รายงานการการวิจัย

การพัฒนารูปแบบงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2546

ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์

นายสุรศักดิ์ เทพทอง

ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการพิเศษ

วิทยาลัยเทคนิคตรัง สถาบันการอาชีวศึกษาภาคใต้ 2

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

กระทรวงศึกษาธิการ

คำนำ

งานวิจัยเรื่องการพัฒนารูปแบบงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ ฉบับนี้ ได้ศึกษากระบวนการออกแบบรูปทรง ผลิตแม่พิมพ์ ศึกษาออกสูตรน้ำยางเพื่อทำผลิตภัณฑ์งานประติมากรรมภาพนูนต่ำและนำผลการวิจัยหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับนักศึกษาที่เรียนรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2557 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา งานวิจัยฉบับนี้ ข้าพเจ้าได้ใช้เวลาในกระบวนการทดลองเป็นเวลา 9 เดือน เพื่อได้ผลงานที่มีคุณภาพ แม่นยำเชื่อถือได้ หลังจากนั้นได้นำเผยแพร่และทดลองใช้ในการเรียนการสอนกับนักศึกษาจนได้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีขึ้นมาก

ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้ จะมีประโยชน์ต่อครูผู้สอนหรือหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนที่สนใจนำผลงานวิจัยไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติต่อไป และที่สำคัญจะเป็นประโยชน์สูงสุดกับนักศึกษาในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ที่ใช้รายงานวิจัยฉบับนี้ประกอบในการเรียน ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ตลอดจนท่านที่กรุณาแสดงความคิดเห็นให้ข้อเสนอแนะ จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

นายสุรศักดิ์ เทพทอง
ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการพิเศษ

ชื่อเรื่อง การพัฒนารูปแบบงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ
ชื่อผู้ทำการศึกษา นายสุรศักดิ์ เทพทอง ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการพิเศษ
วิทยาลัยเทคนิคตรัง
ปี พ.ศ. ที่ทำการศึกษา ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบและออกสูตรน้ำยางสำหรับงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ โดยการออกแบบรูปทรง ผลิตแม่พิมพ์ ศึกษาออกสูตรน้ำยางเพื่อทำผลิตภัณฑ์งานประติมากรรมภาพนูนต่ำ พบว่ายางซิลิโคนมีความเหมาะสมในการทำแม่พิมพ์ภาพนูนต่ำ และสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ภาพนูนต่ำที่มีรูปแบบซับซ้อนได้ จากการพัฒนาสูตรและเตรียมฟองยางในการทำผลิตภัณฑ์ภาพนูนต่ำ โดยใช้ 20%สบู่โพแทสเซียมโอลิเอต ปริมาณ 14 กรัม ร่วมกับ 50% ซิงค์ออกไซด์ ปริมาณ 10 กรัม, 30% ดีพีจี ปริมาณ 2.5 กรัม, 10% เอสเอสเอฟ ปริมาณ 8 กรัม และสารวัลคาไนซ์ คือ 50% กำมะถัน, 50% แซดดีอีซี, 50% แซดเอ็มบีที, 50% แอลซี ปริมาณ 5, 2, 2, 2 กรัม ตามลำดับ พบว่า การทำฟองยางสามารถปั่นให้เกิดฟองได้ง่าย ใช้เวลาการในการจับตัวอยู่ในช่วง 4 – 6 นาที ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ดี ผลิตภัณฑ์มีความสวยงาม ฟองยางหลังวัลคาไนซ์แล้วมีสมบัติความหนาแน่นและความสามารถในการคืนรูป 0.20 กรัม/ลบ.ซม. และ 6.00% ตามลำดับ และจากการเตรียมสารเคมีเป็นชุด คือ แซดดีอีซี+แซดเอ็มบีที+แอลซี+กำมะถัน และดีพีจี แล้วเติมด้วยสารซิงค์ออกไซด์ และเอสเอสเอฟ พบว่าสามารถเตรียมฟองยางเพื่อผลิตงานประติมากรรมภาพนูนต่ำได้ดี และมีสมบัติทางกายภาพที่ดีเช่นเดียวกัน

จากผลการวิจัยได้นำไปใช้กับนักศึกษาที่เรียนรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2557 จำนวน 14 คน โดยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่าง แบบเจาะจง (Purposive Sampling) เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วย เอกสารประกอบการเรียน แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน แบบฝึกหัดและใบงานระหว่างเรียน แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เกี่ยวกับเอกสารประกอบการเรียน และแบบประเมินความคิดเห็นของนักเรียนจากการใช้เอกสารประกอบการเรียนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติหาค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าประสิทธิภาพ (E1/E2) และการทดสอบที (t-test) ผลการศึกษาโดยสรุปมีดังนี้

1. เอกสารประกอบการเรียนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง มีประสิทธิภาพ E1/E2 = 80.95/82.14 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 80/80

2. นักเรียนที่เรียนโดยใช้เอกสารประกอบการเรียนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการใช้เอกสารประกอบการเรียนสูงกว่าก่อนการใช้เอกสารประกอบการเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05

3. นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อเอกสารประกอบการเรียนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง มีค่าเฉลี่ยรวม ($\overline{X}$) = 4.57 มีความพึงพอใจอยู่ในระดับ ดีมาก

คำสำคัญ: น้ำยางธรรมชาติ ฟองยาง ออกแบบ ประติมากรรมภาพนูนต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรสา ภัทรไพบูลย์ชัย และนางสาวปิยวีร จุติพงษ์รักษา ศึกษานิเทศก์ชำนาญการพิเศษ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาแนะนำและได้กรุณาให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องเกี่ยวกับเอกสารการวิจัย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง รวมถึงครู อาจารย์ วิทยาลัยเทคนิคตรัง และนักศึกษาแผนกวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ วิทยาลัยเทคนิคตรัง ที่ให้ความสะดวกในการทดลองใช้และเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ แสดงความคิดเห็นและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ นายธีระยุทธ เอี่ยมตระกูล อดีตผู้ว่าราชการจังหวัดตรัง ที่กรุณาให้แนวคิดเพื่อสร้างแรงบันดาลใจ และ ส่งเสริม สนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว และทุก ๆ ท่านที่มีส่วนสนับสนุนให้กำลังใจเสมอมาจนการวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

นายสุรศักดิ์ เทพทอง
ตำแหน่งครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการพิเศษ

สารบัญ

		หน้า
คำนำ		ก
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
กิตติกรรมประกาศ		ง
สารบัญภาพ		ช
สารบัญตาราง		ซ
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
	1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากผลการวิจัยครั้งนี้	4
บทที่ 2	ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	5
	2.1 ทฤษฎี และกรอบแนวความคิดของการวิจัย	5
	2.2 กรอบกระบวนการทำวิจัย	14
	2.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง	15
	2.4 ทฤษฎีและวรรณกรรมทางการเรียน	16
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย	21
	3.1 วิจัยการพัฒนารูปแบบงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ	21
	3.2 การหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องกระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ในรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1	28
บทที่ 4	ผลการทดลอง	36
	4.1 การพัฒนารูปแบบงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ	36
	4.2 ผลิตแม่พิมพ์ตามแบบกำหนด โดยใช้ยางซิลิโคนเป็นแม่พิมพ์ของที่ระลึกภาพนูนต่ำ	37
	4.3 ดำเนินการวิจัย	38
	4.4 ผลการพัฒนารูปแบบงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ	53
	4.5 การวิเคราะห์เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อเอกสารประกอบการเรียน	62

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	65
5.1 ศึกษาสารเคมีต่อสมบัติของฟองยาง	65
5.2 หาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ในรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1	66
5.3 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	67
ภาคผนวก ก	69
- รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ	70
- หนังสือเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญและหนังสือตอบรับ	72
ภาคผนวก ข	84
- แบบประเมินคุณภาพของเอกสารประกอบการเรียน	85
- ตารางวิเคราะห์คุณภาพของเอกสารประกอบการเรียน	86
- ตารางวิเคราะห์หาค่าความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง (จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม)	88
- ตารางแสดงค่าความยากง่าย (P) และค่าอำนาจจำแนก (r หรือ D)	89
- ตารางคะแนนประสิทธิภาพทางการเรียน	90
- คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (ดัชนีประสิทธิผล) ของนักศึกษา	92
- การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพค่าผลต่างของคะแนนก่อนเรียนกับหลังเรียน	93
- ตารางความคิดเห็นและความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อเอกสารประกอบการเรียน	95
ภาคผนวก ค	97
- ตัวอย่างใบประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ	98
- ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้รายหน่วย	103
- ภาพแสดงขั้นตอนการผลิตภาพนูนต่ำจากฟองยาง	121
- รูปประกอบการเผยแพร่และนำเสนอผลงานวิจัย	123
- เกียรติบัตร	124
- ประวัติผู้วิจัย	126

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	ขั้นตอนการผลิตน้ำยางข้น	6
ภาพที่ 2.2	สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ	8
ภาพที่ 2.3	กรอบกระบวนการทำวิจัย	14
ภาพที่ 3.1	เครื่องตีฟองในการผลิตฟองยาง	22
ภาพที่ 3.2	เครื่องชั่งสารเคมี	23
ภาพที่ 3.3	เครื่องกวนน้ำยาง	24
ภาพที่ 3.4	ชุดทดสอบความสามารถในการคืนรูป	24
ภาพที่ 3.5	ขั้นตอนการเตรียมฟองยาง	25
ภาพที่ 4.1	แบบภาพนูนต่ำ ขนาดกลาง	35
ภาพที่ 4.2	แบบภาพนูนต่ำ ขนาดใหญ่	36
ภาพที่ 4.3	แม่พิมพ์ของที่ระลึกภาพนูนต่ำ	36
ภาพที่ 4.4	ผลของปริมาณ 20% สบู่ต่อสมบัติของฟองยาง	41
ภาพที่ 4.5	ผลของปริมาณ 50% ซิงค์ออกไซด์ต่อสมบัติความหนาแน่นของฟองยาง	43
ภาพที่ 4.6	ผลของปริมาณ 50% ซิงค์ออกไซด์ต่อสมบัติความสามารถในการคืนรูปของฟองยาง	44
ภาพที่ 4.7	ผลของปริมาณสารเจลเสริม 30% DPG ต่อสมบัติความหนาแน่นของฟองยาง	46
ภาพที่ 4.8	ผลของปริมาณสารเจลเสริม 30% DPG ต่อสมบัติความสามารถในการคืนรูปของฟองยาง	46
ภาพที่ 4.9	ผลิตภัณฑ์สำเร็จ	53

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 3.1	ศึกษาอิทธิพลของสารเคมีแต่ละชนิดและปริมาณที่ระดับต่าง ๆ	26
ตารางที่ 4.1	พฤติกรรมการเกิดฟองยางและลักษณะของฟองยางหลังการวัลคาไนซ์ที่ปริมาณ 20% สบู่ระดับต่าง ๆ	38
ตารางที่ 4.2	ผลของปริมาณ 20% สบู่ต่อความตึงผิว	39
ตารางที่ 4.3	ผลของปริมาณ 20% สบู่ต่อสมบัติของฟองยาง	40
ตารางที่ 4.4	พฤติกรรมการเกิดฟองและลักษณะของฟองยางหลังการวัลคาไนซ์ที่ใช้ปริมาณ 50% ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ระดับต่าง ๆ	42
ตารางที่ 4.5	ผลของปริมาณ 50% ซิงค์ออกไซด์ต่อสมบัติของฟองยาง	43
ตารางที่ 4.6	พฤติกรรมการเกิดฟองและลักษณะของฟองยางหลังการวัลคาไนซ์ที่ใช้ปริมาณสารเจลเสริม 30% ดีพีจี (DPG) ที่ระดับต่าง ๆ	45
ตารางที่ 4.7	ผลของปริมาณสารเจลเสริม 30% DPG ต่อสมบัติของฟองยาง	46
ตารางที่ 4.8	พฤติกรรมการเกิดฟองและลักษณะของฟองยางหลังการวัลคาไนซ์ที่ใช้ปริมาณ 10% เอสเอสเอฟ (SSF) ที่ระดับต่าง ๆ	48
ตารางที่ 4.9	สูตรการเตรียมฟองยางธรรมชาติ	49
ตารางที่ 4.10	สูตรการรวมสารเคมีให้เป็นชุดที่ 1	50
ตารางที่ 4.11	สูตรการรวมสารเคมีให้เป็นชุดที่ 2	50
ตารางที่ 4.12	พฤติกรรมการเกิดฟองและลักษณะของฟองยางหลังจากวัลคาไนซ์ของการทดลองรวมสารเคมีเป็นชุด	51
ตารางที่ 4.13	ติดตามระดับการพรีวัลคาไนซ์โดยการวัดคลอโรฟอร์ม (Chloroform Number) ของน้ำยางผสมสารเคมีที่เวลาบ่ม 24 – 48 ชั่วโมง	52
ตารางที่ 4.14	พฤติกรรมการเกิดฟองและลักษณะของฟองยางหลังการวัลคาไนซ์ที่เวลาบ่มในระดับต่าง ๆ	52
ตารางที่ 4.15	แสดงค่าเฉลี่ยการประเมินคุณภาพเครื่องมือ โดยใช้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา	54
ตารางที่ 4.16	ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องกระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง	55

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 4.17	ค่าความยากง่าย(p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ค่าความเชื่อมั่น ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง	57
ตารางที่ 4.18	ค่าความยากง่ายเฉลี่ย ค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ย และค่าความเชื่อมั่นเฉลี่ยของข้อสอบชนิดเลือกตอบ	58
ตารางที่ 4.19	คะแนนประสิทธิภาพทางการเรียน รายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1ในหน่วยที่ 6 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.) ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์	59
ตารางที่ 4.20	คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน(ดัชนีประสิทธิผล) ของนักศึกษาระดับชั้น ปวส.ชั้นปีที่ 1 รายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 รหัสวิชา 3122 – 2005 สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์	60
ตารางที่ 4.21	เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่เรียนโดยใช้เอกสารประกอบการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง	61
ตารางที่ 4.22	ผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน	62
ตารางที่ 4.23	ความคิดเห็นและความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อเอกสารประกอบการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ยางธรรมชาติเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีความสำคัญของประเทศ และเป็นผลผลิตหลักของเกษตรกรในภาคใต้ ประเทศไทยผลิตยางธรรมชาติแต่ละปีค่อนข้างสูงมากและมีแนวโน้มการผลิตที่เพิ่มขึ้น ยางธรรมชาติเหล่านี้ส่วนใหญ่จะผลิตในรูปยางแห้ง คือ ยางแท่ง ยางแผ่นรมควัน และยางเครฟ ส่วนของน้ำยางข้นมีการนำไปใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น ถุงมือทางการแพทย์ ถุงยางอนามัย สายยางยืด และยางฟองน้ำ เป็นต้น ยางธรรมชาติที่ผลิตขึ้นเพื่อส่งออกโดยส่วนใหญ่จะเป็นลักษณะในรูปของยางดิบ นอกจากการส่งออกแล้วภายในประเทศก็มีการใช้ยางธรรมชาติสำหรับแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูปแล้วส่งออก และ ยางผสมสารเคมี หรือยางที่ปรับสมบัติแล้ว เป็นต้น แต่ปริมาณการใช้ยางเพื่อการแปรรูปภายในประเทศยังอยู่ในปริมาณที่ต่ำมาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการกระตุ้น และการวิจัยพัฒนาเพื่อให้เกิดการแปรรูปยางเป็นผลิตภัณฑ์ยาง หรือยางธรรมชาติรูปแบบใหม่ เพื่อให้เกิดการเพิ่มมูลค่ายางได้มากขึ้น

น้ำยางข้นเป็นวัตถุดิบหลักที่สำคัญในอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการชุบหรือจุ่ม (Dipping Products) เช่น ถุงมือทางการแพทย์ ถุงมือใช้งานในบ้าน ถุงยางอนามัย และลูกโป่ง เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้น้ำยางข้นปริมาณสูงในการทำผลิตภัณฑ์สายยางยืด และ ยางฟองน้ำ โดยเฉพาะฟองน้ำยางธรรมชาตินิยมทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิดด้วยกัน เช่น สื่อการเรียนการสอนสำหรับเด็กนักเรียน นักศึกษา ของเล่น ของที่ระลึก เฟอร์นิเจอร์ ของตกแต่งภายในและภายนอกอาคาร ที่นอน หมอน ยางรองพรม วัสดุกันกระแทก เป็นต้น กระบวนการผลิตฟองน้ำยางธรรมชาติสามารถทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก ทั้งนี้จะมีความแตกต่างกันบ้างในเรื่องเทคนิควิธีการผลิตและสูตรเฉพาะของนักเทคโนโลยียางหรือนักวิจัย ฟองน้ำยางธรรมชาติมีสมบัติที่โดดเด่น คือ มีความยืดหยุ่นดี นิ่ม มีความหนาแน่นต่ำ เบา อายุการใช้งานนาน ความสามารถคืนรูปกลับสู่สภาพเดิมได้ดีเมื่อถูกแรงกระทำ ซึ่งเป็นสมบัติของฟองน้ำยางธรรมชาติที่ทุกคนยอมรับ

ของฝากหรือของที่ระลึก (Souvenir) เป็นสิ่งจำเป็นของสังคมไทย เป็นประเพณี วัฒนธรรมสืบต่อกันมาโดยสร้างความเมตตา ความเอื้ออาทรและสร้างความรักความผูกพันซึ่งกันและกัน ของที่ระลึกโดยทั่วไปมีหลากหลายชนิด หลายประเภท ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม สังคม ประเพณีนิยม หรือตามอัตลักษณ์และสัญลักษณ์ของแต่ละองค์กร หน่วยงาน จังหวัด หรือแต่ละประเทศ ของที่ระลึกเหล่านั้น ผลิตจากวัสดุที่แตกต่างกัน อาจใช้วัสดุ เช่น โลหะ ไม้ เซรามิก หรือ วัสดุอื่น เป็นต้น

ประเทศไทยมีนักท่องเที่ยวเข้ามาจำนวนมากในแต่ละปี เนื่องจากเป็นเมืองที่สวยงาม สะอาด มีสถานที่ท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียง มีความงดงาม มีประวัติศาสตร์ ประเพณีวัฒนธรรมที่ดีงาม ทำให้มีของที่ระลึกเกิดขึ้นมากมายและหลากหลายรูปแบบ ของที่ระลึกส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุหลายชนิด เช่น เส้นใย เซรามิก ปูนปลาสเตอร์ ปูนซีเมนต์ขาว ยางธรรมชาติ และไม้เทพทาโร เป็นต้น ไม้เทพทาโรเป็นไม้ที่หายากราคาแพง กระบวนการผลิตเป็นของที่ระลึกต้องอาศัยช่างที่มีความชำนาญเฉพาะด้านและต้องใช้เวลานานกว่าจะทำผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะใช้น้ำยางธรรมชาติซึ่งผลิตในจังหวัดตรังมาศึกษา วิจัย เพื่อพัฒนาเป็นของที่ระลึกโดยออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับอัตลักษณ์ สัญลักษณ์ ตามความต้องการของแต่ละจังหวัด และใช้น้ำยางธรรมชาติผลิตเป็นฟองยาง โดยศึกษาสูตรการทำฟองยางและเทคนิควิธีการที่สามารถทำได้ง่าย เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ นำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แต่ละรูปแบบ ทั้งนี้เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้น้ำยางธรรมชาติมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น และขยายผลส่งเสริมเป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อม ขนาดกลาง จนถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ผลิตเป็นเชิงพาณิชย์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษารูปแบบและผลิตงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากฟองยางธรรมชาติ

1.2.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 ของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ เรื่องกระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ออกแบบรูปแบบแม่พิมพ์ และผลิตแม่พิมพ์โดยใช้ยางซิลิโคน ใช้น้ำยางธรรมชาติชนิดข้นในการทำผลิตภัณฑ์งานประติมากรรมภาพนูนต่ำ โดยศึกษาและออกสูตรฟองยาง สารเคมีเกี่ยวกับการทำฟองยางและผลิตฟองยางโดยกระบวนการแบบทำทีละชิ้น (Batch) โดยเน้นการผสมสารเคมีรวมเป็นชุดเพื่อความง่าย สะดวกในการปฏิบัติงานของนักศึกษาและเพื่อง่ายต่อการขยายผลให้กับกลุ่มเกษตรกรและหน่วยงานหรือองค์กรที่จะนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป

1.3.2 พัฒนาเรื่องการผลิตฟองยางจากยางธรรมชาติ รายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 รหัสวิชา 3122–2005 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

1.3.3 หาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 รหัสวิชา 3122–2005 ของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ เรื่องกระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง

1.3.4 ตัวแปรที่ศึกษา

1.3.4.1 ตัวแปรอิสระ คือ รูปแบบและผลิตภัณฑ์งานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากฟองยาง

1.3.4.2 ตัวแปรตาม ประกอบด้วย

1) สูตรฟองยาง ผลิตภัณฑ์จากฟองยาง

2) ประสิทธิภาพของเอกสารประกอบการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง

3) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน

4) ความพึงพอใจของผู้เรียน

1.3.5 ระยะเวลาการทำวิจัย 9 เดือน

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

นิยามเชิงปฏิบัติการ

1.4.1 รูปแบบการผลิตงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ หมายถึง การออกแบบรูปทรงผลิตภัณฑ์ การผลิตแม่พิมพ์ และการออกสูตรฟองยาง ดังวิธีการคือออกแบบรูปทรงของตัวผลิตภัณฑ์ได้ตามความต้องการ ผลิตแม่พิมพ์ด้วยยางซิลิโคนตามรูปทรงของแบบนั้น หลังจากนั้นออกสูตรการผลิตฟองยางสำหรับทำผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ด้วยฟองยางโดยใช้แม่พิมพ์ที่ได้ผลิตขึ้น

1.4.2 พฤติกรรมการเกิดฟอง หมายถึง ลักษณะของน้ำยางเติมสารเคมีและตีหรือปั่นให้เกิดฟองด้วยเครื่องตีฟองเพื่อให้มีขนาดเซลล์ใหญ่ขึ้น จะเกิดฟองมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสารเคมีหรือส่วนผสม

1.4.3 ฟองยาง หมายถึง น้ำยางผสมสารเคมีตีหรือปั่นให้มีขนาดเซลล์ใหญ่ขึ้นและนำไปอบสุกด้วยอากาศร้อนเพื่อการคงรูป มีลักษณะนิ่ม เมื่อกดทับจะยุบตัวและคืนรูปกลับเมื่อปล่อยแรงกด

1.4.4 วัลคาไนซ์ หมายถึง ยางหรือฟองยางทำให้โครงสร้างเกิดการเชื่อมโยง ด้วยความร้อนทำให้เกิดการคงรูปคือรักษารูปทรงเดิมจะมีความคงทนต่อแรงกระทำและมีสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น

1.4.5 ประสิทธิภาพของเอกสารประกอบการเรียน หมายถึง เอกสารประกอบการเรียนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 รหัสวิชา 3122-2005 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ใช้ตามเกณฑ์ที่กำหนด 80/80

80 ตัวแรก หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ผู้เรียนสามารถทำแบบฝึกหัดได้ถูกต้อง โดยคิดเป็นร้อยละ

80 ตัวหลัง หมายถึง ค่าคะแนนเฉลี่ยที่ผู้เรียนสามารถทำแบบทดสอบหลังเรียน ได้ถูกต้องโดยคิดเป็นร้อยละ

1.4.6 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน หมายถึง ผลการเรียนรู้ของผู้เรียนด้านกระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยางหลังจากการจัดการเรียนรู้ โดยเปรียบเทียบกับก่อนเรียน โดยใช้แบบทดสอบ จำนวน 20 ข้อ

1.4.7 ความพึงพอใจของผู้เรียน หมายถึง ความรู้สึกของผู้เรียนที่มีต่อการสอนด้วยเอกสารประกอบการเรียน ตามกระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ตามระดับความพึงพอใจ 5 ระดับ คือ 5 หมายถึง ความพึงพอใจมากที่สุด 4 หมายถึง ความพึงพอใจมาก 3 หมายถึง ความพึงพอใจปานกลาง 2 หมายถึง ความพึงพอใจน้อย และ 0 ไม่มีความพึงพอใจ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากผลการวิจัยครั้งนี้ สามารถแยกเป็นข้อย่อยได้ดังนี้

1.5.1 ประโยชน์ในเชิงวิชาการ

ผลการวิจัยและศึกษาก่อให้เกิดความเข้าใจในรูปแบบการผลิตแม่พิมพ์จากยางซิลิโคนสูตรการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากฟองยางคงที่ มีสมบัติแน่นอน เช่น พฤติกรรมการจับตัวและคงรูป ความหนาแน่น และความสามารถในการคืนรูป สามารถนำมาใช้งานได้ง่าย และปลอดภัย เป็นต้น ผู้เรียนที่ใช้งานวิจัยนี้ในการเรียน มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 รหัสวิชา 3122-2005 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง สูงกว่าผู้เรียนปกติ

1.5.2 ประโยชน์ต่อองค์กรและหน่วยงาน

การวิจัยฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาการเรียนการสอน ในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ทั้งยังสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยี องค์ความรู้สู่ชุมชนและภาคอุตสาหกรรมได้ด้วย ผลของงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นจะนำไปลงตีพิมพ์ในวารสารต่าง ๆ ซึ่งเป็นการเผยแพร่ชื่อเสียงให้กับวิทยาลัยและชื่อเสียงให้กับจังหวัด และจดลิขสิทธิ์ จดสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

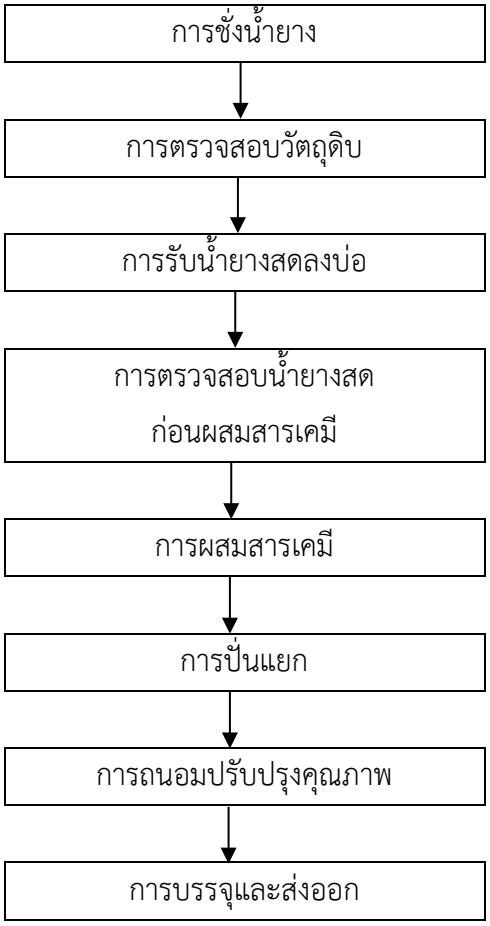
2.1 ทฤษฎี และกรอบแนวความคิดของการวิจัย

2.1.1 ทฤษฎีการได้มาของน้ำยาง

2.1.1.1 น้ำยาง เป็นของเหลวสีขาวถึงขาวปนเหลืองขุ่นข้นอยู่ในท่อน้ำยาง ซึ่งเรียงตัวกันอยู่ในเปลือกของต้นยาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเปลือกด้านในซึ่งอยู่กับเยื่อเจริญ การเอาน้ำยางออกจากต้นยางจะต้องทำให้ท่อน้ำยางขาดออกจากกัน ในน้ำยางจะมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางและส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง ตามปกติในน้ำยางจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 25 – 45% เนื้อยางแห้งนี้เอง เป็นวัสดุมหัศจรรย์ที่มนุษย์นำไปใช้ประโยชน์ต่อการดำรงชีวิต จนปัจจุบันกลายเป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีวิตประจำวันของสังคมมนุษย์

น้ำยางมีความหนาแน่น 0.975 – 0.980 กรัม/มิลลิเมตร มี pH ประมาณ 6.5 – 7.0 อนุภาคยางมีรูปร่างกลมหรือรูปลูกแพร์ ขนาด 0.05 – 5 ไมครอน มีอนุภาคต่าง ๆ แขวนลอยอยู่ในของเหลว อนุภาคเหล่านี้มีประจุเป็นลบ ผลักกันอยู่ตลอดเวลา ทำให้อนุภาคเหล่านั้นแขวนลอยและคงสภาพเป็นน้ำยางอยู่ได้ จนกว่าจะมีสภาพแวดล้อมและปัจจัยต่าง ๆ มารบกวน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะทำให้น้ำยางเสียเสถียรสภาพและจับตัวกันเป็นก้อน

2.1.1.2 ขั้นตอนการผลิตน้ำยางข้น เริ่มจากชาวสวนเก็บรวบรวมน้ำยางสดและเติมสารรักษาสภาพน้ำยางเพื่อไม่ให้ยางจับตัว ซึ่งประกอบด้วย แอมโมเนีย และ TMTD/ZnO หรือ T/Z แล้วบรรจุลงถัง เพื่อขนส่งมาจำหน่ายให้กับโรงงาน เมื่อน้ำยางสดได้มาถึงโรงงานแล้วจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนการผลิต ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำยางข้น

1) การชั่งน้ำยาง

เมื่อน้ำยางมาถึงโรงงาน จะผ่านขั้นตอนการชั่งน้ำหนัก เพื่อหาน้ำหนักสุทธิก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

2) การตรวจสอบวัตถุดิบ

เมื่อรถนำน้ำยางสดขึ้นชั่งน้ำหนักแล้ว เจ้าหน้าที่จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำยางสด เพื่อจะหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC) ทดสอบค่าจำนวนกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid Number) ทดสอบเปอร์เซ็นต์แอมโมเนีย (%NH_3), ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำยาง (%TSC) และค่าแมกนีเซียม (Mg) ก่อนปล่อยลงสู่บ่อพัก

3) การรับน้ำยางสดลงบ่อ

การรับน้ำยางสดลงบ่อ มีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บรวบรวมน้ำยางในบ่อ โดยน้ำยางสดจะถูกถ่ายผ่านตะแกรงกรองลงสู่รางรับน้ำยางสด เพื่อลำเลียงลงบ่อพักน้ำยางสด

4) การตรวจสอบน้ำยางสดก่อนผสมสารเคมี

การผสมสารเคมีเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง เพื่อให้ทราบสถานะและคุณสมบัติของน้ำยางก่อนเติมสารเคมี เช่น ตรวจสอบ % DRC การทดสอบค่า VFA No (Valatite Fatty Acid Number) ตรวจสอบ % NH_3 % TSC ทดสอบแมกนีเซียม (Mg)

5) การผสมสารเคมี

การผสมสารเคมี จะมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำยางให้เป็นไปตามสูตรที่ต้องการ

6) การปั่นแยก

การปั่นแยก อาศัยหลักการคือ น้ำยางธรรมชาติเป็นสารละลายที่จัดอยู่ในระบบคอลลอยล์ (Colloid) ที่ประกอบด้วยส่วนอนุภาคยาง (Rubber Particle) แขวนลอยกระจัดกระจายนั้นจะมากกว่าเซรั่ม ดังนั้นอนุภาคยางจึงมีแนวโน้มที่จะลอยตัวสู่ผิวหน้าของน้ำยาง การเคลื่อนตัวของน้ำยางขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ซึ่งถ้าหากสามารถเพิ่มแรงดึงดูดได้ก็จะช่วยเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางได้

7) การถนอมปรับปรุงคุณภาพ

น้ำยางข้นที่ผ่านการปั่นแล้วจะถูกเก็บไว้ในแทงค์ เพื่อรอการปรับปรุงคุณภาพให้ได้ตามสูตรหรือสเปคที่ลูกค้าต้องการ โดยการสุ่มตัวอย่างแล้วนำมาทดสอบ

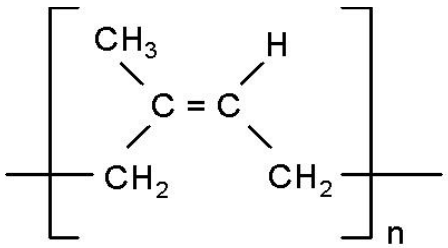
8) การบรรจุและส่งออก

น้ำยางที่ผ่านการปรับคุณภาพและเป็นไปตามสเปคที่ลูกค้าต้องการแล้ว การบรรจุและส่งออกจะต้องเป็นไปตามที่ลูกค้าต้องการ แล้วแต่ภาชนะบรรจุ

2.1.1.3 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) ส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยาง Hevea Brazilliensis ซึ่งมีต้นกำเนิดจากลุ่มแม่น้ำอะเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีดได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวข้นและมีเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber) ประมาณ 30% แขวนลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้น 60% เรียกว่า น้ำยางข้น (Concentrated Latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางข้นส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมถุงมือยาง และถุงยางอนามัย เป็นต้น แต่เมื่อนำน้ำยางสดที่เหลือได้มาเติมกรดเพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นก็รีดยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด (Two Roll Mill) และนำไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นก่อนจะนำไปอบรมควันที่อุณหภูมิประมาณ 60 – 70 °C เป็นเวลา 3 วัน เราก็จะได้ยางแผ่นรมควัน

นอกจากยางแผ่นรมควันแล้ว อุตสาหกรรมส่วนใหญ่เริ่มเปลี่ยนมาใช้ยางแท่งหรือยางก้อนเป็นวัตถุดิบ ทั้งนี้เนื่องจากยางแท่งเป็นยางที่มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่ายางแผ่นรมควัน ผ่านการทดสอบและจัดชั้น เพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ วัตถุดิบของการผลิตยางแท่ง ได้แก่ น้ำยางหรือยางแผ่นขึ้นอยู่กับเกรดของยางแท่งที่ต้องการผลิต เช่น ถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR5L ซึ่งมีสีจางมาก จำเป็นต้องใช้น้ำยางเป็นวัตถุดิบ หรือถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR2O ซึ่งเป็นเกรดที่มีสิ่งเจือปนสูงและมีสีเข้ม ก็อาจใช้ยางแผ่นหรือเศษยางเป็นวัตถุดิบ เป็นต้น ส่วนกระบวนการผลิตยางแท่งค่อนข้างยาก ต้องอาศัยเครื่องจักรที่มีราคาแพงและต้องมีการควบคุมคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นราคายางแท่งจึงสูงกว่ายางแผ่นรมควัน

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ cis – 1, 4 – Polyisoprene กล่าวคือ มี Isoprene $(C_5H_8)_n$ โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15 – 20, 000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยาง สามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด จึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึก เนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึก เนื่องจากการยืดตัว (Strain Induced Crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear Resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (Abrasion Resistance) สูง



ภาพที่ 2.2 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ

ลักษณะเด่นอีกอย่างของยางธรรมชาติ คือ ความยืดหยุ่น (Elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากกระทำกับมันหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (Tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (Assemble) ชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กล่าวคือ ยางจะอ่อนเยิ้มและเหนียว เหนอะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยาง จำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่าง ๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่าง ๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสม ยางผสมหรือยางคอมปาวด์ (Rubber Compound) ที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่าวัลคาไนเซชั่น (Vulcanization) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้ เราเรียกว่า “ยางสุกหรือยางคงรูป” (Vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้จะเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนักและมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น ยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางต่าง ๆ มากมาย เนื่องจาก

1) ยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรง และมีความยืดหยุ่นสูงมากจึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น

2) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (dynamic Properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (Heat Build – up) ที่เกิดขณะใช้งานต่ำและมีสมบัติการเหนียวติดกัน (Tack) ที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น

3) ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Resistance) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเป๋าน้ำร้อน เพราะในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้าในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงต้องมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ยางต่าง ๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลัก คือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (Double Bond) อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซน โดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารในกลุ่มของ Antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีขั้ว น้ำมัน และสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับต่าง ๆ ดังกล่าว

2.1.2 ทฤษฎีน้ำยางผสมสารเคมีและการทดสอบน้ำยางผสมสารเคมี

2.1.2.1 หลักการสำคัญของการใส่สารเคมีลงในน้ำยาง เพื่อเตรียมเป็นน้ำยางผสมสารเคมี คือ สารเคมีที่ใส่เข้าไปจะต้องเข้ากันได้กับตัวกลาง คือ น้ำ สารเคมีจะต้องมี pH เหมือนกับน้ำยาง (ต้องมีค่า pH เกิน 9) และสารเคมีควรมี Stabiliser เช่นเดียวกับน้ำยาง กล่าวคือ สารเคมีที่ใส่ในน้ำยางจะต้องอยู่ในรูป Dispersion, Emulsion และ Solution ขึ้นอยู่กับสมบัติของสารเคมีนั้น ๆ

ลำดับการเติมสารเคมีลงผสมในน้ำยางโดยทั่วไปควรมีลำดับดังนี้

1) สารกลุ่มที่ช่วยความเสถียรในน้ำยาง
2) กำมะถัน สารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป สารป้องกันยางเสื่อม
3) สี สารตัวเติม
4) ซิงค์ออกไซด์
5) สารละลายที่ช่วยทำให้น้ำยางหนืด

ลำดับการเติมข้างต้นนี้ มิได้หมายความว่าจะเปลี่ยนแปลงไม่ได้ แต่ลำดับดังกล่าวเหมาะสมกับสูตรการผลิตโดยส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตาม เรื่องสำคัญของการผสม คือ การกวนผสม เพราะความเสถียรของน้ำยางต่อแรงกวนมีจำกัด ฉะนั้นการกวนอย่างรุนแรงจะลดความเสถียรของน้ำยาง และสร้างปัญหาได้ ความหนืดของน้ำยางของสารดิสเพิสชั่น (Dispersion) และสารละลาย (ยกเว้นการช่วยเพิ่มความหนืด) ต้องต่ำ เพื่อไม่จำเป็นต้องกวนผสมอย่างรุนแรงในการที่จะให้ได้น้ำยางผสมสารเคมีที่เป็นเนื้อเดียวกันอย่างดี การกวนด้วยความเร็วต่ำก็พอ การใช้ใบกวนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพอที่จะเคลื่อนไหวน้ำยางผสมกันอย่างทั่วถึง ความเร็วในการกวนควรเร็วประมาณ 50 – 100 รอบต่อนาที ในระหว่างการเติมสารเคมีต่าง ๆ และความเร็วควรอยู่ระหว่าง 20 – 40 รอบต่อนาที ในขณะบ่มน้ำยางที่ผสมสารเคมีเรียบร้อยแล้ว

ระยะเวลาในการกวนน้ำยางผสมสารเคมี ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการกวนและปริมาณน้ำยางผสม ระยะเวลาของการกวนผสมอาจประมาณ 30 – 60 นาที

2.1.2.2 การเก็บบ่มน้ำยางผสมสารเคมี

1) การเก็บบ่มน้ำยาง คือ การเก็บน้ำยางที่ผสมสารเคมีแล้วไว้ระยะหนึ่ง (Maturation)
2) วิธีการบ่ม นำน้ำยางและสารเคมีที่ผสมกันแล้ว กวนตลอดเวลาอย่างช้า ๆ ความเร็วในการกวนประมาณ 20 – 30 รอบต่อนาที
3) การบ่มจะใช้เวลาประมาณ 48 – 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 °C
4) น้ำยางที่ได้จะมีคุณภาพที่สม่ำเสมอ และทำงานได้ดีขึ้น
5) ขณะบ่ม ฟองอากาศเล็ก ๆ ที่อยู่ในน้ำยางจะลอยขึ้นลดการรั่วของผลิตภัณฑ์
6) ทำให้มีการแลกเปลี่ยน Surfactant ที่ผิวอนุภาคของยาง
7) ทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์บางส่วน

8) ทำให้มี Gel Strength สูงขึ้น ไม่พองในขณะที่อบสุก

9) อุณหภูมิและระยะเวลาบ่ม เป็นตัวแปรสำคัญ

- อุณหภูมิสูง ให้ระยะเวลาสั้น
- อุณหภูมิห้อง ใช้เวลา 1 – 3 วัน (ขึ้นอยู่กับสูตรยาง)
- การบ่มนานเกินไปเกิดการวัลคาไนซ์ แต่ละอนุภาคจนเหลื่อมเข้ามาไม่ได้

ผลิตภัณฑ์ เช่น ถุงมือจะเปื่อย เป็นต้น

2.1.2.3 การทดสอบน้ำยางผสมสารเคมี

ภายหลังการผสมน้ำยางผสมสารเคมีแล้ว ควรทำการตรวจสอบสมบัติที่จำเป็นของน้ำยางผสมสารเคมี (Compounded Latex) ก่อนใช้งานหรือระหว่างการใช้งาน การทดสอบต่าง ๆ ได้แก่ การทดสอบปริมาณสารของแข็ง (TSC, Total Solid Content) การทดสอบความหนืด (Viscosity) ความเสถียรด้านความหนืด (Viscosity Stability) ความคงตัวต่อการปั่น (Mechanical Stability) ความเป็นกรด – ด่าง (pH – Value) และจะต้องตรวจระดับการเกิดปฏิกิริยายางคงรูป (Pre – Vulcanization) หรือระดับของการบ่มน้ำยางผสม (Maturity)

การตรวจระดับการเกิดปฏิกิริยายางคงรูป หรือระดับของการบ่มน้ำยางผสม มี 4 วิธีการ คือ

1) Chloroform Test
2) Quick Swelling Test
3) Equilibrium Swelling Test
4) Prevulcanizate Relaxed Modulas (PRM)

วิธีการทดสอบที่ง่ายและนิยมใช้กันมาก มีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีการทดสอบ Chloroform และวิธีการทดสอบ Swelling ดังนี้

1) วิธีการทดสอบ Chloroform Test เป็นการทดสอบโดยการผสมน้ำยางผสมสารเคมีกับคลอโรฟอร์มในปริมาณที่เท่า ๆ กัน กวนจนยางจับตัวกันเป็นก้อน สังเกตก้อนยางจับตัว และสามารถจัดเกรดก้อนยางดังนี้คือ

- No. 1 ก้อนยางเหนียวเหมือนหมากฝรั่ง เมื่อยืดออกเป็นใย
- No. 2 ยางจับตัวเป็นก้อนเดียวกัน ยืดออกน้อย เมื่อดึงแล้วขาด
- No. 3 ก้อนยางไม่เหนียว ขาดออกจากกันได้ง่าย
- No. 4 ก้อนยางเป็นผงร่วน

ระดับที่เหมาะสมกับการใช้งาน คือ ระดับ - No. 2 ถึง - No. 4

2) วิธีการทดสอบ Swelling Test ทดสอบโดยการทำน้ำยางผสมสารเคมีให้เป็นฟิลม์แห้งบางแล้ว แช่ในตัวทำละลาย เช่น เบนซิน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) Cyclohexene ภายหลังจากแช่ในตัวทำละลาย 30 นาที จึงวัดเส้นผ่าศูนย์กลาง โดยการทำซ้ำเพื่อประเมินหาระดับการเกิดปฏิกิริยายางคงรูป ซึ่งระบุเป็นสัดส่วนการบวม (Swelling Ratio) ที่คำนวณมาจากเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นตัวอย่างยางภายหลังการแช่ในตัวทำละลาย 30 นาที หารด้วยเส้นผ่าศูนย์กลางก่อนการแช่ในตัวทำลาย และสัดส่วนที่ได้มีความหมายดังนี้

มากกว่า	2.6	=	Unvulcaniced
	2.0 – 2.6	=	Lightly Vulcanised
	1.8 – 2.0	=	Moderately Vulcanised
น้อยกว่า	1.75	=	Fully Vulcanised

2.1.3 ทฤษฎีการผลิตยางฟองน้ำ หลักการสำคัญของการผลิตยางฟองน้ำ ประกอบด้วยกระบวนการหลัก 2 กระบวนการ คือ กระบวนการผลิตฟองน้ำแบบทาลาเลย์ และกระบวนการผลิตฟองน้ำแบบดันลอป ทั้ง 2 กระบวนการ มีความแตกต่างในเรื่องวิธีการและเทคนิค แต่ขั้นตอนหลักของกระบวนการผลิตฟองน้ำ คือ การทำให้น้ำยางเกิดเป็นฟองอากาศหรือฟองของก๊าซต่าง ๆ แล้วทำให้น้ำยางที่เป็นฟองแล้วเกิดเจลในเบ้าหรือในบริเวณที่กำหนด จากนั้นการทำให้ฟองยางสุกหรือการวัลคาไนซ์ฟองยางที่ได้ ดังกระบวนการผลิตฟองน้ำดังนี้

2.1.3.1 กระบวนการแบบทาลาเลย์

วิธีการของ Joseph Talalay ซึ่งคิดค้นราวปี ค.ศ. 1936 เรียกว่ากระบวนการแบบทาลาเลย์ (Talalay Process) (Blackley, 1997) ซึ่งกระบวนการนี้ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง กระบวนการแบบทาลาเลย์ในปัจจุบันสามารถสรุปโดยย่อได้ดังนี้ เริ่มต้นจากการทำให้น้ำยางที่ปั่นเป็นฟองโดยทางกลทำให้ฟูตัวโดยใช้ระบบสูญญากาศ แล้วใช้ความเย็นทำให้ฟองยางเกิดการเจล ซึ่งเทคนิคความเย็นนี้ใช้ส่วนผสมของเอทิลีนไกลคอล และน้ำให้ได้อุณหภูมิประมาณ -30 °C หล่อระบบเบ้าที่บรรจุฟองน้ำยางที่ฟูตัวแล้วเพื่อให้ฟองยางที่ได้อุณหภูมิต่ำ จึงผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปที่เบ้าระบบสูญญากาศ ซึ่งได้เปลี่ยนเป็นส่วนผสมของคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นจึงอุ่นเบ้าให้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 2 °C, 4 °C และต่อมาเพิ่มเป็น 38 °C จากนั้นเพิ่มขึ้นเป็น 110 °C ตามลำดับ เพื่อให้เกิดการวัลคาไนซ์

2.1.3.2 การผลิตยางฟองน้ำโดยกระบวนการแบบดันลอป

หลักการและขั้นตอนโดยสังเขปของกระบวนการของดันลอป มีดังต่อไปนี้ วัตถุเริ่มต้นใช้น้ำยางธรรมชาติข้น (Klempner and Frisch, 1991) ขั้นแรกจะทำการไล่แอมโมเนียในน้ำยางให้ได้ตามปริมาณที่ต้องการ จากนั้นนำน้ำยางที่ไล่แอมโมเนียแล้วเติมสารเคมีต่าง ๆ ได้แก่ สบู่ สารวัลคาไนซ์ สารตัวเร่ง สารช่วยเกิดฟอง สารป้องกันการเสื่อมของยาง สารตัวเติม ซึ่งสารเหล่านี้

อาจเติมในรูปสารแขวนลอย (Dispersion) หรือสารละลาย (Solution) หรืออิมัลชั่น (Emulsion) ทั้งนี้แล้วแต่ธรรมชาติของสารนั้น ๆ การผสมสารเคมีต่าง ๆ อาจจะแบ่งลำดับการใส่สารเคมีเป็นสองช่วง โดยผสมส่วนหนึ่งในช่วงแรกแล้วทิ้งน้ำยางไว้ระยะหนึ่ง (Maturation) จึงใส่ส่วนที่เหลือในช่วงที่สองหลังจากปั่นน้ำยางเป็นฟอง ขณะที่การปั่นฟองเกือบสมบูรณ์ให้ใส่สารก่อเจลเสริม และซิงค์ออกไซด์ที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอย จากนั้นใส่สารก่อเจลหลักเป็นตัวสุดท้าย แล้วจึงเทฟองยางลงในเบ้าอะลูมิเนียม ฟองยางเริ่มมีการเจลอย่างช้า ๆ ในเบ้า ซึ่งเรียกระบบนี้ว่าการทำให้เกิดการเจลอย่างช้า ๆ (Delayed Action Gelling System) จากนั้นนำฟองน้ำไปวัลคาไนซ์ฟองน้ำ โดยใช้ความร้อนซึ่งปกติใช้ไอน้ำ ขั้นต่อไปเปิดเบ้าลอกฟองยางที่วัลคาไนซ์ขณะยังเปียกอยู่ออกจากเบ้า นำไปล้างน้ำเพื่อกำจัดสารเคมีที่ตกค้าง และสามารถละลายน้ำได้ เช่น สบู่ หรือสารเคมีอื่น หลังจากนำไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 – 70 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

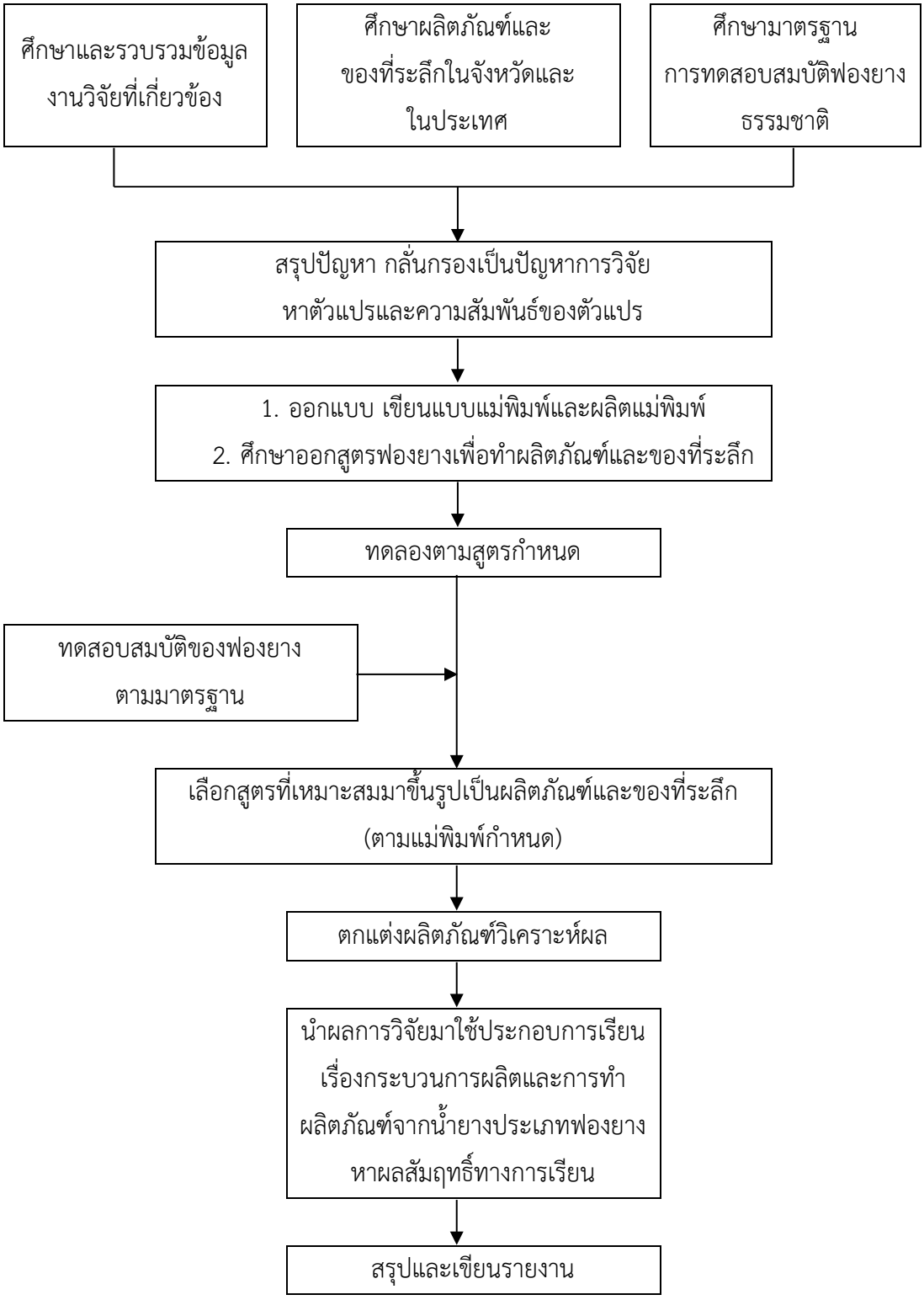
2.1.4 ทฤษฎีประติมากรรม

ประติมากรรม เป็นงานศิลปะที่แสดงออกด้วยการปั้น แกะสลัก หล่อ และการจัดองค์ประกอบรูปแบบอื่น ลงบนสื่อต่าง ๆ เช่น ไม้ หิน โลหะสัมฤทธิ์ เป็นต้น เพื่อให้เกิดรูปทรง 3 มิติ มีความลึกหรือนูนหนา สามารถสื่อถึงสิ่งต่าง ๆ สภาพสังคม วัฒนธรรม รวมถึงจิตใจของมนุษย์โดยชิ้นงานผ่านการสร้างของประติมากร ประติมากรรมเป็นแขนงหนึ่งของทัศนศิลป์ ผู้ทำงานประติมากรรม มักเรียกว่า ประติมากร

การถ่ายทอดรูปแบบในงานประติมากรรม การถ่ายทอดรูปแบบในงานประติมากรรม หมายถึง กระบวนการในการสร้างงาน โดยอาศัยเทคนิควิธีต่าง ๆ ผ่านวัสดุอุปกรณ์และผ่านสื่อตัวกลางที่นำไปถ่ายทอด เช่น ดิน หิน ปูน ทราย ไม้ เหล็ก เป็นต้น ขึ้นอยู่กับศิลปินผู้สร้างงาน ว่าจะนำไปถ่ายทอดในรูปแบบไหน

ประติมากรรมประเภทนูนต่ำ ได้แก่ งานประติมากรรมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับประติมากรรม ประเภทนูนสูง แต่จะแบนหรือบางกว่าประติมากรรมประเภทนี้ ไม่ปรากฏมากนักในอดีต ซึ่งมักจะได้แก่ ประติมากรรมที่เป็นลวดลายประดับตกแต่ง เช่น แกะสลักด้วยไม้ หิน ปูนปั้น เป็นต้น ในปัจจุบันมีทำกันมากเพราะใช้เป็นงานประดับตกแต่งได้ดี ซึ่งอาจจะปั้นเป็นเรื่องราวที่เกี่ยวกับประวัติศาสตร์ ตามวัตถุประสงค์ของสถาปัตยกรรมที่นำประติมากรรมนั้นไปประกอบ นอกจากนี้ประติมากรรมประเภทนี้ยังใช้ได้ดีในการปั้นเหรียญชนิดต่าง ๆ รวมถึงการปั้นเครื่องหมายตราสัญลักษณ์ต่าง ๆ กันอย่างแพร่หลาย

2.2 กรอบกระบวนการทำวิจัย



ภาพที่ 2.3 กรอบกระบวนการทำวิจัย

2.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง

สุรศักดิ์ เทพทอง (2545) พบว่า แคลเซียมคาร์บอเนต และเคลย์แบบผงใส่ในฟองยางได้สูงถึง 80 phr ฟองน้ำยางธรรมชาติที่ได้ มีสมบัติความหนาแน่นและความสามารถในการคืนรูปในระดับดี

สุรศักดิ์ เทพทอง (2549) พบว่า การใช้สารเจลเสริมดีพีจี ปริมาณ 0.5 phr ในการทำฟองน้ำ ทำให้ฟองยางมีเนื้อฟองละเอียดเวลาเจลของฟองยาง 3 นาที ได้ฟองน้ำจากยางธรรมชาติผิวสวย สม่ำเสมอและหดตัวน้อย

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี (2548) ผลความหนืดของน้ำยางต่อการทำยางฟองน้ำ ความหนืดของน้ำยางมีผลต่อพฤติกรรมการเตรียมฟองยาง และสมบัติของยางฟองน้ำ ในกระบวนการผลิตฟองน้ำแบบดันลอปพบว่าการเพิ่มปริมาณของสารเพิ่มความหนืด (Carboxyl Methy Cellulose, CMC) ความดึงผิวของน้ำค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น ทำให้การตีฟองยากขึ้น ต้องใช้ระยะเวลาการตีฟองนานขึ้น เวลาเจลของฟองจะลดลงตามสัดส่วนของความหนืดน้ำยางที่เพิ่มขึ้น ยางฟองน้ำที่วัลคาไนซ์แล้วมีสมบัติการหดและยุบตัวลดลงตามความหนืดที่เพิ่มสูงขึ้นในการผลิตฟองน้ำ พบว่า การใส่สารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต (0, 20, 40, 60, 80 และ 100 phr) ร่วมกับ CMC 0.1, 0.25, 0.5, 1 และ 1.5 phr) ในน้ำยางคอมปาวด์ที่ระดับ TSC เท่ากัน มีผลทำให้ฟองน้ำที่วัลคาไนซ์แล้ว มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวและยุบตัวลดลง ความหนาแน่นและความแข็งของฟองน้ำเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าฟองน้ำที่ไม่ใส่สารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตร่วมกับ CMC

NR Technical Bulletin (1966) รายงานว่า ระยะเวลาในการเจลของยางฟองน้ำ มีค่าขึ้นกับอุณหภูมิ ปริมาณของสารเจลหลัก และซิงค์ออกไซด์ ชนิดและปริมาณของสารช่วยเพิ่มความเสถียรของน้ำยาง รวมทั้งสมบัติพื้นฐานของน้ำยาง

Sterm (1954) รายงานว่า ระยะเวลาในการเจลของยางฟองน้ำ (Gelling Time) ภายใต้อิทธิพลของโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่าง โดยเฉพาะอุณหภูมิขณะเกิดการเจล พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้อัตราเร็วของการเจลเร็วขึ้น

Talalay (1938) รายงานว่า เพื่อป้องกันการเกิดเป็นฟิล์มที่ชั้นผิว (Surface Skin) ของฟองน้ำ เข้าที่ใช้ถูกเคลือบด้วยสารที่สามารถลดแรงตึงผิวของน้ำยาง และสารเหล่านี้จะต้องไม่มีผลกระทบต่อการจับตัวของน้ำยาง โดยสารที่เหมาะสม คือ ซัลโฟเนตโลรอล (Sulphonated Lorol) โดยสามารถใช้ได้ทั้งกับเบ้าที่มีรูพรุน เช่น เบ้าไม้ หรือเบ้าที่ไม่มีรูพรุน เช่น เบ้าโลหะ แต่เบ้าที่เป็นรูพรุน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเบ้าที่ทำจากอะลูมิเนียมจะเหมาะสมมาก

United Stated Rubber (1944) รายงานว่า การผลิตฟองน้ำให้มีความเสถียรของโครงสร้างนั้น สามารถใส่สารตัวเติมได้สูงถึง 200 phr

2.4 ทฤษฎีและวรรณกรรมทางการเรียน

2.4.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

2.4.1.1 ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีผู้ให้ความหมายไว้หลายท่าน คือ ไพศาล หวังพานิช (2536) ได้ให้ความหมายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ว่า เป็นความสามารถหรือคุณลักษณะของผู้เรียนอันเกิดจากการเรียนการสอน วรวิทย์ วศินสรากร (2515) ได้ให้ความหมาย ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ว่า หมายถึง ผลของความสามารถทางวิทยาการที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีต่าง ๆ กู๊ด (Good, 1979) ได้ให้ความหมายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ว่า หมายถึง การเข้าถึงความรู้หรือพัฒนาทักษะทางการเรียน โดยปกติพิจารณาจากคะแนนสอบที่กำหนดให้หรือคะแนนที่ได้จากงานที่มอบหมายจากการรายงานโดยกรมวิชาการ (2520) สรุปความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางงการเรียนว่า หมายถึง

1) ความรู้ที่ได้รับหรือทักษะที่เจริญขึ้นของผู้เรียน โดยการเรียนวิชาต่าง ๆ ในโรงเรียนตามปกติ พิจารณาได้จากคะแนนผลสอบหรือผลงานที่ครูกำหนดให้ทำหรือจากทั้ง 2 อย่าง

2) ผลหรือผลงานที่นักศึกษาได้จากวิชาสามัญ เช่น วิชาคณิตศาสตร์ วิชาประวัติศาสตร์ ซึ่งตรงข้ามกับทักษะที่ได้จากวิชาการฝีมือ หรือพลศึกษาพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525 ได้ให้ความหมาย ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ว่า หมายถึง ความสำเร็จ และเดโช สวนานนท์ (2512) ก็ได้ให้ความหมาย ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ว่า หมายถึง ความสำเร็จที่ได้จากความพยายาม จากการลงแรงเพื่อมุ่งในจุดหมายปลายทางที่ต้องการ หรืออาจจะหมายถึงระดับของความสำเร็จที่ได้รับแต่ละด้านโดยเฉพาะ หรือระดับความสำเร็จที่ได้รับโดยทั่ว ๆ ไปก็ได้ ในขณะที่ ปรียาภรณ์ วงศ์อนุตรโรจน์ (2535) ได้ให้ความหมาย ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ว่า หมายถึง คุณลักษณะความสามารถของบุคคลที่เกิดจากการเรียนรู้ จากการเรียนการสอน ซึ่งสามารถวัดได้โดยสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและประสบการณ์ของการเรียนรู้ที่เกิดจากการฝึกอบรม สอดคล้องกับ พีรยุทธ สันตะวัน (2533) ได้ให้ความหมาย ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ว่า หมายถึง ความสำเร็จ ความสมหวังในการเรียนรู้ ที่รวมทั้งด้านความรู้ ความเข้าใจ ความสามารถและทักษะทางด้านวิชาการของแต่ละบุคคลที่ประเมินได้จากแบบทดสอบ หรือการทำงานที่ได้รับมอบหมาย และผลของการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนนั้น จะทำให้แยกกลุ่มของนักเรียนที่ถูกประเมินออกเป็นระดับต่าง ๆ เช่น ต่ำ ปานกลาง สูง เป็นต้น ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ความรู้ ความสามารถของบุคคลอันเป็นผลมาจากการเรียนการสอน ดังคำกล่าวของ พวงรัตน์ ทวีรัตน์ (2530) ได้ให้ความหมาย ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ว่า หมายถึง คุณลักษณะ รวมถึงความรู้ความสามารถของบุคคลอันเป็นผลมาจากการเรียนการสอน จุดมุ่งหมายของการวัดผลสัมฤทธิ์ เป็นการตรวจสอบระดับ

ความสามารถของสมรรถภาพทางสมองของบุคคลว่าเรียนรู้อะไรบ้าง มีความรู้ด้านใด มากน้อยเพียงใด สามารถสรุปได้ว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คือ ความสำเร็จที่ทั้งผู้สอนและผู้เรียนต้องการเป็นอย่างสูง

Bloom (1979) ได้ศึกษาพบว่าตัวแปรที่เกี่ยวกับการเรียนการสอนอันทำให้ความแปรปรวนในผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จะประกอบด้วยตัวแปร 3 ตัวแปร คือ

1) พฤติกรรมทางด้านการเรียนและความคิดของผู้เรียน (Cognitive Entry Behaviors) หมายถึง ความรู้ ความสามารถ และทักษะทั้งหลายของผู้เรียน

2) ลักษณะนิสัยทางด้านจิตพิสัย (Affective Entry Characteristics) หมายถึง สภาพการณ์ที่ผู้เรียนจะเกิดขึ้นในการเรียนรู้ ได้แก่ ความสนใจ ทัศนคติต่อเนื้อหาวิชา การยอมรับความสามารถของตนเอง ลักษณะนิสัย และบุคลิกภาพ

3) คุณภาพการสอน (Quality of Instruction) หมายถึง ประสิทธิภาพซึ่งผู้เรียนจะได้รับผลสำเร็จในการเรียนรู้ ประกอบด้วย การได้รับคำแนะนำ การมีส่วนร่วมในการเรียนการสอน การเสริมแรงจจากครู การแก้ไขข้อผิดพลาด และการรู้ผลสะท้อนกลับของการกระทำว่าถูกต้องหรือไม่

สุวิมล ว่องวานิช (2546) ได้กล่าวถึง การวัดผลสัมฤทธิ์ของทักษะการปฏิบัติ ดังนี้

1) กำหนดจุดมุ่งหมายของการปฏิบัติ โดยกำหนดงานให้ผู้เรียนปฏิบัติและกำหนดว่าการปฏิบัติงานนั้น ๆ อยู่ภายใต้สถานการณ์อย่างใด

2) ระบุผลของความสามารถด้านการปฏิบัติที่จะวัด โดยเน้นให้เห็นว่าในการปฏิบัติงานนั้นให้ความสำคัญกับการวัดกระบวนการหรือผลงานทั้งสองอย่าง และจะวัดผ่านตัวบ่งชี้อะไร (Indicators) ในขั้นนี้ จึงจำเป็นต้องมีการทำการวิเคราะห์งาน (Job Analysis)

3) กำหนดวิธีการวัดการปฏิบัติงานที่เหมาะสมกับพฤติกรรมที่จะวัดวิธีการที่ใช้จะส่งผลต่อการเตรียมสถานการณ์ทดสอบ เช่น สถานที่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติ เป็นต้น

4) กำหนดความหมายของเครื่องมือที่ใช้ ความเหมาะสมของผู้วัดช่วงเวลาที่ทำการวัด

5) กำหนดวิธีการประเมินผลการวัดโดยกำหนดเกณฑ์การประเมิน จะใช้การประเมินแบบอิงกลุ่ม อิงตัวผู้เรียนหรืออิงเกณฑ์

การวัดและประเมินผลด้านทักษะปฏิบัติงาน ควรจะต้องวัดและประเมินผู้เรียน 3 ด้าน คือ

1) การวัดและประเมินผลความสามารถในการเตรียมงาน

ความสามารถในการเตรียมงานในที่นี้ มิได้หมายถึง ความสามารถในการจัดเตรียมวัสดุเครื่องมือเพียงอย่างเดียว แต่ยังรวมถึงการวัดและประเมินความสามารถทางสติปัญญาในการอ่านแบบ การอ่านคู่มือ การวิเคราะห์งาน การวางแผนขั้นตอนต่าง ๆ ในการทำงาน หลักความปลอดภัยในการทำงาน ตลอดจนการคิดแก้ปัญหาต่าง ๆ ก่อนการทำงาน หรือคาดว่าจะมีขึ้นในการ

ทำงานด้วย ฯลฯ เครื่องมือใช้เก็บข้อมูลต่าง ๆ นี้ก็ได้แก่ แบบทดสอบ แบบสัมภาษณ์ หรือวิธีการอื่น ๆ ที่เหมาะสมกับลักษณะของงานนั้น ๆ

2) การวัดและประเมินผลความสามารถในการปฏิบัติงาน

การวัดและประเมินผลในส่วนนี้ จะต้องกระทำระหว่างผู้เรียนกำลังปฏิบัติงานจริง ๆ ซึ่งผู้วัดและประเมินจะทำหน้าที่สังเกตพฤติกรรมต่าง ๆ ของผู้เรียน โดยมุ่งพิจารณาที่ความถูกต้องในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ การทำงานด้วยความคล่องแคล่ว ชำนาญ ปลอดภัย ประหยัดเวลา และอาจรวมถึงลักษณะนิสัย ความขยันขันแข็งในการทำงาน ความรับผิดชอบต่องานที่ทำด้วยก็ได้

3) การตรวจสอบคุณภาพของผลงานหรือชิ้นงาน

การตรวจสอบนี้ทำหลังจากที่ผู้เรียนได้ปฏิบัติงานเสร็จแล้ว เป็นการวัดและประเมินคุณภาพของชิ้นงานที่สำเร็จรูปว่า มีความประณีตละเอียดละออ ตรงตามขนาดและนำไปใช้งานได้ดีเพียงใด อาจจะโดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสมไปวัดตรวจสอบ หรือบางจุดต้องใช้ความรู้สึกนึกคิดอย่างมีเหตุผล ด้วยประสบการณ์ของครูผู้วัดเองเป็นเครื่องมือตัดสินประกอบกันก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่ทำนั้น ว่าจะตรวจสอบโดยวิธีใดจึงจะเที่ยงตรงมากที่สุด

จากที่กล่าวมา สรุปได้ว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ประกอบด้วย ตัวผู้เรียนต้องมีความพร้อมทั้งด้านร่างกาย สติปัญญา ผู้สอนมีความพร้อมทางคุณวุฒิ ความรู้ ความสามารถ และสิ่งแวดล้อมด้านอื่นช่วยส่งเสริมสนับสนุนด้วย เช่น เครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเรียน สภาพครอบครัวและสังคม เป็นต้น

2.4.1.2 แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

กระทรวงศึกษาธิการ โดยกรมวิชาการ (2546) กล่าวว่า แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นแบบทดสอบที่ใช้วัดระดับความรู้ ความสามารถและทักษะทางวิชาการที่ได้จากการเรียนรู้

สมนึก ภัททิยธานี (2546) กล่าวโดยสรุปว่า แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นแบบทดสอบที่ใช้วัดสมรรถภาพของสมองในด้านต่าง ๆ ที่นักเรียนได้รับจากการเรียนรู้

วิรัช วรรณรัตน์ (2541) กล่าวว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นแบบทดสอบที่ใช้วัดความรู้ ความสามารถของผู้สอบจากการเรียนรู้ โดยต้องการทราบว่าผู้สอบมีความรู้อะไรบ้าง

ผู้ศึกษาสรุปได้ว่า แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นแบบทดสอบที่ใช้วัดสมรรถภาพทางสมองระดับความรู้ ความสามารถ และทักษะทางวิชาการของผู้สอบ จากการเรียนรู้โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะได้ทราบว่าผู้สอบมีความรู้อะไรบ้าง มากน้อยเพียงใด เมื่อผ่านการเรียนไปแล้ว

2.4.2 ความพึงพอใจต่อการเรียนการสอน

2.4.2.1 ความหมายของความพึงพอใจ

นักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของความพึงพอใจไว้ดังนี้

ธีรพงศ์ แก่นอินทร์ (2545) ได้ให้ความหมายความพึงพอใจต่อการเรียนการสอน ว่า เป็นความรู้สึกพึงพอใจต่อการปฏิบัติของนักศึกษาในระหว่างการเรียนการสอน การปฏิบัติของอาจารย์ผู้สอน และสภาพบรรยากาศโดยทั่วไปของการเรียนการสอน

บุญมั่น ธนาศุภวัฒน์ (2547) ได้สรุปความหมายของความพึงพอใจไว้ว่า หมายถึง เจตคติในทางบวกของบุคคลที่มีต่องานหรือกิจกรรมที่เขาทำขึ้น ซึ่งเป็นผลให้บุคคลเกิดความรู้สึกกระตือรือร้น มีความมุ่งมั่นที่จะทำงาน มีขวัญและกำลังใจในการทำงาน สิ่งเหล่านี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการทำงาน ซึ่งส่งผลต่อความสำเร็จและเป็นไปตามเป้าหมายขององค์กร

2.4.2.2 แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับความพึงพอใจ

เฮอร์เบอร์ก และคณะ (1959) ได้ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เป็นมูลเหตุที่ทำให้เกิดความพึงพอใจ เรียกว่า The Motivation Hygiene Theory ทฤษฎีนี้ได้กล่าวถึง ปัจจัยที่ทำให้เกิดความพึงพอใจในการทำงาน มี 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยกระตุ้น (Motivaion Factors) เป็นปัจจัยที่เกี่ยวกับงาน ซึ่งมีผลก่อให้เกิดความพึงพอใจในการทำงาน เช่น ความสำเร็จของงาน การได้รับการยอมรับนับถือ ลักษณะของงาน ความรับผิดชอบ ความก้าวหน้าในตำแหน่งการงาน และปัจจัยค้ำจุน (Hygiene Factors) เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในการทำงานและมีหน้าที่ให้บุคคลเกิดความพึงพอใจในการทำงาน เช่น เงินเดือน โอกาสที่จะก้าวหน้าในอนาคต สถานะอาชีพ สภาพการทำงาน เป็นต้น

สมยศ นาวีการ (2541) กล่าวว่า ในการดำเนินกิจกรรมการเรียนการสอน ความพึงพอใจเป็นสิ่งสำคัญที่จะกระตุ้นให้ผู้เรียนทำงานที่ได้รับมอบหมายหรือต้องการปฏิบัติให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ ครูผู้สอนซึ่งในสภาพปัจจุบันเป็นเพียงผู้อำนวยความสะดวก หรือให้คำแนะนำปรึกษา จึงต้องคำนึงถึงความพอใจในการเรียนรู้ การทำให้ผู้เรียนเกิดความพึงพอใจในการเรียนรู้ หรือการปฏิบัติงานมีแนวคิดพื้นฐานที่ต่างกัน 2 ลักษณะ คือ ความพึงพอใจนำไปสู่การปฏิบัติงาน การตอบสนองความต้องการผู้ปฏิบัติงานจนเกิดความพึงพอใจ จะทำให้เกิดแรงจูงใจในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานที่สูงกว่าผู้ไม่ได้รับการตอบสนอง ผลการปฏิบัติงานนำไปสู่ความพึงพอใจ ความสัมพันธ์ระหว่างความพึงพอใจและผลการปฏิบัติงานจะถูกเชื่อมโยงด้วยปัจจัยอื่น ๆ ผลการปฏิบัติงานที่ดีจะนำไปสู่ตอบแทนที่เหมาะสม ซึ่งในที่สุดการตอบสนองความพึงพอใจ ผลการปฏิบัติงานย่อมได้รับการตอบสนองในรูปของรางวัลหรือผลตอบแทน ซึ่งแบ่งออกเป็นผลตอบแทนภายใน (Intrinsic Rewards) และผลตอบแทนภายนอก (Extrinsic Reward) โดยผ่านการรับรู้

เกี่ยวกับความยุติธรรมของผลตอบแทน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของผลตอบแทนที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับ นั่นคือ ความพึงพอใจ

ที่กล่าวมาสรุปได้ว่าความพึงพอใจต่อการเรียนการสอน หมายถึง ระดับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ของครูผู้สอน ซึ่งเป็นความรู้สึกพึงพอใจต่อการปฏิบัติของผู้เรียนในระหว่างการเรียนการสอน การปฏิบัติของครูผู้สอน และสภาพบรรยากาศโดยทั่วไปของการเรียนการสอน เป็นเจตคติในทางบวกของบุคคลที่มีต่องานหรือกิจกรรมที่ทำขึ้น ซึ่งเป็นผลให้บุคคลเกิดความรู้สึกกระตือรือร้น มีความมุ่งมั่นที่จะทำงาน มีขวัญและกำลังใจในการทำงาน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งเป็นการวิจัยซึ่งมุ่งหวังได้รูปแบบงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ เพื่อนำไปพัฒนาหาประสิทธิภาพและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ในรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 ดังนั้น เพื่อให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดวิธีการดำเนินการวิจัยเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ตอนที่ 1 วิจัยการพัฒนารูปแบบงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ

ตอนที่ 2 การหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ในรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 ดังรายละเอียดตามกระบวนการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 วิจัยการพัฒนารูปแบบงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ

3.1.1 การพัฒนารูปแบบงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ ในการวิจัยได้เตรียมเครื่องมือวัสดุ อุปกรณ์ในการทดลองและขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

1) น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Concentrated Natural Latex) มีปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC) ประมาณ 60.01% ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC) ในน้ำยาง 61.5% และเก็บรักษาด้วยแอมโมเนีย 0.7% ได้มาจากบริษัทศรีตรัง จำกัด (มหาชน)

2) สารละลายโพแทสเซียมโอลิเอต (Potassium Oliate Solution) เตรียมอยู่ในรูปสารละลายเข้มข้น 10% (w/v) โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับกรดโอลิอิก ได้สารละลายสบู่ที่มีลักษณะใส หนืด ได้มาจากบริษัทลักกี้โฟร์ จำกัด

3) ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) ลักษณะเป็นผงสีขาวครีมขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 50% ได้มาจากบริษัทลักกี้โฟร์ จำกัด

4) กำมะถัน (Sulphur, S) เป็นเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง ขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 50% ได้มาจากบริษัทลักกี้โฟร์ จำกัด

5) ซิงค์ไดเอททิลไดไธโอคาร์บาเมต (Zinc - N - Diethyl Dithio Carbamate, ZDEC) มีลักษณะเป็นผงสีขาวเทา ขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอย 50% ได้มาจากบริษัทลักกี้โฟร์ จำกัด

6) ซิงค์เบอแคปโตเบนโซไธอาโซล (Zinc - 2 - Mercapto Benzo Thiazole, ZMBT) มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง ขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 50% ได้มาจากบริษัทลักกี้โฟร์ จำกัด

7) โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Sodium Silicon Fluoride, SSF) มีลักษณะเป็นเม็ดสีขาว ขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 10% ได้มาจากบริษัทลักกี้โฟร์ จำกัด

8) ไดฟินิลกัวนิดีน (Diphenyl Guanidine, DPG) ลักษณะเป็นผงสีขาวหยาบขุ่น ได้ในรูปของสารแขวนลอย 30% ทำหน้าที่เป็นสารก่อเจลเสริมได้มาจากบริษัทลักกี้โฟร์ จำกัด

9) เบนโทไนท์เคลย์ (Bentonite Clay) เป็นชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง มีลักษณะเป็นผงสีเทา ใช้เป็นสารป้องกันการตกตะกอนของสารเคมีที่บด เมื่อเตรียมให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอย

10) แอลซี (LC) เป็นสารป้องกันการเสื่อม มีลักษณะเป็นผงสีขาวเทา ขุ่น ใช้ในรูปของสารแขวนลอย 50% ได้มาจากบริษัทลักกี้โฟร์ จำกัด

11) เครื่องตีฟอง มีลักษณะเหมือนเครื่องทำขนมเค้ก ซึ่งมีหม้อกวนและชุดตีปั่นเป็นซี่ลวดความเร็วในการตีปั่น สามารถปรับได้ตั้งแต่ 60 – 360 รอบต่อนาที ผลิตโดย บริษัท Kitchen Aid Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา ลักษณะของเครื่องดังภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.1 เครื่องตีฟองในการผลิตฟองยาง

12) เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง ชั่งน้ำหนักสุดสูง 1,000 กรัม ผลิตจากประเทศจีน มีลักษณะดังภาพที่ 3.2

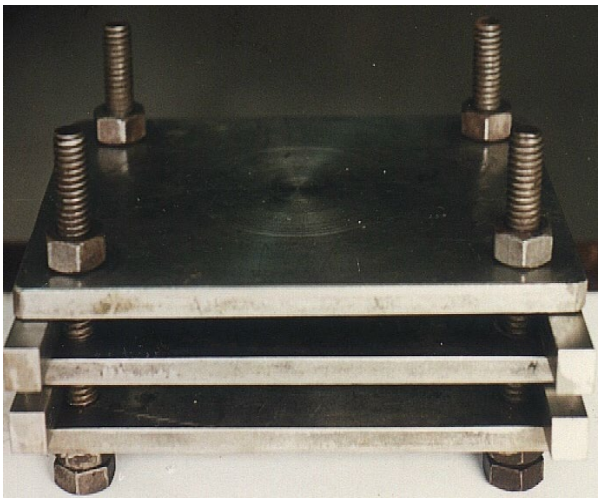
ภาพที่ 3.2 เครื่องชั่งสารเคมี

13) ตู้อบ (Universal Oven) มีขนาดภายนอก 110 x 110 เซนติเมตร และขนาดช่องอบภายใน 100 x 100 x 100 เซนติเมตร มีระบบควบคุมความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ สามารถปรับอุณหภูมิถึง 250 ℃ ตั้งเวลาเปิดปิดได้นาน 24 ชั่วโมง ผลิตโดยบริษัทหงส์ยาวไทย ประเทศจีน

14) เครื่องกวนน้ำยาง สามารถปั่นได้ 50 – 2,000 รอบต่อนาที ปริมาตรในการกวนผสมสูงสุด 20 ลิตร ลักษณะของเครื่อง ดังภาพที่ 3.3

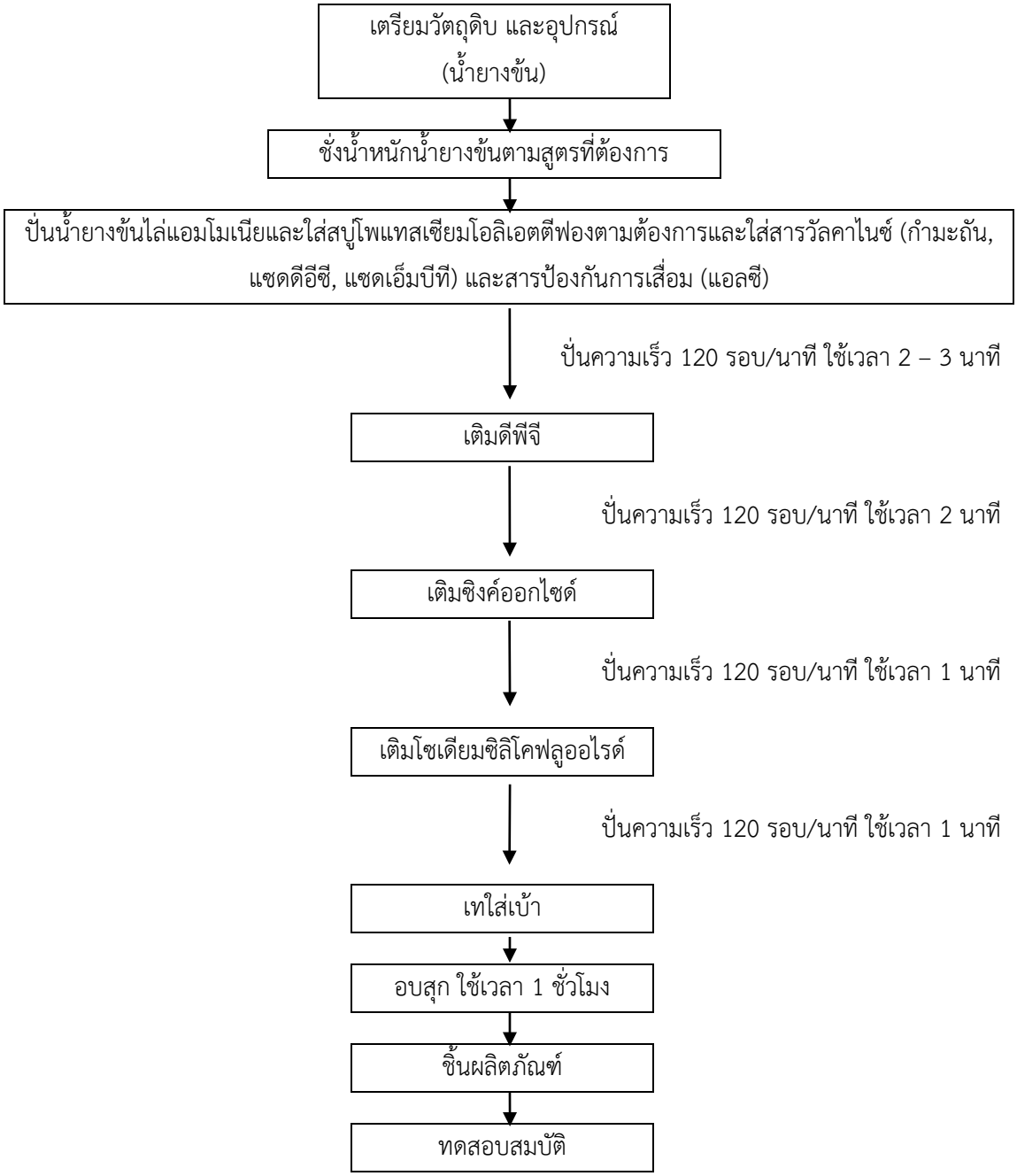
ภาพที่ 3.3 เครื่องกวนน้ำยาง

15) ชุดทดสอบความสามารถในการคืนรูป (Compression Set Test Apparatus) ลักษณะเป็นเหล็กแบนสี่เหลี่ยมมาประกบกัน โดยประกอบด้วย แผ่นเหล็กแบน 3 แผ่น ขนาดแผ่นเหล็กแต่ละชั้น มีขนาด 200 x 150 x 10 มิลลิเมตร แผ่นเหล็กทั้งหมดยึดด้วยสกรู 4 ตัว มีแท่งเหล็กกั้นระยะ (Spacer) ลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาด 9.5 x 150 x 9.5 มิลลิเมตร ชุดทดสอบมีลักษณะดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ชุดทดสอบความสามารถในการคืนรูป

3.1.1.2 ขั้นตอนการเตรียมฟองยาง กระบวนการเตรียมฟองยาง ได้มีการประยุกต์จากวิธีการดันลอปในการทำวิจัยครั้งนี้เลือกการเตรียมฟองยางตามกระบวนการเตรียมแบบไม่บ่มเร่งและบ่มเร่ง ซึ่งสามารถเตรียมได้โดยการผสมน้ำยางธรรมชาติกับสบู่โพแทสเซียมโอลิเอตนำมาตีฟองให้ได้ฟองตามที่ต้องการ หลังจากนั้นใส่สารวัลคาไนซ์ สารก่อเจลเสริม สารกระตุ้นและสารก่อเจลหลักตามลำดับ รายละเอียดของขั้นตอนการเตรียมฟองยาง ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียมฟองยาง

3.1.1.3 วิธีการดำเนินการ

1) ออกแบบผลิตภัณฑ์งานประติมากรรมภาพนูนต่ำ เพื่อเป็นของที่ระลึกและเป็นผลิตภัณฑ์

2) ผลิตแม่พิมพ์ตามแบบกำหนด โดยใช้ยางซิลิโคนเป็นแม่พิมพ์ของที่ระลึกภาพนูนต่ำ

3) ดำเนินการทดลองเตรียมฟองยาง เพื่อให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ดังนี้

ก. ศึกษาสูตรฟองยางสำหรับผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกภาพนูนต่ำ โดยเตรียมฟองยางโดยใช้สูตรตั้งต้นที่ผลิตฟองยาง (ตามรายงานวิจัยของสุรศักดิ์, 2549) จากนั้นทดลองตามตารางที่ 3.1 โดยศึกษาอิทธิพลของสารเคมีแต่ละชนิดและปริมาณที่เหมาะสม เช่น ปริมาณสบู่ ปริมาณซิงค์ออกไซด์ ปริมาณดีพีจี และปริมาณเอสเอสเอฟ แล้วสังเกตพฤติกรรมการเกิดฟอง ดูการจับตัวหลังจากการเติมสารก่อเจลหลัก ลักษณะของฟองยางหลังจากการวัลคาไนซ์ นำฟองยางที่ได้มาทดสอบสมบัติ และเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุดมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3.1 ศึกษาอิทธิพลของสารเคมีแต่ละชนิดและปริมาณที่ระดับต่าง ๆ

สูตรที่ / สารเคมี	น้ำหนักเปียก (กรัม)						
	1	2	3	4	5	6	7
60% น้ำยางข้นแอมโมเนียสูง	167	167	167	167	167	167	167
20% โพแทสเซียมโอลิเอต *	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**
50% กำมะถัน	5	5	5	5	5	5	5
50% แซดดีอีซี	2	2	2	2	2	2	2
50% แซดเอ็มบีที	2	2	2	2	2	2	2
50% ซีพีแอล	2	2	2	2	2	2	2
50% ซิงค์ออกไซด์ *	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**
30% ดีพีจี *	**1**	**1.5**	**2**	**2.5**	**3**	**3.5**	**4**
10% เอสเอสเอฟ *	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**

* หมายถึง สารเคมีต้องศึกษาและแปรปริมาณ

เตรียมฟองน้ำยางธรรมชาติตามสูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทำฟองยางมาทดลองรวมสารเคมีให้เป็นชุด เพื่อความสะดวกในการทำฟองยางและเพื่อลดเวลาสำหรับการเตรียมสารเคมีในแต่ละกระบวนการ

ข. ทดลองเตรียมสารเคมีเป็นชุด เช่น เป็นชุดสารวัลคาไนซ์ ชุดสารทำให้เกิดฟอง ชุดสารเจล เป็นต้น

ค. เมื่อเตรียมสารเป็นชุดได้ตามหัวข้อ ข. สามารถทำฟองยางได้ดีแล้ว ทดลองทำฟองยาง โดยวิธีการบ่มน้ำยางกับสารเคมีในเวลา 24 – 48 ชั่วโมง เพื่อหาเวลาการบ่มและสูตรที่เหมาะสมมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

4) ผลิตผลิตภัณฑ์จากฟองยางเป็นผลิตภัณฑ์งานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากฟองยางธรรมชาติ

5) การเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

ก. พฤติกรรมการเกิดฟองยางใช้แบบบันทึกและสังเกตลักษณะการเกิดฟอง

ข. เวลาการเซ็ตตัวของฟองยางหลังเติมสารเจลหลัก ใช้แบบบันทึกเวลาการจับตัวของฟอง

ค. หาค่าความหนาแน่นของยางฟองน้ำ ยึดการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1055 – 90 (1994) โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยม 3.0 x 3.0 x 2.9 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบที่ได้ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง ค่าที่ได้ คือ มวล (M) แล้ว คำนวณค่าที่ได้ตามสูตรดังนี้ $D = M/V$ (g/cm^3)

D = ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ (g/cm^3)

M = น้ำหนักของชิ้นทดสอบ (g)

V = ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (cm^3)

ทดสอบความสามารถในการคืนรูป (Compression Set) โดยตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปวงกลม มีขนาด 29 x 19 มิลลิเมตร แล้วกดให้ยุบตัว 50% ของความสูงเดิม อบที่อุณหภูมิ 70 ℃ เป็นเวลา 22 ชั่วโมง วัดความสูงของชิ้นทดสอบ ได้ค่า (t) แล้วคำนวณตามสูตรดังนี้

Compression Set (%) = (t0 – t) / t0 x 100

t = ความหนาหลังการทดสอบ (mm)

t0 = ความหนาเดิม (m)

6) การวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้สถิติหาค่าร้อยละ และค่าเฉลี่ย

3.2 การหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องกระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง ในรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 ดังรายละเอียดตามกระบวนการวิจัยดังต่อไปนี้

3.2.1 ผลการพัฒนารูปแบบงานประติมากรรมนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ ดังหัวข้อที่ 3.1.1.1 นำไปทดลองใช้ในการหาประสิทธิภาพและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ดำเนินการวิจัยดังนี้

3.2.1.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในครั้งนี้ คือ นักศึกษาระดับปวส.ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ วิทยาลัยเทคนิคตรัง ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2557 รายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง

3.2.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ วิทยาลัยเทคนิคตรัง ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2557 จำนวน 14 คน ทำการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

3.2.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) เอกสารประกอบการเรียนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 ใช้เวลาในการเรียน 6 ชั่วโมง/สัปดาห์ รวมทั้งหมด 18 ชั่วโมง

2) แผนการสอนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 ใช้เวลาในการเรียน 6 ชั่วโมง/สัปดาห์

3) แบบประเมินเอกสารประกอบการเรียนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 ใช้เวลาในการเรียน 6 ชั่วโมง/สัปดาห์

4) แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น 1 ชุด เป็นแบบทดสอบ แบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ ที่มีความเที่ยงตรงตามเนื้อหา (IOC) ค่าความยากง่าย (P) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับ เพื่อใช้ในการวัดความรู้ก่อนเรียน หลังเรียน โดยศึกษาข้อมูลตามหลักการ ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง พร้อมให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ แก้ไข ปรับปรุง แล้วนำไปทดลองใช้

3.2.1.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัย

1) จากการพัฒนารูปแบบงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติในตอนที่ 1 ซึ่งผลของการวิจัย สามารถนำไปใช้งานและผลิตผลิตภัณฑ์ได้จริงตามผลของการวิจัยนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำมาใช้ในการพัฒนาการเรียนการสอนรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 ในหน่วยที่ 6 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ วิทยาลัยเทคนิคตรัง จำนวน 14 คน ใช้เวลาในการเรียน 6 ชั่วโมง/สัปดาห์ ในภาคเรียนที่ 1/2557 เพื่อหาประสิทธิภาพและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนตามลำดับขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

2) ทดสอบผู้เรียนกลุ่มทดลองก่อนการเรียนรู้ โดยใช้แบบทดสอบที่สร้างขึ้น จำนวน 2 ชุด ๆ ละ 10 ข้อ รวมข้อสอบทั้งฉบับ 20 ข้อ ทำแบบฝึกหัดที่ 1 และ 2 จากนั้นปฏิบัติงานตามใบงานที่ 1 – 4 และเมื่อจบการเรียนรู้ ได้ทดสอบหลังเรียนโดยใช้แบบทดสอบที่ชุดเดียวกัน นำมาวิเคราะห์ต่อไป

3) หลังจัดการเรียนรู้ได้ 3 สัปดาห์ ทำการทดสอบผู้เรียนกลุ่มทดลองด้วยแบบทดสอบหลังเรียนที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อหาค่าความคงทนในการเรียนรู้ของผู้เรียน เมื่อเวลาผ่านไปแล้ว เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไป

4) รวบรวมข้อมูลทั้งหมดมาดำเนินการขั้นต่อไป โดยนำมาประมวลผลทางสถิติ

5) รายงานผลการวิจัยและเผยแพร่ผลงานวิจัย

3.2.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากการจัดการเรียนรู้มาประมวลผลตามระเบียบสถิติ แล้ววิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพื้นฐานดังนี้

1) สถิติพื้นฐาน

1.1) ค่าเฉลี่ย (Mean) ใช้สูตรดังนี้ (ระวีวรรณ ชินะตระกูล, 2538)

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

$\bar{x}$	แทน	ค่าเฉลี่ย
$\sum x$	แทน	ผลรวมของคะแนนทั้งหมดในกลุ่ม
N	แทน	จำนวนคนในกลุ่ม

1.2) ร้อยละ (Percentage) ใช้สูตรดังนี้ (ระวีวรรณ ชินะตระกูล, 2538)

$$P = \frac{f \times 100}{N}$$

P แทน ร้อยละ

f แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นร้อยละ

N แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

1.3) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ใช้สูตรดังนี้ (ระวีวรรณ ชินะตระกูล, 2538)

$$SD = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

SD แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X แทน คะแนนแต่ละตัว

N แทน จำนวนคะแนนในกลุ่ม

$\sum$ แทน ผลรวม

2) สถิติที่ใช้หาคุณภาพเครื่องมือ

2.1) การหาค่าความเที่ยงตรง โดยความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (IOC) ใช้สูตรดังนี้ (พิชิต ฤทธิ์จำรูญ, 2552)

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

IOC แทน ดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์กับเนื้อหา หรือระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์

$\sum$R แทน ผลรวมคะแนนความพึงพอใจของผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมด

N แทน จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมด

2.2) อำนาจจำแนก (Discrimination) ของแบบทดสอบโดยแบ่งจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสูง กับกลุ่มต่ำ โดยใช้สูตร (บุญชม ศรีสะอาด, 2547)

$$r = \frac{Ru - Rl}{f}$$

r แทน ค่าอำนาจจำแนก

Ru แทน จำนวนคนในกลุ่มสูงที่ตอบข้อนั้นถูก

Rl แทน จำนวนคนในกลุ่มต่ำที่ตอบข้อนั้นถูก

f แทน จำนวนคนในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ ซึ่งมีจำนวนเท่ากัน

2.3) ความยาก (Difficulty) ของแบบทดสอบโดยแบ่งจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสูง กับกลุ่มต่ำ โดยใช้เทคนิค 50% ของแต่ละกลุ่มโดยใช้สูตร (บุญชม ศรีสะอาด, 2547) มีสูตรดังนี้

$$P = \frac{Ru+Rl}{2f}$$

P แทน ค่าความยาก

Ru แทน จำนวนคนในกลุ่มสูงที่ตอบข้อนั้นถูก

Rl แทน จำนวนคนในกลุ่มต่ำที่ตอบข้อนั้นถูก

f แทน จำนวนคนในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ ซึ่งมีจำนวนเท่ากัน

2.4) การหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบอัตนัยชนิดจำกัดคำตอบ ใช้สูตรของ Lovett (บุญชม ศรีสะอาด, 2547)

$$rcc = 1 - \frac{K\Sigma X_i - \Sigma X_i^2}{(K-1)\Sigma\,(X_i - c)}$$

rcc แทน ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

k แทน จำนวนข้อสอบ

Xi แทน คะแนนของแต่ละคน

C แทน คะแนนเกณฑ์หรือจุดตัดของแบบทดสอบ

2.5) การคำนวณหาประสิทธิภาพของเอกสารประกอบการเรียนรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 ในหน่วยที่ 6 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส)ชั้นปีที่ 1 ตามเกณฑ์ 80/80 (ชัยยงค์ พรหมวงศ์, 2523) ใช้สูตรดังนี้

การหาประสิทธิภาพของกระบวนการ (E1)

$$E_1 = \frac{X_1}{NxA} x100$$

เมื่อ E_1 แทน ประสิทธิภาพของกระบวนการ

X_1 แทน คะแนนรวมของแบบฝึกหัดหรือกิจกรรมในบทเรียน

A แทน คะแนนเต็มของแบบฝึกหัดหรือกิจกรรมในบทเรียน

N แทน จำนวนผู้เรียน

การหาประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E2)

$$E_2 = \frac{X_2}{NxB} x100$$

เมื่อ E_2 แทน ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

X_2 แทน คะแนนรวมของแบบทดสอบในบทเรียน

B แทน คะแนนเต็มของแบบทดสอบในบทเรียน

N แทน จำนวนผู้เรียน

2.6) สำหรับการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน (Pre – test) และหลังเรียน (Post – test) โดยใช้ t – test: Dependent (พิชิต ฤทธิ์จำรูญ, 2552) จากสูตรดังนี้

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n\Sigma D^2 - (\Sigma D)}{(n-1)}}}$$

เมื่อ t แทน ค่าสถิติที่จะใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตในการแจกแจงแบบ t เพื่อทราบความมีนัยสำคัญ

D แทน ค่าผลต่างระหว่างคู่คะแนน

$\sum D$ แทน ผลรวมค่าผลต่างระหว่างคู่คะแนน

n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่างหรือจำนวนคู่คะแนน

df แทน ความเป็นอิสระมีค่าเท่ากับ n – 1

หรือ

2.7) เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 2 กลุ่มอิสระ คือ กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมโดยการทดสอบค่าที (t – test: independent) จากสูตรดังนี้ (พิชิต ฤทธิ์จำรูญ, 2552)

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S_1^2\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}, df = n_1 + n_2 - 2$$

เมื่อ $$S_{\mathrm{p}}^2 = \frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}$$

เมื่อ t แทน ค่าสถิติที่จะใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตในการแจกแจงแบบ z เพื่อทราบความมีนัยสำคัญ

$\bar{X}_1$ แทน ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1

$\bar{X}_2$ แทน ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 2

S_1^2 แทน ความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มทดลอง

S_2^2 แทน ความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มควบคุม

n_1 แทน จำนวนสมาชิกกลุ่มตัวอย่างกลุ่มทดลอง

n_2 แทน จำนวนสมาชิกกลุ่มตัวอย่างกลุ่มควบคุม

df แทน ชั้นแห่งความอิสระ

2.8) หาค่าดัชนีประสิทธิผล (The Effectiveness Index, E.I.) ของเอกสารประกอบการเรียน เพื่อดูการพัฒนาการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน การคำนวณหาค่าดัชนีประสิทธิผลใช้วิธีการของ กูดแมน เฟรทเซอร์ และชไนเดอร์ (สังคม ภูมิพันธ์ ม.ป.ป.)

$$E.I. = \frac{P2\% - P1\%}{100 - P1\%}$$

เมื่อ P1% แทน ร้อยละผลรวมของคะแนนก่อนเรียนทุกคน

P2% แทน ร้อยละผลรวมของคะแนนหลังเรียนทุกคน

ค่าดัชนีประสิทธิผลที่ดี ควรมีค่าตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป

2.9) วิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เรียนเกี่ยวกับเอกสารประกอบการเรียนรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 ในหน่วยที่ 6 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง

สูตรการหาค่าเฉลี่ย

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อกำหนดให้

$\overline{X}$	คือ	ค่าเฉลี่ย
X	คือ	ข้อมูล
$\sum X$	คือ	ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
N	คือ	จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

สูตรการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\text{S.D.} = \sqrt{\frac{\sum\left(X-\overline{X}\right)^2}{N-1}}$$

หรือหาได้จากสูตร

$$\text{S.D.} = \sqrt{\frac{N\sum X^2-\left(\sum X\right)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อกำหนดให้

S.D.	คือ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$\sum X$	คือ	ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
$\overline{X}$	คือ	ค่าเฉลี่ย
N	คือ	จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

กำหนดระดับความคิดเห็นของผู้เรียนที่มีต่อเอกสารประกอบการเรียน 5 ระดับ คือ

5	หมายถึง	เห็นด้วยมากที่สุด
4	หมายถึง	เห็นด้วยมาก
3	หมายถึง	เห็นด้วยปานกลาง
2	หมายถึง	เห็นด้วยน้อย
1	หมายถึง	เห็นด้วยน้อยที่สุด

ซึ่งเกณฑ์ในการยอมรับระดับความคิดเห็นของผู้เรียนที่มีต่อเอกสารประกอบการเรียน จะพิจารณารายการประเมินแต่ละข้อแล้วหาค่าเฉลี่ย ซึ่งข้อวิจารณ์ที่ใช้กำหนดผลจากการวิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยเป็นดังนี้คือ(ไชยยศ เรืองสุวรรณ,2533)

คะแนน 1.00-1.49	หมายถึง	ความคิดเห็นอยู่ในระดับน้อยมาก
คะแนน 1.50-2.49	หมายถึง	ความคิดเห็นอยู่ในระดับน้อย
คะแนน 2.50-3.49	หมายถึง	ความคิดเห็นอยู่ในระดับปานกลาง
คะแนน 3.50-4.49	หมายถึง	ความคิดเห็นอยู่ในระดับดี
คะแนน 4.50-5.00	หมายถึง	ความคิดเห็นอยู่ในระดับดีมาก

บทที่ 4

ผลการทดลอง

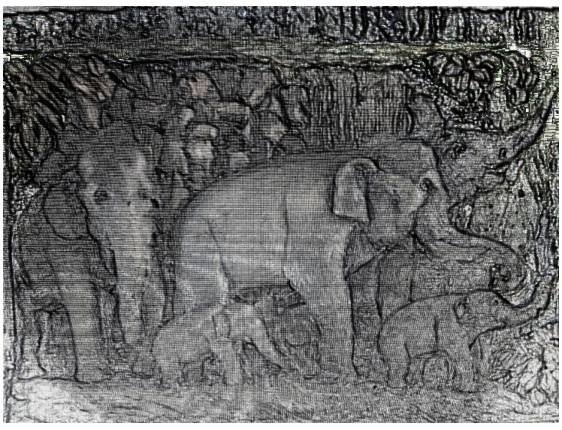
การวิจัยครั้งนี้ มีจุดประสงค์หลักอยู่ 2 ประการ คือ เพื่อศึกษารูปแบบและผลิตงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากฟองยางธรรมชาติ และนำผลการวิจัยที่ได้มาใช้ในการพัฒนาการเรียนการสอนและหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง สำหรับผู้เรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง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

4.1 การพัฒนารูปแบบงานประติมากรรมภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ

4.1.1 ออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นของที่ระลึกภาพนูนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ

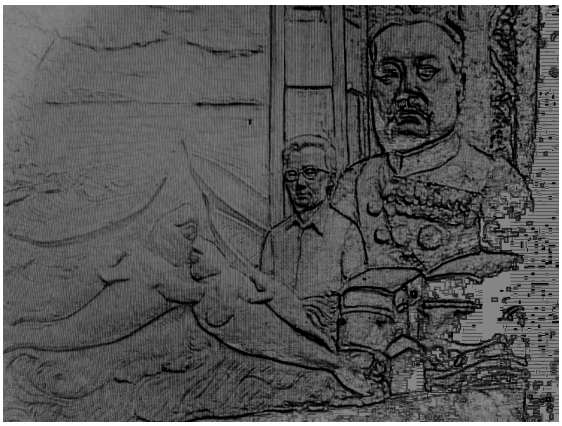
4.1.1.1 ผลิตภัณฑ์เป็นของที่ระลึกภาพนูนต่ำ เน้นสัญลักษณ์ของจังหวัด อำเภอ หรือรูปแบบที่ทันสมัย เป็นที่นิยมหรือตามความต้องการของหน่วยงาน องค์กรทั้งภาครัฐและเอกชน แล้วจึงนำมาจัดทำให้ผลิตภัณฑ์ตามความเหมาะสม โดยกำหนดเป็น 2 ขนาด ดังนี้

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

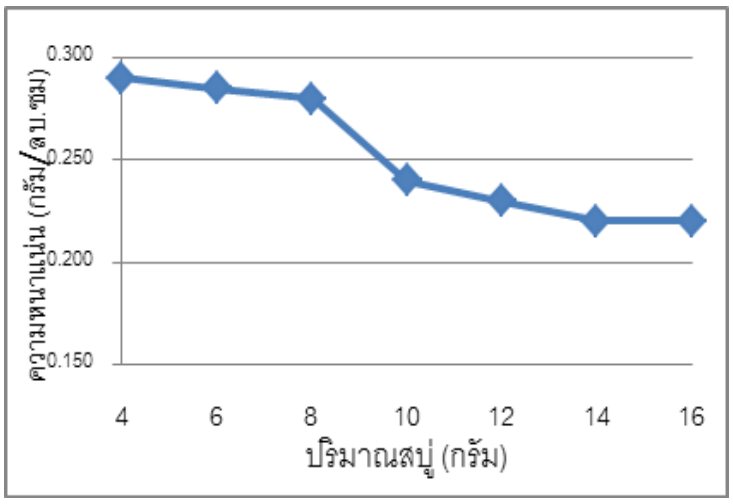
ส่วนความสูงของฟองยาง จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้สบู่ปริมาณ 4 กรัม ได้ความสูงของฟอง 1 เท่าของสารเคมีเดิม เนื่องจากสบู่ในปริมาณน้อยเกินไป ความสามารถในการเกิดฟองจึงต่ำ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสบู่มากขึ้นเป็น 12 – 16 กรัม ได้ความสูงของฟองมากขึ้นเป็น 4 – 5 เท่าของสารเคมีเดิม อาจเนื่องมาจากสบู่เพิ่มขึ้น อาจไปทำให้ความตึงผิวของน้ำยางลดลง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

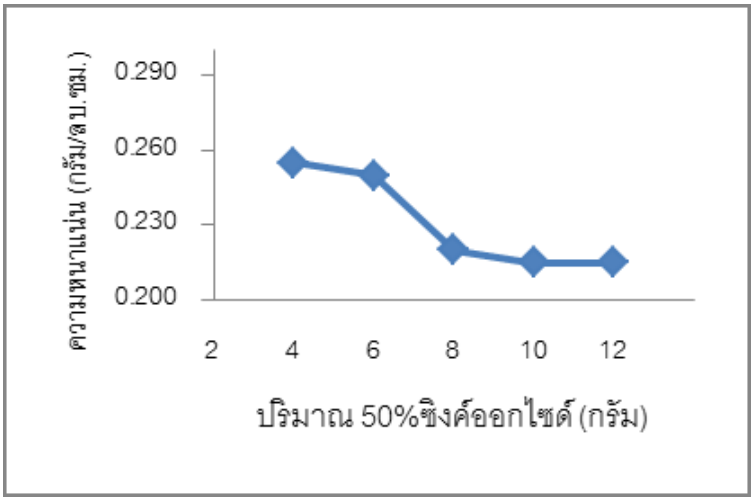
ตารางที่ 4.4 พฤติกรรมการเกิดฟองและลักษณะของฟองยางหลังการวัลคาไนซ์ที่ใช้ปริมาณ 50% ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ระดับต่าง ๆ

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

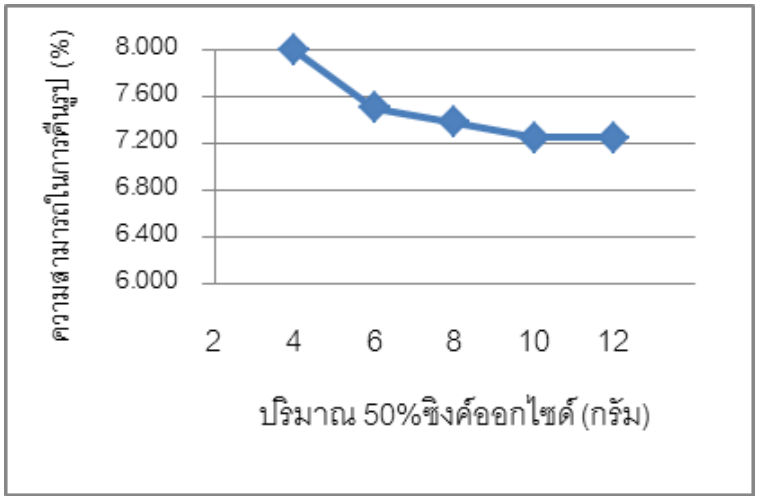
จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าการเตรียมฟองยาง โดยใช้ซิงค์ออกไซด์ในปริมาณแตกต่างกัน ไม่มีผลต่อพฤติกรรมการเกิดฟองเลย แต่มีผลในด้านของการจับตัวของฟองยางเพียงเล็กน้อย ซึ่งพบว่าการใช้ 50% ซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 2 กรัม หรือ 1 phr ทำให้ฟองยางที่ได้จับตัวช้ามาก และต่อมาฟองยางแตกออกจากกันไม่เสถียร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า 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

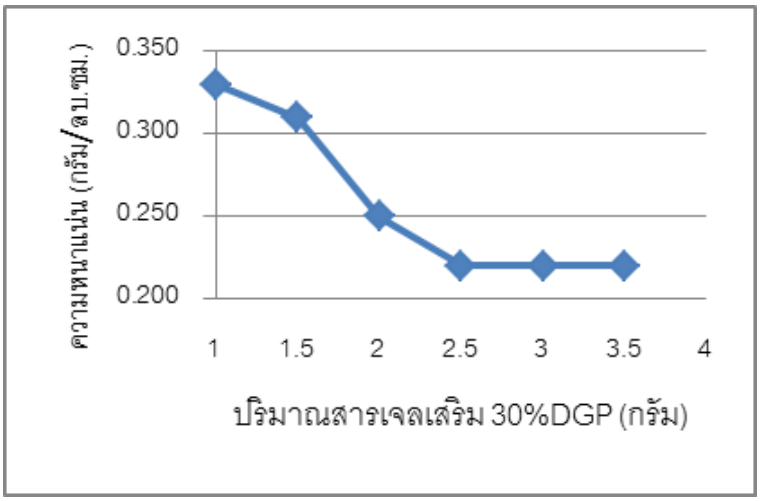
ปริมาณสารเจลเสริม 30% DPG (กรัม)	ลักษณะฟองหลังใส่สารก่อเจลเสริม	ความสูง (เท่า)	เวลาการเจล (นาที)	ลักษณะฟองยางหลังวัลคาไนซ์
1	เกิดเป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	4	4	ฟองยางเกิดการยุบตัวและหดตัวมาก มีรอยแตกที่บริเวณผิวหน้าและบริเวณขอบและฟองยางแข็งขึ้น
1.5	เกิดเป็นครีมละเอียดสม่ำเสมอ	4	3	ฟองยางเกิดการยุบตัวและหดตัวมาก 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

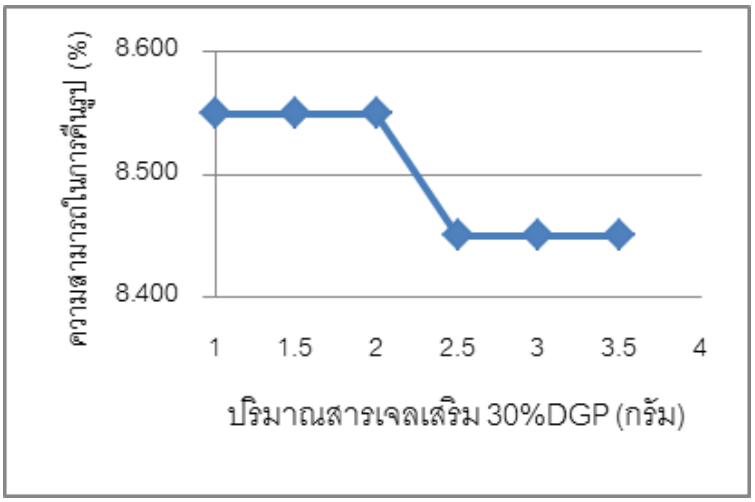
แข็งกระด้างกว่า อาจเป็นเพราะว่าดีพีจีอาจไปทำลายความเสถียรของน้ำยางให้ลดลงเร็วขึ้น เป็นการทำให้ฟองยางเจลเร็วกว่าปกติ

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

บทที่ 5

สรุปอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 ศึกษาสารเคมีต่อสมบัติของฟองยาง

5.1.1 20% สบู่โพแทสเซียมโอลิเอตต่อสมบัติของฟองยาง พบว่าปริมาณสบู่ที่เหมาะสมต่อการทำฟองยางคือ 14 กรัม ซึ่งทำให้การตีฟองง่าย เวลาการเจลเหมาะสม มีความหนาแน่นต่ำประมาณ 0.127 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความสามารถในการคืนรูป 6.00%

5.1.2 50% ซิงค์ออกไซด์ต่อสมบัติของฟองยาง พบว่าปริมาณของซิงค์ออกไซด์ไม่มีผลต่อพฤติกรรมการเกิดฟองและสมบัติของฟองยาง แต่มีผลต่อการจับตัวและการวัลคาไนซ์ของฟองยาง คือ เมื่อใช้ซิงค์ออกไซด์ในปริมาณ 2 กรัม ทำให้ฟองยางสุกช้ามาก ปริมาณที่เหมาะ คือ 10 กรัม ทำให้ฟองยางสวยงามสม่ำเสมอ มีความหนาแน่น 0.120 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความสามารถในการคืนรูป 7.25%

5.1.3 30% DPG ต่อสมบัติของฟองยาง พบว่า DPG ไม่มีผลต่อพฤติกรรมการเกิดฟอง แต่ส่งผลในเรื่องช่วยให้ฟองยางละเอียด สม่ำเสมอ เมื่อใช้ดีพีจีปริมาณ 2.5 กรัม ลักษณะฟองยางไม่ยุบตัว เวลาเจล ประมาณ 2 นาที หดตัวน้อย และนิ่ม หลังวัลคาไนซ์แล้ว ความหนาแน่น 0.114 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความสามารถในการคืนรูป 10.52%

5.1.4 10% SSF ต่อสมบัติของฟองยาง พบว่า สูตรที่ใช้ 10% SSF ปริมาณ 8 – 12 กรัม ใช้เวลาเจล 2 - 4 นาที ลักษณะฟองยางมีฟองสวยงามสม่ำเสมอ

5.1.5 เตรียมสารเคมีเป็นชุด เช่น ชุดสารวัลคาไนซ์ ชุดสารทำให้เกิดฟอง ชุดสารเจล ดังนี้ สูตรการรวมสารเคมี คือ (50% ZDEC ปริมาณ 2 กรัม + 50% ZMBT ปริมาณ 2 กรัม + 50% LC ปริมาณ 2 กรัม + 50% Sปริมาณ 2 กรัม + DPGปริมาณ 2.5 กรัม) ส่วน ZnO และ SSF เติมทีหลัง พบว่า ความสม่ำเสมอในการเกิดฟองยาง เวลาในการเจลอยู่ที่ประมาณ 2 นาที และลักษณะของฟองยางหลังวัลคาไนซ์ที่ได้มีความสวยงาม สม่ำเสมอ

5.1.6 ทำฟองยางโดยวิธีการบ่มน้ำยางกับสารเคมี ในเวลา 24 – 48 ชั่วโมง พบว่าเวลาในการบ่ม 24 – 48 ชั่วโมง สามารถทำฟองยางได้ดี ฟองยางหดตัวน้อย ผิวละเอียดและนิ่ม ใช้เวลาในการจับตัว 3 - 4 นาที

5.2 หาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ในรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1

การหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ในรายวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 ผลการจากการวิเคราะห์ข้อมูล ปรากฏว่า

5.2.1 เอกสารประกอบการเรียนวิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่อง กระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 80.95/82.14 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์กำหนดร้อยละ 80/80 ที่กำหนดไว้ และมีผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญในระดับดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ยรวม 4.90 จากผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 5 คน

5.2.2 การทดสอบผลต่างระหว่างคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ผลปรากฏว่า คะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบหลังเรียนสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบก่อนเรียน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 คือ นักศึกษาที่เรียนด้วยเอกสารประกอบการเรียน ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นทำให้ผู้เรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นจริง เชื่อถือได้ 95%

5.2.3 นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อเอกสารประกอบการเรียน วิชาผลิตภัณฑ์น้ำยาง 1 เรื่องกระบวนการผลิตและการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางประเภทฟองยาง มีค่าเฉลี่ยโดยรวม 4.57 หมายความว่า เอกสารประกอบการเรียน ที่นักเรียนได้เรียน มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยเอกสารประกอบการเรียนไปใช้

สำหรับครู นักศึกษา และผู้ที่สนใจทั่วไป ควรศึกษาทฤษฎีจากเอกสารให้เข้าใจก่อน หลังจากนั้นทดลองทำแบบฝึกหัด แบบทดสอบ และทดลองปฏิบัติงานตามใบงาน โดยสามารถทำตามลำดับขั้นตอนของใบงานที่ระบุไว้ได้อย่างชัดเจน ก็จะมีผลสัมฤทธิ์ในการใช้เอกสารที่ดี

5.3.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1) ควรศึกษางานวิจัยต่อยอดจากงานวิจัยเดิม โดยศึกษาการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เพิ่มเติม

2) ศึกษาจากปัญหาวิจัยในชั้นเรียนต่อยอดเป็นงานวิจัยให้กว้างขึ้น เพื่อขยายผลกับหน่วยงานอื่น ๆ และเชิงพาณิชย์

บรรณานุกรม

บุญธรรม นิธิอุทัย. 2530. **ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ และคุณสมบัติ.** ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วราภรณ์ ขจรไชยกุล. 2525. **น้ำยาง.** สถาบันวิจัยยาง สงขลา.

วิริยะ ทองเรือง. มมป. **การพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติ** [ออนไลน์.] สืบค้นจาก : www.mof.or.th/.../abstract_rubber_foam.txt.doc. 25 พฤศจิกายน 2555.

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. 2548. **ผลความหนืดของน้ำยางต่อการทำยางฟองน้ำ**. เอกสารประกอบการนำเสนอบทความวิชาการการประชุม สวทช.

สุรศักดิ์ เทพทอง. 2545. **อิทธิพลของสารก่อเจลเสริมต่อการหดตัวและสมบัติของฟองน้ำยางธรรมชาติ**, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

" ———— ". 2549. **ออกสูตรและรูปร่างหมอนฟองน้ำยางธรรมชาติ.** งานวิจัยขนาดเล็กจากยางพารา สัญญาเลขที่ RDG 4950127. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

" ———— ". 2550. **ศึกษาผลสารตัวเติมจากวัสดุธรรมชาติต่อสมบัติของฟองน้ำยางธรรมชาติ.** งานวิจัยขนาดเล็กจากยางพารา สัญญาเลขที่ RDG5050061. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

สมนึก วงศ์สุวัฒน์. 2526. **ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตีเป็นฟองของน้ำสบู่**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการยาง คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เดโช สวนานนท์. 2519. **ปทานุกรมจิตวิทยา.** กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

บุญชม ศรีสะอาด. 2547. **วิธีการทางสถิติสำหรับการวิจัย.** พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพมหานคร:สุวิริยาสาส์น.

บุญมั่น ธนาศุภวัฒน์. 2537. **จิตวิทยาองค์กร.** กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

เผชิญ กิจระการ. 2544. **การวิเคราะห์ประสิทธิภาพสื่อและเทคโนโลยีการศึกษา: การวัดผลการศึกษา.** วารสารวิชาการกระทรวงศึกษาธิการ.

พีระยุทธ สันตะวัน. 2533. **ความสัมพันธ์ระหว่างบุคลิกภาพและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นประถมปีที่5และ6 สังกัดสำนักงานการประถมศึกษาจังหวัดตาก.** วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาจิตวิทยาการศึกษาและการแนะแนวมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2530. **การสร้างและพัฒนาแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์.** กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร.

ไพศาล หวังพานิช. 2536. **การวัดผลการศึกษา.** กรุงเทพมหานคร:ไทยวัฒนาพานิช.

วรวิทย์ นิเทศศิลป์. 2551. **สื่อและนวัตกรรมการเรียนรู้.** พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี:สกายบุ๊คส์.

วิรัช วรรณรัตน์. 2541. **บรรณนิทัศน์ผลการวิจัยด้านแนะแนว.** กรุงเทพมหานคร. สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร.

สมนึก ภัททิยธนี. 2554. **การวัดผลประเมินผลทางการศึกษา.** มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.ประสานการพิมพ์.

สุวิมล ว่องวานิช. 2546. **การวัดทักษะปฏิบัติ**, กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อาซีซันและคณะ. 2549. **อิทธิพลของสารก่อเจลและสารตัวเติมต่อการแปรรูปและสมบัติของยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติชนิดครีม**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ASTM D 1055 – 90. 1994. **Standard Specifications for Flexible Cellular Materials Latex Foam.**

Blackley, D. C. 1977a. **Polymer Latices Science and Technology Vol. 3.** Latex Foam Rubber, Second Edition, Chapman & Hall, London.

NR Technical Bulletin. 1966a. **An Introduction to Latex Foam Manufacture.** Natural Rubber Producers Research Association.

Good, C. V., 1979. **Dictionary of Education**. 3th ed., New York, McGraw-Hill.

Herberg, Frederick. Bernard Mausner and Barbata Bkloch Snyderman. 1959. **The Motivation To Work.** New York : John Wiley and Sons. Inc.