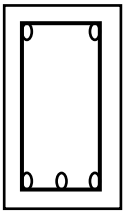
.....

.....

ป ϕ .... มม. @ ..... ม.

.....

(3) – (3)

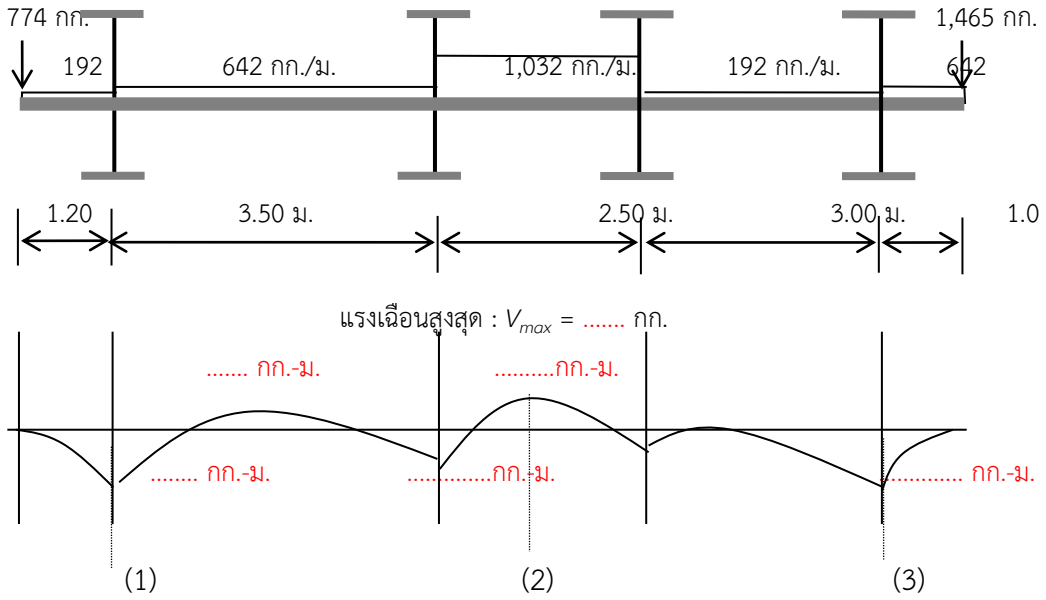


.....

.....

(4) – (4)

ออกแบบคาน B6 (ใช้สำหรับคานหมายเลข 14)



เลือกขนาดคาน : .....x.....ม.

$$Mc = Rbd^2 = \text{.....} = \text{.....กก.–ม.} > M_{max}$$

ช่วงโมเมนต์บวก (^{+}M)

$As =$ ..... = ...ซม.^{2}

เลือกใช้ .....

ช่วงโมเมนต์ลบ (^{-}M)

$As =$ ..... = ...ซม.^{2}

เลือกใช้ .....

$As =$ ..... =..... ซม.^{2}

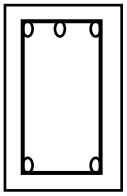
$Vc =$ ..... = ...กก. > V_{Max}

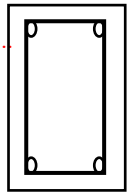
เลือกใช้ .....

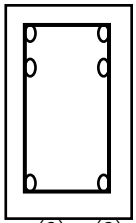
เสริมเหล็กปลอกปริมาณต่ำสุด :

$$s = \frac{Av}{0.0015b} = \text{.....}$$

เลือกใช้ ϕ ..... มม. @ .....ม.

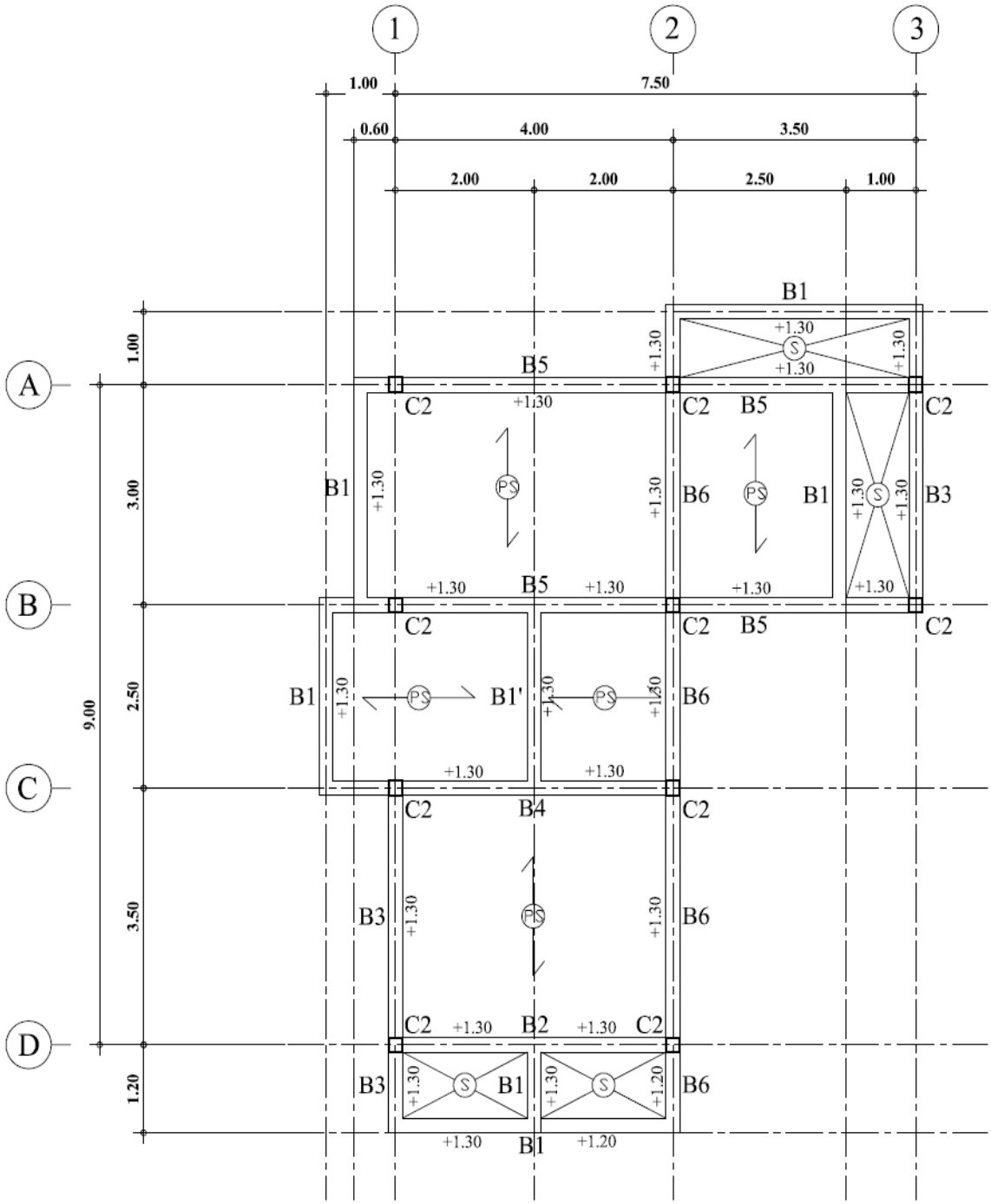

(1) – (1)


(2) – (2)


(3) – (3)

ป ϕ .....

6. เขียนผังโครงสร้างพื้นและคานพร้อมระบุชื่อพื้นและคานที่ออกแบบ



ผังโครงสร้างพื้นและคานชั้นที่ 1

ใบงาน กิจกรรมกลุ่มเสริมบทเรียน
การออกโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กอาคารที่พักอาศัย

คำชี้แจง

1. ให้นักศึกษาแบ่งกลุ่มละ 3-5 คน . นำแบบรูปรายการบ้านพักอาศัยเป็นแบบทางสถาปัตยกรรม ประกอบด้วย แปลนพื้น รูปด้านทั้งสี่ด้าน และอื่นๆ มากลุ่มละ 1 ชุด
2. ให้ศึกษารายละเอียด รายการประกอบแบบ การกำหนดใช้วัสดุ เทคนิควิธีการก่อสร้าง และประมาณราคาการก่อสร้าง เป็นรายงานกลุ่ม
3. ให้นักศึกษาคำนวณออกแบบ โครงสร้างอาคาร โดยวิธีทฤษฎีอีลาสติกและเขียนแบบขยายแสดงจำนวนเหล็กเสริมในโครงสร้าง

1. **ขั้นเตรียม** เป็นขั้นที่มอบหมายให้ทำเป็นกลุ่ม กำหนดจุดมุ่งหมาย เวลา วิธีการ ตลอดจนเตรียมสื่อการสอนและเอกสารที่ต้องใช้ในการสอน แบบและรายการ
2. **ขั้นดำเนินการสอน** ประกอบด้วย ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน เป็นขั้นจูงความสนใจของผู้เรียนเข้าสู่กิจกรรมกลุ่มเสริมบทเรียน ให้ผู้เรียนเกิดความพร้อมที่จะเรียนรู้ อาจใช้วิทบทวนความรู้เดิม สนทนา ซักถาม อภิปรายนำเรื่อง ฯลฯ นอกจากนี้ ผู้สอนควรได้แจ้งจุดประสงค์การสอน แจ้งขั้นตอนการทำกิจกรรม กำหนดเวลา และข้อตกลงอื่นๆ ให้ผู้เรียนเข้าใจตรงกันก่อนเข้ากลุ่มทำกิจกรรมกลุ่มเสริมบทเรียน
3. **ขั้นสอน** มีลำดับดังนี้
   - แบ่งผู้เรียนออกเป็นกลุ่มตามจำนวนที่เหมาะสม ให้ใช้วิธีการแบ่งกลุ่มที่น่าสนใจ
   - ให้แต่ละกลุ่มเลือกประธาน เลขานุการ
   - แจกสื่อการเรียนที่กลุ่มจำเป็นต้องใช้ในการทำกิจกรรมกลุ่ม
   - ให้กลุ่มทำกิจกรรมที่ได้รับมอบหมายภายในเวลาที่กำหนด
   - ให้แต่ละกลุ่มรายงานผลงานของกลุ่มตามที่ผู้สอนกำหนด

4. **ขั้นสรุป** ให้ผู้เรียนร่วมกันทำรายการคำนวณใน กิจกรรมกลุ่มเสริมบทเรียน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์
กิจกรรมกลุ่มเสริมบทเรียน วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ/สกุล.....เลขที่.....กลุ่ม.....ชั้น/ปี.....

ลำดับที่	พฤติกรรมที่ประเมิน	ระดับคะแนน					หมายเหตุ
		5	4	3	2	1	
1	ความตรงต่อเวลา						**ความหมายของระดับคะแนน** ระดับการปฏิบัติมาก = 5 ระดับการปฏิบัติดี = 4 ระดับการปฏิบัติปานกลาง = 3 ระดับการปฏิบัติน้อย = 2 ระดับการปฏิบัติน้อย = 1
2	ความมีระเบียบวินัย						
3	ความซื่อสัตย์สุจริต						
4	ความสนใจใฝ่รู้						
5	ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์						
6	การละเว้นสิ่งเสพติดและการพนัน						
7	ความรับผิดชอบต่อหน้าที่และงานที่ได้รับมอบหมาย						
8	มารยาทไทย						
9	ความสามัคคีในหมู่คณะ						
10	ความมีจิตสำนึกที่เห็นแก่ส่วนรวม						
รวมคะแนน							
รวมคะแนนทั้งหมด							

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ประเมิน

แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายบุคคล

ที่	คะแนน / ชื่อ-สกุล	การรับฟังความคิดเห็น	การเสนอความคิดเห็น	การยอมรับคนอื่น	การสร้างบรรยากาศในกลุ่ม	รวมคะแนน	ระดับการมีส่วนร่วม
		5	5	5	5	20	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

2. แบบประเมินผลพฤติกรรมรายกลุ่ม

คะแนน / กลุ่ม	การนำเสนอผลงาน		การบันทึกผลงาน			รวมคะแนน	ระดับคุณภาพของผลงาน
	ขั้นนำ	ขั้นเสนอ	ขั้นสรุป	ถูกต้อง	เรียบร้อย		
	10	10	10	10	10	50	
1							
2							
3							
4							
5							

ระดับของคะแนนย่อย 5 = มากที่สุด 4 = ค่อนข้างมาก 3 = ปานกลาง 2 = ค่อนข้างน้อย 1 = น้อยที่สุด

เกณฑ์การประเมินผล 20-15 = มาก 8-14 = ปานกลาง 7-1 = น้อย

ลงชื่อผู้ประเมิน.....

(.....)

ผู้ประเมิน

เอกสารอ้างอิง

กวี หวังนิเวศน์กุล.(2548). **การออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเบื้องต้น.** กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์ เอเชีย เพรส, 280 หน้า

การติดตั้งเสริมเหล็กแผ่นพื้นไร้คาน **POST TENSION SLAB** ข้อมูลออนไลน์ http://oknation.nationtv.tv/blog/civil/2008/09/15/entry-1 และ http://ozone7th.blogspot.com/2014/08/post-tension.html, เข้าถึง 20 ตุลาคม 2559

กฎกระทรวงมหาดไทย. ฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527. ออกตามความใน **พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร** พ.ศ. 2522.

กำลังอัดคอนกรีต **กำลังอัดประลัยของคอนกรีต** ข้อมูลออนไลน์ https://www.yotathai.com, เข้าถึง เมื่อ 20 ตุลาคม 2559

ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร.(2544). **การควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522** (ข้อ 50). กรุงเทพมหานคร.

โครงสร้างอาคารและการถ่ายน้ำหนักลงฐานราก ข้อมูลออนไลน์ http://dpm.nida.ac.th/main/ เข้าถึง เมื่อ 25 ตุลาคม 2559

ชาญชัย จารุจินดา.(2537). **การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก.**กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์บุญเลิศการพิมพ์, 259 หน้า

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. **คอนกรีตเทคโนโลยี คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค** พิมพ์ครั้งที่ 5 พ.ศ. 2547.

ฐานราก **ระบบฐานรากวางบนเสาเข็มต้นเดียว** ข้อมูลออนไลน์. https://www.bhu และ SCG Building Materials 2558) misiam.com/ เข้าถึง เมื่อ 31 ตุลาคม 2559

นิพนธ์ อังกุราภินันท์.(2544) **คู่มือออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก.** กรุงเทพมหานคร.สำนักพิมพ์ โอเอสพริ้นติ้งเฮาส์, 475 หน้า

มงคล จิรวัชรเดช. (2549). **การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก** . พิมพ์ครั้งที่ 4, 250 หน้า

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. **เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต.** เหล็กเส้นกลม มอก. 20–2543 กระทรวงอุตสาหกรรม.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. **เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต เหล็กข้ออ้อย** มอก. 24–2548 กระทรวงอุตสาหกรรม

พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก **พื้นระบบตง.** ข้อมูลออนไลน์ http://54029404plus1.blogspot.com/2012/04/1.html. เข้าถึง 18 ตุลาคม 2559

บริษัท ผลิตภัณฑ์ และวัตถุก่อสร้าง จำกัด. **คู่มือการทดสอบหิน ทราย และคอนกรีต** พิมพ์ครั้งที่ 5 พ.ศ. 2552

บริษัทฮ้อแสงชัย จำกัด.(2560**). คอนกรีตเทคโนโลยี.** ข้อมูลทางการค้า. กรุงเทพฯ.

บริษัทตะวันฉาย จำกัด.(2560). **คอนกรีต.** ข้อมูลทางการค้า. กรุงเทพฯ.

บริษัท เบสท์เฮ้าส์กรุ๊ป.(2560). **วัสดุก่อสร้าง.** ข้อมูลทางการค้า. กรุงเทพฯ.

บริษัท DCON. จำกัด (2558). **คอนกรีตเทคโนโลยี**. ข้อมูลทางการค้า. เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร.

บริษัท ตรัง ซีย่ จำกัด.(2559). **ข้อมูล หิน หินคลุก หินฝุ่น.**ข้อมูลทางการค้า. ตรัง.

มงคล เรืองรุชดิ์ชีระโรจน์.(2556**) คอนกรีตเทคโนโลยี**. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาสารคาม.

วินิต ช่อวิเชียร.(2539) **คอนกรีตเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 8 .กรุงเทพมหานคร.

วินิต ช่อวิเชียร.(2545) **การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร.

วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่. (2556) **เอกสารประกอบการสอนการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก.** ระดับ ปวส. สาขาวิชาช่างก่อสร้าง.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.(2539) **มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน.** สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.กรุงเทพฯ.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.(2555) **Reinforced Concrete Design**. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.กรุงเทพฯ.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.(2559) ตัวอย่างแนว **ข้อสอบภาคีวิศวกรโยธา วิชา Reinforced Concrete Design**. สภาวิศวกร วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.กรุงเทพมหานคร.

พื้นสำเร็จรูปและการประกอบติดตั้ง **ระบบพื้นสำเร็จรูป** ข้อมูลออนไลน์ http://www.poundconcrete.co.th. เข้าถึง 20 ตุลาคม 2559.

สถาพร โภคา.(2544) **การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก วิธีหน่วยแรงใช้งาน** บริษัท ไลบรารีนาย จำกัด . กรุงเทพมหานคร., 415 หน้า.

สาโรจน์ ดำรงศิลป์.(2559) **การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน**. สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, 192 หน้า

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา.(2558) **หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาการก่อสร้าง.** (เอกสารอัดสำเนา) : 180 หน้า

สมกิจ ตันศิริ.(2550) **เอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก.** แผนกวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคภูเก็ต, 350 หน้า

สมศักดิ์ คำปลิว.(2547) **การออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก.** สำนักพิมพ์ เอช-เอนการพิมพ์. กรุงเทพมหานคร: 243 หน้า.

หน่วยแรง (Stress) กับหน่วยการยืดตัว (Strain)ของ **เหล็กเสริม** ข้อมูลออนไลน์ www.nde-ed.org เข้าถึง 20 ตุลาคม 2559

American Concrete Institute Building Code. **Requirement for Structural Concrete,** (ACI 318) 2005.

American Society for Testing and Materials, ASTM. **Annual Book of ASTM Standard**, 2001, Volume 4.01 and 4.02

CPAC ACADEMY. (2558). ข้อมูลด้านเทคนิค. **มิติของบันได** ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 55, (พ.ศ. 2543) ข้อ 23 The Concrete Product and Aggregate co., ltd.กรุงเทพมหานคร, 220 หน้า

CPAC ACADEMY. (2558) **คอนกรีตเทคโนโลยี.** The Concrete Product and Aggregate co., ltd. กรุงเทพมหานคร, 220 หน้า

Edward G. Nawy, **Reinforced Concrete**: A Fundamental Approach, 6th ed., Pearson International Edition, 2009.

Footing. **Footing Steam** ข้อมูลออนไลน์. https://fenngeerati.wordpress.com/tag/lean-concrete/. กีรติ ตียาสิริ.เข้าถึง เมื่อ 27 ตุลาคม 2559

Smsho Arch@rsu. (2017) **PROJECT BOUTIQUE HOTEL**. Faculty of Architecture. Rangsit University.

Post Engineer Department. (2559) **พื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก**. ข้อมูลทางการค้า.กรุงเทพฯ.

ภาคผนวก

ก. ชุดเฉลย แบบทดสอบ แบบฝึกหัดหรือใบงาน

ข. แบบทดสอบโจทย์ระคนก่อนและหลังเรียน

- ชุดเฉลยแบบทดสอบโจทย์ระคนก่อนและหลังเรียน
- แบบกระดาษคำตอบ

ก. ชุดเฉลย แบบทดสอบ แบบฝึกหัดหรือใบงาน

ชุดแบบเฉลย
แบบทดสอบก่อนและหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลที่ 1 พื้นฐานโครงสร้างคอนกรีตเหล็กเสริม

--ข้อสอบก่อนเรียน

1. ง 2. ก 3. ค 4.ค 5. ง 6. ง 7. ก 8. ข 9. ข 10. ข

--ข้อสอบหลังเรียน

1. ข 2. ง 3. ก 4.ก 5. ข 6. ค 7. ง 8. ค 9. ก 10. ค

ชุดแบบเฉลย
แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลที่ 2 การออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

คำชี้แจง: จงเติมคำตอบของคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง (คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลา 10 นาที)

1. f_s' หมายถึง ค่า **หน่วยแรงกำลังอัดที่ยอมให้ของเหล็กเสริม** มีหน่วยเป็น **กก./ซม.^{2}**
2. As หมายถึง ค่า **พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึง** มีหน่วยเป็น **ซม.^{2}**
3. A_s' หมายถึง ค่า **พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงอัด** มีหน่วยเป็น **ซม.^{2}**
4. M' หมายถึง ค่า **โมเมนต์ที่เกิดจากที่โมเมนต์คอนกรีตรับได้** มีหน่วยเป็น **กก.-ม.**
5. A_{S1} หมายถึง ค่า **พื้นที่เหล็กรับแรงดึงที่ต้านโมเมนต์เท่าคอนกรีต** มีหน่วยเป็น **ซม.^{2}**
6. Mc หมายถึง ค่า **โมเมนต์ที่คอนกรีตรับได้** มีหน่วยเป็น **กก.-ม.**
7. M หมายถึง ค่า **โมเมนต์ที่กระทำกับโครงสร้าง** มีหน่วยเป็น **กก.-ม.**
8. d' หมายถึง ค่า **ระยะจากด้านรับแรงอัดถึงเหล็กรับแรงอัด** มีหน่วยเป็น **ม..ซม.**
9. **กรณีที่ Mc มีค่ามากกว่า M แสดงว่า**

   ออกแบบให้หน้าตัดโครงสร้าง มีเหล็กเสริมรับแรง **ดึงเพียงอย่างเดียว**

10. **กรณีที่ Mc มีค่าน้อยกว่า M แสดงว่า**

    ออกแบบให้หน้าตัดโครงสร้าง มีเหล็กเสริมรับแรง **ดึง-อัด เพียงอย่างเดียว**

ชุดแบบเฉลย
แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลที่ 2 การออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

คำชี้แจง: จงเติมคำตอบของคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง (คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลา 10 นาที)

1. A_s' หมายถึง ค่า**พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงอัด** มีหน่วยเป็น **ซม.^{2}**
2. As หมายถึง ค่า**พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึง** มีหน่วยเป็น **ซม.^{2}**
3. f_s' หมายถึง **หน่วยแรงกำลังอัดที่ยอมให้ของเหล็กเสริม** มีหน่วยเป็น **กก./ซม.^{2}**
4. A_{S1} หมายถึง **พื้นที่เหล็กรับแรงดึงที่ต้านโมเมนต์เท่าคอนกรีต** มีหน่วยเป็น **ซม.^{2}**
5. M' หมายถึง ค่า**โมเมนต์ที่เกิดจากที่โมเมนต์คอนกรีตรับได้** มีหน่วยเป็น **กก.-ม.**
6. M หมายถึง ค่าค่า **โมเมนต์ที่กระทำกับโครงสร้าง** มีหน่วยเป็น **กก.-ม.**
7. Mc หมายถึง ค่า**โมเมนต์ที่คอนกรีตรับได้** มีหน่วยเป็น **กก.-ม.**
8. d' หมายถึง ค่า**ระยะจากด้านรับแรงอัดถึงเหล็กรับแรงอัด** มีหน่วยเป็น **ซม.**
9. กรณีที่ Mc มีค่าน้อยกว่า M แสดงว่า
   ออกแบบให้หน้าตัดโครงสร้าง มีเหล็กเสริมรับแรง **ดึง-อัด เพียงอย่างเดียว**
10. กรณีที่ Mc มีค่ามากกว่า M แสดงว่า
    ออกแบบให้หน้าตัดโครงสร้าง มีเหล็กเสริมรับแรง **ดึงเพียงอย่างเดียว**

ชุดเฉลย ใบงานที่ 2.1 แบบฝึกหัด

โมดูล ที่ 2 การออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

คำชี้แจง: จงเติมคำตอบของคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง (คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลา 10 นาที

ตอนที่ 1

1. ค่าความลึกประสิทธิผล = 35-3 = 32 ซม. .

2. ค่า k = $\frac{1}{1+\frac{f_s}{nf_c}}$ = $\frac{1}{1+\frac{1200}{13x100}}$ = 0.520 .

3. ค่า j = $1 - \frac{K}{3}$ = $1 - \frac{0.52}{3}$ = 0.826 .

4. ระยะแนวแกนสะเทินถึงด้านที่รับแรงอัด

ค่า kd = 0.52x32 = 16.64 ซม.

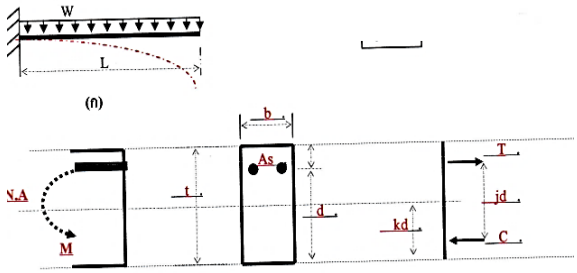
5. ระยะแรงอัดถึงแรงดึง

ค่า jd = 0.826x32 = 26.43 ซม.

ตอน 2

1. จงเติมสัญลักษณ์ลงในช่องว่างของรูปหน้าตัด ข,ค และ ง

กำหนดให้คานยื่นรับน้ำหนักกระทำทำให้เกิดโมเมนต์ดัดดังรูป จากทฤษฎีอีลาสติก



วิธีทำ 1. ค่า d = 10 – 2 = 8 ซม.

2. พื้นที่เหล็กเสริม AS = 5.65 ซม.^{2}

3. ค่า P = $\frac{A_s}{bd}$ = $\frac{5.65}{100x8}$ = 0.00706

4. ค่า nP = 13x0.00706 = 0.09178

5. ค่า K = $\sqrt{2(np)+(np)^2}-(np)$ = $\sqrt{2(0.09178)+(0.09178)^2}-(0.09178)$

K = 0.346

6. ค่า j = 1- $\frac{k}{3}$ = 1- $\frac{0.346}{3}$ = 0.884

7. ค่า R = $\frac{1}{2}f_c Kj$ = $\frac{1}{2}$ x45x0.346x0.884 = 6.88 กก./ซม.^{2}

8. โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต สูตร MC= $\frac{R\cdot bd^2}{100}$

ค่า MC = $\frac{6.88x100x8^2}{100}$= 440 กก.-ม.

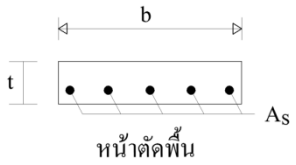
9. โมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริม สูตร MS = $\frac{f_S\cdot A_S\cdot jd}{100}$

ค่า MS = $\frac{1200x5.65x0.884x8}{100}$ = 479 กก.-ม.

10. พื้นขนาดที่กำหนดรับโมเมนต์ดัดสูงสุดได้ปลอดภัยไม่เกิน 440 กก.-ม.

2. พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก หน้าตัด 0.10 x 1.00 ม. มีเหล็กเสริมรับแรงดึง 5-RB 12 มม. ดังรูป ค่าจากตอนที่ 1. กำหนดให้ fc' = 100+ รหัส น.ศ. = _____มีระยะหุ้มคอนกรีต 2 ซม.

จงคำนวณ



(1) พื้นมีค่าโมเมนต์ดัดที่คอนกรีตต้านทานได้

(2) พื้นมีค่าโมเมนต์ดัดที่เหล็กเสริมต้านทานได้

(3) พื้นที่รับโมเมนต์ดัดสูงสุดได้เท่าใดจึงจะปลอดภัย

วิธีทำ 1. ค่า d = 10 – 2 = 8 ซม.

2. พื้นที่เหล็กเสริม AS = 5.65 ซม.^{2}

3. ค่า P = $\frac{A_s}{bd}$ = $\frac{5.65}{100x8}$ = 0.00706

4. ค่า nP = 13x0.00706 = 0.09178

5. ค่า K = $\sqrt{2(np)+(np)^2}-(np)$ = $\sqrt{2(0.09178)+(0.09178)^2}-(0.09178)$

K = 0.346

6. ค่า j = 1- $\frac{k}{3}$ = 1- $\frac{0.346}{3}$ = 0.884

7. ค่า R = $\frac{1}{2}f_c Kj$ = $\frac{1}{2}$x45x0.346x0.884 = 6.88 กก./ซม.^{2}

8. โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต **สูตร** MC= $\frac{R\cdot bd^2}{100}$

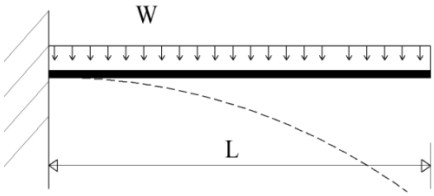
ค่า MC = $\frac{6.88x100x8^2}{100}$ = 440 กก.-ม.

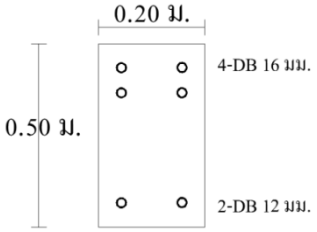
9. โมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริม **สูตร** MS = $\frac{f_s\cdot A_s\cdot jd}{100}$

ค่า MS = $\frac{1200x5.65x0.884x8}{100}$ = 479 กก.-ม.

10. พื้นขนาดที่กำหนดรับโมเมนต์ดัดสูงสุดได้ปลอดภัยไม่เกิน 440 กก.-ม.

3. คานหน้าตัดเสริมเหล็กดังรูป มีเหล็กเสริมรับแรงอัด 2-DB 12 มม. (AS=2.26 ซม.^{2}) และเหล็กเสริมรับแรงดึง 4-DB 16 มม. (AS=8.04 ซม.^{2}) จะสามารถต้านทานโมเมนต์ดัดได้อย่างปลอดภัยเท่าไร กำหนดให้ fc' = 100+รหัส น.ศ.__= _____กก./ซม.^{2} ใช้มาตรฐาน วสท. เหล็ก SD30 ค่า K = 0.375 ค่า j = 0.88 ระยะหุ้มเหล็ก 3 ซม.





วิธีทำ

1. ค่า fc = 0.45 fc' = 0.45 x 100 = 45 กก./ซม.^{2}
2. ค่า R = $\frac{1}{2} f_c K j$ = $\frac{(45)(0.375)(0.88)}{2}$ = 7.42 กก./ซม.^{2}
3. ค่า d = 50 – 3 = 47 ซม.
4. ค่าโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีตรับแรงอัด สูตร Mc = $\frac{R \cdot bd^2}{100}$

   แทนค่า Mc = $\frac{7.42x20x47^2}{100}$ = 3278 กก.-ม.
5. ค่าหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของเหล็กเสริม สูตร fs' = $2f_s \frac{K-\left(\frac{d'}{d}\right)}{1-K}$

   แทนค่า fs' = 2 x 1500 $\frac{0.375-\left(\frac{3}{47}\right)}{1-0.375}$ = 1493 กก./ซม.^{2}
6. ค่าโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริมรับแรงอัด สูตร M' = $\frac{A_S \cdot f_S (d-d')}{100}$

   แทนค่า M' = $\frac{2.26x1493(47-3)}{100}$ = 1484 กก.-ม.
7. ค่าโมเมนต์ต้านทานรวมด้านหน้าตัดรับแรงอัด

   $M_{อัด}$ = M_C + M' = 3278 + 1484 = 4762 กก.-ม.
8. ค่าพื้นที่เหล็กรับแรงดึงด้านโมเมนต์ได้เท่ากับคอนกรีต สูตร A_{S1} = $\frac{M_C(100)}{f_S \cdot j \cdot d}$

   แทนค่า A_{S1} = $\frac{3278x100}{1500x0.88x47}$ = 5.28 ซม.^{2}
9. ค่าพื้นที่เหล็กรับแรงดึงด้านโมเมนต์เท่ากับเหล็กด้านแรงอัด

   A_{S2} = A_S – A_{S1} = 8.04 – 5.28 = 2.76 ซม.^{2}
10. ค่าโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริมรับแรงดึงเท่ากับเหล็กรับแรงอัด

    สูตร M' = $\frac{A_{S2} \cdot f_S (d-d')}{100}$

    แทนค่า M' = $\frac{(2.76)(1500)(47-3)}{100}$
11. ค่าโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริมรับแรงดึงรวม

    M = M_C + M' = 3278 + 1821 = 5099 กก.-ม.
12. ฉะนั้นหน้าตัดคานสามารถต้านทานโมเมนต์ดัดได้อย่างปลอดภัยไม่เกิน = **4762** กก.-ม

ชุดแบบเฉลย

แบบทดสอบก่อนและหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูล ที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

คำชี้แจง: จงเติมคำตอบของคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง (คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลา 10 นาที)

1. จงบอกข้อกำหนดการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กตามาตรฐาน วสท.

1.1 ค่าความหนาขั้นต่ำของพื้นทางเดียว ในกรณีที่ไม่ได้คำนวณระยะโก่งตัว

1. พื้นช่วงเดียว $t \geq \frac{L}{20}$

2. พื้นหลายช่วง $t \geq \frac{L}{24}$

1.2 ระยะเรียงเหล็กเสริมพื้นต้องห่างกันไม่มากกว่า

1. ระยะห่าง @ ≤ **3t ซม.**

2. ระยะห่าง @ ≤ **30 ซม.**

1.3 ขนาดของเหล็กเสริมพื้นไม่เล็กกว่า **ø 6 มม.**

1.4 ในการออกแบบให้พิจารณาพื้นกว้าง **1 ม.**

1.5 สูตรหาค่าเหล็กกันร้าวสำหรับเหล็ก SR คือ $A'_s = 0.0025b \cdot t$

2. น้ำหนักที่กระทำต่อพื้นทั้งหมด w = **น้ำหนักแผ่นพื้น+น้ำหนักจร** มีหน่วย เป็น **กก./ม.^{2}**

3. น้ำหนักคอนกรีตต่อ 1 ลบ.ม. หนัก = **2,400 กก./ม.^{3}**

4. น้ำหนักแผ่นพื้น1 ม.^{2} คำนวณจาก = **ความหนา x น้ำหนักคอนกรีตต่อ 1 ลบ.ม.**

ชุดแบบเฉลย

แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

คำชี้แจง: จงเติมคำตอบของคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง (คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลา 10 นาที)

1. น้ำหนักที่กระทำต่อพื้นทั้งหมด w = **น้ำหนักแผ่นพื้น+น้ำหนักจร** มีหน่วย เป็น **กก./ม.^{2}**

2. จงบอกข้อกำหนดการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กตามาตรฐาน วสท.

2.1 ค่าความหนาขั้นต่ำของพื้นทางเดียว ในกรณีที่ไม่ได้คำนวณระยะโก่งตัว

1. พื้นช่วงเดียว $t \geq \frac{L}{20}$

2. พื้นหลายช่วง $t \geq \frac{L}{24}$

2.2 ระยะเรียงเหล็กเสริมพื้นต้องห่างกันไม่มากกว่า

1. ระยะห่าง @ ≤ **3t ซม.**

2. ระยะห่าง @ ≤ **30 ซม.**

2.3 ขนาดของเหล็กเสริมพื้นไม่เล็กกว่า **ø 6 มม.**

2.4 ในการออกแบบให้พิจารณาพื้นกว้าง **1 ม.**

2.5 สูตรหาค่าเหล็กกันร้าวสำหรับเหล็ก SR คือ $A'_s = 0.0025b \cdot t$

3. น้ำหนักแผ่นพื้น1 ม.^{2} คำนวณจาก = **ความหนา x น้ำหนักคอนกรีตต่อ 1 ลบ.ม.**

4. น้ำหนักคอนกรีตต่อ 1 ลบ.ม. หนัก = **2400 กก./ม.^{3}**

ชุดเฉลย

แบบฝึกหัดหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

ตอนที่ 1 จงแสดงวิธีการคำนวณเติม สูตร และ แทนค่าพร้อมหน่วยลงในช่องว่าง

จงออกให้พื้นวางบนดินของโกดังเก็บสินค้า (10 คะแนน)

1.1 เลือกออกแบบให้พื้นหนา t = 0.12 ม.

1.2 เหล็กเสริมกันร้าว สูตร $A'_s = 0.0025b \cdot t$

แทนค่า A'_S = 0.0025 x 100 x 12 = 3 ซม.^{2}/ม.

1.3 เลือกใช้เหล็กเสริมเส้นกลม Ø9 มม. จำนวน 5 เส้นต่อพื้นกว้าง 1 เมตร (ได้ A_S = 3.17 ซม.^{2})

1.4 กำหนดระยะห่างเหล็กเสริมตลอดแผ่นพื้น @ = $\frac{1}{(5-1)}$ = 0.25 ม.

1.5 ต้องไม่เกิน 3t = 3 x 0.12 = 0.36 ม.

1.7 ต้องไม่เกิน = 0.30 ม.

1.8 เลือกใช้ระยะห่างเหล็กเสริม @ 0.25 ม.

1.9 ตำแหน่งเหล็กเสริมห่างผิวบนพื้น 2 ซม.

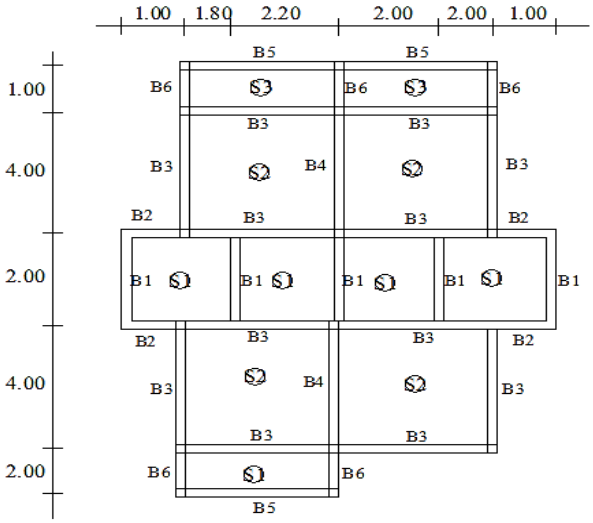
1.5 . สรุปเลือกใช้เหล็กเสริม Ø 9 มม. @ 0.25$^{\#}$ ม. (As = 3.17 > 3 ซม.^{2})

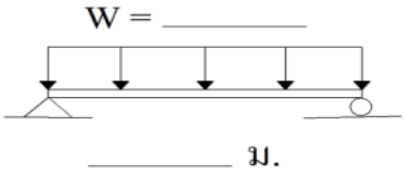
ตอนที่ 2

2.1 จงแบบแปลนพื้นกันสาดดังรูปรับน้ำหนักจร (ตามวสท.+รหัสน.ศ.) =_____ กก./ม.^{2}

จงออกแบบขนาดแผ่นพื้น S1 ที่ปลอดภัย กำหนดให้ค่า fc' = 100+รหัสน.ศ. =_____กก./ซม.^{2}

fs = 1200 กก./ซม.^{2} R = 6.00 กก./ซม.^{2} , j = 0.70 ระยะหุ้มเหล็ก 2 ซม. (25 คะแนน)





วิธีทำ

1. เป็นชนิดพื้น ชนิดเสริมเหล็กหลักทางเดียว

1.1 เพราะสูตร $\frac{L}{S}$ แทนค่า $\frac{4}{1.5}$ > 2

2. สมมุติ ออกแบบให้พื้นหนา t = $\frac{L}{20}$ = $\frac{1.5}{20}$ = 0.075 ใช้ 0.08 ม.

3. น้ำหนักแผ่นพื้น DL = 0.08 x 2400 = 192 กก./ม.^{2}

4. น้ำหนักจรพื้นกันสาด LL = 100+รหัส = 100 กก./ม.^{2}

5. น้ำหนักรวมกระทำต่อแผ่นพื้น W= 192 + 100 = 292 กก./ม.^{2}

6. ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด ต่อแผ่นพื้นกว้าง 1 ม.

M_{max} = $\frac{WL^2}{8}$ = $\frac{292x1.5^2}{8}$ = 82 กก./ม.^{2}

7. ค่าความลึกประสิทธิผลที่ออกแบบ d_d = 8-2 = 6 ซม.

8. ค่าความลึกประสิทธิผลที่เกิดขึ้นจริง d = $\sqrt{\frac{M_{max}(100)}{Rb}}$ = $\sqrt{\frac{82x100}{6x100}}$ = 3.69 ซม.

9. ความหนาที่ออกแบบสามารถรับแรงอัดได้ปลอดภัยเพราะ $d_d > d$ หรือ 6 > 3.69 ซม.

10. ค่าปริมาณเหล็กเสริมหลักรับแรงดึง สูตร $A_S = \frac{M_{max}(100)}{f_s \cdot j \cdot d}$ ซม.^{2}

แทนค่า $A_S = \frac{82x100}{1200x0.7x6}$ = 1.63 ซม.^{2}

11. ใช้เหล็กเสริมหลักขนาด RB 9 มม. (A_S = 0.64 ซม.^{2})

11.1 จำนวน = $\frac{1.63}{0.64}$ = 2.5 ใช้ 3 เส้น/ม.

11.2 ระยะห่างเหล็กเสริม @ = $\frac{1}{(3-1)}$ = 0.50 ม.

11.3 ระยะห่างเหล็กเสริม วสท.1. @ = 3x0.08 = 0.24 ม.

2. @ = 30 = 0.30 ม.

12. สรุปเลือกใช้เหล็กเสริมหลักขนาด RB 9 มม. @ 0.24 ม.

13. ตำแหน่งเสริมเหล็กหลัก ที่ผิว ล่างแถบกลางแผ่นพื้นวางทางช่วงสั้น

14. คำนวณหาปริมาณเหล็กกันร้าว A_S' = 0.0025x100x8 = 2 ซม.^{2}

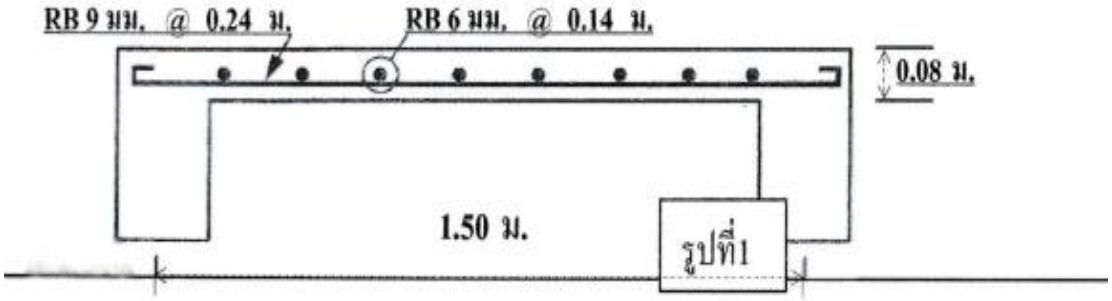
ใช้เหล็กกันร้าวขนาด RB 6 มม. (A_S = 0.28 ซม.^{2})

14.1 ใช้จำนวน = $\frac{2}{0.28}$ = 8 เส้น./ม.

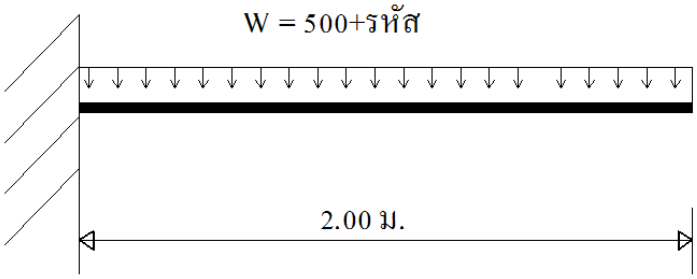
14.2 ระยะห่างเหล็กเสริม @ = $\frac{1}{(8-1)}$ = 0.14 ม.

15. สรุปเลือกใช้เหล็กเสริมกันร้าวขนาด RB 6 มม. @ 0.14 ม.

16. เติมขนาดหน้าตัดพื้นเสริมเหล็กทางเดียวให้สมบูรณ์ลงในรูปหน้าตัดพื้น



2.2 จงออกแบบพื้น S' เป็นกันสาดยื่นจากพื้นด้านในอาคารที่พักอาศัย ดังรูตอนที่ 3 จงออกแบบพื้น S' เป็นกันสาดยื่นจากพื้นด้านในอาคารที่พักอาศัย ดังรูปเพื่อวิเคราะห์ระยะหุ้ม 2 ซม. กำหนดให้ น้ำหนักกระทำรวมทั้งหมด w = 500+รหัสน.ศ. = _____ กก./ม. fc' = 170 กก./ซม.^{2} fs = 1200 กก./ซม.^{2} R = 9.86 กก./ซม.^{2} j = 0.88 (25 คะแนน)



1. กำหนดความหนา t = $\frac{L}{10}$ = $\frac{2}{10}$ = 0.20 ม.

2. ค่าโมเมนต์สูงสุด M_{max} = $\frac{WL^2}{2}$ = $\frac{500x2^2}{2}$ = 500 กก.-ม.

3. ค่าความลึกประสิทธิผลที่ออกแบบ d_d = 20-2 = 18 ซม.

4. ค่าความลึกประสิทธิผลที่เกิดขึ้นจริง d = $\sqrt{\frac{M_{max}(100)}{Rb}}$ = $\sqrt{\frac{500x100}{9.86x100}}$ = 7.12 ซม.

5.ความหนาที่ออกแบบสามารถรับแรงอัดได้ปลอดภัยเพราะ d_d > d หรือ 18 > 7.12 ซม.

6. ค่าปริมาณเหล็กเสริมหลักรับแรงดึง สูตร A_S = $\frac{M_{max}(100)}{f_s \cdot j \cdot d}$ ซม.^{2}

แทนค่า A_S = $\frac{500x100}{1200x0.88x18}$ = 2.63 ซม.^{2}

7. ใช้เหล็กเสริมหลักขนาด RB 9 มม. (A_S = 0.64 ซม.^{2})

7.1 จำนวน = $\frac{2.63}{0.64}$ = 4.1 ใช้ 5 เส้น/ม.

7.2 ระยะห่างเหล็กเสริม @ = $\frac{2}{(5-1)}$ = 0.25 ม.

7.3 ระยะห่างเหล็กเสริม วสท. 1. @ = 3 x 0.20 = 0.60 ม.

2. @ = 30 = 0.30 ม.

8. สรุปเลือกใช้เหล็กเสริมหลักขนาด RB 9 มม. @ 0.25 ม.

9. คำนวณหาปริมาณเหล็กกันร้าว A_S =0.0025 x 100 x 20 = 5 ซม.^{2}

ใช้เหล็กกันร้าวขนาด RB 9 มม. จำนวน 8 เส้น/ม. @ 0.14 ม.

10. สรุปเลือกใช้เหล็กเสริมกันร้าวขนาด RB 9 มม. @ 0.14 ม.

11. หาระยะความยาวยึดเหนี่ยวของเหล็กหลัก เหล็กเส้นกลม

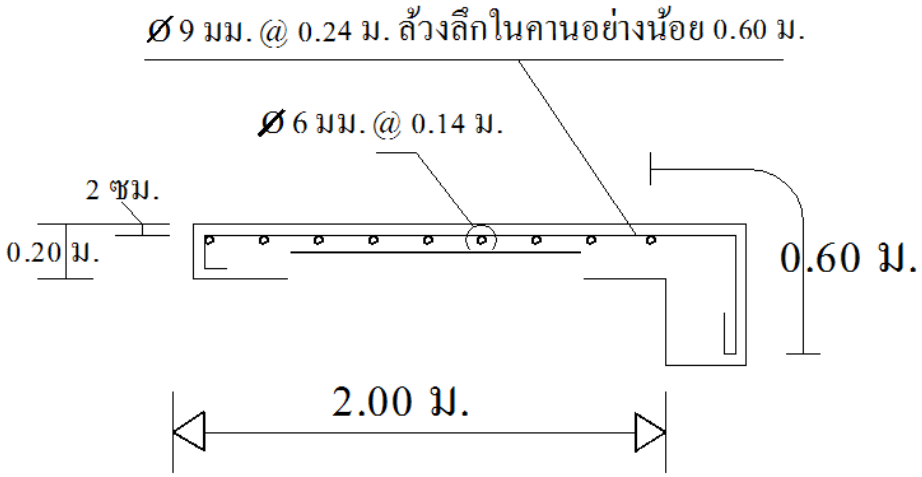
11.1 สูตรหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ $u_a = \frac{1.615\sqrt{f_c'}}{D} \leq 11$ กก./ซม.^{2}

แทนค่า $u_a = \frac{1.615\sqrt{170}}{0.9}$ = 23 ใช้ 11 กก./ซม.^{2}

11.2 สูตรระยะล้วงลึกที่ต้องการ $L = \frac{D \cdot f_s}{4u_a} \geq$ 60 ซม.

แทนค่า $L = \frac{0.9\ x\ 1200}{4\ x\ 11}$ = 24 ใช้ 60 ซม.

12. เติมขนาดหน้าตัดพื้นยื่นเสริมเหล็กให้สมบูรณ์ลงในรูปหน้าตัดพื้น



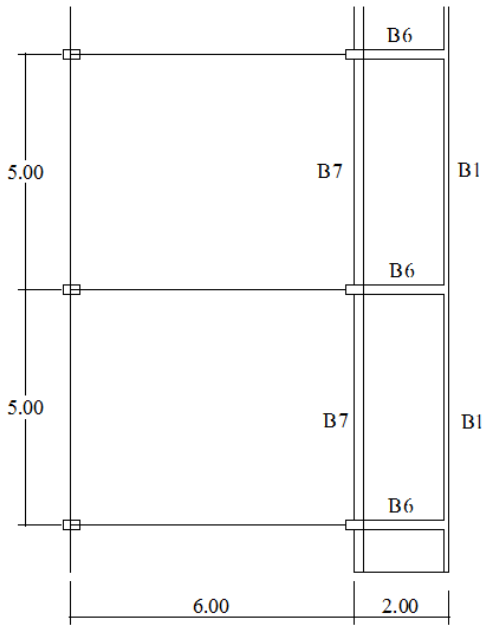
ชุดเฉลย ใบงานที่ 3.1 แบบฝึกหัด
โมดูล ที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

คำชี้แจง ให้นักศึกษาทำการบ้านเรื่อง การออกแบบพื้นทางเดียว,พื้นยื่นและพื้นวางบนดินโดย กำหนดให้ใช้ค่าต่างๆดังนี้

(รหัส น.ศ. หมายถึง เลขรหัสประจำตัวของนักศึกษา ใช้เฉพาะเลข **สองตัวหลังเท่านั้น**)

fc'= (กก./ซม.^{2})	fs (กก./ซม.^{2})	R (กก./ซม.^{2})	k	j
100+รหัส น.ศ. =_____.	1200	7	0.40	0.88

1. จงออกแบบโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก S1 จากแบบแปลนโครงสร้างของอาคารพาณิชย์ ตามรูปข้างล่างนี้ ใช้มาตรฐาน กทม.



1. ควรใช้ค่าความหนาของพื้นสองทาง ประมาณ

t = $\frac{2(L+S)}{180}$

2. เป็นพื้นชนิดเสริมเหล็กหลักสองทาง เมื่อ **ด้านยาวต่อด้านสั้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2**

3. โมเมนต์ที่เกิดในแผ่นพื้นสองทาง ด้านสั้นหรือด้านยาวที่เกิดโมเมนต์สูงสุด **ด้านสั้น**

4. สูตรคำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดในพื้นสองทาง M = $C \cdot W \cdot S^2$

5. สัญลักษณ์ค่า สัมประสิทธิ์การหาค่าโมเมนต์ในแผ่นพื้นสองทางคือ C

6. เกิดค่าโมเมนต์ลบที่แถมใดของแผ่นพื้นสองทางต่อเนื่อง ☑ แถบคาน ☐ แถบกลางคาน

7. เกิดค่าโมเมนต์บวกที่แถมใดของแผ่นพื้นสองทางต่อเนื่อง ☐ แถบคาน ☑ แถบกลางคาน

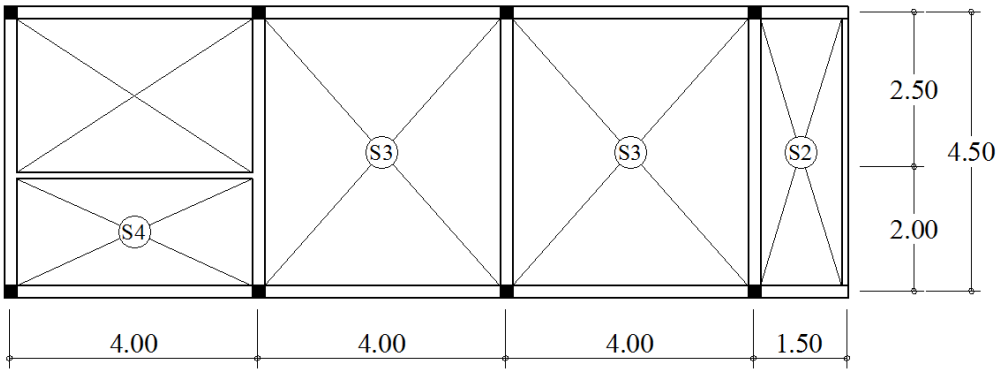
8. ค่าโมเมนต์ลบทำให้เกิดแรงดึงที่ผิวด้านใดของพื้นสองทาง ☑ ผิวด้านบน ☐ ผิวด้านล่าง

9. การเสริมเหล็กในพื้นสองทางมีลักษณ์การเสริมเป็นแบบ

9.1 แบบเสริมเหล็ก คอม้า

9.2 แบบเสริมเหล็ก เสริมพิเศษ

2. แบบแปลนทางโครงสร้างของอาคารบ้านพักอาศัยสองชั้นตามรูปข้างล่างนี้ มาตรฐาน วสท. จงออกแบบโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก S1 และ S2



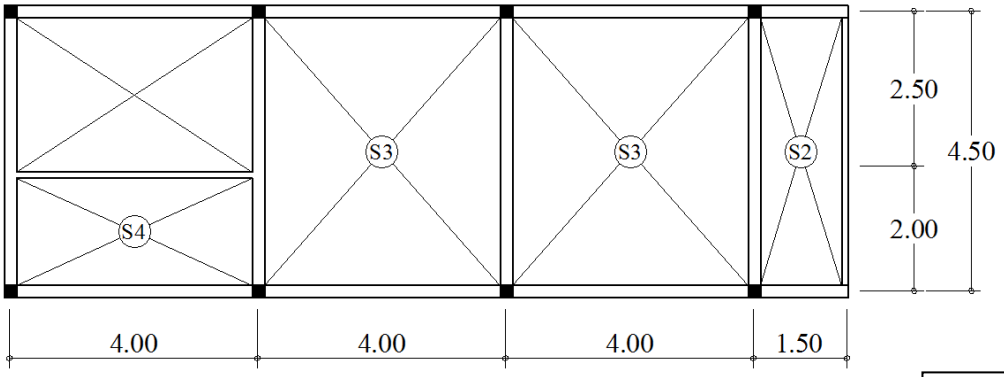
รูปแปลนพื้น

2.1 ออกแบบพื้นคอนกรีตเหล็กเสริม S3 จากรูปแปลนพื้น โดยกำหนดให้ใช้มาตรฐาน วสท.

- อาคารพาณิชย์ - ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก 2 ซม.

หน่วยแรงที่ยอมให้ fc’ = 100+รหัสน.ศ. =_____กก./ซม.^{2} fs = 1200 กก./ซม.^{2}

N = 10 , K = 0.350 , j = 0.70 , R = 9 กก./ซม.^{2}



รูปแปลนพื้น

พื้น S3 เป็นพื้นชนิด พื้น เสริมเหล็กหลักสองทาง

เพราะ $\frac{L}{S}$ = $\frac{4.5}{4}$ = 1.125 < 2

ประมาณความหนาพื้น t = $\frac{2(L+S)}{180}$ = $\frac{2(4.5+4)}{180}$ = 0.09 ม.

สมมติพื้นคอนกรีตหนา t = 0.10 ม.

3) น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับพื้น

- น้ำหนักแผ่นพื้น = 0.10 x 2400 = 240 กก./ม.^{2}
- น้ำหนักจร = 300 = 300 กก./ม.^{2}
- รวมน้ำหนักพื้น = 0240 + 300 = 540 กก./ม.^{2}

4) วิเคราะห์ค่าโมเมนต์ดัดในแผ่นพื้น

- สูตรสำเร็จ M = CWS^2

4.1 ค่าโมเมนต์ดัดพื้นช่วงสั้น

- ค่า m = $\frac{L}{S}$ = $\frac{4}{4.5}$ = 0.88 ใช้ 0.9

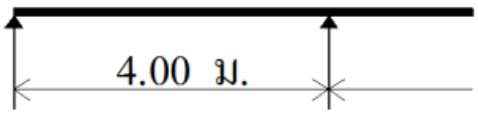
-ลักษณะพื้นเป็นแบบกรณีที่ 3 คือ ไม่ต่อเนื่องกันสามด้าน (จากตารางที่ให้)

- ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ช่วงสั้น

-C1 = 0.033 , +C2 = 0.050 , -C3 = 0.066

ค่า C ช่วงสั้น

1= 0.033 2= 0.050 3= 0.066



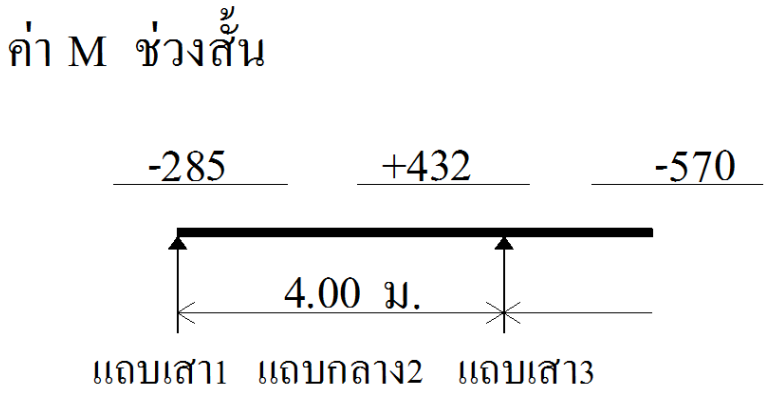
แถบเสา1 แถบกลาง2 แถบเสา3

- ค่าโมเมนต์ดัด M แทนค่า (พร้อมกำหนดค่า + หรือ – ลงใน O)

O - M1 = C_1WS^2 = 0.033x540x4^2 = 285 กก.-ม.

O + M2 = C_2WS^2 = 0.050x540x4^2 = 432 กก.-ม.

O - M3 = C_3WS^2 = 0.066x540x4^2 = 570 กก.-ม.



4.2 ค่าโมเมนต์ดัดพื้นช่วงยาว

- ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ช่วงยาว

-C4 = 0.029 , +C5 = 0.044 , -C6 = 0.029

- ค่าโมเมนต์ดัด M แทนค่า (พร้อมกำหนดค่า + หรือ – ลงใน O)

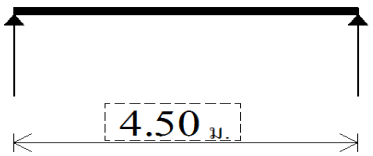
O - M_4 = C_4WS^2 = 0.029x540x4^2 = 250 กก.-ม.

O + M_5 = C_5WS^2 = 0.044x540x4^2 = 380 กก.-ม.

O - M_6 = C_6WS^2 = 0.029x540x4^2 = 250 กก.-ม.

ค่า M ช่วงยาว

$-M_4$ 250 $+M_4$ 380 $-M_6$ 250



แถบเสา4 แถบกลาง5 แถบเสา6

- ตำแหน่งที่เกิด –M ทำให้พื้น (เลือกขีด✓ลงในช่อง)

ผิวบนของพื้นเกิด	☑	แรงดึง	☐	แรงอัด
ผิวล่างของพื้นเกิด	☐	แรงดึง	☑	แรงอัด
ต้องเสริมเหล็ก ณ. ตำแหน่ง	☑	ผิวบนพื้น	☐	ผิวล่างพื้น

1.5 ตรวจสอบความหนาพื้นที่เนื้อคอนกรีตรับแรงอัดได้ปลอดภัย

- ค่าความลึกประสิทธิผลที่เกิดขึ้น

$$d = \sqrt{\frac{M_{max}(100)}{Rb}} = \sqrt{\frac{570x100}{9x100}} = 7.95 \text{ ซม.}$$

- ค่าความลึกประสิทธิผลที่ออกแบบ d_d = 10-2 = 8 ซม.

- ความหนาพื้นที่ออกแบบรับแรงงอัดได้ปลอดภัย (ขีด✓) ☑ ปลอดภัย ☐ ไม่ปลอดภัย

เพราะ d_d > d หรือ 8 > 7.95 ซม.

(1.5) กรณีตรวจสอบความหนาพื้น ไม่ปลอดภัย (ต้องทำข้อนี้ใหม่ , ถ้าผ่านไม่ต้องทำ)

1.6 หาพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมหลักทางช่วงสั้น (ค่า + หรือ – ลงใน O)

-สูตรหาพื้นที่เหล็กเสริม As = $\frac{M(100)}{f_s jd}$

แถบเสา 1

$$-AS_{S1} = \frac{-M_{S1}(100)}{f_s jd} = \frac{285x100}{1200x0.7x8} = 4.24 \text{ ซม.}^2/\text{ม.}$$

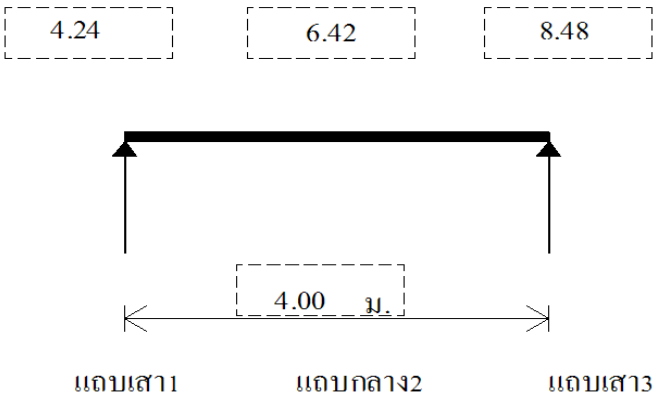
แถบกลาง 2

$$+AS_{S2} = \frac{+M_{S2}(100)}{f_s jd} = \frac{432x100}{1200x0.7x8} = 6.42 \text{ ซม.}^2/\text{ม.}$$

แถบเสา 3

$$-AS_{S3} = \frac{-M_{S3}(100)}{f_s jd} = \frac{570x100}{1200x0.7x8} = 8.48 \text{ ซม.}^2/\text{ม.}$$

AS ช่วงสั้น



ชุดแบบเฉลย

แบบทดสอบก่อนและหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 4 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

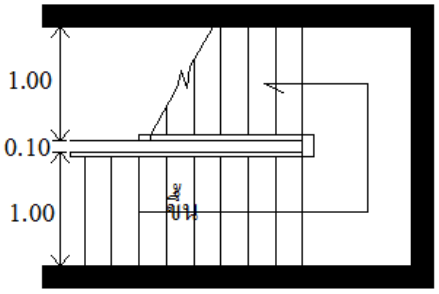
ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

1. จงเติมคำลงในช่องว่างในการคำนวณออกแบบบันไดคอนกรีตเหล็กเสริม โดยขั้นบันไดมีลูกนอนกว้าง 0.26 ม. ลูกตั้งสูง 0.17 ม. และระยะความยาวดังรูปแสดง กำหนดให้ค่าต่างๆดังนี้

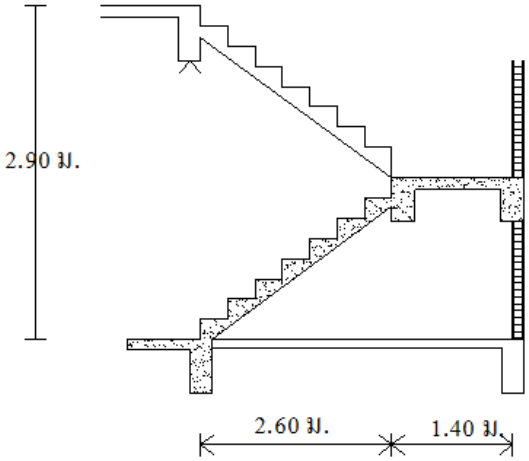
- บันไดมีน้ำหนักจร = (300+รหัส) =_____กก./ม.^{2}
- หน่วยแรงที่ยอมให้ fc' = (120+รหัส) =_____กก./ซม.^{2}

fs = 1500 กก./ซม.^{2} n = 10 j = 0.70 R = 9 กก./ซม.^{2}

- ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก 2 ซม.



แปลนและรูปตัดบันได



วิธีทำ จงตอบคำถามโดยแสดงวิธีทำลงในช่องว่างที่กำหนดให้ (ใส่สัญญาลักษณ์✓หรือ ตัวเลข)

1.1 ลักษณะของบันได

- ชนิดของบันได คือ พาดทางช่วงยาวท้องเรียบ.
- ลูกตั้ง คือ y =17 ซม.
- ลูกนอน คือ x =26 ซม.

1.2 สมมุติ ออกแบบความหนาพื้นบันได

- วสท.กำหนดให้ความหนาไม่น้อยกว่า t ≥ $\frac{L}{20}$.
- สมมุติให้ความหนา t = $\frac{400}{20}$ = 20 ซม.

ชุดแบบเฉลย
แบบฝึกหัดหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลที่ 4 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก
ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

คำชี้แจง จงแสดงวิธีการคำนวณเติม สูตร และ แทนค่าพร้อมหน่วยลงในช่องว่าง

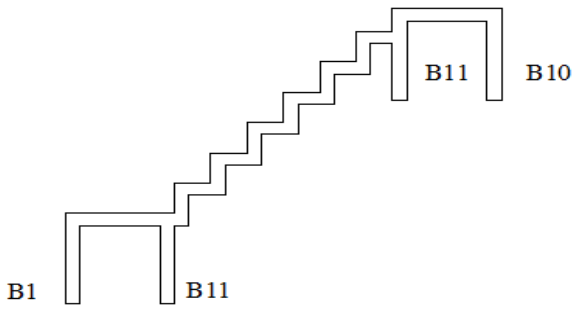
1. จงออกแบบบันไดคอนกรีตเหล็กเสริมชนิดพับผ้า มีขั้นบันไดขนาดลูกนอนกว้าง 0.22 ม. และ ลูกตั้งสูง 0.19 ม. มีระยะความยาวดังรูป ของอาคารที่พักอาศัย โดยกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้

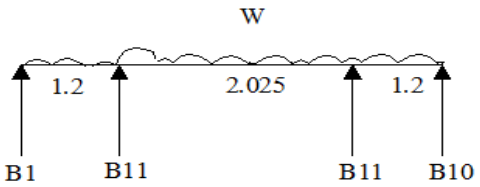
fc' = 170 กก./ซม.^{2} fc = 64 กก./ซม.^{2} fs = 1200 กก./ซม.^{2}

R = 9.8 กก./ซม.^{2} j = 0.77 LL = 300+รหัส = 300 กก./ซม.^{2}

(40 คะแนน)

วิธีทำ





1. ขั้นบันได

- ลูกตั้ง คือ Y = 19 ซม.
- ลูกนอน คือ X = 22 ซม.

2. สมมุติ ออกแบบความหนาพื้นบันได

- วสท.กำหนดให้ ความหนาไม่น้อยกว่า

$$t = \frac{L}{24}$$

- แทนค่า $t = \frac{200}{24} = 8.33$ ใช้ 10 ซม.

3.ค่าน้ำหนักกระทำกับพื้นบันได

- น้ำหนักตัวบันได สูตร DL = 0.96 t [(x - t)+(y - t)]

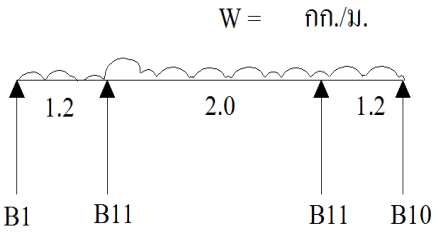
แทนค่า DL = 0.96x10 [(22 - 10)+(19 + 10)] = 393 กก./ม.^{2}

- ค่าน้ำหนักจรLL = 300 + รหัส = 300 กก./ม.^{2}
- น้ำหนักทั้งหมดW = 393 + 300 = 693 กก./ม.^{2}

4. วิเคราะห์แรงกระทำพื้นบันได

- ให้คิดบันไดกว้าง b = 1 ม.
- ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด สูตร $^{+}M_{max} = \frac{WL^2}{8}$

ค่า $^{+}M_{max} = \frac{693x2^2}{8} = 346$ กก.-ม.



5. ตรวจสอบความหนาพื้นบันไดที่ออกแบบ

- ค่า d_d = 10 – 2 = 8 ซม.
- สูตร d = $\sqrt{\frac{M_{max}(100)}{Rb}}$

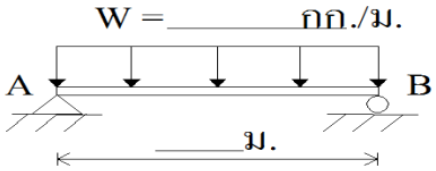
แทนค่า d = $\sqrt{\frac{346x100}{9.8x100}}$ = 5.34 ซม.

- ความหนาที่ออกแบบ ปลอดภัยหรือไม่ = ปลอดภัย .

เพราะ $d_d \geq d$ หรือ 8 ≥ 5.34

.

สรุปเลือกใช้บันไดหนา 0.10 ม. ปลอดภัย



6. ออกแบบเหล็กเสริมหลักรับแรงดึง (A_S)

- คิดต่อบันไดกว้าง b = 1 ม.
- พื้นที่เหล็กรับแรงดึงด้านทานโมเมนต์สูงสุดปลอดภัย

สูตร $A_S = \frac{M_{max}(100)}{f_s \cdot jd}$ ซม.^{2}

แทนค่า $A_S = \frac{346x100}{1200x0.77x8} = 4.68$ ซม.^{2}

- ออกแบบให้มีเหล็กเสริมหลัก

ขนาด RB 12 มม. จำนวน 5 เส้น

มีพื้นที่เหล็กเสริม A_S = 5.65 ซม.^{2}

- สรุปเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก

RB 12 มม. @ 0.25 ม.

7. การออกแบบเหล็กเสริมกันร้าว (A_S')

- สูตร A_S' = 0.0025 b t ซม.^{2}

  แทนค่า A_S' = 0.0025x100x10 = 2.5 ซม.^{2}

- เลือกออกแบบเหล็กกันร้าว ขนาด RB 9 มม.

  จำนวน 4 เส้น มีพื้นที่เหล็กเสริมรวม A_S = 2.56 ซม.^{2}

  ระยะห่างเหล็กเสริม @ 0.33 ม. เลือกใช้ @ 0.30 ม. (วสท.)

- สรุปเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก RB 9 มม. @ 0.30 ม.

8. ตรวจสอบการรับแรงเฉือน (V)

- สูตร แรงเฉือนที่คอนกรีตรับได้ Vc = $0.29\sqrt{f_c'}(b \cdot d)$

  แทนค่า Vc = $0.29\sqrt{170}\,(100x8)$ = 3024 กก.

  สูตร แรงเฉือนกระทำสูงสุด Vmax = $\frac{WL}{2}$

  แทนค่า V = $\frac{346x2}{2}$ = 346 กก.

- การรับแรงเฉือนกระทำของบันได ปลอดภัย หรือ ไม่ = ปลอดภัย

  เพราะ Vc ≥ V หรือ 3024 ≥ 346 กก.

9. ตรวจสอบการยึดเหนียว เหล็กเส้นกลม 12 มม.

- สูตร หน่วยแรงยึดเหนียวที่ยอมให้ u_a = $\frac{1.615\sqrt{f_c}}{D}$ ≤ 11 กก./ซม.^{2}

  แทนค่า u_a = $\frac{1.615\sqrt{170}}{1.2}$ = 17.54 กก./ซม.^{2}

- สูตรหน่วยแรงยึดเหนียวที่เกิดขึ้นในพื้นบันได u = $\frac{V}{\sum O \cdot j \cdot d}$

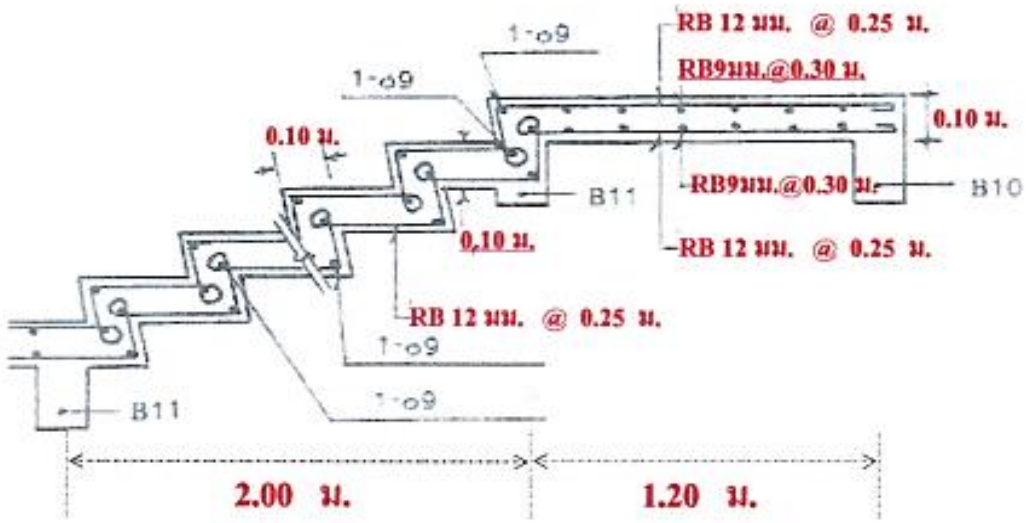
  แทนค่า u = $\frac{346}{(4x3.77)77x8}$ = 3.72 กก./ซม.

- การรับแรงการยึดเหนียวกระทำขงบันได ปลอดภัย หรือ ไม่ = ปลอดภัย

เพราะ u_a ≥ u หรือ 17.54 ≥ 3.72 กก./ซม.^{2}

10. จงเขียนรูปขยายขนาดและการเสริมเหล็กของพื้นบันไดให้ชัดเจน

- ขนาดพื้นบันได
- ขนาด, จำนวน และ ตำแหน่งเหล็กเสริมหลัก
- ขนาด, จำนวน และ ตำแหน่งเหล็กเสริมกันร้าว



รูปขยายขนาดและการเสริมเหล็กของพื้นบันไดพาดทางยาวแบบพับผ้า

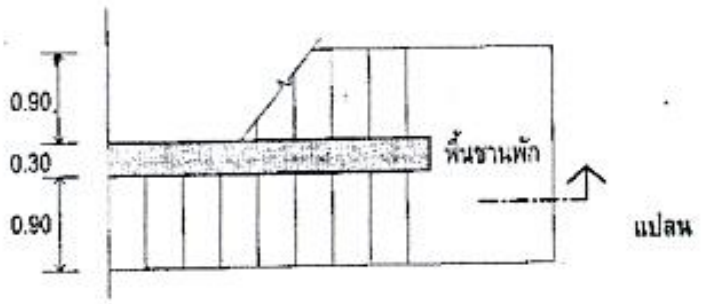
ชุดเฉลย
ใบงานที่ 4.1 แบบฝึกหัด
โมดูลที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก
คำชี้แจง ให้นักศึกษาคำนวณและออกแบบบันได ต่อไปนี้

1. แปลนบันไดอาคาร มีขนาดดังรูป

มีน้ำหนักจร 400+รหัสน.ศ. =_____กก./ม.^{2} จงออกแบบบันไดยื่นแบบท้องเรียบมีลูกนอน 0.24 ม.และลูกตั้งสูง 0.18 ม. คอนกรีตหุ้มเหล็ก 2 ซม. มาตรฐาน วสท. (20 คะแนน)

กำหนดให้ค่า fc' = 100+รหัสน.ศ. =_____กก./ซม.^{2} fs = 1200 และ 1500 กก./ซม.^{2}

R = 9.00 กก./ซม.^{2} j = 0.80



วิธีทำ ชนิดบันไดยื่นแบบท้องเรียบ

1. สมมุติ ออกแบบให้บันไดหนา

$$t = \frac{L}{10} = \frac{0.90}{10} = 0.90 \text{ ม.}$$ ใช้ 0.10 ม.

2. น้ำหนักกระทำบนบันได $W = DL + LL$

สูตร ตัวบันได DL = $(12Y) + (\frac{24\,t}{X}\sqrt{X^2 + Y^2})$ กก./ม.^{2}

แทนค่า DL = $(12x18) + \left(\frac{24\,x10}{24}\sqrt{24^2 + 18^2}\right) = 216 + 300 = 516$ กก./ม.^{2}

W = 516 + 400 = 916 กก./ม.

3. ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด

$$M_{max} = \frac{WL^2}{2} = \frac{916x0.9^2}{2} = 370 \text{ กก.-ม.}$$

4. ตรวจสอบความลึกประสิทธิผล ค่าความลึกประสิทธิผลที่ออกแบบ

d_d = 10 – 2 = 8 ซม.

สูตร ค่าความลึกประสิทธิผล $d = \sqrt{\frac{M_{max}(100)}{Rb}}$

แทนค่า d $= \sqrt{\frac{370(100)}{9x100}} =$ 6.41 ซม.

ความหนาที่ออกแบบ ปลอดภัย หรือ ไม่ = ปลอดภัย

เพราะ $d_d \geq d$ หรือ 8 ≥ 6.41

สรุปเลือกใช้บันไดยื่นหนา 0.10 ม.

5.พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมหลัก (A_S)

$A_S = \frac{M_{max}(100)}{f_s \cdot jd} = \frac{370(100)}{1200(0.8)(8)} =$ 4.81 ซม.^{2}

จำนวนเหล็กหลัก 5 เส้น –RB 12 มม. @ 0.25 ม. (A_S = 5.65 ซม.^{2})

สรุป เลือกใช้เหล็กหลัก RB 12 มม. @ 0.25 ม.

6.คำนวณหาปริมาณเหล็กกันร้าว สูตร $As' = 0.0025bt$ ซม.^{2}

แทนค่า As' = 0.0025x100x10 = 2.5 ซม.^{2}

เลือกออกแบบเหล็กกันร้าว ขนาด RB 6 มม.

จำนวน 9 เส้น มีพื้นที่เหล็กเสริมรวม As = 2.52 ซม.^{2}

ระยะห่างเหล็กเสริม @ 0.125 ม.

สรุป เลือกใช้เหล็กกันร้าว RB 6 มม. @ 0.125 ม.

7.ตรวจสอบการยึดเหนียว (u)

สูตร หน่วยแรงยึดเหนียวที่ยอมให้ $u_a = \frac{1.615\sqrt{f_c}}{D} \leq 11$ กก./ซม.^{2}

แทนค่า $u_a = \frac{1.615\sqrt{100}}{1.2} = 13.45$ ใช้ 11 กก./ซม.^{2}

สูตร ระยะล้วงลึกที่ต้องการ $L = \frac{D \cdot f_s}{4u_a}$ ซม.

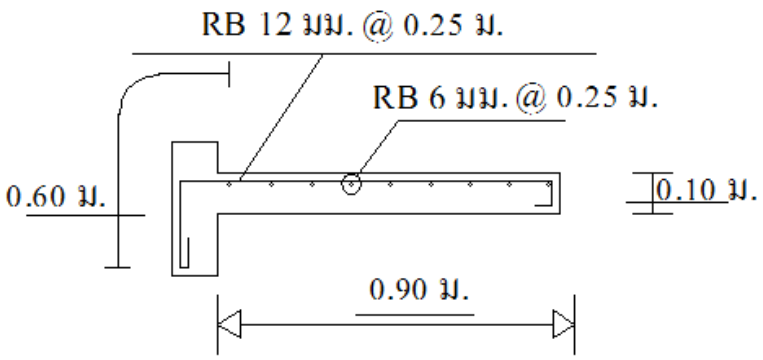
แทนค่า $L = \frac{1.2x1200}{4x11} = 32$ ซม. ใช้ 60 ซม. (วสท.)

8. จงเขียนรูปขยายขนาดและการเสริมเหล็กของพื้นบันไดให้ชัดเจน

ขนาดพื้นบันได

ขนาด, จำนวน และ ตำแหน่งเหล็กเสริมหลัก

ขนาด, จำนวน และ ตำแหน่งเหล็กเสริมกันร้าว



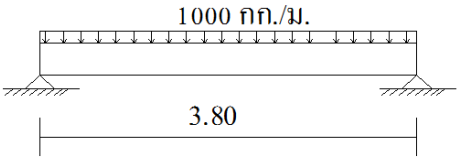
รูปตัดแสดงขนาดบันไดยื่นคอนกรีตเสริมเหล็ก

แบบทดสอบก่อนเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

1. จากรูปที่1 รูปเพื่อการวิเคราะห์ที่กำหนดให้ จงตอบคำถามต่อไปนี้ลงในช่องว่างและขีด ✓



รูปที่ 1

1.1 เป็นคานชนิด คานช่วงเดียว

1.2 เกิดโมเมนต์ดัดมากที่สุด ณ ตำแหน่ง ☐ แถบฐานรองรับ ☐ แถบกลางช่วงคาน

1.3 เกิดค่า M_{max} เป็น ☐ บวก ☐ ลบ

1.4 หน้าตัดคานเกิดแรงอัดมากสุดที่ ☐ ขอบผิวบนคาน ☐ ขอบผิวล่างคาน

1.5 สูตรสำเร็จค่า M_{max} คือ $\frac{WL^2}{8}$ กก.-ม.

1.6 แทนค่าสูตรค่า M_{max} = $\frac{1000x3.8^2}{8}$ = 1805 กก.-ม.

1.7 สูตรสำเร็จ ค่า V_{max} คือ $\frac{WL}{2}$ กก.

1.8 แทนค่าสูตรค่า V_{max} = $\frac{1000x3.8}{2}$ = 1900 กก.

1.9 ตำแหน่งที่เกิด M_{max} เสริมเหล็กรับแรงดึงที่ ☐ ชิดผิวบนคาน ☐ ชิดผิวล่างคาน

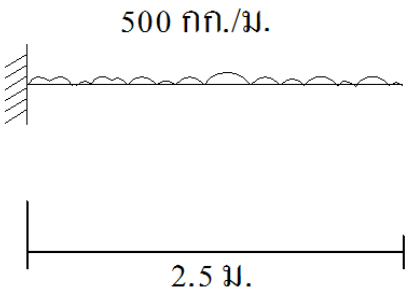
1.10 ตำแหน่งที่เกิด M_{max} เสริมเหล็กรับแรงอัดที่ ☐ ชิดผิวบนคาน ☐ ชิดผิวล่างคาน

แบบฝึกหัดหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

ข้อ 1 จากรูปที่ 2. รูปเพื่อการวิเคราะห์ที่กำหนดให้ จงตอบคำถามต่อไปนี้ลงในช่องว่าง



รูปที่ 2

1.1 เป็นคานชนิด คานยื่น

1.2 เกิดโมเมนต์ดัดมากที่สุด ณ ตำแหน่ง ☐ แถบฐานรองรับ ☐ แถบกลางช่วงคาน

1.3 เกิดค่า M_{max} เป็น ☐ บวก ☐ ลบ

1.4 หน้าตัดคานเกิดแรงอัดมากสุดที่ ☐ ขอบผิวบนคาน ☐ ขอบผิวล่างคาน

1.5 สูตรสำเร็จค่า M_{max} คือ $\frac{WL^2}{2}$ กก.-ม.

1.6 แทนค่าสูตรค่า M_{max} = $\frac{500x2.5^2}{2}$ = 1562 กก.-ม.

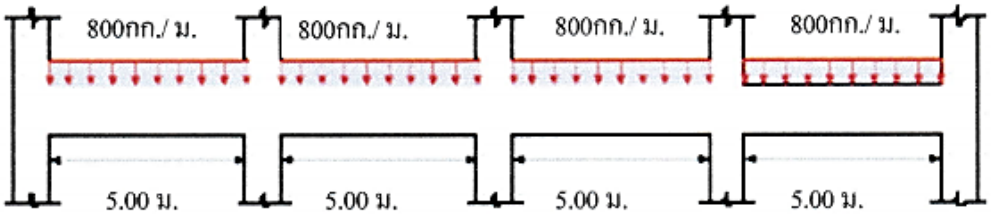
1.7 สูตรสำเร็จ ค่า V_{max} คือ WL กก.

1.8 แทนค่าสูตรค่า V_{max} = 500x2.5 = 1250 กก.

1.9 ตำแหน่งที่เกิด M_{max} เสริมเหล็กรับแรงดึงที่ ☐ ขอบผิวบนคาน ☐ ขอบผิวล่างคาน

1.10 ตำแหน่งที่เกิด M_{max} เสริมเหล็กรับแรงอัดที่ ☐ ขอบผิวบนคาน ☐ ขอบผิวล่างคาน

2. จาก รูปเพื่อการวิเคราะห์ที่กำหนดให้ จงตอบคำถามต่อไปนี้ลงในช่องว่าง



รูปที่ 3

2.1 เป็นคานชนิด คานต่อเนื่อง

2.2 เกิดโมเมนต์ดัดมากที่สุด ณ ตำแหน่ง ☐ แถบฐานรองรับ ☐ แถบกลางช่วงคาน

2.3 เกิดค่า M_{max} เป็น ☐ บวก ☐ ลบ

2.4 หน้าตัดคานเกิดแรงอัดมากสุดที่ ☐ ขอบผิวบนคาน ☐ ขอบผิวล่างคาน

2.5 สูตรสำเร็จค่า M_{max} คือ $\frac{WL^2}{10}$ กก.-ม.

2.6 แทนค่าสูตรค่า M_{max} = $\frac{800x5^2}{10}$ = 2000 กก.-ม.

2.7 สูตรสำเร็จ ค่า V_{max} คือ 0.6WL กก.

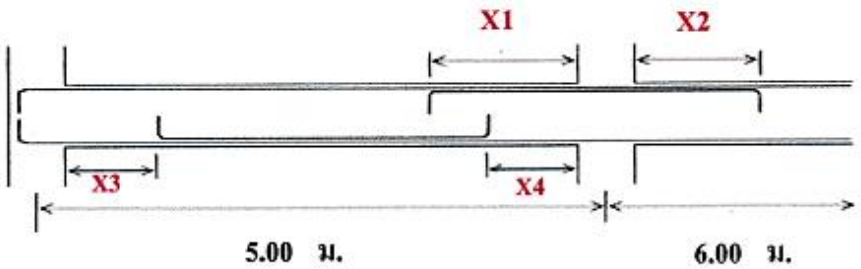
2.8 แทนค่าสูตรค่า V_{max} = 0.6x800x5 = 2400 กก.

2.9 ตำแหน่งที่เกิด M_{max} เสริมเหล็กรับแรงดึงที่ ☐ ชิดผิวบนคาน ☐ ชิดผิวล่างคาน

2.10 ตำแหน่งที่เกิด M_{max} เสริมเหล็กรับแรงอัดที่ ☐ ชิดผิวบนคาน ☐ ชิดผิวล่างคาน

3. จากที่กำหนดให้ จงตอบคำถามต่อไปนี้ลงในช่องว่าง

3.1 เสริมเหล็กแบบเหล็กเสริมพิเศษ



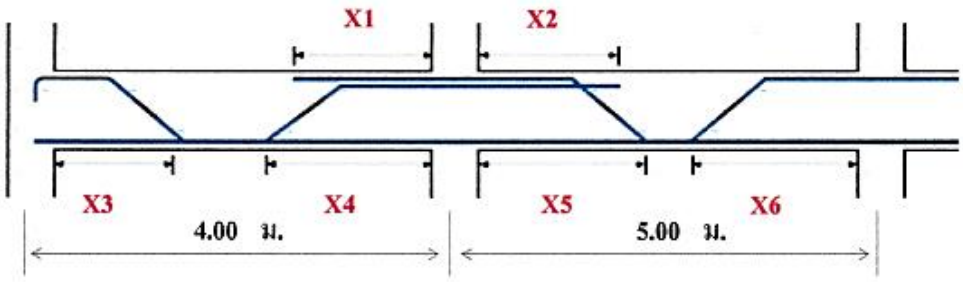
1. ระยะ X1 = $\frac{L_1}{3}$ = $\frac{5.00}{3}$ = 1.67 ม

2. ระยะ X2 = $\frac{L_1}{3}$ = $\frac{6.00}{3}$ = 2.00 ม

3. ระยะ X3 = $\frac{L_1}{8}$ = $\frac{5.00}{8}$ = 0.625 ม

4. ระยะ X4 = $\frac{L_1}{8}$ = $\frac{5.00}{8}$ = 0.625 ม

3.2 เสริมเหล็กแบบเหล็กคอม้า



5. ระยะ X1 = $\frac{L_1}{3}$ = $\frac{4.00}{3}$ = 1.33 ม

6. ระยะ X2 = $\frac{L_1}{3}$ = $\frac{5.00}{3}$ = 1.67 ม

7. ระยะ X3 = $\frac{L_1}{7}$ = $\frac{4.00}{7}$ = 0.57 ม

8. ระยะ X4 = $\frac{L_1}{4}$ = $\frac{4.00}{4}$ = 1.00 ม

9. ระยะ X5 = $\frac{L_1}{4}$ = $\frac{5.00}{4}$ = 1.25 ม

10. ระยะ X6 = $\frac{L_1}{4}$ = $\frac{5.00}{4}$ = 1.25 ม

ชุดแบบเฉลย

ใบงานที่ 5.1 แบบฝึกหัด

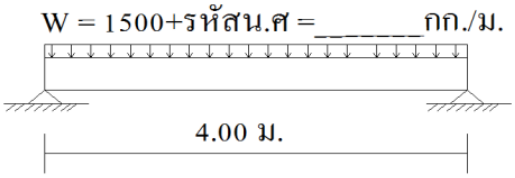
โมดูลที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

คำชี้แจง ให้นักศึกษาคำนวณและออกแบบคาน ต่อไปนี้

จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กให้ประหยัดโดยเติมคำลงช่องว่างที่กำหนดให้สมบูรณ์

จากรูปเพื่อวิเคราะห์ กำหนดให้ fc' = 100+รหัสน.ศ. =_____ กก./ซม.^{2} , fs = 1500 กก./ซม.^{2}

R = 9.00 กก./ซม.^{2} K = 0.30 , j = 0.80 คอนกรีตหุ้มเหล็ก 5 ซม. มาตรฐาน วสท.



วิธีทำ 1. ออกแบบขนาดคาน

สมมุติ เลือกความลึก t = $\frac{L}{10}$ = $\frac{4}{10}$ = 0.40 ใช้ 0.40 ม.

ความกว้าง b = $\frac{2}{3}t$ = $\frac{2}{3}$ x 0.40 = 0.26 ใช้ 0.20 ม.

เลือกขนาดคาน 0.20x0.40 ม.

2.**คานเกิดโมเมนต์ดัดกระทำสูงสุด** ชนิดคาน ช่วงเดียว

M_{max} = $\frac{WL^2}{8}$ = $\frac{1500x4^2}{8}$ = 3000 กก.-ม.

3. ค่าความลึกประสิทธิผลที่ออกแบบ d = 40 – 5 = 35 ซม.

4.ค่าโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีตรับแรงอัด สูตร M_C = $\frac{Rbd^2}{100}$

M_C = $\frac{9x20x35^2}{100}$ = **2205** กก.-ม.

5. ค่าโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กรับแรงอัด สูตร M' = M-M_C

M' = 3000 - 2205 = 795 กก.-ม.

6. พื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงดึงเท่าคอนกรีต สูตร As_1 = $\frac{+M_{max}(100)}{f_s \cdot j \cdot d}$

As_1 = $\frac{2205x100}{1500x0.8x35}$ = 5.25 ซม.^{2}

7. พื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงดึงเท่าโมเมนต์ส่วนเกิน สูตร $As_2 = \frac{M\prime(100)}{f_s(d-d\prime)}$

As_2 = $\frac{795x100}{1500(35-3)}$ = 1.76 ซม.^{2}

8.พื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงดึง สูตร As = $As_1 + As_2$

As = 5.25 + 1.76 = 7.01 ซม.^{2}

เลือกเหล็กเสริมรับแรงดึง 4-DB 16มม. (As = 8.04 > 7.01 ซม.^{2}) ปลอดภัย

9. พื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงอัด สูตร As' = $\frac{M\prime(100)}{f_s(d-d\prime)}$

สูตร fs' = $2f_s\left[\frac{k-\left(\frac{d\prime}{d}\right)}{1-k}\right]$

แทนค่า fs' = $2x1500\left[\frac{0.3-\left(\frac{5}{35}\right)}{1-0.3}\right]$ = 673 กก./ซม.^{2}

แทนค่า As' = $\frac{795x100}{673(35-3)}$ = 3.93 ซม.^{2}

เลือกเหล็ก 2-DB 16 (As = 4.02 > 3.93) ปลอดภัย

10.ค่าแรงเฉือนมากสุดที่เกิดในหน้าตัดคาน สูตร V = $\frac{wL}{2} - (W \cdot d)$

แทนค่า V = $\left(\frac{1500x4}{2}\right)$-(1500x0.35) = 2475 กก.

11.ค่าแรงเฉือนที่คานคอนกรีตรับได้ สูตร Vc = V_C bd

แทนค่า Vc = $(0.29)\sqrt{100}$ 20x35 = 2030 กก.

12. ค่าแรงเฉือนที่เกินจากคอนกรีตรับได้ สูตร V' = V - Vc

แทนค่า V' = 2475 - 2030 = 445 กก.

13. หาระยะเหล็กปลอกรับแรงเฉือนส่วนเกิน เลือกขนาดเหล็กปลอก RB 6 มม.

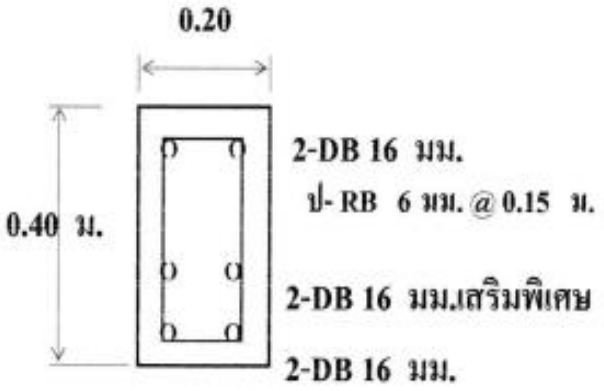
สูตร S = $\frac{A_V \cdot f_V \cdot d}{V_r}$

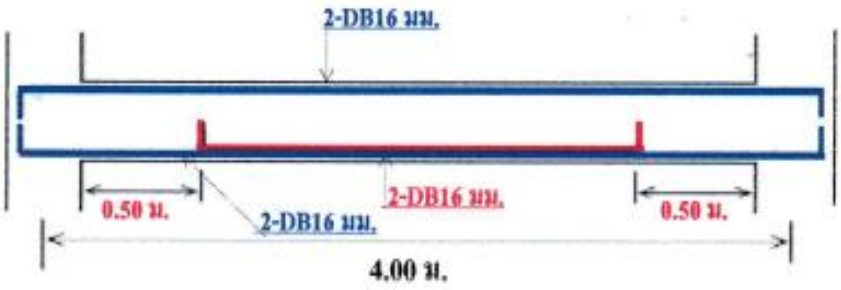
แทนค่า S = $\frac{(2x28)1200x35}{445}$ = 52.85 ซม.

ข้อกำหนด วสท. คือ $\frac{d}{2}$ = $\frac{35}{2}$ = 17.5 < 52 ใช้ 15 ม.

ออกแบบเหล็กปลอก RB 6 มม. @ 0.15 ม.

14. เขียนแสดงขนาดคานคอนกรีตเสริมเหล็กตัดที่กึ่งกลางคาน





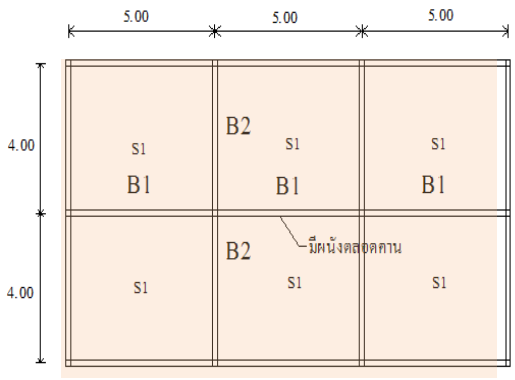
ชุดแบบเฉลย

ใบงานที่ 5.2 กิจกรรมกลุ่ม

โมดูลที่ 5 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตอนที่ 1. จงเติมคำลงช่องว่างที่กำหนดให้สมบูรณ์และถูกต้อง (10 คะแนน)

1. รูปแปลนที่กำหนดให้ จงคำนวณหาน้ำหนักที่ถ่ายลงคาน B1 ต่อไปนี้ลงในช่องว่าง



กำหนดให้

คาน ทุกตัวมีขนาด 0.20x0.50 ม.

พื้น S1 หนา 0.12 ม. มีน้ำหนักจร 200 กก.ม.^{2}

ผนังก่ออิฐมอญ ครึ่งแผ่นสูง 3.00 ม.

1.1 B1 เป็นคานชนิด คานต่อเนื่อง

1.2 น้ำหนักจากตัวคานถ่ายลง B1 = 0.20x0.50x2400 = 240 กก./ม.

1.3 น้ำหนักจากผนังถ่ายลง B1 = 3.00x1.00x180 = 540 กก./ม.

1.4 น้ำหนักของพื้นต่อ 1 **ม.**^{2} DL = 0.12x1.00x2400 = 288 กก./ม.

LL = 200 = 200 กก./ม.

W = 288+200 = 488 กก./ม.

1.5 สูตรถ่ายน้ำหนักพื้น ทางด้านยาว คือ $\left(\frac{WS}{3}\right)\left(\frac{3-\left(\frac{S}{L}\right)^2}{2}\right)$

1.6 ถ่ายน้ำพื้น S1 ลงบนคาน B1 = 2 $\left(\frac{488x4}{3}\right)\left(\frac{3-\left(\frac{4}{5}\right)^2}{2}\right)$ = 1534 กก./ม.

1.7 สูตรถ่ายน้ำหนักพื้น ทางด้านสั้น คือ $\left(\frac{WS}{3}\right)$

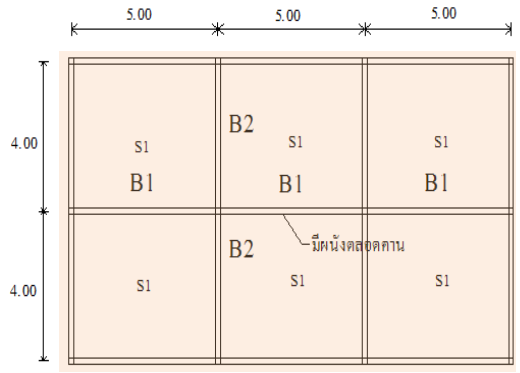
1.8 ถ่ายน้ำหนักพื้น S1 ลงบนคาน B2 = $\left(\frac{488x4}{3}\right)$ = 650 กก./ม.

ตอนที่ 2. จงออกแบบคาน B2 ให้ประหยัดโดยเติมคำลงชิ่งว่างที่กำหนดให้สมบูรณ์จากรูปเพื่อวิเคราะห์

กำหนดให้ fc'= 100+รหัสน.ศ=_____กก./ซม.^{2} , fs = 1200 กก./ซม.^{2}

R = 9.00 กก./ซม.^{2} K = 0.30 , j = 0.80 คอนกรีตหุ้มเหล็ก 3 ซม. มาตรฐาน วสท.

มี



กำหนดให้

พื้น S1 หนา 0.10 ม.

น้ำหนักจร 200+ รหัสน.ศ.= 200 กก.ม.^{2}

ผนังก่ออิฐมอญ ครึ่งแผ่นสูง 3.00 ม.

วิธีทำ 1. ออกแบบขนาดคาน B2

วิธีทำ 1. ออกแบบขนาดคาน B6

สมมุติ เลือกความลึก t = $\frac{L}{10}$ = $\frac{4}{10}$ = 0.40 ใช้ 0.40 ม.

ความกว้าง b = $\frac{1}{3}t$ = $\frac{1}{3}$ x 0.40 = 0.13 ใช้ 0.20 ม.

เลือกขนาดคาน 0.20x0.40 ม.

2. น้ำหนักกระทำคาน

น้ำหนักตัวคาน B2 W_B = 0.20x0.40x2400x1 = 192 กก./ม.

น้ำหนักผนังก่ออิฐ W_W = 3.00x180x1 = 540 กก./ม.

น้ำหนักพื้นวางบนคาน S1 ถ่ายให้ 2 ข้าง

น้ำหนักพื้นต่อ 1 ม.^{2}

w = DL+LL = (0.10x2400x1) + (200) = 440 กก./ม.^{2}

น้ำหนักพื้นถ่ายลงคานมี2ด้านเท่ากัน

W_S $=2\left(\frac{wS}{3}\right)=2\left(\frac{440x4}{3}\right)$ = 1173 กก./ม.

รวมน้ำหนัก W $=W_B+W_W+W_S$ = 192+540+1173= 1905 กก./ม.

3.**คานเกิดโมเมนต์ดัดกระทำสูงสุด** ชนิดคาน ต่อเนื่องสองช่วง

$M_{max} = \frac{WL^2}{9} = \frac{1905x4^2}{9}$ = 3386 กก.-ม.

3. ค่าความลึกประสิทธิผลที่ออกแบบ d = 40 – 3 = 37 ซม.

4.ค่าโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีตรับแรงอัด สูตร $M_C = \frac{Rbd^2}{100}$

$M_C = \frac{9x20x37^2}{100}$ = **2464** กก.-ม.

5. ค่าโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กรับแรงอัด สูตร M’ = $M-M_C$

M’ = 3386 - 2464 = 922 กก.-ม.

6. พื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงดึงเท่าคอนกรีต สูตร $As_1 = \frac{+M_{max}(100)}{f_s \cdot j \cdot d}$

$As_1 = \frac{2464x100}{1200x0.7x47}$ = 6.93 ซม.^{2}

7. พื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงดึงเท่าโมเมนต์ส่วนเกิน สูตร $As_2 = \frac{M\prime(100)}{f_s(d-d\prime)}$

$As_2 = \frac{922x100}{1200(47-3)}$ = 2.26 ซม.^{2}

8.พื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงดึง สูตร As = As_1+As_2

As = 6.93 + 2.26 = 9.19 ซม.^{2}

เลือกเหล็กเสริมรับแรงดึง 5-DB 16มม. (As = 10.05 > 9.19 ซม.^{2}) ปลอดภัย

9. พื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงอัด สูตร As' = $\frac{M'(100)}{f_s(d-d')}$

สูตร fs' = $2f_s\left[\frac{k-\left(\frac{d'}{d}\right)}{1-k}\right]$

แทนค่า fs' = $2x1200\left[\frac{0.3-\left(\frac{3}{47}\right)}{1-0.3}\right]$ = 750 กก./ซม.^{2}

แทนค่า As' = $\frac{922x100}{750(37-3)}$ = 3.16 ซม.^{2}

เลือกเหล็ก 2-DB 16 (As = 4.02 > 3.61) ปลอดภัย

10.ค่าแรงเฉือนมากสุดที่เกิดในหน้าตัดคาน สูตร V = 1.15 $\frac{wL}{2}-(W\cdot d)$

แทนค่า V = $1.15\left(\frac{1905x4}{2}\right)$-(1905x0.37) = 3676 กก.

11.ค่าแรงเฉือนที่คานคอนกรีตรับได้ สูตร Vc = V_C bd

แทนค่า Vc = $(0.29)\sqrt{100}$ 20x37 = 2146 กก.

12. ค่าแรงเฉือนที่เกินจากคอนกรีตรับได้ สูตร V' = V - Vc

แทนค่า V' = 3676 – 2146 = 1530 กก.

13. หาระยะเหล็กปลอกรับแรงเฉือนส่วนเกิน เลือกขนาดเหล็กปลอก RB 6 มม.

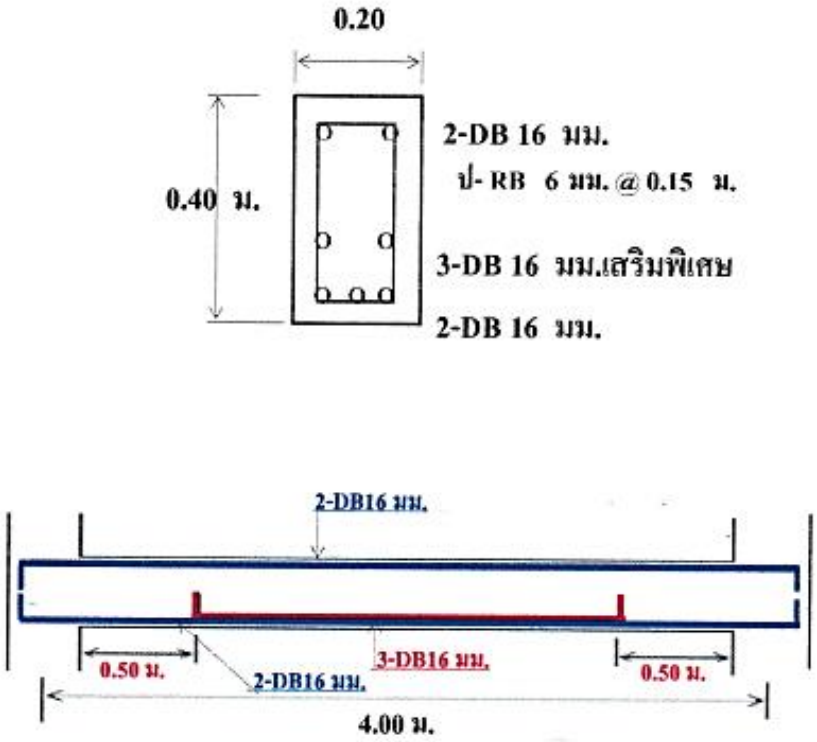
สูตร S = $\frac{A_V\cdot f_V\cdot d}{V'}$

แทนค่า S = $\frac{(2x28)1200x37}{1530}$ = 16.24 ซม.

ข้อกำหนด วสท. คือ $\frac{d}{2}$ = $\frac{37}{2}$ = 18.5 < 16.24 ใช้ 15 ม.

ออกแบบเหล็กปลอก RB 6 มม. @ 0.15 ม.

14. เขียนแสดงขนาดคานคอนกรีตเสริมเหล็กตัดที่กึ่งกลางคาน



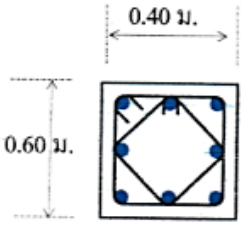
ชุดแบบเฉลย

แบบทดสอบก่อนเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

จงคำนวณหาน้ำหนักที่เสานี้จะรับได้โดยปลอดภัยกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้ เสาคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดปลอกเดียวขนาด 0.40 x 0.60 ม. มีลักษณะเสาสั้นประกอบด้วยเหล็กเสริม DB 20 มม. จำนวน 8เส้นดังรูป :-



8 – DB 20 มม.

วิธีทำ

1. น้ำหนักที่เนื้อคอนกรีตรับได้ สูตร P_C = **0.85Ag (0.25 fc')**

แทนค่า P_C = 0.85x40x60 (0.25 x 120) = 61200 กก.

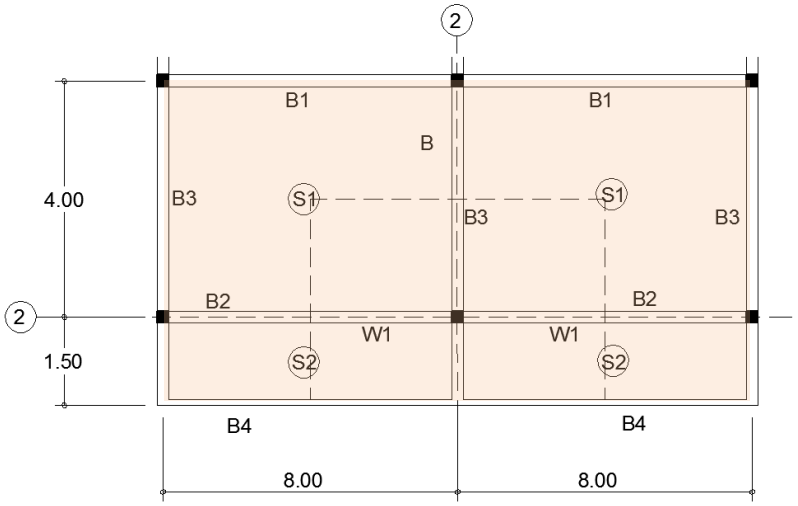
2. น้ำหนักที่เนื้อเหล็กเสริมรับได้ สูตร P_S = **0.85As fs**

แทนค่า P_S = 0.85x25.12x1500 = 32028 กก.

3. น้ำหนักที่หน้าตัดเสารับได้ สูตร $P = P_C + P_S$

แทนค่า P = 61200 + 32028 = 93228 กก.

จงออกแบบเสาชั้น 1 ประเภทเสาสั้น อาคารตึกแถว หน้าตัดเสาเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีความสูงแต่ละชั้นและแบบแปลนพื้นชั้น 2 ดังรูป กำหนดให้พื้น S1,S2 หนา 0.12 ม. น้ำหนักจร (LL +รหัส= 200 กก./ซม.^{2}) คานทุกตัวขนาด 0.20 x 0.50 ม. , ผนัง W1 ก่ออิฐเต็มแผ่นสูง 3.00 ม. fc' = 120 + รหัสน.ศ. = 120 กก./ซม.^{2} fs = 1500 กก./ซม.^{2}



1. คำนวณหาน้ำหนักลงเสา (C-2) โดยวิธีแบ่งครึ่งพื้นที่

- น้ำหนักพื้น 1 ม.^{2} สูตร W = DL + LL

  - รวมน้ำหนักพื้น W = (0.12x2400) + (200) = 488 กก./ม.^{2}

  - น้ำหนักพื้นลงเสา W_S = 8.00x(2+1.5)x488 = 13664 กก.

- น้ำหนักคานยาว 1 ม. B = 0.20x0.50x2400 = 240 กก./ม.

  - น้ำหนักพื้นลงเสา W_B = (8+8+2+1.5) 240 = 4680 กก.

- น้ำหนักผนังยาว 1 ม. W1 = 2x180x3 =1080 กก./ม.

  - น้ำหนักพื้นลงเสา W_{W1} = 8x1080 = 8640 กก.

- น้ำหนักรวมลงเสาชั้น 1 P =$W_S + W_B + W_{W1}$

  - น้ำหนักทั้งหมดลงเสา P = 13664 + 4680 + 8640 = 26984 กก.

ให้นำค่าแรง P ที่คำนวณได้จากข้อ 1 ใส่ลงในช่องว่างในรูปตัด

2. ออกแบบเสาสั้นหน้าตัดสี่เหลี่ยมปลอกเดี่ยว

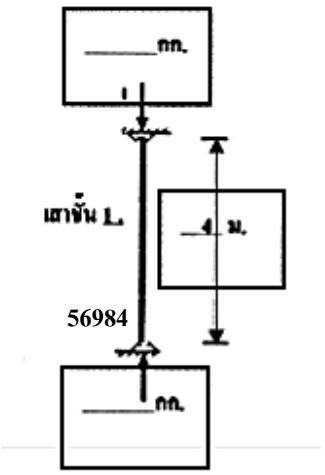
รวมน้ำหนักทั้งหมดทำกับเสาชั้น1

P1 = 30000 + 26984 = 56984 กก.

- สมมุติออกแบบขนาดเสาสั้นจาก มาตรฐาน $\frac{h}{t} \leq 15$

  - เลือกด้านแคบเสา $t \geq \frac{h}{15}$

  $t = \frac{4}{15}$ = 0.26 ใช้ 0.35 ม.



- เลือกขนาดเสา 0.35 x 0.35 ม.

- น้ำหนักที่เนื้อคอนกรีตรับได้ (P_C)

  - สูตร P_C = 0.85Ag (0.25 fc') กก.

  - แทนค่า P_C = 0.85x35x35(0.25x120) = 31237 กก.

- น้ำหนักที่พื้นเหล็กแกนต้องรับได้ (P_S)

  - สูตร P_S =P1 - P_C

  - แทนค่า P_S =56984 – 31237 = 25747 กก.

- พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมที่รับน้ำหนักได้ (A_S)

  - สูตร $A_S = \frac{P_s}{0.85 \cdot f_s}$ ซม.^{2}

  - แทนค่า $A_S = \frac{25747}{0.85\ x\ 1500}$ = 20.19 ซม.^{2}

▪ เลือกใช้เหล็กแกน

- ชนิดและขนาด DB 20 จำนวน 8 เส้น A_S = 25.12 ซม.^{2}

▪ ตรวจสอบตามมาตรฐาน วสท. สูตร Pg = $\frac{A_s}{A_c}$

- แทนค่า Pg = $\frac{25.12}{35x35}$ = 0.0205

- ปลอดภัย เพราะ 0.01 > 0.0205 <0.08)

3.ออกแบบเหล็กปลอกเดี่ยว ตามมาตรฐาน วสท. กำหนด

- เลือกใช้ขนาดเหล็กปลอก RB 6 มม.

- ระยะห่างของเหล็กปลอก

- S ≤ 16 Øเหล็กแกน = 16 x 2 = 32 ซม.

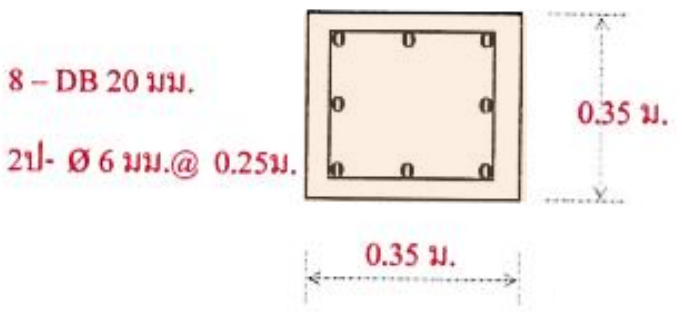
- S ≤ 48 Øเหล็กปลอก = 48x0.6 = 28.8 ซม.

- S ≤ t = 35 = 35 ซม.

▪ สรุปเลือกออกแบบเหล็กปลอกเดี่ยว

- ปลอก Ø 6 มม. @ 0.25 ม

4. จงเขียนรูปหน้าตักเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่คำนวณได้ให้สมบูรณ์



แบบทดสอบก่อนและหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

1. จงออกแบบฐานแผ่สี่เหลี่ยมจัตุรัส รับน้ำหนักจากเสา ตอม่อ 30x 30 ซม. โดยเสารับน้ำหนักดังรูปตัด C(B-2) ให้หน่วยแรงแรงดันของดินที่รับน้ำหนักปลอดภัยเท่ากับ 10,000 กก./ม.^{2}

กำหนดให้หน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้ f_c' = 150+รหัสน.ศ.=_____ กก./ซม.^{2}

Fs = 1500 กก./ซม.^{2} R = 9.00 กก./ซม.^{2} j = 0.80 n= 11

1. น้ำหนักจากเสา = 60,000 กก.

2.สมมติน้ำหนักฐาน = 6,000 กก.

3. น้ำหนักรวม (W) = 66,000 กก.

4. พื้นที่ฐานราก = $\frac{66,000}{10,000}$ = 6.6 ม.^{2}

5.ออกแบบขนาดฐานราก = 2.60 x2.60 ม.

6.พื้นที่ฐานรากที่ออกแบบ = 6.76 > 6.6 ม.^{2}

7.หน่วยแรงดันขึ้นของดิน (w) = $\frac{66,000}{6.76}$

= 9763 กก./ม.^{2}

8. สูตรโมเมนต์ที่ขอบเสา (M) = $\frac{w\ell^2}{2}$ กก.-ม.

9. ระยะความยาว ℓ = $\frac{2.60-0.30}{2}$ = 1.15 ม.

10. ค่า M = $\frac{9763x1.15^2}{2}$ = 6455 กก.-ม.

แบบทดสอบหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
ชื่อ-สกุล..... แผนกวิชา..... ชั้น.....กลุ่ม.....

1. จงออกแบบฐานแผ่สี่เหลี่ยมจัตุรัส รับน้ำหนักจากเสา ตอม่อ 30 x 30 ซม. โดยเสารับน้ำหนักดังรูปตัด C(B-2) ให้หน่วยแรงแรงดันของดินที่รับน้ำหนักปลอดภัยเท่ากับ 10,000 กก./ม.^{2}
กำหนดให้หน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้ f_c' = 150+รหัสน.ศ.=_____ กก./ซม.^{2}
Fs = 1500 กก./ซม.^{2} R = 9.00 กก./ซม.^{2} j = 0.80 n= 11

1. น้ำหนักจากเสา = 60,000 กก.

2.สมมติน้ำหนักฐาน = 6,000 กก.

3. น้ำหนักรวม (W) = 66,000 กก.

4. พื้นที่ฐานราก = $\frac{66,000}{10,000}$ = 6.6 ม.^{2}

5.ออกแบบขนาดฐานราก = 2.60 x2.60 ม.

6.พื้นที่ฐานรากที่ออกแบบ = 6.76 > 6.6 ม.^{2}

7.หน่วยแรงดันขึ้นของดิน (w) = $\frac{66,000}{6.76}$

= 9763 กก./ม.^{2}

8. สูตรโมเมนต์ที่ขอบเสา (M) = $\frac{w\ell^2}{2}$ กก.-ม.

9. ระยะความยาว ℓ = $\frac{2.60-0.30}{2}$ = 1.15 ม.

10. ค่า M = $\frac{9763x1.15^2}{2}$ = 6455 กก.-ม.

ชุดเฉลย

แบบฝึกหัดหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

จงออกแบบฐานแผ่สี่เหลี่ยมจัตุรัส รับน้ำหนักจากเสา ตอม่อ 30 x 30 ซม. โดยเสารับน้ำหนักดังรูปตัด C(B-2) ให้หน่วยแรงแรงดันของดินที่รับน้ำหนักปลอดภัยเท่ากับ 10,000 กก./ม.^{2}

กำหนดให้หน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้ f_c' = 150+รหัสน.ศ.=_____ กก./ซม.^{2}

Fs = 1500 กก./ซม.^{2} R = 9.00 กก./ซม.^{2} j = 0.80 n= 11

1. น้ำหนักจากเสา = 60,000 กก.

2.สมมติน้ำหนักฐาน = 6000 กก.

3. น้ำหนักรวม (W) = 66,000 กก.

4. พื้นที่ฐานราก = $\frac{66,000}{10,000}$ = 6.6 ม.^{2}

5.ออกแบบขนาดฐานราก = 2.60 x2.60 ม.

6.พื้นที่ฐานรากที่ออกแบบ = 6.76 > 6.6 ม.^{2}

7.หน่วยแรงดันขึ้นของดิน (w) = $\frac{66,000}{6.76}$

= 9763 กก./ม.^{2}

8. สูตรโมเมนต์ที่ขอบเสา (M) = $\frac{w\ell^2}{2}$ กก.-ม.

9. ระยะความยาว ℓ = $\frac{2.60-0.30}{2}$ = 1.15 ม.

10. ค่า M = $\frac{9763x1.15^2}{2}$ = 6455 กก.-ม.

11. สูตรความหนาของฐาน (d) = $\sqrt{\frac{M(100)}{R \cdot b}}$ ซม.

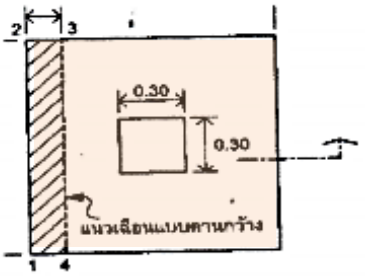
แทนค่า d = $\sqrt{\frac{6455x100}{9x2.60}}$ = 16.6 ซม.

12. ออกแบบความหนาฐานราก $d_{ออกแบบ}$ = 35 ซม.

ตรวจสอบแรงเฉือน: พิจารณาแรงเฉือนแบบคาน

13. สูตรหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ Vc = $0.29\sqrt{f_c}$ กก./ซม.^{2}

แทนค่า Vc = $0.29\sqrt{150}$ = 3.55 กก./ซม.^{2}

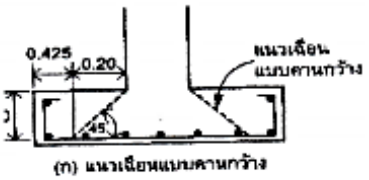


14. สูตรค่าแรงเฉือน V = w(ℓ-d)(b)

แทนค่า V = 9763(1.15-0.35)2.60 = 20,307 กก.

15. สูตรหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น v = $\frac{V}{bd}$ กก./ซม.^{2}

แทนค่า v = $\frac{20307}{260x35}$ = 2.23 กก./ซม.^{2}



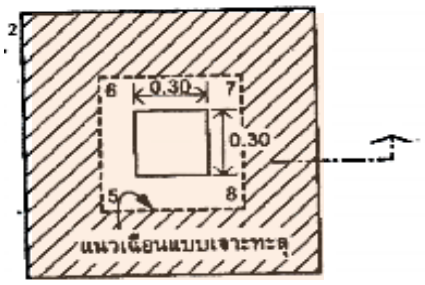
(ก) แนวเฉือนแบบคานกว้าง

16. ปลอดภัย หรือ ไม่ปลอดภัย ปลอดภัย เพราะ 3.55 > 2.23

ตรวจสอบแรงเฉือน : พิจารณาแรงเฉือนแบบเสาเจาะทะลุ

17. สูตรหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ Vc = $0.53\sqrt{f_c}$ กก./ซม.^{2}

แทนค่า Vc = $0.53\sqrt{150}$ = 6.49 กก./ซม.^{2}

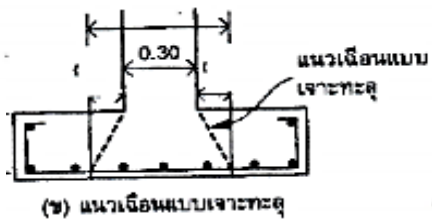


18.สูตรค่าแรงเฉือน V = w (LxL)-[(a+d)(c+d)]

แทนค่า V = 9763 [(2.6x2.6)-(0.35+0.35)(0.35+0.35)]

V = 9763(6.76-0.49) = 61214 กก.

19. ความกว้างที่ถูกเฉือน b = 4(35+35) = 280 ซม.



(ข) แนวเฉือนแบบเจาะทะลุ

20. แทนค่า v = $\frac{61214}{280x35}$ = 6.24 กก./ซม.^{2}

21. ปลอดภัย หรือ ไม่ปลอดภัย ปลอดภัย เพราะ 6.49 > 6.24

22. สูตรเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริม As = $\frac{M_{max}(100)}{f_{sjd}}$

แทนค่า As = $\frac{6455x100}{1500x0.8x35}$ = 15.37 ซม.^{2}

23. ใช้เหล็ก DB 16 มม. จำนวน 9 เส้น (As= 18.09 ซม.^{2})

24. เส้นรอบรูปของเหล็กทั้งหมด ∑o= 2x9x5.03 = 90.54 ซม.

25. สูตรหน่วยแรงยึดเกาะที่ยอมให้ Ua = $\frac{3.23\sqrt{fc}}{D}$ ≤ 35 กก./ซม.^{2}

แทนค่า Ua = $\frac{3.23\sqrt{150}}{1.6}$ = 24.72 กก./ซม.^{2}

26. สูตรค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจริง U = $\frac{V_{max}}{\sum ojd}$ กก./ซม.^{2}

แทนค่า U = $\frac{61214}{90.54x0.8x35}$ = 24.14 กก./ซม.^{2}

ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว ปลอดภัย หรือ ไม่ปลอดภัย ปลอดภัย เพราะ

Ua > U หรือ 24.72 > 2414 กก./ซม.^{2}

สรุป ออกแบบฐานรากแผ่

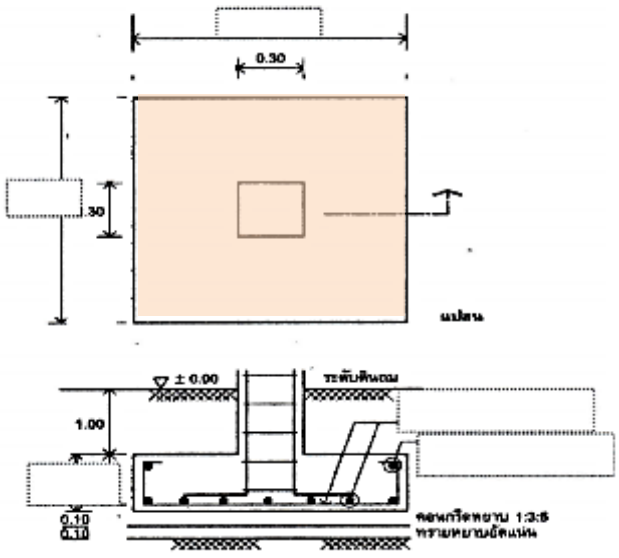
ขนาด 2.60x2.60x0.45 ม.

ขนาดเหล็กเสริมหลักสองทางเท่ากัน

2-9- DB 16 มม.

ตำแหน่งวางเหล็กเสริม

วางชิดขอบ ล่าง ฐานราก



แสดงรูปขยายหน้าตัดฐานรากที่ออกแบบ

ชุดแบบเฉลย

แบบฝึกหัดหลังเรียนวิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โมดูลที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

จงออกแบบฐานแผ่สี่เหลี่ยมจัตุรัส รับน้ำหนักจากเสา ตอม่อ 20x 20 ซม. โดยเสารับน้ำหนักดังรูปตัด C(B-2) ใช้เสาเข็มคอนกรีตสี่เหลี่ยมขนาด 0.25 x 0.25 ม. รับน้ำหนักได้ปลอดภัย 15,000+รหัส น.ศ.=_____ กก./ต้น และระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม 0.10 ม. มาตรฐาน วสท.

กำหนดให้หน่วยแรงที่ยอมให้ดังนี้ fc' = 150+รหัสน.ศ.=_____ กก./ซม.^{2}

fs = 1500 กก./ซม.^{2} R = 9.00 กก./ซม.^{2} j = 0.80 n= 11

1. น้ำหนักจากเสา = 60,000 กก.

2.สมมติน้ำหนักฐาน = 6000 กก.

3. น้ำหนักรวม (W) = 66,000 กก.

4. สูตร จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ N = $\frac{P}{\mathcal{P}}$

แทนค่า N = $\frac{66,000}{15,000}$ = 4.4 ใช้ 5 ต้น

5. เสาเข็มรับน้ำหนักจริงต้นละ

Pa = $\frac{66,000}{5}$ = 13,200 กก./ต้น

6.ข้อกำหนดให้ระยะห่างเสาเข็มจากศูนย์กลางเสาเข็มถึงศูนย์เสาเข็มถึงศูนย์เสาเข็ม

ต้นในไม่น้อยกว่า = 3d

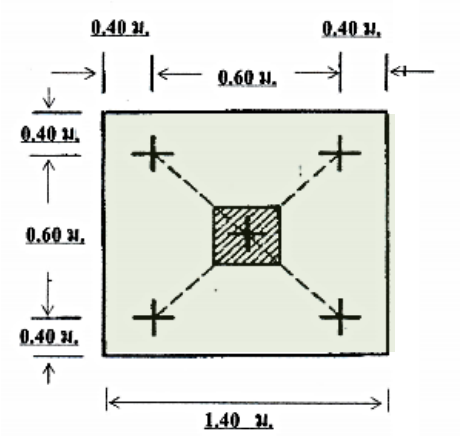
ต้นชิดขอบฐาน = 1.5

แทนค่า ระยะห่างเสาเข็มต้นใน = $\frac{3}{\sqrt{2}}$ x 25 = 53 ใช้ 60 ซม.

ระยะห่างขอบฐาน = 1.5 x 25 = 37.5 ใช้ 40 ซม.

7. ออกแบบขนาดฐานรากเสาเข็ม 1.40 x 1.40 ม.

8. เขียนรูปแปลนฐานรากโดยกำหนดระยะเสาเข็มต่างๆ



9. สูตรโมเมนต์มากที่สุดขอบเสา

M_{max} = Σ M_a

แทนค่า M_{max} = 2x13200x(0.30-0.10) = 5280 กก.-ม.

10. สูตรความลึกประสิทธิผล d = $\sqrt{\frac{M(100)}{R \cdot b}}$

แทนค่า d = $\sqrt{\frac{5280x100}{9x140}}$ = 17.56 ใช้ 25 ซม.

11. ออกแบบความหนาฐานราก = 25+10 = 35 ซม.

d_d = 35-10 = 25 ซม.

12.ตรวจสอบแรงเฉือน แบคาน

แนววิกฤติห่างจากขอบเสาตอม่อ = d = 25 ซม.

เสาเข็มอยู่ นอก หรือ ใน แนววิกฤติ = ใน

เป็นระยะทาง = -5 ซม. ไม่เกิน 15 ซม.

สูตร ค่าแรงเฉือนเสาเข็มลดลง P_a' = $\frac{P_a}{30}$ (x + 15)

แทนค่า P_a' = $\frac{13200}{30}$ [(-5)+15] = 4400 กก./ต้น

∴ รวมแรงเฉือนแบบคานทั้งหมด

V = $2(P_a')$ = 2(4400) = 8800 กก.

∴ หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น สูตร $v = \frac{V}{bd}$

แทนค่า $v = \frac{8800}{140\ x\ 25}$ = 2.51 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ สูตร Vc = $0.29\sqrt{f_c}$

แทนค่า Vc = $0.29\sqrt{150}$ = 3.55 กก./ซม.^{2}

ฐานรากรับแรงเฉือนแบบคานได้ปลอดภัยเมื่อ

Va > V หรือ 3.55 > 2.51 กก./ซม.^{2}

13. ตรวจสอบแรงเฉือน เสาเจาะทะลุ

แนววิกฤติห่างจากขอบเสาตอม่อโดยรอบข้างละ = $\frac{d}{2}$ = $\frac{25}{2}$ = 12.5 ซม.

เสาเข็มอยู่ นอก หรือ ใน แนววิกฤติ = นอก

เป็นระยะทาง = + 7.5 ซม. ไม่เกิน 15 ซม.

สูตร ค่าแรงเฉือนเสาเข็มลดลง $P_a' = \frac{P_a}{30}(x + 15)$

แทนค่า $P_a' = \frac{13200}{30}[(7.5) + 15]$ = 9900 กก./ต้น

∴ รวมแรงเฉือนแบบคานทั้งหมด

V = $4(P_a')$ = 4(9900) = 39600 กก.

∴ หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น แทนค่า $v = \frac{39600}{4(45)x\ 25}$ = 8.81 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ แทนค่า Vc = $0.53\sqrt{f_c}$ = $0.53\sqrt{150}$ = 6.49 กก./ซม.^{2}

ฐานรากรับแรงเฉือนแบบคานได้ปลอดภัยเมื่อ v_c > V

หรือ 6.49 > 8.81 กก./ซม.^{2} **ไม่ปลอดภัย**

14. ออกแบบความหนาใหม่ ให้ d = 30 ซม.

ตรวจสอบแรงเฉือน **เสาเจาะทะลุ**

แนววิกฤติห่างจากขอบเสาตอม่อโดยรอบข้างละ = $\frac{30}{2}$ = 15 ซม.

เสาเข็มอยู่นอก แนววิกฤติเป็นระยะทาง = +5 ซม.

แทนค่า P_a' = $\frac{13200}{30}$ [(5)+15] = 8800 กก./ต้น

∴ รวมแรงเฉือนแบบคานทั้งหมด

V = 4(P_a') = 4(8800) = 35200 กก.

∴ หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น แทนค่า v = $\frac{35200}{4(50)x30}$ = 5.86 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ Vc = $0.53\sqrt{f_c}$ = $0.53\sqrt{150}$ = 6.49 กก./ซม.^{2}

ฐานรากรับแรงเฉือนแบบคานได้ปลอดภัยเมื่อ v_c > V **หรือ 6.49 > 5.86** กก./ซม.^{2}

15. สูตรเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริม As = $\frac{M_{max}(100)}{f_{sjd}}$

แทนค่า As = $\frac{5280x100}{1500x0.8x30}$ = 14.67 ซม.^{2}

ใช้เหล็ก DB 16 มม. จำนวน 8 เส้น (As = 16.08 ซม.^{2})

16. ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว สำหรับเหล็ก DB 16 มม.

เส้นรอบรูปของเหล็กทั้งหมด ∑o = 2x8x5.03 = 80.48 ซม.

17. สูตรหน่วยแรงยึดเกาะที่ยอมให้ Ua = $\frac{3.23\sqrt{fc}}{D}$ < 35 กก./ซม.^{2}

แทนค่า Ua = $\frac{3.23\sqrt{150}}{1.6}$ = 24.72 กก./ซม.^{2}

18. สูตรค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจริง U = $\frac{V_{max}}{\sum ojd}$ กก./ซม.^{2}

แทนค่า U = $\frac{35200}{80.48x0.8x30}$ = 18.22 กก./ซม.^{2}

ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว ปลอดภัย หรือ ไม่ปลอดภัย ปลอดภัย

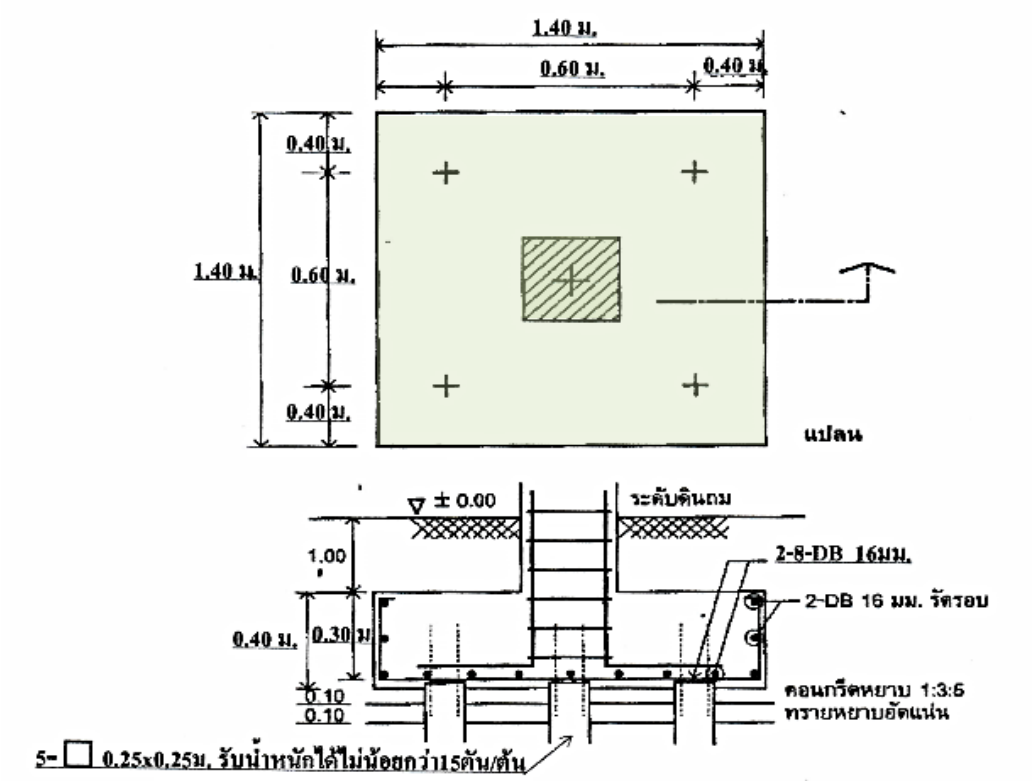
เพราะ **Ua > U** หรือ 24.72 > 18.22 กก./ซม.^{2}

สรุป ออกแบบฐานรากเสาเข็ม ขนาด 1.40 x 1.40 x 0.40 ม.

เสริมเหล็กหลักสองทางเท่ากัน 8 DB 16 มม.

ตำแหน่งวางเหล็กเสริม วางชิดขอบ ล่าง ฐานราก

แสดงรูปขยายหน้าตัดฐานรากที่ออกแบบ



แบบทดสอบโจทย์ระคนก่อนเรียน

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

รหัสวิชา 3121-2102

คำชี้แจง ให้เลือกทำเครื่องหมาย X ทับหน้าข้อที่ถูกที่สุดต้องลงในกระดาษคำตอบ

1.ฐานรากเดี่ยว (Isolated Footing) มีความลึกประสิทธิผลเท่ากับ d จะมีการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนทะลุ (Punching Shear) ที่บริเวณใด

ก. บริเวณขอบเสาตอม่อ

ข. ที่ระยะ d/4 จากขอบเสาตอม่อ

ค. ที่ระยะ d/2 จากขอบเสาตอม่อ

ง. ที่ระยะ d จากขอบเสาตอม่อ

2. มาตราฐาน ว.ส.ท. โดยวิธีกำลัง (USD) กำหนดให้ใช้หน่วยการยืดหดตัวประลัยของคอนกรีตมีค่าเท่ากับเท่าใด

ก. 0.002 มม./มม.

ข. 0.003 มม./มม.

ค. 0.004 มม./มม.

ง. 0.005 มม./มม.

3. เหล็กข้ออ้อย ที่ใช้ในประเทศไทย จะมีคุณสมบัติกว่าเหล็กกลมอย่างไร

ก. มีแรงยึดเกาะตัวดีกว่า

ข. ราคาถูกกว่า

ค. รับแรงดึงได้มากกว่า

ง. ถูกทั้งข้อ ก. และ ค.

4. เหล็กกลมรับแรงดึงในคานคอนกรีตเสริมเหล็กตามทฤษฎีหน่วยแรงใช้งานสามารถรับแรงดึงได้เท่าใด

ก. 0.37 fy

ข. 0.38 fy

ค. 0.45 fy

ง. 0.50 fy

5. เหล็กปลอกในเสา มีหน้าที่อะไร เมื่อเสารับแรงในแนวแกน

ก. เพื่อยึดเหล็กยืนไว้ให้อยู่ตามตำแหน่งที่ต้องการ

ข. เพื่อช่วยเสริมให้เสาเข็มมีคุณสมบัติเหนียว

ค. เพื่อช่วยให้เสารับแรงดึงได้ดีขึ้น

ง. เพื่อให้ระยะหุ้มถูกต้องตามต้องการ

6. เสาสั้นปลอกเดี่ยว เสริมเหล็กยืน As = As' รับแรงอัดใช้งานตามแนวแกนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรตามลำดับ ดังนี้ PD = 130 ตัน และ PL = 98.5 ตัน กำหนดให้ fc' = 280 กก./ซม.^{2} และ fy = 4000 กก./ซม.^{2} จงหาเนื้อที่ของหน้าตัดเสาที่ใหญ่ที่สุด โดยวิธี WSD

ก. 2700 ตร.ซม.

ข. 2875 ตร.ซม.

ค. 3050 ตร.ซม.

ง. 3250 ตร.ซม.

7. ถ้าไม่ทำ “ข้องอมาตราฐาน” ระยะที่ต้องฝังเหล็กกลมเรียบ (RB 15) จากหน้าตัดวิกฤตมีค่าประมาณเท่าใด กำหนดให้ หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ U = 11 กก./ตร.ซม.

ก. 50 ซม.

ข. 40 ซม.

ค. 35 ซม.

ง. 30 ซม.

8. แผ่นพื้นช่วงเดียวหนา 18 ซม. เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวที่ระยะ d = 15 ซม. โดยใช้เหล็ก 9 มม. @ 12 ซม. (As = 5.30 ซม.^{2}/เมตร fc = 150 กก./ซม.^{2} และ fy = 2400 กก./ซม.^{2} จงหาค่าโมเมนต์ดัดต้านทานปลอดภัย ให้ตำแหน่งแนวแกนสะเทิน kd = 5 ซม.

ก. 848 กก.-เมตร/เมตร

ข. 748 กก.-เมตร/เมตร

ค. 648 กก.-เมตร/เมตร

ง. 548 กก.-เมตร/เมตร

9. บันไดพาดทางช่วงกว้างกั้บแม่บันไดทั้งสองข้าง ถ้าให้ช่วงกว้างระหว่างแม่บันได = 2.50 เมตร ขั้นบันไดกว้าง = 25 ซม. ส่วนยก = 15 ซม. ความหนาของพื้นบันได = 7.5 ซม. น้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน = 400 กก./ม.^{2} จงประมาณค่าโมเมนต์มประลัยสูงสุดที่พื้นบันไดต้องรับเท่าใด

ก. 350 กก.-เมตร/เมตร

ข. 280 กก.-เมตร/เมตร

ค. 150 กก.-เมตร/เมตร

ง. 100 กก.-เมตร/เมตร

10. การรับแรงในแนวแกนของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วนที่เป็นเนื้อคอนกรีตถูกกำหนดให้รับความเค้นสูงสุดไม่เกินกี่เปอร์เซ็นต์ของความเค้นสูงสุดที่คอนกรีตรับได้ สำหรับการออกแบบด้วยวิธีกำลัง

ก. 80%

ข. 85%

ค. 90%

ง. 95%

11.รอยแตกร้าวในคานต่อเนื่อง ซึ่งถ้ามีแนวเอียงหรือเฉียงทแยง ซึ่งเรียกว่า เกิดจากแรงดึงทแยง มักจะพบในบริเวณใดของคาน

ก. ด้านบนของคาน บริเวณกึ่งกลาง

ข. ด้านล่างของคาน บริเวณกึ่งกลาง

ค. ใกล้บริเวณโคนเสา ห่างจากเสาประมาณเท่ากับความลึกของคาน

ง. ที่บริเวณที่ใกล้ของหัวเสา

12. เสาสั้นปลอกเดี่ยว เสริมเหล็กยืน As = A_s' รับแรงอัดใช้งานตามแนวแกนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรตามลำดับ ดังนี้ PD = 130 ตัน และ PL = 98.5 ตัน กำหนดให้ f_c' = 280 กก./ซม.^{2} และ fy = 4000 กก./ซม.^{2} จงหาเนื้อที่ของหน้าตัดเสาที่เล็กที่สุด โดยวิธี WSD

ก. 1050 ตร.ซม.

ข. 1175 ตร.ซม.

ค. 1240 ตร.ซม.

ง. 1360 ตร.ซม.

13. การถอดค้ำยันใต้ท้องคานยื่น ที่มีความยาวมาก ควรถอดอย่างไร

ก. ถอดไล่จากด้านเสาที่รองรับออกไป

ข. ถอดตรงกลางก่อนแล้วไล่ออกสองด้าน

ค. ถอดอันเว้นอันจากด้านในออกไป

ง. ถอดไล่จากด้านปลายคานยื่นเข้ามา

14. คานรูปตัดตัวทีโดดๆ มีปีกกว้าง = 75 ซม. หนา = 10 ซม. ตัวคานกว้าง = 25 ซม. เสริมเหล็ก

ก. 280 กก./ซม.

ข. 240 กก./ซม.

ค. 210 กก./ซม.

ง. 180 กก./ซม.

15. เหล็กข้อใดไม่มีขายตามท้องตลาด

ก. DB 20

ข. DB 19

ค. DB 18

ง. DB 17

16.ฐานรากเดี่ยว (Isolated Footing) มีความลึกประสิทธิผลเท่ากับ d จะเกิดการวิบัติเนื่องจากโมเมนตัมตัดที่บริเวณใด

ก. บริเวณขอบเสาตอม่อ

ข. ที่ระยะ d/4 จากขอบเสาตอม่อ

ค. ที่ระยะ d/2 จากขอบเสาตอม่อ

ง. ที่ระยะ d จากขอบเสาตอม่อ

17. คานคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริมมีขนาดกว้าง 30 cm. ลึก 30 cm. จงหาค่าโมเมนต์ตัดสูงสุดที่ยอมให้คานนี้รับได้ ถ้าคอนกรีตมีหน่วยแรงอัดที่ยอมรับให้ fc = 75 ksc และหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ ft = 15 ksc

ก. 33750 kg.cm

ข. 67500 kg.cm

ค. 16875 kg.cm

ง. 34750 kg.cm

18. slab on ground หมายถึงอะไร

ก. พื้นที่ชั้นล่างที่ถ่ายน้ำหนักลงที่ดินโดยตรง

ข. พื้นที่ชั้นล่างที่ถ่ายน้ำหนักลงที่คานโดยตรง

ค. พื้นที่ก่อสร้างไกลจากแหล่งน้ำ

ง. การใช้ดินเป็นไม้แบบของคาน

19. บันไดพาดทางช่วงกว้างกั้บแม่บันไดทั้งสองข้าง ถ้าให้ช่วงกว้างระหว่างแม่บันได = 2.50 เมตร ขั้นบันไดกว้าง = 30 ซม. ส่วนยก = 15 ซม. ความหนาของพื้นบันได = 7.5 ซม. น้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน = 400 กก./ม.^{2} จงประมาณค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานทั้งหมดในทางราบ

ก. 800 กก./ม^2

ข. 700 กก./ม^2

ค. 600 กก./ม^2

ง. 500 กก./ม^2

20. เสาคอนกรีตเสริม 4 ต้น มีสัดส่วนปริมาณเหล็กคอนกรีตเท่ากัน ความสูงเท่ากัน เสาต้นใดจะรับน้ำหนักได้มากว่ากัน

ก. 20x40 ซม.

ข. 25x30 ซม.

ค. 20x30 ซม.

ง. 25x40 ซม.

21 .กำลังอัดคอนกรีต เท่ากับ 210 กก./ตร.ซม. ชนิดทรงกระบอก จะเท่ากับกำลังอัดของคอนกรีตชนิดลูกบาศก์ประมาณเท่าใด

ก. 180 กก./ตร.ซม.

ข. 210 กก./ตร.ซม.

ค. 240 กก./ตร.ซม.

ง. 280 กก./ตร.ซม.

22. คานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า 0.25x0.60 ม. เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวระยะ d = 0.5 ม. โดยใช้ As = 12.5 ซม.^{2} f_c' = 250 กก./ ซม.^{2} และ fy = 4000 250 กก./ซม.^{2} จงใช้วิธีUSD ประมาณกำลังรับโมเมนต์ประลัย สมมติค่า jd = 45 ซม.

ก. 19120 กก.-เมตร

ข. 20250 กก.-เมตร

ค. 22500 กก.-เมตร

ง. 24250 กก.-เมตร

23. เหล็กในเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กตามทฤษฎีหน่วยแรงใช้งานสามารถรับหน่วยแรงอัดปลอดภัยได้เท่าใด

ก. 0.375 fy

ข. 0.38 fy

ค. 0.45 fy

ง. 0.40 fy

24. ฐานรากแผ่นสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 1.75x1.75 ม. รับน้ำหนักตามแนวแกน 30 ตัน และรับโมเมนต์ 5 ตัน-เมตร ที่สภาวะใช้งานหาหน่วยแรงดันดินสุทธิใต้ฐานรากที่มากที่สุด (วิธี WSD)

ก. 10.40 ตัน/ตร.ม.

ข. 15.39 ตัน/ตร.ม.

ค. 20.50 ตัน/ตร.ม.

ง. 25.35 ตัน/ตร.ม.

25. คอนกรีตของคานขนาด 0.20x 0.50 ม. สามารถรับแรงเฉือนได้เท่าใดตามวิธีหน่วยแรงใช้งาน (WSD) ถ้า fc' = 240 ksc, d = 0.45 ม.

ก. 2043 kg

ข. 4043 kg

ค. 20110 kg

ง. 20120 kg

26.ในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก การเสริมเหล็กแบบใดมีการเตือนล่วงหน้าก่อนการวิบัติ

ก. เสริมเหล็กต่ำกว่าสมดุล

ข. เสริมเหล็กเกินสมดุล

ค. เสริมเหล็กสมดุล

ง. ทีไม่เสริมเหล็ก

27. พื้นที่ คศล. กว้าง 3.00 ม. ยาว 5.00 ม. รับน้ำหนักจร 350 กก./ตร.ม. หนา 0.15 ม. จะมีน้ำหนักลงคานด้านยาวเท่าไร (ใช้ WSD)

ก. 337.50 กก./มม

ข. 937.20 กก./ม.

ค. 850.20 กก./มม

ง. 575.85 กก./มม

28. คานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.20 x 0.50 ม.เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวที่ระยะ d = 0.45 ม. โดยใช้ AS = 7.07 ซม.^{2}และ fc' = 100 กก./ซม.^{2} และ fy = 2400 กก./ซม.^{2} จงใช้วิธี WSD ประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดใช้งาน สมมติตำแหน่งแนวแกนสะเทิน kd = 15 ซม.

ก. 2650 กก.-เมตร

ข. 2950 กก.-เมตร

ค. 3400 กก.-เมตร

ง. 3550 กก.-เมตร

29. บันไดพาดทางช่วงกว้างกั้บแม่บันไดทั้งสองข้าง ถ้าให้ช่วงกว้างระหว่างแม่บันได = 2.50 เมตร ขั้นบันไดกว้าง = 25 ซม. ส่วนยก = 15 ซม. ความหนาของพื้นบันได = 7.5 ซม. น้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน = 400 กก./ม.^{2} จงประมาณค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยทั้งหมดในทางราบ กำหนดให้ Factored =d 1.4D + 1.7L

ก. 1250 กก./ม^2

ข. 1350 กก./ม^2

ค. 1450 กก./ม^2

ง. 1550 กก./ม^2

30. กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม นอกจากจะขึ้นดับกำลังของวัสดุและขนาดของเหล็กเสริมที่ใช้ ยังขึ้นกับสิ่งใด

ก. ระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม

ข. ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม

ค. การเสริมเหล็กขวาง

ง. ถูกทุกข้อ

31.คานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.25x0.60 ม. เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวที่ระยะ d = 0.3.9 ม. โดยใช้ As = 9.36 ซม.^{2} f_c' = 200 กก./ ซม.^{2} และ fy = 3000 250 กก./ซม.^{2} จงใช้วิธีUSD ประมาณกำลังรับโมเมนตัมประลัยสมมติค่า jd = 33.5 ซม.

ก. 8000 กก.-เมตร

ข. 8450 กก.-เมตร

ค. 9400 กก.-เมตร

ง. 9900 กก.-เมตร

32. เสาสั้นปลอกเดี่ยว เสริมเหล็กยืน As = A_s' รับแรงอัดใช้งานตามแนวแกนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรตามลำดับ ดังนี้ PD = 130 ตัน และ PL = 98.5 ตัน กำหนดให้ f_c' = 280 กก./ซม.^{2} และ fy = 4000 กก./ซม.^{2} จงหาเนื้อที่ของหน้าตัดเสาที่เล็กที่สุด โดยวิธี USD (SDM) , U = 1.4D+1.7L

ก. 890 ตร.ซม.

ข. 980 ตร.ซม.

ค. 1100 ตร.ซม.

ง. 1120 ตร.ซม.

33. คานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.15 x 0.45 ม.เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวที่ระยะ d = 0.39 ม. โดยใช้ AS = 9.36 ซม.^{2}

และ f_c' = 200 กก./ซม.^{2} และ fy = 3000 กก./ซม.^{2} จงใช้วิธี USD ประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัย (Mu) สมมติให้ค่า jd = 33.5 ซม.

ก. 8150 กก.-เมตร

ข. 8250 กก.-เมตร

ค. 8350 กก.-เมตร

ง. 8450 กก.-เมตร

34. ถ้าให้ใช้คอนกรีตกำลังประลัยที่ 240 กก./ตร.ซม. สำหรับออกแบบในมาตราฐาน ว.ส.ท. จะหมายถึง แท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปร่างใด อายุกี่วัน

ก. ชนิดทรงกระบอกขนาด 6” x 12” ที่อายุ 7 วัน

ข. ชนิดทรงกระบอกขนาด 6” x 12” ที่อายุ 28 วัน

ค. ชนิดลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. ที่อายุ 14 วัน

ง. ชนิดลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. ที่อายุ 28 วัน

35. Blow count คือการตรวจสอบอะไร

ก. จำนวนชั้นของอาคาร

ข. จำนวนนับการตอกเสาเข็ม

ค. จำนวนหน้าต่าง และประตูที่รับลมได้

ง. จำนวนกระเบื้อง ในแต่ละตารางเมตร

36 นอกเหนือจากกำลังของวัสดุและขนาดของเหล็กเสริมที่ใช้ กำลังยึดเหนี่ยวยังขึ้นอยู่กับอะไร

ก. ระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม

ข. ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม

ค. การเสริมเหล็กทางขวาง

ง. ถูกทุกข้อ

37 น้ำหนักบรรทุกจร ของอาคารตามข้อบัญญัติ กทม. พ.ศ.2522 ข้อใด มีน้ำหนักมากที่สุด

ก. ภัตตาคารใหญ่

ข. ที่จอดหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่าและรถอื่นๆ

ค. หอประชุมแห่งชาติ

ง. ห้องเก็บหนังสือ

38. คอนกรีตหล่อใน ที่ตามข้อกำหนด วสท.3408 คอนกรีตที่หล่อติดกับดินและผิวของคอนกรีตสัมผัสกับดินตลอดเวลา ให้มีระยะหุ้มต่ำสุดสำหรับเหล็กเสริม เท่ากับกี่ตาราง ซม.

ก. 7.5 ซม.

ข. 5.0 ซม.

ค. 3.0 ซม.

ง. 6.5 ซม.

39 บันไดพาดทางช่วงกว้างกั๊บแม่บันไดทั้งสองข้าง ถ้าให้ช่วงกว้างระหว่างแม่บันได = 2.50 เมตร ขั้นบันไดกว้าง = 25 ซม. ส่วนยก = 15 ซม. ความหนาของพื้นบันได = 7.5 ซม. น้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน = 500 กก./ม.^{2} จงประมาณค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยทั้งหมดในทางราบ กำหนดให้ Factored load=1.4D+1.7L

ก. 1400 กก./ม^2

ข. 1500 กก./ม^2

ค. 1600 กก./ม^2

ง. 1700 กก./ม^2

40 แผ่นพื้นช่วงเดียวหนา 8 ซม. เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวที่ระยะ d = 6 ซม. โดยใช้เหล็ก 6 มม. @ 12 ซม. (As = 2.32 ซม.^{2}/เมตร fc = 65 กก./ซม.^{2} และ fy = 2400 กก./ซม.^{2} จงประมาณค่าโมเมนต์ดัดต้านทานปลอดภัย สมมติให้ตำแหน่งแนวแกนสะเทิน kd = 2.24 ซม.

ก. As = 3.0 ซม.^{2}

ข. As = 4.0 ซม.^{2}

ค. As = 5.0 ซม.^{2}

ง. As = 6.0 ซม.^{2}

กระดาษคำตอบแบบทดสอบโจทย์ระคน

(สำหรับการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน)

ชื่อ/สกุล.....เลขที่.....กลุ่ม.....

ข้อที่	กระดาษคำตอบแบบทดสอบ			
	ก	ข	ค	ง
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
35				
37				
38				
39				
40				

แบบทดสอบโจทย์ระคนหลังเรียน

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

รหัสวิชา 3121-2102

คำชี้แจง ให้เลือกทำเครื่องหมาย X ทับหน้าข้อที่ถูกที่สุดต้องลงในกระดาษคำตอบ

1. มาตรฐาน ว.ส.ท. โดยวิธีกำลัง (USD) กำหนดให้ใช้หน่วยการยืดหดตัวประลัยของคอนกรีต มีค่าเท่ากับเท่าใด

ก. 0.003 มม./มม.

ข. 0.002 มม./มม.

ค. 0.004 มม./มม.

ง. 0.005 มม./มม.

2. ฐานรากเดี่ยว (Isolated Footing) มีความลึกประสิทธิผลเท่ากับ d จะมีการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนทะลุ (Punching Shear) ที่บริเวณใด

ก. บริเวณขอบเสาตอม่อ

ข. ที่ระยะ d จากขอบเสาตอม่อ

ค. ที่ระยะ d/4 จากขอบเสาตอม่อ

ง. ที่ระยะ d/2 จากขอบเสาตอม่อ

3. เหล็กกลมรับแรงดึงในคานคอนกรีตเสริมเหล็กตามทฤษฎีหน่วยแรงใช้งานสามารถรับแรงดึงได้เท่าใด

ก. 0.50 fy

ข. 0.38 fy

ค. 0.45 fy

ง. 0.37 fy

4. เหล็กข้ออ้อย ที่ใช้ในประเทศไทย จะมีคุณสมบัติกว่าเหล็กกลมอย่างไร

ก. มีแรงยึดเกาะตัวดีกว่า

ข. รับแรงดึงได้มากกว่า

ค. ราคาถูกกว่า

ง. ถูกทั้งข้อ ก. และ ค

5. เหล็กปลอกในเสา มีหน้าที่อะไร เมื่อเสารับแรงในแนวแกน

ก. เพื่อยึดเหล็กยืนไว้ให้อยู่ตามตำแหน่งที่ต้องการ

ข. เพื่อให้ระยะหุ้มถูกต้องตามต้องการ

ค. เพื่อช่วยให้เสารับแรงดึงได้ดีขึ้น

ง. เพื่อช่วยเสริมให้เสาเข็มมีคุณสมบัติเหนียว

6. ถ้าไม่ทำ “ข้องอมาตรฐาน” ระยะที่ต้องฝังเหล็กกลมเรียบ (RB 15) จากหน้าตัดวิกฤต มีค่าประมาณเท่าใด กำหนดให้ หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ U = 11 กก./ตร.ซม.

ก. 50 ซม.

ข. 35 ซม.

ค. 40 ซม.

ง. 30 ซม.

7.เสาสั้นปลอกเดี่ยว เสริมเหล็กยืน As = As' รับแรงอัดใช้งานตามแนวแกนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรตามลำดับ ดังนี้ PD = 130 ตัน และ PL = 98.5 ตัน กำหนดให้ fc' = 280 กก./ซม.^{2} และ fy = 4000 กก./ซม.^{2} จงหาเนื้อที่ของหน้าตัดเสาที่ใหญ่ที่สุด โดยวิธี WSD

ก. 2700 ตร.ซม.

ข. 2875 ตร.ซม.

ค. 3250 ตร.ซม.

ง. 3050 ตร.ซม.

8. แผ่นพื้นช่วงเดียวหนา 18 ซม. เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวที่ระยะ d = 15 ซม. โดยใช้เหล็ก 9 มม. @ 12 ซม. (As = 5.30 ซม.^{2}/เมตร fc = 150 กก./ซม.^{2} และ fy = 2400 กก./ซม.^{2} จงหาค่าโมเมนต์ดัดต้านทานปลอดภัย ให้ตำแหน่งแนวแกนสะเทิน kd = 5 ซม.

ก. 748 กก.-เมตร/เมตร

ข. 848 กก.-เมตร/เมตร

ค. 648 กก.-เมตร/เมตร

ง. 548 กก.-เมตร/เมตร

9. บันไดพาดทางช่วงกว้างกั้บแม่บันไดทั้งสองข้าง ถ้าให้ช่วงกว้างระหว่างแม่บันได = 2.50 เมตร ขั้นบันไดกว้าง = 25 ซม. ส่วนยก = 15 ซม. ความหนาของพื้นบันได = 7.5 ซม. น้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน = 400 กก./ม.^{2} จงประมาณค่าโมเมนตัมประลัยสูงสุดที่พื้นบันไดต้องรับเท่าใด

ก. 150 กก.-เมตร/เมตร

ข. 280 กก.-เมตร/เมตร

ค. 350 กก.-เมตร/เมตร

ง. 100 กก.-เมตร/เมตร

10. การถอดค้ำยันใต้ท้องคานยื่น ที่มีความยาวมาก ควรถอดอย่างไร

ก. ถอดไล่จากด้านเสาที่รองรับออกไป

ข. ถอดตรงกลางก่อนแล้วไล่ออกสองด้าน

ค. ถอดไล่จากด้านปลายคานยื่นเข้ามา

ง. ถอดอันเว้นอันจากด้านในออกไป

11.รอยแตกร้าวในคานต่อเนื่อง ซึ่งถ้ามีแนวเอียงหรือเฉียงทแยง ซึ่งเรียกว่า เกิดจากแรงดึงทแยง มักจะพบในบริเวณใดของคาน

ก. ด้านบนของคาน บริเวณกึ่งกลาง

ข. ด้านล่างของคาน บริเวณกึ่งกลาง

ค. ที่บริเวณที่ใกล้ของหัวเสา

ง. ใกล้บริเวณโคนเสา ห่างจากเสาประมาณเท่ากับความลึกของคาน

12. เสาสั้นปลอกเดี่ยว เสริมเหล็กยืน As = As' รับแรงอัดใช้งานตามแนวแกนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรตามลำดับ ดังนี้ PD = 130 ตัน และ PL = 98.5 ตัน กำหนดให้ fc' = 280 กก./ซม.^{2} และ fy = 4000 กก./ซม.^{2} จงหาเนื้อที่ของหน้าตัดเสาที่เล็กที่สุด โดยวิธี WSD

ก. 1,360 ตร.ซม.

ข. 1,175 ตร.ซม.

ค. 1,240 ตร.ซม.

ง. 1,050 ตร.ซม.

13. การรับแรงในแนวแกนของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วนที่เป็นเนื้อคอนกรีตถูกกำหนดให้รับความเค้นสูงสุดไม่เกินกี่เปอร์เซ็นต์ของความเค้นสูงสุดที่คอนกรีตรับได้ สำหรับการออกแบบด้วยวิธีกำลัง

ก. 85%

ข. 80%

ค. 95%

ง. 90%

14. เหล็กข้อใดไม่มีขายตามท้องตลาด

ก. DB 19

ข. DB 20

ค. DB 18

ง. DB 17

15. คานรูปดัดตัวทีโดดๆ มีปีกกว้าง = 75 ซม. หนา = 10 ซม. ตัวคานกว้าง = 25 ซม. เสริมเหล็ก

ก. 280 กก./ซม.

ข. 180 กก./ซม.

ค. 210 กก./ซม.

ง. 240 กก./ซม.

16.ฐานรากเดี่ยว (Isolated Footing) มีความลึกประสิทธิผลเท่ากับ d จะเกิดการวิบัติเนื่องจากโมเมนต์มัดตัดที่บริเวณใด

ก. ที่ระยะ d/2 จากขอบเสาตอม่อ

ข. ที่ระยะ d/4 จากขอบเสาตอม่อ

ค. บริเวณขอบเสาตอม่อ

ง. ที่ระยะ d จากขอบเสาตอม่อ

17. slab on ground หมายถึงอะไร

ก. พื้นที่ชั้นล่างที่ถ่ายน้ำหนักลงที่คานโดยตรง

ข. พื้นที่ชั้นล่างที่ถ่ายน้ำหนักลงที่ดินโดยตรง

ค. พื้นที่ก่อสร้างไกลจากแหล่งน้ำ

ง. การใช้ดินเป็นไม้แบบของคาน

18. คานคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริมมีขนาดกว้าง 30 cm. ลึก 30 cm. จงหาค่าโมเมนต์ตัดสูงสุดที่ยอมให้คานนี้รับได้ ถ้าคอนกรีตมีหน่วยแรงอัดที่ยอมรับให้ fc = 75 ksc และหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ fc' = 15 ksc

ก. 33,750 kg.cm

ข. 34,750 kg.cm

ค. 16,875 kg.cm

ง. 67,500 kg.cm

19. บันไดพาดทางช่วงกว้างกับแม่บันไดทั้งสองข้าง ถ้าให้ช่วงกว้างระหว่างแม่บันได = 2.50 เมตร ขั้นบันไดกว้าง = 30 ซม. ส่วนยก = 15 ซม. ความหนาของพื้นบันได = 7.5 ซม. น้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน = 400 กก./ม.^{2} จงประมาณค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานทั้งหมดในทางราบ

ก. 700 กก./ม^2

ข. 800 กก./ม^2

ค. 600 กก./ม^2

ง. 500 กก./ม^2

20. เสาคอนกรีตเสริม 4 ต้น มีสัดส่วนปริมาณเหล็กคอนกรีตเท่ากัน ความสูงเท่ากัน เสาต้นใดจะรับน้ำหนักได้มากว่ากัน

ก. 20x40 ซม.

ข. 20x30 ซม.

ค. 25x30 ซม.

ง. 25x40 ซม.

21 .กำลังอัดคอนกรีต เท่ากับ 210 กก./ตร.ซม. ชนิดทรงกระบอก จะเท่ากับกำลังอัดของคอนกรีตชนิดลูกบาศก์ประมาณเท่าใด

ก. 180 กก./ตร.ซม.

ข. 210 กก./ตร.ซม.

ค. 280 กก./ตร.ซม.

ง. 240 กก./ตร.ซม.

22. คานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.25x0.60 ม. เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวที่ระยะ d = 0.5 ม. โดยใช้ As = 12.5 ซม.^{2} f_c' = 250 กก./ ซม.^{2} และ fy = 4000 250 กก./ซม.^{2} จงใช้วิธี USD ประมาณกำลังรับโมเมนต์ประลัย สมมติค่า jd = 45 ซม.

ก. 19,120 กก.-เมตร

ข. 22,500 กก.-เมตร

ค. 20,250 กก.-เมตร

ง. 24,250 กก.-เมตร

23. เหล็กในเสาสั้นคอนกรีตเสริมเหล็กตามทฤษฎีหน่วยแรงใช้งานสามารถรับหน่วยแรงอัดปลอดภัยได้เท่าใด

ก. 0.375 fy

ข. 0.40 fy

ค. 0.45 fy

ง. 0.38 fy

24. ฐานรากแผ่นสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 1.75x1.75 ม. รับน้ำหนักตามแนวแกน 30 ตัน และรับโมเมนต์ 5 ตัน-เมตร ที่สภาวะใช้งานหาหน่วยแรงดันดินสุทธิใต้ฐานรากที่มากที่สุด (วิธี WSD)

ก. 10.40 ตัน/ตร.ม.

ข. 25.35 ตัน/ตร.ม.

ค. 20.50 ตัน/ตร.ม.

ง. 15.39 ตัน/ตร.ม.

25. คอนกรีตของคานขนาด 0.20x 0.50 ม. สามารถรับแรงเฉือนได้เท่าใดตามวิธีหน่วยแรงใช้งาน (WSD) ถ้า f_c' = 240 ksc, d = 0.45 ม.

ก. 2,043 kg

ข. 20,120 kg

ค. 20,110 kg

ง. 4,043 kg

26.ในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก การเสริมเหล็กแบบใดมีการเตือนล่วงหน้าก่อนการวิบัติ

ก. เสริมเหล็กเกินสมดุล

ข. เสริมเหล็กต่ำกว่าสมดุล

ค. เสริมเหล็กสมดุล

ง. ทีไม่เสริมเหล็ก

27. พื้นที่ คศล. กว้าง 3.00 ม. ยาว 5.00 ม. รับน้ำหนักจร 350 กก./ตร.ม. หนา 0.15 ม. จะมีน้ำหนักลงคานด้านยาวเท่าไร (ใช้ WSD)

ก. 937.20 กก./ม.

ข. 337.50 กก./มม

ค. 850.20 กก./มม

ง. 575.85 กก./มม

28. คานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.20 x 0.50 ม.เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวที่ระยะ d = 0.45 ม. โดยใช้ AS = 7.07 ซม.^{2} และ fc' = 100 กก./ซม.^{2} และ fy = 2400 กก./ซม.^{2} จงใช้วิธี WSD ประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดใช้งาน ให้ตำแหน่งแนวแกนสะเทิน kd = 15 ซม.

ก. 3,400 กก.-เมตร

ข. 2,950 กก.-เมตร

ค. 2,650 กก.-เมตร

ง. 3,550 กก.-เมตร

29. บันไดพาดทางช่วงกว้างกั้บแม่บันไดทั้งสองข้าง ถ้าให้ช่วงกว้างระหว่างแม่บันได = 2.50 เมตร ขั้นบันไดกว้าง = 25 ซม. ส่วนยก = 15 ซม. ความหนาของพื้นบันได = 7.5 ซม. น้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน = 400 กก./ม.^{2} จงประมาณค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยทั้งหมดในทางราบ กำหนดให้ Factored =d 1.4D + 1.7L

ก. 1,550 กก./ม^2

ข. 1,350 กก./ม^2

ค. 1,450 กก./ม^2

ง. 1,250 กก./ม^2

30. กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม นอกจากจะขึ้นดับกำลังของวัสดุและขนาดของเหล็กเสริมที่ใช้ ยังขึ้นกับสิ่งใด

ก. การเสริมเหล็กขวาง

ข. ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม

ค. ระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม

ง. ถูกทุกข้อ

31.คานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.25x0.60 ม. เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวที่ระยะ d = 0.3.9 ม. โดยใช้ As = 9.36 ซม.^{2} f_c' = 200 กก./ ซม.^{2} และ fy = 3000 250 กก./ซม.^{2} จงใช้วิธีUSD ประมาณกำลังรับโมเมนต์มประลัยสมมติค่า jd = 33.5 ซม.

ก. 8,000 กก.-เมตร

ข. 9,400 กก.-เมตร

ค. 8,450 กก.-เมตร

ง. 9,900 กก.-เมตร

32. เสาสั้นปลอกเดี่ยว เสริมเหล็กยืน As = As' รับแรงอัดใช้งานตามแนวแกนเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรตามลำดับ ดังนี้ PD = 130 ตัน และ PL = 98.5 ตัน กำหนดให้ fc' = 280 กก./ซม.^{2} และ fy = 4000 กก./ซม.^{2} จงหาหน้าตัดเสาที่เล็กที่สุด โดยวิธี USD (SDM) , U = 1.4D+1.7L

ก. 890 ตร.ซม.

ข. 1,120 ตร.ซม.

ค. 1,100 ตร.ซม.

ง.980 ตร.ซม.

33. คานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.15 x 0.45 ม.เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวที่ระยะ d = 0.39 ม. โดยใช้ AS = 9.36 ซม.^{2}และ fc' = 200 กก./ซม.^{2} และ fy = 3000 กก./ซม.^{2} จงใช้วิธี USD ประมาณกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัย (Mu) สมมติให้ค่า jd = 33.5 ซม.

ก. 8,150 กก.-เมตร

ข. 8,450 กก.-เมตร

ค. 8,350 กก.-เมตร

ง. 8,250 กก.-เมตร

34. ถ้าให้ใช้คอนกรีตกำลังประลัยที่ 240 กก./ตร.ซม. สำหรับออกแบบในมาตราฐาน ว.ส.ท. จะหมายถึง แท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปร่างใด อายุกี่วัน

ก. ชนิดทรงกระบอกขนาด 6” x 12” ที่อายุ 7 วัน

ข. ชนิดลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. ที่อายุ 14 วัน

ค. ชนิดทรงกระบอกขนาด 6” x 12” ที่อายุ 28 วัน

ง. ชนิดลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. ที่อายุ 28 วัน

35. Blow count คือการตรวจสอบอะไร

ก. จำนวนนับการตอกเสาเข็ม

ข. จำนวนชั้นของอาคาร

ค. จำนวนหน้าต่าง และประตูที่รับลมได้

ง. จำนวนกระเบื้อง ในแต่ละตารางเมตร

36 คอนกรีตหล่อใน ที่ตามข้อกำหนด วสท.3408 คอนกรีตที่หล่อติดกับดินและผิวของคอนกรีตสัมผัสกับดินตลอดเวลา ให้มีระยะหุ้มต่ำสุดสำหรับเหล็กเสริม เท่ากับกี่ตาราง ซม.

ก. 5.0 ซม.

ข. 7.5 ซม.

ค. 3.0 ซม.

ง. 6.5 ซม.

37 น้ำหนักบรรทุกจร ของอาคารตามข้อบัญญัติ กทม. พ.ศ.2522 ข้อใด มีน้ำหนักมากที่สุด

ก. ภัตตาคารใหญ่

ข. ห้องเก็บหนังสือ

ค. หอประชุมแห่งชาติ

ง. ที่จอดหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่าและรถอื่นๆ

38. นอกเหนือจากกำลังของวัสดุและขนาดของเหล็กเสริมที่ใช้ กำลังยึดเหนี่ยวยังขึ้นอยู่กับข้อใด

ก. การเสริมเหล็กทางขวาง

ข. ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม

ค. ระยะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม

ง. ถูกทุกข้อ

39 บันไดพาดทางช่วงกว้างกับแม่บันไดทั้งสองข้าง ถ้าให้ช่วงกว้างระหว่างแม่บันได = 2.50 เมตร ขั้นบันไดกว้าง = 25 ซม. ส่วนยก = 15 ซม. ความหนาของพื้นบันได = 7.5 ซม. น้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน = 500 กก./ม.^{2} จงประมาณค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยทั้งหมดในทางราบ กำหนดให้Factored load=1.4D+1.7L

ก. 1,600 กก./ม^2

ข. 1,500 กก./ม^2

ค. 1,400 กก./ม^2

ง. 1,700 กก./ม^2

40 แผ่นพื้นช่วงเดียวหนา 8 ซม. เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวที่ระยะ d = 6 ซม. โดยใช้เหล็ก 6 มม. @ 12 ซม. (As = 2.32 ซม.^{2}/เมตร fc = 65 กก./ซม.^{2} และ fy = 2400 กก./ซม.^{2} จงประมาณค่าโมเมนต์ดัดต้านทานปลอดภัย สมมติให้ตำแหน่งแนวแกนสะเทิน kd = 2.24 ซม.

ก. As = 4.0 ซม.^{2}

ข. As = 3.0 ซม.^{2}

ค. As = 5.0 ซม.^{2}

ง. As = 6.0 ซม.^{2}

ชุดเฉลยแบบทดสอบโจทย์ระคน

วิชาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก รหัสวิชา 3121-2102

ก่อนเรียน

1	.ค.	21	ค
2	ข	22	ข
3	ง	23	ง
4	ง	24	ข
5	ข	25	ข
6	ง	26	ก
7	ข	27	ข
8	ก	28	ก
9	ก	29	ก
10	ข	30	ง
1	1ค	31	ข
12	ง	32	ง
13	ง	33	ง
14	ข	34	ข
15	ข	35	ข
16	ก	36	ง
17	ข	37	ข
18	ก	38	ก
19	ก	39	ก
20	ข	40	ข

หลังเรียน

1	ก	21	ง
2	ง	22	ค
3	ก	23	ข
4	ง	24	ง
5	3	25	ง
6	ค	26	ข
7	ค	27	ก
8	ข	28	ค
9	ค	29	ง
10	ค	30	ง
11	ง	31	ค
12	ก	32	ข
13	ก	33	ข
14	ก	34	ค
15	ง	35	ก
16	ค	36	ข
17	ข	37	ง
18	ง	38	ง
19	ข	39	ค
20	ค	40	ก