บทที่ 4

ผลการทดลอง

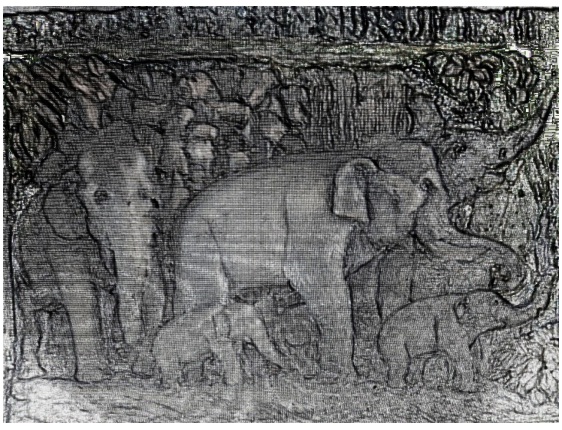
การวิจัยครั้งนี้ มีจุดประสงค์หลักอยู่ 2 ประการ คือ เพื่อศึกษารูปแบบและผลิตงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากฟองยางธรรมชาติ และนำผลการวิจัยที่ได้มาใช้ในการพัฒนาการเรียนการสอนและหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นให้มีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่า 80/80 รวมถึงดัชนีประสิทธิผลไม่ต่ำกว่า 0.50 ตลอดจนผู้เรียนต้องมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและผู้เรียนมีเจตคติต่อการเรียนอยู่ในระดับดีถึงดีมาก ผู้วิจัยได้แสดงผลการวิจัยตามจุดมุ่งหมายดังนี้

4.1 การพัฒนารูปแบบงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ

4.1.1 ออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นของที่ระลึกภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ

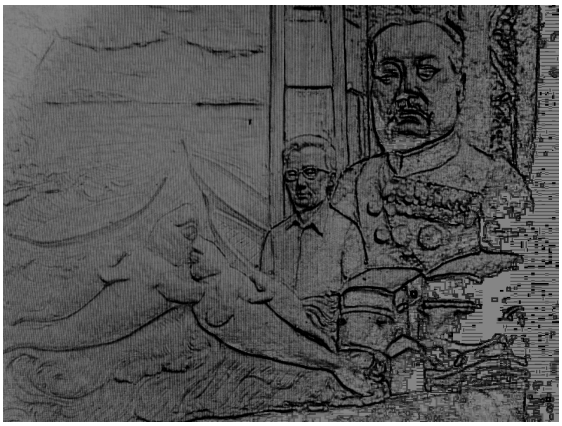
4.1.1.1 ผลิตภัณฑ์เป็นของที่ระลึกภาพนูนต่ำ เน้นสัญลักษณ์ของจังหวัด อำเภอ หรือรูปแบบที่ทันสมัย เป็นที่นิยมหรือตามความต้องการของหน่วยงาน องค์กรทั้งภาครัฐและเอกชน แล้วจึงนำมาจัดทำให้ผลิตภัณฑ์ตามความเหมาะสม โดยกำหนดเป็น 2 ขนาด ดังนี้

1) แบบผลิตภัณฑ์ภาพนูนต่ำ ขนาดกลาง ใช้ขนาดความกว้าง 35 เซนติเมตร x ความยาว 55 เซนติเมตร ส่วนใหญ่จะเน้นผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกรูปสัญลักษณ์ช้างป่าอาศัยอยู่ในธรรมชาติเป็นโขลง รูปแบบนี้จะเป็นที่นิยมสำหรับนักท่องเที่ยวที่ชอบบรรยากาศแบบธรรมชาติ ทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศ ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แบบภาพนูนต่ำ ขนาดกลาง

2) แบบผลิตภัณฑ์ภาพนูนต่ำ ขนาดใหญ่ ใช้ขนาดความกว้าง 55 เซนติเมตร x ยาว 80 เซนติเมตร เป็นภาพที่ระลึกสัญลักษณ์ของจังหวัดตรัง บิดายางพารา พระยารัษฎานุประดิษฐ์ ใช้เป็นภาพที่ระลึกสำหรับเกษตรกรชาวสวนยางและอุตสาหกรรมด้านเทคโนโลยียางทั่วประเทศ ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 แบบภาพนูนต่ำ ขนาดใหญ่

4.2 ผลิตแม่พิมพ์ตามแบบกำหนด โดยใช้ยางซิลิโคนเป็นแม่พิมพ์ของที่ระลึกภาพนูนต่ำ

การผลิตแม่พิมพ์โดยใช้ยางซิลิโคนเป็นแม่พิมพ์ของที่ระลึกภาพนูนต่ำขนาดกลางและขนาดใหญ่ จะประกอบด้วยกระบวนการปั้นรูปต้นแบบให้เหมือนแบบที่ต้องการ ในขั้นตอนแรกจะใช้ดินเหนียวปั้นขึ้นรูปและตกแต่งให้สวยงาม หลังจากนั้นลอกแม่พิมพ์ด้วยยางธรรมชาติและหล่อเป็นรูปต้นแบบด้วยขี้ผึ้ง เสร็จแล้วนำรูปต้นแบบขี้ผึ้งมาตกแต่งและเก็บรายละเอียดให้คมชัดเสมือนกับชิ้นงานจริง ต่อจากนั้นใช้ยางซิลิโคนครอบเป็นแม่พิมพ์ ประคองพิมพ์ด้านนอก เพื่อไม่ให้บิดเบี้ยวหรือเสียรูปโดยใช้ปูนปลาสเตอร์หรือปูนซีเมนต์ เพราะสามารถขึ้นรูปได้ง่าย และราคาค่อนข้างถูก ดังภาพที่ 4.3

ภาพที่ 4.3 แม่พิมพ์ของที่ระลึกภาพนูนต่ำ

4.3 ดำเนินการวิจัย

มีการควบคุมตัวแปร คือ แม่พิมพ์ สูตรยาง โดยออกสูตรทดลองทำฟองยาง เพื่อให้เหมาะกับผลิตภัณฑ์ ดังนี้

4.3.1 ศึกษาวิจัยสูตรฟองยางสำหรับผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกภาพนูนต่ำ

เตรียมฟองยางโดยใช้สูตรตั้งต้นที่ผลิตฟองยาง (ตามรายงานวิจัยของสุรศักดิ์ : 2549) จากนั้นทดลองตามตารางที่ 4.1 โดยศึกษาอิทธิพลของสารเคมีแต่ละชนิดและปริมาณที่เหมาะสม เช่น ปริมาณสบู่ ปริมาณซิงค์ออกไซด์ ปริมาณดีพีจี และปริมาณเอสเอสเอฟ แล้วสังเกตพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัว หลังจากการเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองยางหลังจากการวัลคาไนซ์ และนำฟองยางที่ได้มาทดสอบสมบัติ จากนั้นเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุดมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ดังนี้

4.3.1.1 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณสบู่ต่อสมบัติของฟองยาง

นำฟองยางที่เตรียมขึ้นตามวิธีที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 3.1.1.3 โดยแปรปริมาณ 20% สบู่โพแทสเซียมโอลิเอต 4, 6, 8, 10, 12, 14 และ 16 กรัม ตามสูตรที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.1 จากนั้นสังเกตพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังจากเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์ และนำฟองยางที่ได้มาทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์

ผลของปริมาณสบู่โพแทสเซียมโอลิเอตต่อพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังจากเติมสารก่อเจลหลัก และลักษณะของฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พฤติกรรมการเกิดฟองยางและลักษณะของฟองยางหลังการวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ 20% สบู่ระดับต่าง ๆ

ปริมาณ 20% สบู่ (กรัม)	ลักษณะฟองยาง	ความสูง (เท่า)	เวลาการเจล (นาที)	ลักษณะฟองยางหลังวัลคาไนซ์
4	เกิดฟองได้ยาก ลักษณะฟองไม่สม่ำเสมอ	1	2	ฟองยางเกิดการหดตัวมาก ผิวหน้าไม่เรียบและแข็ง
6	เกิดฟองได้ยาก ลักษณะฟองไม่สม่ำเสมอ	1.5	3	ฟองยางเกิดการหดตัวมาก ผิวหน้าไม่เรียบและแข็ง
8	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองไม่เสม่ำเสมอ	2	4	ฟองยางเกิดการหดตัวมาก แต่ผิวหน้าเรียบและแข็ง

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ปริมาณ 20% สบู่ (กรัม)	ลักษณะฟองยาง	ความสูง (เท่า)	เวลาการเจล (นาที)	ลักษณะฟองยางหลังวัลคาไนซ์
10	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	3	4	ฟองยางเกิดการหดตัวน้อยลง ผิวหน้าเรียบขึ้นและนิ่มลง
12	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอมากกว่าที่ใช้สบู่ 8 กรัม	4	6	ฟองยางเกิดการหดตัวน้อยลง ผิวหน้าเรียบขึ้นและนิ่มลง
14	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองเป็นครีม ไม่สม่ำเสมอ	4.5	6	ฟองยางเกิดการหดตัวมากกว่าที่ใช้สบู่ 10 กรัม ผิวหน้าแตกแต่นิ่ม
16	เกิดฟองได้ง่าย ลักษณะฟองเป็นครีม ไม่สม่ำเสมอ	5	7	ฟองยางเกิดการหดตัวมากกว่าที่ใช้สบู่ 12 กรัม ผิวหน้าแตกและนิ่ม

ตารางที่ 4.2 ผลของปริมาณ 20% สบู่ต่อความตึงผิว

ปริมาณสบู่	ปริมาณ 20% สบู่ (กรัม)						
	2	4	6	8	10	12	14
ความตึงผิว (Dyne/cm)	38	34	32	30	28	28	28

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่า ในการเตรียมฟองยางเมื่อใช้สบู่ในปริมาณน้อย ฟองเกิดขึ้นได้ยาก ลักษณะของฟองไม่สม่ำเสมอและเวลาการเจลค่อนข้างสั้น แต่เมื่อใช้สบู่ในปริมาณเพิ่มมากขึ้น การตีฟองเกิดฟองง่ายขึ้น ลักษณะของฟองมีความละเอียดและสม่ำเสมอมากขึ้น เวลาการเจลนานขึ้นตามปริมาณของสบู่ที่เพิ่มสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการตีฟองนั้นเป็นการใช้พลังงานกลในการกวนน้ำยางและสบู่มีส่วนช่วยในการลดความตึงผิวของน้ำยางข้น ซึ่งปริมาณสบู่เพิ่มขึ้น ทำให้ความตึงผิวของน้ำยางลดลงด้วย

หลังจากการเพิ่มปริมาณสบู่มากกว่า 12 กรัม น้ำยางข้นมีแรงตึงผิวที่ค่อนข้างจะคงที่ ณ จุดนี้ฟองยางมีความเสถียรมากที่สุด สามารถเก็บกักอากาศไว้ในฟองดีกว่า แต่เมื่อใช้ปริมาณสบู่มากขึ้น ปริมาณ 14 – 16 กรัม ลักษณะฟองยางไม่ค่อยสม่ำเสมอมากนัก อาจเนื่องมาจากความ

เข้มข้นของสบู่เลยจากจุด Critical Micelle Concentration (C.M.C) ของสบู่แล้ว เมื่อเพิ่มปริมาณลงไปจึงไม่มีผลที่ทำให้ความตึงผิวลดลงอีก (สมนึก, 2526) ซึ่งในจุดนี้ สบู่อาจจะเริ่มรวมตัวเป็นไมเซลแยกตัวออกจากอนุภาคยาง และมีไมเซลในลักษณะแบบนี้มากขึ้น ถ้าปริมาณสบู่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นการไม่สมดุลต่อการเกิดฟองยางและทำให้ฟองยางมีความเสถียรน้อยลง

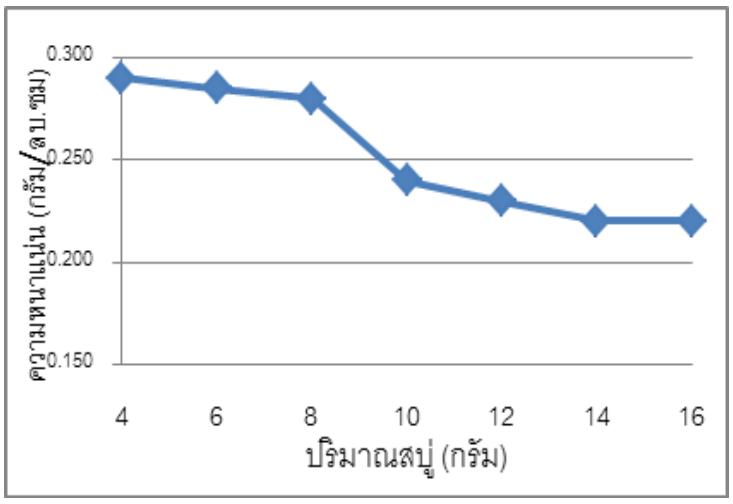
ส่วนความสูงของฟองยาง จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้สบู่ปริมาณ 4 กรัม ได้ความสูงของฟอง 1 เท่าของสารเคมีเดิม เนื่องจากสบู่ในปริมาณน้อยเกินไป ความสามารถในการเกิดฟองจึงต่ำ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสบู่มากขึ้นเป็น 12 – 16 กรัม ได้ความสูงของฟองมากขึ้นเป็น 4 – 5 เท่าของสารเคมีเดิม อาจเนื่องมาจากสบู่เพิ่มขึ้น อาจไปทำให้ความตึงผิวของน้ำยางลดลง จึงทำให้เกิดฟองได้ง่ายขึ้น

ลักษณะของฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า เมื่อปริมาณสบู่น้อยฟองยางผิวไม่ค่อยเรียบ เนื้อแน่น ฟองยางที่ได้มีการหดตัวสูง โดยเฉพาะสูตรที่ใช้สบู่ต่ำกว่า 12 กรัม เนื่องจากในการตีฟองเกิดฟองอากาศขึ้นค่อนข้างน้อยและไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผนังของฟองแข็งเกินไป จึงมีส่วนของเนื้อยางมากกว่า แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสบู่มากขึ้น ฟองยางมีผิวเรียบ สม่ำเสมอขึ้น นิ่ม ยืดหยุ่นมากขึ้น และหดตัวน้อยลง เนื่องจากการเกิดฟองได้มากขึ้น ขนาดฟองละเอียดและมีความสม่ำเสมอมากขึ้น แต่เมื่อใช้อยู่ปริมาณ 16 กรัม ผิวและขอบฟองยางไม่ค่อยเรียบ แตกเล็กน้อย ยุบตัวบางส่วน อาจเนื่องมาจากการจับตัวของฟองยางช้า จึงทำให้ฟองอากาศแตกบางส่วนก่อนที่ฟองจะจับตัว

ผลของปริมาณสบู่โพแทสเซียมโอลิเอตต่อความหนาแน่น ความสามารถในการคืนรูป แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของปริมาณ 20% สบู่ต่อสมบัติของฟองยาง

สมบัติทางฟิสิกส์	**ปริมาณ 20% สบู่ (กรัม)**						
	2	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**
ความหนาแน่น (กรัม/ซม.^{3})	0.204	0.155	0.149	0.140	0.130	0.127	0.120
ความสามารถในการคืนรูป (%)	8.60	8.60	8.00	7.30	6.60	6.00	5.30



ภาพที่ 4.4 ผลของปริมาณ 20% สบู่ต่อสมบัติของฟองยาง

จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.4 ความหนาแน่นของฟองยาง เมื่อใช้ปริมาณสบู่ต่างกัน พบว่า ความหนาแน่นของฟองยางลดลงตามปริมาณสบู่ที่เพิ่มขึ้น โดยความหนาแน่นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงการใช้สบู่ในปริมาณต่ำ ๆ ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากฟองยางที่ใช้สบู่ปริมาณน้อยเกิดฟองได้ยาก ปริมาณของฟองมีน้อยและขนาดไม่สม่ำเสมอ อาจเนื่องจากสบู่ที่เติมลงไปในน้ำยางที่ปริมาณต่ำ ซึ่งมีส่วนช่วยทำให้ความตึงผิวของน้ำยางลดต่ำลงได้เพียงเล็กน้อย จึงทำให้ความสามารถในการเกิดฟองยาง ดังนั้นในปริมาตรของฟองยางที่เท่ากันมีปริมาณของฟองอากาศน้อยกว่า ทำให้ฟองยางมีความหนาแน่นสูงกว่า ในทางกลับกันเมื่อใช้สบู่เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นมีค่าน้อยลง เนื่องจากการเกิดฟองได้ง่ายขึ้น ทำให้ฟองยางมีปริมาณของอากาศต่อหน่วยปริมาตรของฟองยางสูงกว่า ส่วนความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของฟองยางที่ปริมาณการใช้สบู่ในระดับต่าง ๆ พบว่าความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของฟองยางให้ลดลงตามปริมาณสบู่ที่เพิ่มสูงขึ้น โดยความสามารถในการคืนรูปหลังการกดจะค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการทดสอบความสามารถในการคืนรูปหลังการกด เป็นการทำให้ชิ้นฟองยางมีการเปลี่ยนรูปร่าง โดยการกดเป็นเวลานานถึง 22 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิสูงถึง 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นเหตุให้โครงสร้างของเซลล์เปลี่ยนจากรูปร่างจากปกติ เป็นลักษณะแบน แน่น เป็นวงรี และบิดเบี้ยว และในขณะทดสอบจะเพิ่มความร้อนให้กับฟองยางด้วย จึงทำให้โครงสร้างเซลล์เกิดความล้าและความเครียดเพิ่มขึ้น เมื่อปล่อยแรงกดทำให้โครงสร้างเซลล์ที่ไม่แข็งแรงคืนกลับสภาพเดิมได้น้อยหรือโครงการสร้างเซลล์อาจเกิดการแตกหรือฉีกขาด จึงทำให้เสียรูปไป เพราะฉะนั้นฟองยางหลังการทดสอบจึงมีความสามารถในการคืนรูปหลังการกดต่ำลง

ค่าความสามารถในการคืนรูปหลังการกดสูง เมื่อใช้สบู่ปริมาณน้อยนั้น อาจเนื่องจากขนาดโครงสร้างของเซลล์เล็กและมีการจัดเรียงไม่เป็นระเบียบ จึงทำให้เซลล์มีความแข็งแรงน้อยลงหรือจากบาง เซลล์มีความแข็งกระด้างไม่มีความเป็นอิลาสติกมากนัก จึงทำให้การกลับคืนรูปเดิมน้อย เมื่อใช้ปริมาณสบู่มากขึ้น การกลับคืนรูปมีค่าเปอร์เซ็นต์ต่ำลง เนื่องจากโครงสร้างของเซลล์มีความสม่ำเสมอและขนาดใหญ่กว่า มีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างฟองที่เป็นระเบียบมาก จึงมีความแข็งแรงของโครงสร้างสูงกว่า เป็นเหตุให้ฟองยางมีเปอร์เซ็นต์ในการคืนรูปต่ำกว่า

4.3.1.2 ศึกษาอิทธิพลของสารกระตุ้น 50% ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ต่อสมบัติของฟองยาง

นำฟองยางที่เตรียมขึ้นตามวิธีที่กำหนดในหัวข้อ 3.1.1.3 โดยแปรปริมาณ 50% ซิงค์ออกไซด์ 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 กรัม ตามสูตรที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.1 จากนั้นสังเกตพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์และนำฟองยางที่ได้มาทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์

ผลของปริมาณซิงค์ออกไซด์ต่อพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังจากเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.4

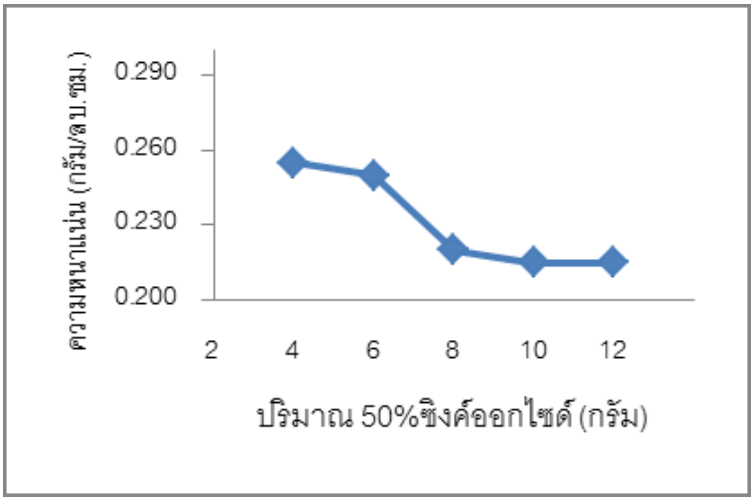
ตารางที่ 4.4 พฤติกรรมการเกิดฟองและลักษณะของฟองยางหลังการวัลคาไนซ์ที่ใช้ปริมาณ 50% ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ระดับต่าง ๆ

ปริมาณ 50% ZnO (กรัม)	ลักษณะฟอง	ความสูงฟอง (เท่า)	เวลาเจล (นาที)	ลักษณะฟองยางหลังวัลคาไนซ์
2	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	จับตัวช้า	จับตัวช้า ฟองแตก สุกช้า
4	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	7	จับตัวช้า ทำให้ฟองแตกบางส่วน ผิวไม่สวยงาม
6	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	4	ฟองยางสวยงามสม่ำเสมอ
8	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	3	ฟองยางสวยงามสม่ำเสมอ
10	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	3	ฟองยางสวยงามสม่ำเสมอ
12	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	3	ฟองยางสวยงามสม่ำเสมอ
14	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	3	ฟองยางสวยงามสม่ำเสมอ

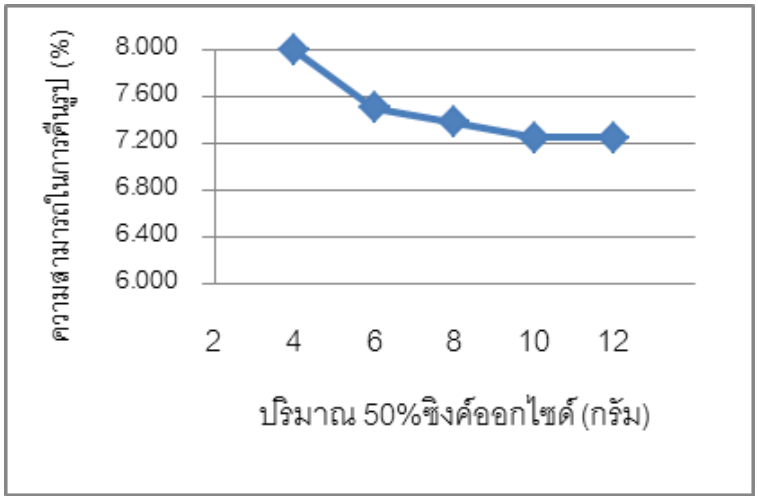
จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าการเตรียมฟองยาง โดยใช้ซิงค์ออกไซด์ในปริมาณแตกต่างกัน ไม่มีผลต่อพฤติกรรมการเกิดฟองเลย แต่มีผลในด้านของการจับตัวของฟองยางเพียงเล็กน้อย ซึ่งพบว่าการใช้ 50% ซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 2 กรัม หรือ 1 phr ทำให้ฟองยางที่ได้จับตัวช้ามาก และต่อมาฟองยางแตกออกจากกันไม่เสถียร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า 50% ซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 1 phr มีบทบาทน้อยในการกระตุ้นเพื่อให้เกิดการเจล และเมื่อเวลานานขึ้นฟองยางที่ได้ยังไม่จับตัวเกิดการแตก ซึ่งซิงค์ออกไซด์ปริมาณน้อยมีผลต่อการรวมตัวกับโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ที่ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของซิงค์เอมีน (Zinc Amine Complexes) ในปริมาณน้อยเช่นกัน จึงทำให้มีปฏิกิริยาน้อยที่จะไปทำลายสบู่ ซึ่งเป็นตัวหลักให้น้ำยางมีความเสถียร จึงเป็นผลให้ไม่มีการจับตัว แต่เมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้น การจับตัวดีขึ้น และจะไม่มีผลต่อเวลาการเจลมากนัก

ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณ 50% ซิงค์ออกไซด์ต่อสมบัติของฟองยาง

สมบัติทางฟิสิกส์	**ปริมาณ 50% ซิงค์ออกไซด์ (กรัม)**					
	2	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**
ความหนาแน่น (กรัม/ซม.^{3})	-	0.135	0.130	0.125	0.120	0.120
ความสามารถในการคืนรูป (%)	-	6.60	6.60	7.00	7.25	7.35



ภาพที่ 4.5 ผลของปริมาณ 50% ซิงค์ออกไซด์ต่อสมบัติความหนาแน่นของฟองยาง



ภาพที่ 4.6 ผลของปริมาณ 50% ซิงค์ออกไซด์ต่อสมบัติความสามารถในการคืนรูปของฟองยาง

ลักษณะของฟองยางหลังวัลคาไนซ์ พบว่า ซิงค์ออกไซด์ 1 phr นั้น ฟองยางไม่วัลคาไนซ์ฟองจะแตกหมด ได้ฟองยางคล้ายยางเนื้อแน่นแข็ง แต่เมื่อใช้ปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 4 กรัม หรือ 2 phr ขึ้นไป ฟองยางที่ได้มีความสวยงามสม่ำเสมอ มีความแข็งเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของซิงค์ออกไซด์ จากการสัมผัสด้วยมือเปล่าและเมื่อใช้ 50% ซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 10 กรัม หรือ 5 phr ฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์และตั้งทิ้งไว้ 1 – 2 อาทิตย์ พบว่า ฟองยางมีความแข็งมากขึ้น ความยืดหยุ่นน้อยลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าซิงค์ออกไซด์นอกจากเป็นสารกระตุ้นให้เกิดการวัลคาไนซ์ที่สมบูรณ์ขึ้น ยังเพิ่มค่าโมดูลัสและค่าความแข็งตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของซิงค์ออกไซด์ด้วยเช่นกัน แสดงดังตารางที่ 4.5 ภาพที่ 4.5 และภาพที่ 4.6

4.3.1.3 ศึกษาสารเจลเสริม 30% ดีพีจี (DPG) ต่อสมบัติของฟองยาง

นำฟองยางที่เตรียมขึ้นตามวิธีที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 3.1.1.3 โดยแปรปริมาณสารเจลเสริม 30% DPG 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, และ 4 กรัม ตามสูตรที่กำหนด จากนั้นสังเกตพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังจากเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์ และนำฟองยางที่ได้มาทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์

ผลของปริมาณดีพีจีต่อพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังจากเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 พฤติกรรมการเกิดฟองและลักษณะของฟองยางหลังการวัลคาไนซ์ที่ใช้ปริมาณสารเจลเสริม 30% ดีพีจี (DPG) ที่ระดับต่าง ๆ

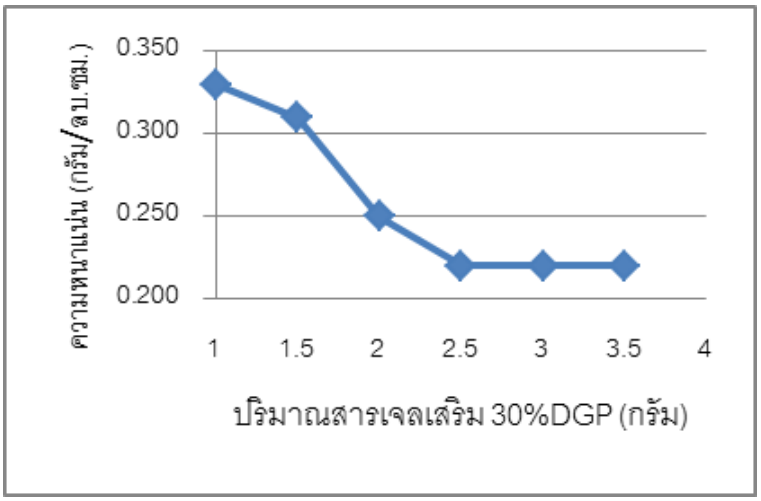
ปริมาณสารเจลเสริม 30% DPG (กรัม)	ลักษณะฟองหลังใส่สารก่อเจลเสริม	ความสูง (เท่า)	เวลาการเจล (นาที)	ลักษณะฟองยางหลังวัลคาไนซ์
1	เกิดเป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	4	4	ฟองยางเกิดการยุบตัวและหดตัวมาก มีรอยแตกที่บริเวณผิวหน้าและบริเวณขอบและฟองยางแข็งขึ้น
1.5	เกิดเป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	4	3	ฟองยางเกิดการยุบตัวและหดตัวมาก มีรอยแตกที่บริเวณผิวหน้าและบริเวณของและฟองยางแข็งขึ้น
2	เกิดเป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	4	2.5	ฟองยางเกิดการยุบตัวเล็กน้อย เกิดการหดตัวน้อย และนิ่มลง
2.5	เกิดเป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	4	2.	ฟองยางไม่ยุบตัว เกิดการหดตัวน้อย และนิ่ม
3	เกิดเป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	4	0.5	ฟองยางยุบตัวมาก
3.5	เกิดเป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	4	0.5	ฟองยางยุบตัวมาก
4	เกิดเป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	4	เจลเร็ว เทเข้าเบ้าไม่ได้	ไม่ได้ฟองยาง

จากตารางที่ 4.6 สูตรที่ใช้ 30% ดีพีจี ปริมาณ 1 กรัม ลักษณะของฟองยางที่ได้มีผิวไม่ค่อยเรียบ มีรอยแตกบริเวณขอบของชิ้นฟองยางและยุบตัวบางส่วนเห็นได้ชัด สูตรที่ใช้ 30% ดีพีจี ปริมาณ 2.5 กรัม ลักษณะฟองยางมีผิวเรียบ นิ่ม และมีความยืดหยุ่นมากขึ้น อาจเป็นเพราะว่าความสม่ำเสมอในการเกิดฟองยางและขนาดฟองมีความละเอียดใกล้เคียงกันมากขึ้น รวมทั้งเวลาเจลของฟองยางเร็วกว่าเดิม ซึ่งมีความเหมาะสมยิ่งขึ้น จากการทดลองใช้ 30% ดีพีจี ปริมาณมากขึ้นเป็น 3 กรัม สามารถควบคุมการเทเข้าเบ้าให้เร็วขึ้นก่อนที่ฟองยางจะจับตัว พบว่า ฟองยางมีผิวขรุขระ

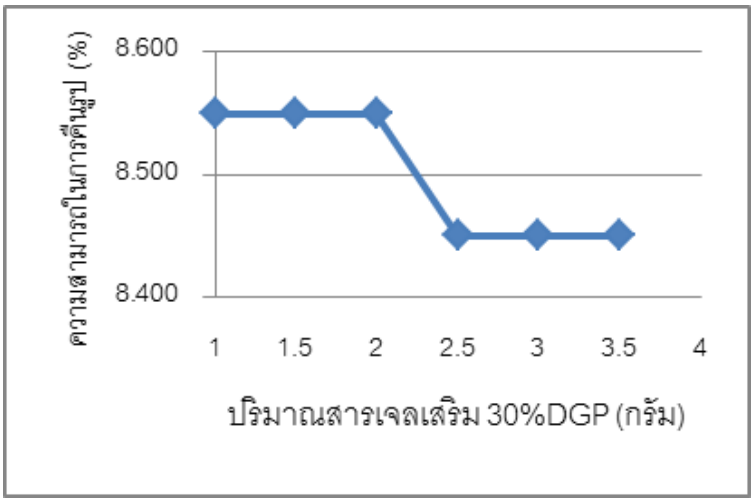
แข็งกระด้างกว่า อาจเป็นเพราะว่าดีพีจีอาจไปทำลายความเสถียรของน้ำยางให้ลดลงเร็วขึ้น เป็นการทำให้ฟองยางเจลเร็วกว่าปกติ

ตารางที่ 4.7 ผลของปริมาณสารเจลเสริม 30% DPG ต่อสมบัติของฟองยาง

สมบัติทางฟิสิกส์	ปริมาณสารเจลเสริม 30% DPG (กรัม)						
	1	1.5	2.	2.5	3	3.5	4
ความหนาแน่น (กรัม/ซม.^{3})	0.128	0.119	0.117	0.114	0.114	0.114	-
ความสามารถในการคืนรูป (%)	11.55	10.52	10.52	10.52	10.52	10.52	-



ภาพที่ 4.7 ผลของปริมาณสารเจลเสริม 30% DPG ต่อสมบัติความหนาแน่นของฟองยาง



ภาพที่ 4.8 ผลของปริมาณสารเจลเสริม 30% DPG ต่อสมบัติความสามารถในการคืนรูปของฟองยาง

จากตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7 และ 4.8 ความหนาแน่นของฟองยางมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเพิ่มปริมาณของดีพีจีที่ใช้ขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณของฟองและขนาดของเม็ดฟองที่เกิดขึ้นในขณะตีฟองมีความละเอียดสม่ำเสมอ แต่เมื่อใช้ดีพีจีในปริมาณต่ำ ๆ ทำให้การกระจายตัวของสารเจลเสริมไม่ทั่วถึงและการเจลที่เกิดขึ้นค่อนข้างช้า เป็นเหตุให้ฟองแตกบางส่วน ซึ่งฟองที่แตกนั้นอาจยุบตัวรวมกันเป็นเนื้อยางที่เน่นขึ้น ฟองยางที่ได้มีลักษณะของโครงสร้างเซลล์น้อยลง ทำให้ความหนาแน่นสูง แต่เมื่อใช้ดีพีจีในปริมาณมากขึ้น โครงสร้างเซลล์มีความสม่ำเสมอมากกว่า ทำให้ความหนาแน่นต่ำกว่า ส่วนความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของฟองยางที่ปริมาณดีพีจีระดับต่าง ๆ พบว่า ความสามารถในการคืนรูปหลังการกดของฟองยางมีแนวโน้มลดต่ำลงจนเกือบจะคงที่ อยู่ที่ระดับประมาณ 10.5% เมื่อใช้ 30% ดีพีจีปริมาณสูงกว่า 1.5 กรัม ทั้งนี้เป็นเพราะว่าการใช้ดีพีจีในปริมาณน้อยเกินไปอาจทำให้โครงสร้างของเซลล์จัดเรียงไม่เป็นระเบียบ มีความเกะกะมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการคืนรูปภายหลังการกดช้าและจากการเกิดโครงสร้างที่ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้โครงการเซลล์แข็งกระด้าง มีความยืดหยุ่นน้อย แต่เมื่อใช้ปริมาณมากขึ้นความสม่ำเสมอของฟอง อาจทำให้เซลล์มีความแข็งแรงและเป็นอีลาสติกมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ความสามารถในการคืนรูปหลังการกดดีขึ้น

4.3.1.4 ศึกษาสารเจลหลัก 10% เอสเอสเอฟ (SSF) ต่อสมบัติของฟองยาง

นำฟองยางที่เตรียมขึ้นตามสูตรที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 3.1.1.3 โดยแปรปริมาณสารเจลหลัก 10% SSF 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 กรัม ตามสูตรที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4.8 จากนั้นสังเกตพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังจากเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์ และนำฟองยางที่ได้มาทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์

ผลของปริมาณเอสเอสเอฟต่อพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังจากเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 พฤติกรรมการเกิดฟองยางและลักษณะของฟองยางหลังการวัลคาไนซ์ที่ใช้ปริมาณ 10% เอสเอสเอฟ (SSF) ระดับต่าง ๆ

ปริมาณ 10% SSF (กรัม)	ลักษณะฟอง	ความสูงฟอง (เท่า)	เวลาการเจล (นาที)	ลักษณะฟองยางหลังวัลคาไนซ์
6	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	จับตัวช้า	จับตัวช้า ฟองแตก สุกช้า
7	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	3	จับตัวช้า ทำให้ฟองแตกบางส่วน ผิวไม่สวยงาม
8	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	2	ฟองยางสวยงาม สม่ำเสมอ
9	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	2	ฟองยางสวยงาม สม่ำเสมอ
10	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	2	ฟองยางสวยงาม สม่ำเสมอ
11	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	2	ฟองยางสวยงาม สม่ำเสมอ
12	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	2	ฟองยางสวยงาม สม่ำเสมอ

จากตารางที่ 4.8 สูตรที่ใช้ 10% SSF ปริมาณ 6 – 7 กรัม ลักษณะของฟองยางหลังวัลคาไนซ์ จับตัวช้า ฟองแตกบางส่วน ผิวไม่สวยงาม สุกช้า ส่วนสูตรที่ใช้ 10% SSF ปริมาณ 8 – 12 กรัม ลักษณะฟองยาง มีฟองสวยงาม สม่ำเสมอ อาจเป็นเพราะว่าความสม่ำเสมอในการเกิดฟองยางและขนาดฟองมีความละเอียดใกล้เคียงกันมากขึ้น รวมทั้งเวลาเจลของฟองยางเร็วกว่าเดิม มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น จึงเลือกใช้ 10% SSF ปริมาณ 8 กรัม ซึ่งสามารถควบคุมการเทเข้าแม่พิมพ์ให้เร็วขึ้นก่อนที่ฟองยางจะจับตัว

4.3.1.5 ทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ของฟองยางสำหรับผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกภาพนูนต่ำ ดังนี้

เตรียมฟองยางธรรมชาติตามหัวข้อที่ 3.1.1.3 ได้เลือกฟองยางจากสูตรที่เหมาะสมที่สุด ดังตารางที่ 4.9 จากนั้นทำการตีฟองยาง เพื่อให้ได้เป็นชิ้นทดสอบ โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยม 3.0 x 3.0 x 2.9 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบที่ได้ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง เพื่อหาความหนาแน่นและเตรียมฟองยางรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 29 มิลลิเมตร สูง 19 มิลลิเมตร สำหรับหาความสามารถในการคืนรูป

ตารางที่ 4.9 สูตรการเตรียมฟองยางธรรมชาติ

สารเคมี	น้ำหนักเปียก (กรัม)
60% น้ำยางข้นแอมโมเนียสูง	167
10% โพแทสเซียมโอลิเอต	14
50% กำมะถัน	5
50% แซดดีอีซี	2
50% แซดเอ็มบีที	2
50% แอลซี	2
50% ซิงค์ออกไซด์	10
30% ดีพีจี	2.5
10% เอสเอสเอฟ	8
รวม	**212.5**

จากตารางที่ 4.9 จากสูตรการเตรียมฟองยาง ซึ่งมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และสามารถทำฟองยางได้ดีที่สุด ตามผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.3.1 นำมาขึ้นรูปเป็นฟองยางอีกครั้ง พบว่าสามารถเตรียมเป็นฟองยางได้ง่ายและฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์ มีสมบัติทางฟิสิกส์ ดังนี้ ฟองยางมีความหนาแน่น 0.115 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความสามารถในการคืนรูป 8.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลของสมบัติของฟองยางดังกล่าว สามารถนำมาขึ้นรูปและทำผลิตภัณฑ์ภาพนูนต่ำได้

4.3.2 ทดลองเตรียมสารเคมีแบบรวมเป็นชุด

จากผลการทดลองดังหัวข้อที่ 4.3.1 เลือกสูตรที่มีคุณสมบัติดีและเหมาะสมที่สุดมาทดลองเตรียมสารเคมีเป็นชุด ตามผลการทดลองดังสูตรการเตรียมในตารางที่ 4.9 เพื่อความสะดวกในการทำฟองยางและเพื่อลดเวลาสำหรับการเตรียมสารเคมีในแต่ละกระบวนการ โดยจะทำลองวิจัยดังนี้

4.3.2.1 ทดลองเตรียมสารเคมีเป็นชุด เช่น เป็นชุดสารวัลคาไนซ์ ชุดสารทำให้เกิดฟอง ชุดสารเจล เป็นต้น โดยเลือกรวมสารเคมีจากตารางที่ 4.9 เป็น 2 ชุด ดังตารางที่ 4.10 และ 4.11 เพื่อความสะดวกในการทำฟองยางและเพื่อลดเวลาสำหรับการเตรียมสารเคมี จากนั้นทดลองทำฟองยาง สังเกตพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังจากเติมสารก่อเจลหลัก และลักษณะของฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์

ตารางที่ 4.10 สูตรการรวมสารเคมีให้เป็นชุดที่ 1

สารเคมีชุดที่	ชื่อสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
1	50% แซดดีอีซี (ZDEC)	2
	50%แซดเอ็มบีที (ZMBT)	2
	50%แอลซี (LC)	2
	50% กำมะถัน (S)	5
รวม		**11**

ตารางที่ 4.11 สูตรการรวมสารเคมีให้เป็นชุดที่ 2

สารเคมีชุดที่	ชื่อสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
2	50% แซดดีอีซี (ZDEC)	2
	50% แซดเอ็มบีที (ZMBT)	2
	50% แอลซี (LC)	2
	50% กำมะถัน (S)	5
	30% ดีพีจี (DPG)	2.5
รวม		**13.5**

จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 นั้น สามารถแบ่งสูตรการรวมสารเคมีได้เป็น 2 ชุด โดยชุดที่ 1 รวมสารเคมี คือ (ZDEC + ZMBT + LC + S) ส่วน DPG, ZnO และ SSF เติมทีหลังตามลำดับ และชุดที่ 2 รวมสารเคมี คือ (ZDEC + ZMBT + LC + S + DPG) ส่วน ZnO และ SSF เติมทีหลังตามลำดับ การรวมสารเคมีเช่นนี้เพื่อความสะดวกในการทำฟองยางและเพื่อลดเวลาสำหรับการเตรียมสารเคมี

ผลของการรวมสารเคมีให้เป็นชุดต่อพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการจับตัวหลังจากเติมสารก่อเจลหลัก และลักษณะของฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์ แสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 พฤติกรรมการเกิดฟองและลักษณะของฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์ของการทดลองรวมสารเคมีเป็นชุด

สารเคมีชุดที่	ชื่อสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)	ลักษณะฟอง	ความสูงฟอง (เท่า)	เวลาเจล (นาที)	ลักษณะฟองยางหลังวัลคาไนซ์
1	50% ZDEC 50%ZMBT 50% LC 50% S	2 2 2 5	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	2	ฟองยางสวยงามสม่ำเสมอ
2	50% ZDEC 50%ZMBT 50% LC 50% S 30% DPG	2 2 2 5 2.5	ฟองยางสม่ำเสมอ	4	2	ฟองยางสวยงามสม่ำเสมอ

จากตารางที่ 4.12 การทดลองรวมสารเคมีทั้ง 2 ชุด คือ สารเคมีชุดที่ 1 (ZDEC + ZMBT + LC + S + DPG) พบว่า ความสม่ำเสมอในการเกิดฟองยางของการรวมสารเคมีทั้ง 2 ชุด และลักษณะของฟองยางหลังวัลคาไนซ์ที่ได้มีความสวยงาม สม่ำเสมอ และเวลาในการเจลอยู่ที่ประมาณ 2 นาที มีความใกล้เคียงกันมาก ดังนั้น เพื่อความสะดวกในการทำฟองยางและเพื่อลดเวลาสำหรับการเตรียมสารเคมี จึงเลือกการรวมสารเคมีชุดที่ 2 เหมาะสมที่สุดจากสูตรการทำดังตารางที่ 4.12 คือ (ZDEC : ZMBT : LC : S : DPG = 2 : 2 : 2 : 2 : 2.5) เนื่องจากสามารถรวมสารเคมีได้จำนวนมากขึ้น แต่ผลของฟองยางมีคุณสมบัติคงที

4.3.2.2 เมื่อเตรียมสารเป็นชุดได้ตามหัวข้อที่ 4.3.2 สามารถทำฟองยางได้ดีแล้ว ทดลองทำฟองยางโดยวิธีการบ่มน้ำยางกับสารเคมีในเวลา 24 – 48 ชั่วโมง เพื่อหาเวลาการบ่มและสูตรที่เหมาะสมมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยเตรียมน้ำยางผสมสารเคมี ดังตารางที่ 4.10 บ่มน้ำยางผสมสารเคมี คือ 20% โพแทสเซียมโอลิเอต (ปริมาณครึ่งหนึ่งจากสูตร), 50% กำมะถัน, 50% แซดดีอีซี, 50% แซดเอ็มบีที, 50% แอลซี ใช้เวลาบ่ม 24 – 48 ชั่วโมง ติดตามระดับการพรีวัลคาไนซ์ โดยการวัด Chloroform Number ทดสอบโดยการผสมน้ำยางผสมสารเคมีกับคลอโรฟอร์มในปริมาณที่เท่า ๆ กัน กวนจนยางจับตัวกันเป็นก้อน แล้วสังเกตลักษณะก้อนยางที่จับตัว ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ติดตามระดับการพรีวัลคาไนซ์โดยการวัดคลอโรฟอร์ม (Chloroform Number) ของน้ำยางผสมสารเคมีที่เวลาบ่ม 24 – 48 ชั่วโมง

เวลาบ่ม (ชม.)	ลักษณะก้อนยางจับตัว	เกรดก้อนยาง
24	ยางจับตัวเป็นก้อนเดียวกัน ยืดออกน้อย เมื่อดึงแล้วขาด	No. 2
48	ยางจับตัวเป็นก้อนเดียวกัน ยืดออกน้อย เมื่อดึงแล้วขาด	No. 2

หมายเหตุ การวัด Chloroform Number สามารถจัดเกรดก้อนยางดังนี้คือ
* No. 1 ก้อนยางเหนียวเหมือนหมากฝรั่ง เมื่อยืดออกเป็นใย
* No. 2 ยางจับตัวเป็นก้อนเดียวกัน ยืดออกน้อย เมื่อดึงแล้วขาด
* No. 3 ก้อนยางไม่เหนียว ขาดออกจากกันได้ง่าย
* No. 4 ก้อนยางเป็นผงร่วน
ระดับที่เหมาะสมกับการใช้งาน คือ ระดับ * No. 2

จากตารางที่ 4.13 ติดตามระดับการพรีวัลคาไนซ์ โดยการวัด Chlorform Number ของน้ำยางผสมสารเคมีที่เวลาบ่ม 24 – 48 ชั่วโมง พบว่า น้ำยางผสมสารเคมีที่เวลาบ่ม 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง มีลักษณะยางจับตัวเป็นก้อนเดียวกัน ยืดออกน้อย เมื่อดึงแล้วขาด เฉพาะฉะนั้นงานวิจัยจึงสามารถเลือกน้ำยางผสมสารเคมีที่เวลาบ่ม 24 – 48 ชั่วโมง และทำการแปรปริมาณในการบ่มเป็น 24 และ 48 ชั่วโมง ตามสูตรที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4.10 และ 4.11 จากนั้นสังเกตพฤติกรรมการเกิดฟอง ลักษณะการเจล หลังจากเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์ ดังแสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 พฤติกรรมการเกิดฟองและลักษณะของฟองยางหลังการวัลคาไนซ์ที่เวลาบ่มในระดับต่าง ๆ

เวลาบ่ม (ชั่วโมง)	ลักษณะฟอง	ความสูงฟอง (เท่า)	เวลาเจล (นาที)	ลักษณะฟองยางหลังวัลคาไนซ์
24	เกิดฟองได้ง่าย เป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	4	2	ฟองยางเกิดการหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบ และฟองยางนิ่มลง
48	เกิดฟองได้ยากขึ้น เป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ	4	2	ฟองยางเกิดการหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบ และฟองยางนิ่มลง

จากตารางที่ 4.14 เห็นได้ว่า พฤติกรรมการเกิดฟองเมื่อใช้เวลาในการบ่ม 24 – 48 ชั่วโมงนั้น การตีฟองเกิดฟองได้ง่ายที่เวลาบ่ม 24 ชั่วโมง ส่วนเวลาบ่มที่ 48 ชั่วโมง จะเกิดฟองได้ยากขึ้น ลักษณะของฟองเป็นครีมละเอียด สม่ำเสมอ อาจเนื่องมาจากการบ่มที่ใช้เวลายาวนานจนเกินไป ทำให้มีการวัลคาไนซ์เกิดขึ้นบางส่วนและเมื่อนำมาตีฟองทำให้เกิดฟองได้ยากขึ้น ใช้เวลาในการตีฟองนานขึ้น ส่วนลักษณะฟองยางหลังวัลคาไนซ์เมื่อใช้เวลาในการบ่ม 24 – 48 ชั่วโมง พบว่าฟองยางมีการหดตัวน้อย ผิวหน้าเรียบ ฟองยางผิวละเอียดและนิ่ม

4.3.3 ผลิตผลิตภัณฑ์จากฟองยางเป็นผลิตภัณฑ์งานประติมากรรมภาพนูนต่ำ

จากการเตรียมฟองยางตามสูตรที่ดีที่สุดและเลือกมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ตามกระบวนการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ภาพนูนต่ำ พบว่าฟองยางตามสูตรที่เลือกมานั้น สามารถเทฟองยางลงในแม่พิมพ์ยางซิลิโคนที่เตรียมไว้ได้ดีมาก ฟองยางไหลลงในแม่พิมพ์ง่าย หลังจากนำไปอบจนสุก (วัลคาไนซ์) แกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ง่ายเช่นกัน เป็นชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์ สวยงาม น้ำหนักเบา เมื่อนำไปตกแต่งสีและเข้ากรอบจะเพิ่มคุณค่าของงาน ดังภาพที่ 4.9

ภาพที่ 4.9 ผลิตภัณฑ์สำเร็จ

4.4 ผลการพัฒนารูปแบบงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ

นำผลการวิจัยในตอนที่ 1 มาใช้ในการพัฒนาการเรียนการสอนรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 ในหน่วยที่ 6 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส)ชั้นปีที่1 สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์

วิทยาลัยเทคนิคตรัง จำนวน 14 คน ใช้เวลาในการเรียน 6 ชั่วโมง/สัปดาห์ รวมทั้งหมด 18 ชั่วโมง ของภาคเรียนที่ 1/2557 เพื่อหาประสิทธิภาพและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ตามลำดับ ดังนี้

4.4.1 การหาคุณภาพของเอกสารประกอบการเรียน

4.4.1.1 การวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อเอกสารประกอบการเรียนรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 ในหน่วยที่ 6 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยางที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นโดยใช้ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean) ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ จากแบบประเมินคุณภาพของเอกสารด้านเนื้อหาจำนวน 5 ท่าน สามารถสรุปรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4.15 (แสดงดังในภาคผนวก ข-1 และ ข-2)

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าเฉลี่ยการประเมินคุณภาพเครื่องมือ โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา

รายการประเมิน	N	Mean	Std. Deviation
1. เนื้อหา			
1.1 ตรงกับจุดประสงค์การเรียนรู้	5	4.80	.447
1.2 มีขั้นตอนจากง่ายไปหายาก	5	5.00	.000
1.3 เหมาะสมกับระดับผู้เรียน	5	4.80	.447
1.4 มีความทันสมัย	5	4.60	.547
1.5 มีความชัดเจนของเนื้อหา	5	4.80	.447
1.6 ถูกต้องตามหลักวิชา	5	5.00	.000
2. ภาษา			
2.1 ชัดเจนเข้าใจง่าย	5	5.00	.000
2.2 ใช้ศัพท์เทคนิคเหมาะสม	5	5.00	.000
3. การมีส่วนร่วมในกิจกรรมของผู้เรียน	5	4.80	.447
4. ภาพ			
4.1 สื่อความหมายได้ตรงเนื้อหา	5	5.00	.000
4.2 เข้าใจง่าย	5	5.00	.000
5. การประเมินผลสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	5	5.00	.000
รวม		**4.9**	**0.19**

จากตารางที่ 4.15 การประเมินคุณภาพของเครื่องมือโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา พบว่า มีความเหมาะสมในด้านเนื้อหา ภาษา การมีส่วนร่วมในกิจกรรมผู้เรียน ความสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้และภาพที่ใช้ในเอกสารประกอบการเรียนชุดนี้ มีค่าเฉลี่ย 4.9 จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คน

4.4.1.2 การหาคุณภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

1) การวิเคราะห์ความเที่ยงตรงตามเนื้อหา ของ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและการสอน จำนวน 5 คน ประเมินและตรวจสอบแบบทดสอบ ซึ่งจะพิจารณาความสอดคล้อง ระหว่างข้อคำถามแต่ละข้อกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยรายข้อ และค่าเฉลี่ยทั้งฉบับ เพื่อนำผลมาปรับปรุงแก้ไขผลการวิเคราะห์สามารถสรุปรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4.16 (แสดงดังในภาคผนวก ข-3 และ ข-4)

ตารางที่ 4.16 ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง

ข้อที่	คะแนนรวมของผู้เชี่ยวชาญ 5 คน	ดัชนีความสอดคล้อง (IOC)	คุณภาพของแบบทดสอบ
1.	4	0.80	เหมาะสมมากที่สุด
2.	5	1.00	เหมาะสมมากที่สุด
3.	5	1.00	เหมาะสมมากที่สุด
4.	4	0.80	เหมาะสมมากที่สุด
5.	5	1.00	เหมาะสมมากที่สุด
6.	5	1.00	เหมาะสมมากที่สุด
7.	4	0.80	เหมาะสมมากที่สุด
8.	5	1.00	เหมาะสมมากที่สุด
9.	5	1.00	เหมาะสมมากที่สุด
10.	5	1.00	เหมาะสมมากที่สุด
11.	4	0.80	เหมาะสมมากที่สุด
12.	5	1.00	เหมาะสมมากที่สุด
13.	5	1.00	เหมาะสมมากที่สุด
14.	5	1.00	เหมาะสมมากที่สุด
15.	4	0.80	เหมาะสมมากที่สุด

ตารางที่ 4.16 (ต่อ)

ข้อที่	คะแนนรวมของผู้เชี่ยวชาญ 5 คน	ดัชนีความสอดคล้อง (IOC)	คุณภาพของแบบทดสอบ
16.	4	0.80	เหมาะสมมากที่สุด
17.	5	1.00	เหมาะสมมากที่สุด
18.	5	1.00	เหมาะสมมากที่สุด
19.	5	1.00	เหมาะสมมากที่สุด
20.	5	1.00	เหมาะสมมากที่สุด
รวมทั้งหมด	**4.70**	**0.94**	**เหมาะสมมากที่สุด**

จากตารางที่ 4.16 พบว่า รายการประเมินทุกข้อ (ร้อยละ 100) มีค่าดัชนีความสอดคล้อง มากกว่า 0.61 ขึ้นไป โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.94 แสดงว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง มีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม มีความเหมาะสมในระดับมากที่สุด ที่จะนำไปพัฒนาเป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง และสามารถนำไปใช้ในการทดลองเพื่อหาค่าทางสถิติของตัวแปรต่างๆ ได้

2) การวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของเอกสารประกอบการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ซึ่งแบบทดสอบที่มีความเที่ยงตรงตามเนื้อหาเพราะผ่านการตรวจจากผู้เชี่ยวชาญและแก้ไขข้อบกพร่องแล้ว เป็นแบบเลือกตอบ หรือแบบปรนัย 4 ตัวเลือก นำไปทดลองใช้กับผู้เรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างของการทดลองแบบกลุ่มเล็ก จำนวน 7 คน วิเคราะห์แบบทดสอบเพื่อหาค่าความยากง่าย (P) และหาค่าอำนาจจำแนก (r) ของข้อสอบแต่ละข้อ รวมทั้งหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ ปรากฏผลดังตารางที่ 4.17 และตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.17 ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ค่าความเชื่อมั่น ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง

ข้อที่	ค่าความยากง่าย (p)	ค่าอำนาจจำแนก (r)
1.	0.53	0.89
2.	0.53	0.89
3.	0.50	0.93
4.	0.50	0.93
5.	0.50	0.93
6.	0.50	0.93
7.	0.50	0.93
8.	0.50	0.93
9.	0.50	0.93
10.	0.50	0.93
11.	0.50	0.93
12.	0.53	0.89
13.	0.53	0.89
14.	0.53	0.89
15.	0.53	0.89
16.	0.53	0.89
17.	0.81	0.72
18.	0.53	0.89
19.	0.53	0.89
20.	0.81	0.72

* ค่าความเชื่อมั่น 0.83

จากตารางที่ 4.17 พบว่า ค่าความยากง่าย (p) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.50 ถึง 0.81 ค่าอำนาจจำแนก (r) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.72 ถึง 0.93 และค่าความเชื่อมั่นมีค่า 0.83 แสดงว่าแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง มีคุณภาพตามเกณฑ์กล่าวคือ มีความยากง่ายพอเหมาะ สามารถจำแนกผู้เรียนได้ และมีความเชื่อมั่นสูง

ตารางที่ 4.18 ค่าความยากง่ายเฉลี่ย ค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ย และค่าความเชื่อมั่นเฉลี่ยของข้อสอบชนิดเลือกตอบ

เอกสารประกอบการเรียน	ค่าความยากง่ายเฉลี่ย	ค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ย	ค่าความเชื่อมั่นเฉลี่ย
กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง	0.54	0.90	0.83

จากตารางที่ 4.18 จะเห็นว่า ค่าความยากง่ายเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.54 ค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.90 และค่าความเชื่อมั่นเฉลี่ยของแบบทดสอบทั้งฉบับมีค่าเท่ากับ 0.83 ซึ่งมีความเหมาะสม ที่จะนำไปพัฒนาเป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของเอกสารประกอบการเรียน และสามารถนำไปใช้ในการทดลองหาค่าความก้าวหน้าและความพึงพอใจของผู้เรียนได้

4.4.2 การหาประสิทธิภาพของเอกสารประกอบการเรียน

ในหน่วยที่ 6 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส) ชั้นปีที่ 1 จำนวน 14 คน ที่ได้เลือกแบบเจาะจง โดยชี้แจงวิธีการเรียน การปฏิบัติจนเป็นที่เข้าใจดีแล้ว จากนั้นให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน แล้วจึงให้ผู้เรียนเรียนจากเอกสารประกอบการเรียน โดยปฏิบัติตามกิจกรรมการเรียนรู้จนจบบทเรียน และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการเรียนรู้แล้วให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียนทันที และนำผลที่ได้ไปหาค่าร้อยละ เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเอกสารประกอบการเรียน ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 ได้จากผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.19 คะแนนประสิทธิภาพทางการเรียน รายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 ในหน่วยที่ 6 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์

ที่	รหัสนักศึกษา	แบบฝึกหัด (10 คะแนน)	ใบงาน (10 คะแนน)	ทดสอบระหว่างภาคเรียน(10 คะแนน)	แบบทดสอบก่อนเรียน (10 คะแนน)	แบบทดสอบหลังเรียน (10 คะแนน)
1	5731220001	8	8	8	3	8
2	5731220002	9	8	8	5	8
3	5731220003	8	9	8	4	8
4	5731220004	8	9	8	4	8
5	5731220005	8	8	8	3	8
6	5731220006	8	8	8	5	9
7	5731220007	8	8	8	4	8
8	5731220008	8	8	8	4	8
9	5731220009	8	8	8	3	9
10	5731220010	8	7	8	5	8
11	5731220011	7	8	9	4	8
12	5731220013	8	7	9	3	8
13	5731220014	8	8	9	5	8
14	5731220015	8	8	9	4	9
	รวม	**112**	**112**	**116**	**55**	**115**
E1/E2 = 80.95/82.14						

จากตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาที่ใช้เอกสารประกอบการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง สำหรับผู้เรียนระดับ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ ปรากฏว่า เอกสารประกอบการเรียนฉบับนี้ มีค่าประสิทธิภาพ เท่ากับ 80.95/82.14 แสดงว่าเอกสารประกอบการเรียน มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 80/80 (แสดงดังในภาคผนวก ข-5)

4.4.3 การวิเคราะห์หาค่าดัชนีประสิทธิผล (The Effectiveness Index ; E.I.) ของเอกสารประกอบการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้น เพื่อดูการพัฒนาของนักศึกษาก่อนเรียนและหลังเรียน โดยนำผลการทดลองจากการทดสอบที่ได้ไปหาค่าร้อยละ เพื่อวิเคราะห์หาค่าดัชนีประสิทธิผลของเอกสารประกอบการเรียน โดยใช้เกณฑ์ 0.50 ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.20 (แสดงดังในภาคผนวก ข-6)

ตารางที่ 4.20 คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน(ดัชนีประสิทธิผล) ของนักศึกษา ระดับชั้น ปวส. ชั้นปีที่ 1 รายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 รหัสวิชา 3122 – 2005 สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์

ร้อยละของผลรวมคะแนนก่อนเรียน	ร้อยละของผลรวมคะแนนหลังเรียน	ค่าดัชนีประสิทธิผล
39.28	82.14	0.7058

จากตารางที่ 4.20 ค่าดัชนีประสิทธิผลของเอกสารประกอบการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง มีค่าเท่ากับ 0.7058 ซึ่งแสดงว่าผู้เรียนมีความรู้เพิ่มขึ้น 0.7058 หรือคิดเป็นร้อยละ 70.58 และค่าดัชนีประสิทธิผลของเอกสารประกอบการเรียนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ 0.50 ที่ตั้งไว้

ตารางที่ 4.21 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่เรียนโดยใช้เอกสารประกอบการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง

ลำดับที่	รหัสนักศึกษา	แบบทดสอบก่อนเรียน (10 คะแนน)	แบบทดสอบหลังเรียน (10 คะแนน)
1	5731220001	3	8
2	5731220002	5	8
3	5731220003	4	8
4	5731220004	4	8
5	5731220005	3	8
6	5731220006	5	9
7	5731220007	4	8
8	5731220008	4	8
9	5731220009	3	9
10	5731220010	5	8
11	5731220011	4	8
12	5731220013	3	8
13	5731220014	5	8
14	5731220015	4	9
	รวม	55	115

จากตารางที่ 4.21 แสดงว่าคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนที่ใช้เอกสารประกอบการเรียนฉบับนี้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยค่าเฉลี่ยคะแนนของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนหลังจากเรียนด้วยเอกสารประกอบการเรียนแล้ว มีค่าเท่ากับ 82.14 สูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 39.28 หรือประมาณ 40.00

ตารางที่ 4.22 ผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน

การทดสอบ	จำนวนนักเรียน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	t-test
คะแนนทดสอบก่อนเรียน	14	8.214	0.784	17.666
คะแนนทดสอบหลังเรียน	14	4.000	0.425	

* นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, t = 1.7709 (จากตาราง)

จากตารางที่ 4.22 แสดงว่านักเรียนที่เรียนโดยใช้เอกสารประกอบการเรียนฉบับนี้ ที่ผู้รายงานสร้างขึ้น จำนวนนักเรียน 14 คน ทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เมื่อทดสอบหาค่าความแตกต่างคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้สถิติ t-test ปรากฏว่าค่า t ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 17.666 มากกว่าค่า t จากตารางคือ 1.7709 แสดงว่าคะแนนเฉลี่ย ของการทดสอบหลังเรียนสูงกว่าคะแนนทดสอบก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญ .05 (แสดงดังในภาคผนวก ข-7)

4.5 การวิเคราะห์เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อเอกสารประกอบการเรียน

การวิเคราะห์เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อเอกสารประกอบการเรียนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ซึ่งผู้วิจัยได้ให้ผู้เรียนแสดงความคิดเห็นจากแบบสอบถาม พบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อเอกสารประกอบการเรียนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 และมีเจตคติในระดับดีมาก ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.23 (แสดงดังในภาคผนวก ข-8)

ตารางที่ 4.23 ความคิดเห็นและความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อเอกสารประกอบการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง

รายการประเมินเอกสารประกอบการเรียน	ระดับความคิดเห็นผู้เรียน					จำนวนคน	$\overline{x}$	S.D.	ความหมาย
	5	4	3	2	1				
1. ด้านเนื้อหา									
1.1 การจัดแบ่งหัวข้อและเรียงลำดับเนื้อหามีความเข้าใจง่าย	9	5				14	4.64	0.50	ดีมาก

ตารางที่ 4.23 (ต่อ)

รายการประเมินเอกสารประกอบการเรียน	ระดับความคิดเห็นผู้เรียน					จำนวนคน	$\overline{x}$	S.D.	ความหมาย
	5	4	3	2	1				
1.2 เนื้อหาวิชามีความเหมาะสม เข้าใจง่าย	7	7				14	4.50	0.52	ดีมาก
1.3 ภาษาที่ใช้เข้าใจง่าย	9	5				14	4.64	0.50	ดีมาก
1.4 รูปภาพมีความสัมพันธ์กับเนื้อหาวิชา	8	6				14	4.57	0.51	ดีมาก
1.5 รูปภาพมีความชัดเจน	9	5				14	4.64	0.50	ดีมาก
1.6 ใบงานมีความชัดเจนเข้าใจง่าย	9	5				14	4.64	0.50	ดีมาก
2. ด้านกิจกรรมการเรียนการสอน									
2.1 น่าสนใจ ทำให้เกิดการเรียนรู้ได้จริง	8	6				14	4.57	0.51	ดีมาก
2.2 ผู้เรียนทุกคนได้ลงมือปฏิบัติจริง	8	6				14	4.64	0.50	ดีมาก
2.3 เนื้อหาหรือใบงานน่าสนใจไม่น่าเบื่อ	9	5				14	4.64	0.50	ดีมาก
3. ด้านแบบประเมินผลการเรียนรู้									
3.1 คำถามและคำตอบมีความชัดเจน	9	5				14	4.64	0.50	ดีมาก
3.2 จำนวนแบบทดสอบมีความเหมาะสม	7	7				14	4.50	0.52	ดีมาก
3.3 มีความยากง่ายเหมาะสม	7	7				14	4.50	0.52	ดีมาก
3.4 วัดได้ครอบคลุมพฤติกรรมทุกด้าน	8	6				14	4.57	0.51	ดีมาก

ตารางที่ 4.23 (ต่อ)

รายการประเมินเอกสารประกอบการเรียน	ระดับความคิดเห็นผู้เรียน					จำนวนคน	$\overline{x}$	S.D.	ความหมาย
	5	4	3	2	1				
3.5 แบบทดสอบประเมินผู้เรียนได้จริง	8	8				14	4.43	0.51	ดี
4. ด้านเวลา									
4.1 ความเหมาะสมของเวลาทั้งหมด	7	7				14	4.50	0.52	ดีมาก
รวมเฉลี่ย							4.57	0.51	ดีมาก

จากตารางที่ 4.22 พบว่า ความคิดเห็นของผู้เรียนที่มีต่อเอกสารประกอบการเรียนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง โดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก (X = 4.57, SD = 0.51) เมื่อพิจารณาเป็นรายหัวข้อ พบว่า เกณฑ์การประเมินอยู่ในระดับค่าเฉลี่ยสูงสุดระดับ 4.64 คือการจัดแบ่งหัวข้อและเรียงลำดับเนื้อหามีความเข้าใจง่าย ภาษาที่ใช้เข้าใจง่าย รูปภาพมีความชัดเจน ใบงานมีความชัดเจนเข้าใจง่าย ผู้เรียนทุกคนได้ลงมือปฏิบัติจริง คำถามและคำตอบมีความชัดเจน สำหรับความคิดเห็นที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด คือการประเมินแบบทดสอบประเมินผู้เรียนได้จริงอยู่ที่ระดับ 4.43