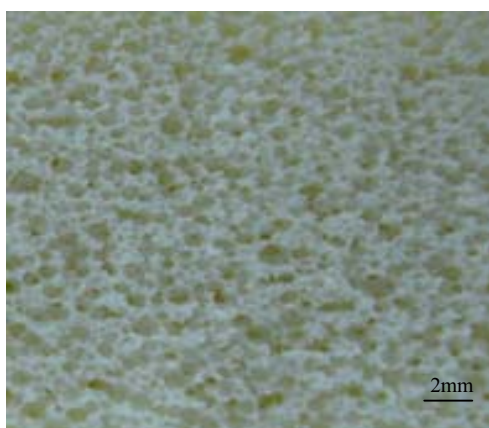


5. การแปรค่า ZnO

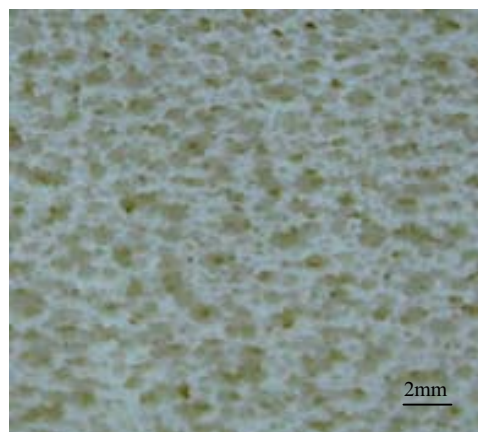
จากการทดลองแปรค่า ZnO ซึ่งเป็นสารตัวกระตุ้นการวัดค่าไนซ์พบว่าเมื่อปริมาณ ZnO ลดลงต่ำกว่า 5.25 phr จะทำให้การวัดค่าไนซ์ของฟองยางช้าลงเล็กน้อย (ประมาณ 5 นาที) และ เกิดฟองอากาศอยู่ใต้ผิวหน้าของชิ้นงาน เมื่อปริมาณ ZnO เพิ่มขึ้นมากกว่า 21 กรัม (5.25 phr) จะทำให้ฟองยางวัดค่าไนซ์เร็วขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ ZnO ให้มากกว่า 21.6 กรัม (5.4 phr) ก็จะไม่ส่งผลให้การวัดค่าไนซ์เร็วขึ้น จากผลการทดลองข้างต้นเมื่อนำชิ้นงานมาเปรียบเทียบกันพบว่าชิ้นงานที่มีเนื้อโฟมสม่ำเสมอที่สุด คือ ชิ้นงานที่ใช้ ZnO เท่ากับ 21.6 กรัม (5.4 phr) และจากผลการทดลองพบว่าเมื่อแปรค่าปริมาณ ZnO โดยการเพิ่มและลด ความหนาแน่นของโฟมยางที่ได้มีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงความหนาแน่นเมื่อแปรค่าปริมาณ ZnO

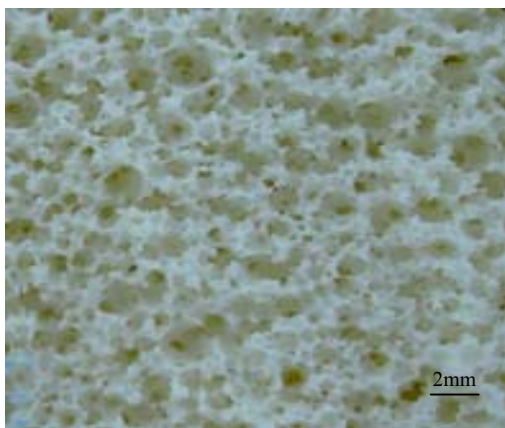
ปริมาณ ZnO (50%) (2*phr)	10	10.3	10.5	10.8	11
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.164	0.159	0.152	0.169	0.153



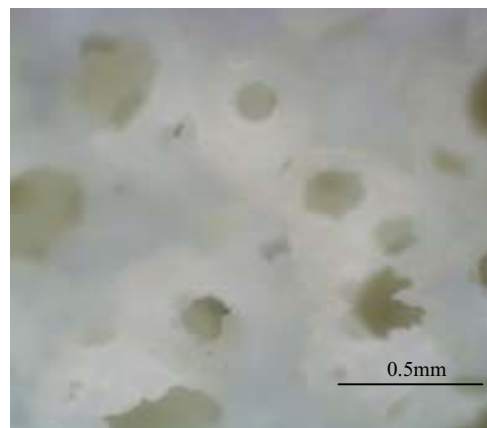
a) หน้า 2 cm



b) หน้า 4 cm



c) หน้า 8 cm



d) หน้า 4 cm (OM กำลังขยาย 50 X)

รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะเนื้อโพลิเมอร์เมื่อใช้ ZnO (50%) 5.4 phr (2 ส่วน) ภาพ a , b และ c แสดงภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลที่ความหนาชิ้นงาน 2 , 4 และ 8 cm ตามลำดับ และ d แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 50 เท่า ที่ความหนาชิ้นงาน 4 cm

จากการทดลองแปรค่าปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ข้างต้นทำให้ได้ค่าปริมาณสารเคมีที่มีความเหมาะสมสำหรับทำโพลิเมอร์ (2 ส่วน) ที่ให้เนื้อโพลิเมอร์ที่ใช้เวลาในการอบน้อยสุดและให้คุณภาพสม่ำเสมอ ดังสูตรในตารางที่ 4.14

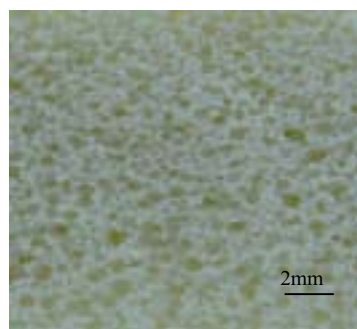
ตารางที่ 4.14 แสดงสูตรการทำโพลิเมอร์ (2 ส่วน) ที่ทำการปรับค่าปริมาณสารเคมีต่าง ๆ เพื่อลดเวลาในการวัลคาไนซ์ และหาปริมาณสารที่เหมาะสม

น้ำยางและสารเคมี	น้ำหนัก (เปียก) (g)	น้ำหนัก (แห้ง) (2*phr)	ระดับความเร็ว ในการปั่น	เวลาในการปั่น (min)
60 % น้ำยางข้น	334	2 * 100	3	2
10 % แอมโมเนียมโอเลต (ชุด-1)	30	2 * 1.5	4.5	2
50 % S (ชุด-2)	7	2 * 1.75	2	3
50 % ZDEC (ชุด-2)	4.6	2 * 1.15		
50 % ZMBT (ชุด-2)	5	2 * 1.25		
50 % Wingstay L (ชุด-2)	4	2 * 1		
50 % ZnO (ชุด-3)	21.6	2 * 5.4	1	1.30
33 % DPG (ชุด-3)	8.6	2 * 1.4		
12.5 % SSF (ชุด-4)	0.6	2 * 0.04	1	1

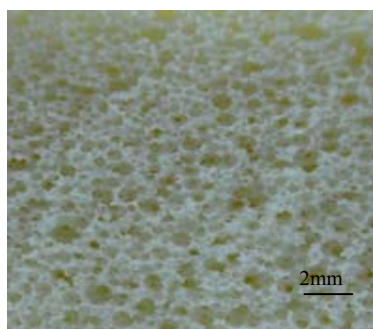
เมื่อทำการทดลองได้สูตร 2 ส่วนที่ดีที่สุดแล้ว จึงได้ทำการทดลองเปรียบเทียบกระบวนการอบกับกระบวนการนึ่ง เพื่อดูเวลาในการวัลคาไนซ์ของยาง และดูคุณภาพของเนื้อโฟมที่ได้จากกระบวนการอบและกระบวนการนึ่ง รวมถึงการเปรียบเทียบความหนาแน่นของโฟมยางด้วย ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงเวลาที่ใช้ในการอบและการนึ่ง และความหนาแน่นของโฟมยาง ที่ได้จากสูตรการปรับค่าปริมาณสารเคมีต่างๆ (2 ส่วน)

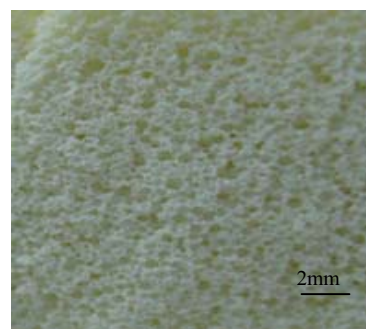
กรรมวิธี	อุณหภูมิ (°C)	ความหนาของชิ้นงาน (cm)	เวลาในการวัลคาไนซ์ (min)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
อบ	100	2	70	0.165
		4	90	
		8	110	
อบ	120	2	60	0.169
		4	75	
		8	90	
นึ่ง		2	15	0.166
		4	20	
		8	25	



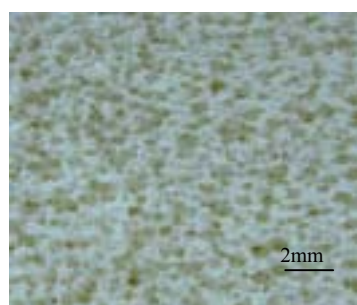
อบ 100 °C 2 cm



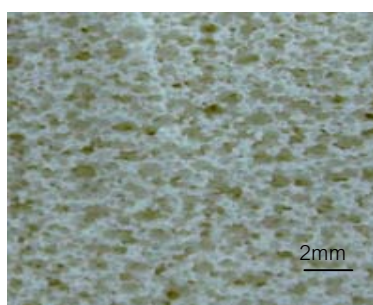
อบ 120 °C 2 cm



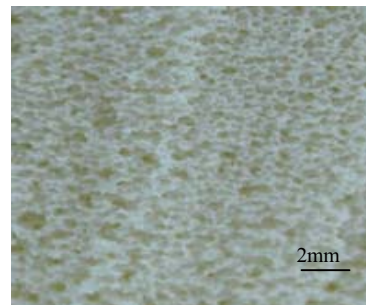
นึ่ง 2 cm



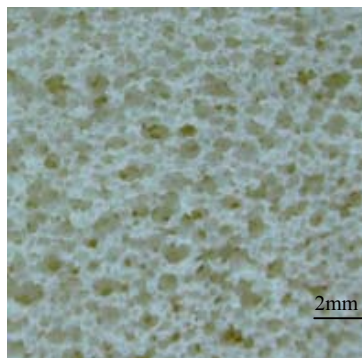
อบ 100 °C 4 cm



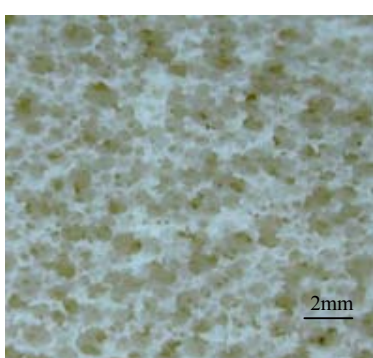
อบ 120 °C 4 cm



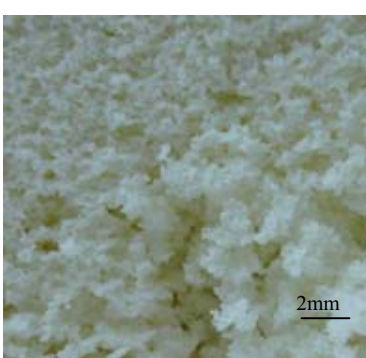
นึ่ง 4 cm



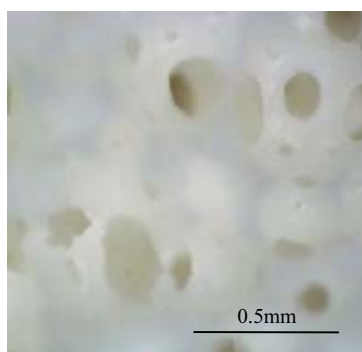
อบ 100 °C 8 cm



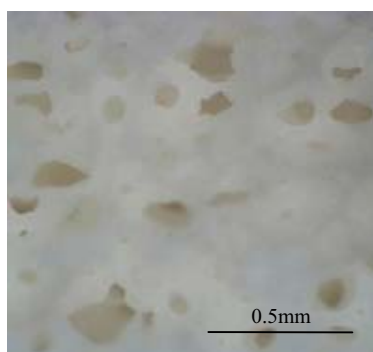
อบ 120 °C 8 cm



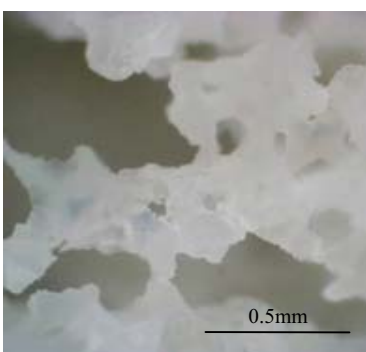
นึ่ง 8 cm



อบ 4 cm (OM กำลังขยาย 50 X)



นึ่ง 4 cm (OM กำลังขยาย 50 X)



นึ่ง 8 cm (OM กำลังขยาย 50 X)

รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะเนื้อโฟมเปรียบเทียบระหว่างการอบกับการนึ่ง
(สูตรที่ได้จากการปรับค่าปริมาณสารต่าง ๆ 2 ส่วน)

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าจากสูตรที่ได้พัฒนาแล้วเมื่อผ่านกรรมวิธีวัลคาไนซ์โดยการอบที่ 100 °C และ 120°C พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อเนื้อโพลีเมอร์ รวมทั้งความหนาของชิ้นงานก็ไม่มีผลต่อคุณภาพเนื้อโพลีเมอร์ด้วย แต่การนึ่งจะทำให้คุณภาพของเนื้อโพลีเมอร์ดีกว่าการอบโดยการนึ่งจะทำให้เนื้อโพลีเมอร์มีความละเอียดมากกว่าที่ความหนา 2 cm และเมื่อชิ้นงานมีความหนา มากกว่า 4 cm ขึ้นไปก็จะทำให้เนื้อโพลีเมอร์กลวงตรงกันของเบ้าพิมพ์ อาจเนื่องมาจากเบ้าพิมพ์ปูนพลาสติกเป็นฉนวนความร้อนจึงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนไม่สม่ำเสมอในชิ้นงาน และการนึ่งจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนมากกว่าการอบจึงทำให้ฟองยางที่อยู่ข้างบนเกิดการวัลคาไนซ์ก่อนและวัลคาไนซ์ได้ดีกว่าฟองยางที่อยู่ตรงกันเบ้าพิมพ์ที่เย็นกว่า ส่วนในกรณีของการอบนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจะช้ากว่า ฟองยางได้รับความร้อนสม่ำเสมอจึงวัลคาไนซ์ได้ดีเท่ากันทุกๆจุด ทำให้คุณภาพของเนื้อโพลีเมอร์ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อชิ้นงานมีความหนาเพิ่มขึ้น และจากการทดลองข้างต้นพบว่าการนึ่งและการอบไม่มีผลต่อความหนาแน่นของโพลีเมอร์ (วัดจากบริเวณเนื้อโพลีเมอร์สม่ำเสมอ)

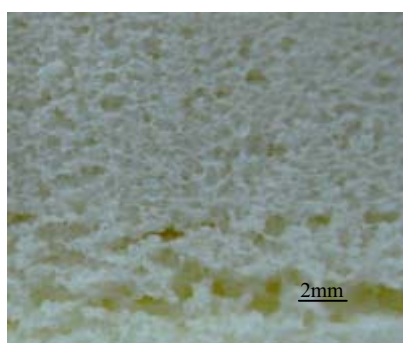
จากนั้นจึงได้ทดลองสูตรจากกลุ่มเกษตรกรทำสวนป่าครอก จังหวัดภูเก็ต ในปริมาณ 2 ส่วน เพื่อเปรียบเทียบเวลาในการวัลคาไนซ์และคุณภาพของเนื้อโพลีเมอร์ทั้งกรรมวิธีการนึ่งและการอบ ซึ่งสูตรที่ใช้ในการทดลองดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงปริมาณสารเคมี ระดับความเร็วและเวลาที่ใช้ในการปั้นของกลุ่มเกษตรกรทำสวนป่าครอก จังหวัดภูเก็ต (2 ส่วน)

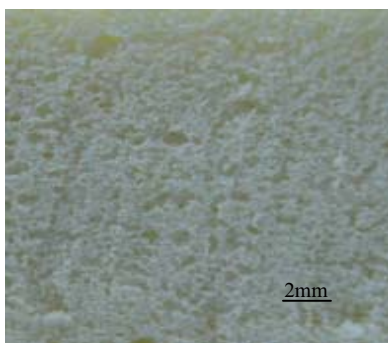
น้ำยางและสารเคมี	น้ำหนัก (เปียก) (g)	น้ำหนัก (แห้ง) (2*phr)	ระดับความเร็ว ในการปั้น	เวลาในการปั้น (min)
60 % น้ำยางข้น	334	2 * 100	1	1
10 % แอมโมเนียมโอเลเอต (ชุด-1)	30	2 * 1.5	4.5	3
50 % S (ชุด-2)	8	2 * 2	1	1
50 % ZDEC (ชุด-2)	4	2 * 1		
50 % ZMBT (ชุด-2)	4	2 * 1		
50 % Wingstay L (ชุด-2)	4	2 * 1		
50 % ZnO (ชุด-3)	20	2 * 5	1	1
33 % DPG (ชุด-3)	4	2 * 0.66		
12.5 % SSF (ชุด-4)	16	2 * 1	1	15 วินาที

ตารางที่ 4.17 แสดงเวลาที่ใช้ในการอบและการนึ่ง และความหนาแน่นของโฟมยางที่ได้จากสูตรของกลุ่มเกษตรกรทำสวนป่าครอก จังหวัดภูเก็ต (2 ส่วน)

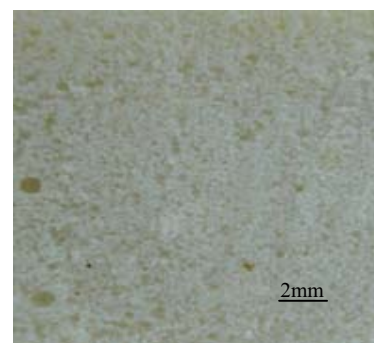
กรรมวิธี	อุณหภูมิ (°C)	ความหนาของชิ้นงาน (cm)	เวลาในการวัลคาไนซ์ (min)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
อบ	100	2	70	0.134
		4	90	
		8	110	
อบ	120	2	60	0.181
		4	75	
		8	90	
นึ่ง		2	15	0.122
		4	20	
		8	25	



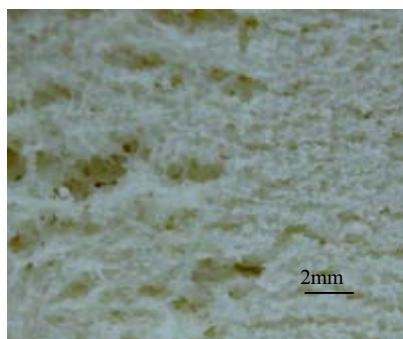
อบ 100 °C 2 cm



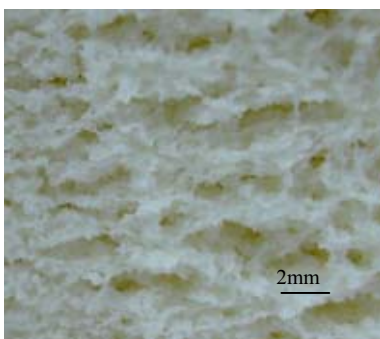
อบ 120 °C 2 cm



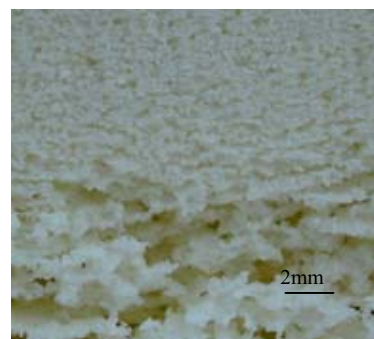
นึ่ง 2 cm



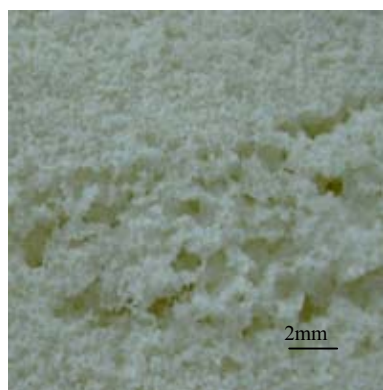
อบ 100 °C 4 cm



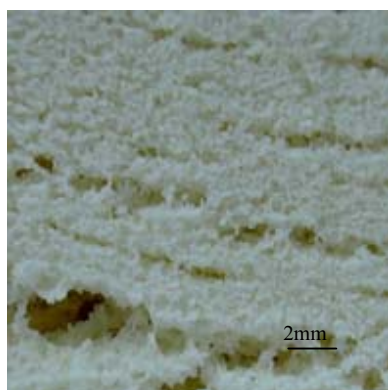
อบ 120 °C 4 cm



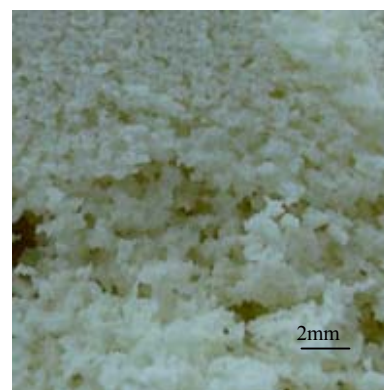
นึ่ง 4 cm



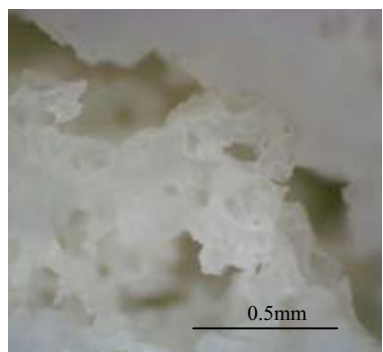
อบ 100 °C 8 cm



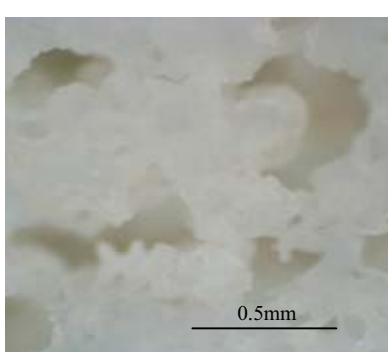
อบ 120 °C 8 cm



นึ่ง 8 cm



อบ 4 cm (OM กำลังขยาย 50 X)



นึ่ง 4 cm (OM กำลังขยาย 50 X)



นึ่ง 8 cm (OM กำลังขยาย 50 X)

รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะเนื้อโฟมเปรียบเทียบระหว่างการอบกับการนึ่ง (สูตรที่ได้รับจากกลุ่มเกษตรกรทำสวนป่าครอก จังหวัดภูเก็ต 2 ส่วน)

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองโดยใช้สูตรของกลุ่มเกษตรกรทำสวนป่าครอก จังหวัดภูเก็ต (2 ส่วน) พบว่าปริมาณของฟองยางเพิ่มขึ้นประมาณ 6 เท่า แต่ฟองยางมีความหนืดมากเทลงเบ้าพิมพ์ได้ยากและเกิดการจับตัวเป็นเจลอย่างรวดเร็ว (1 นาที) และเกิดการจับตัวเป็นก้อนขณะที่ปั่น รวมทั้งที่ก้นภาชนะขณะที่เทลงเบ้าพิมพ์ เนื่องจากสูตรมีการใช้ปริมาณ SSF มากเกินไป จากนั้นเมื่อนำฟองยางที่ปั่นได้ไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระบวนการอบ และการนึ่ง โฟมยางที่ได้เนื้อโฟมจะมีลักษณะเป็นชั้น และกลวงตรงบริเวณก้นเบ้าพิมพ์ อาจเนื่องมาจากอัตราส่วนระหว่างสารเคมีกับน้ำยางยังไม่มีความเหมาะสม (ดังรูปที่ 4.12)

ตารางที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบสูตรการทำยาง (2 ส่วน) จากกลุ่มเกษตรกรทำสวนป่าครอก จังหวัดภูเก็ตและสูตรที่พัฒนาแล้วสำหรับการทำโฟมซึ่งต่างกันอยู่ที่ปริมาณสารเคมีที่ใช้ ความเร็วและเวลาในการปั่น

สารเคมี	น้ำหนักของสารเคมี (2*phr)		ระดับความเร็วในการปั่น		เวลาที่ใช้ในการปั่น (min)	
	สูตรจากกลุ่มเกษตรกร	สูตรที่พัฒนา	สูตรจากกลุ่มเกษตรกร	สูตรที่พัฒนา	สูตรจากกลุ่มเกษตรกร	สูตรที่พัฒนา
60%น้ำยางข้น	2 * 100	2 * 100	1	3	1	2
10%แอม โมเนียม โอลีเอต	2 * 1.5	2 * 1.5	4.5	4.5	3	2
50%กำมะถัน	2 * 2	2 * 1.75	1	2	1	3
50%ZDEC	2 * 1	2 * 1.15				
50%ZMBT	2 * 1	2 * 1.25				
50%wingstayL	2 * 1	2 * 1				
50%ZnO	2 * 5	2 * 5.4	1	1	1	1.30
33%DPG	2 * 0.66	2 * 1.4				
12.5%SSF	2 * 1	2 * 0.04	1	1	15 วินาที	1

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติ เพื่อลดเวลาในการบ่มยางด้วยเตาอบที่ให้น้ำหนักโฟมที่มีคุณภาพสม่ำเสมอจากผลการทดลองพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ตัวแปรที่มีผลต่อเวลาการวัลคาไนซ์ของยาง

ผลการศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อเวลาการวัลคาไนซ์ของยางที่ขึ้นงานความหนาต่างๆคืออุณหภูมิและวิธีการอบ ส่วนการปรับปริมาณสารเคมีพบว่าไม่มีผลต่อเวลาที่ใช้อบแต่ทำให้คุณภาพเนื้อโฟมดีขึ้นสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการศึกษาและเปรียบเทียบถึงตัวแปรที่มีผลต่อเวลาการวัลคาไนซ์ของยาง

ตัวแปร	เวลาในการอบได้ (นาที)		
	หนา 2 ซม.	หนา 4 ซม.	หนา 8 ซม.
1. อุณหภูมิ (เดิม 100 °C เปิดฝา / ปิดฝา)	120 / 70	120 / 90	140 / 110
1.1 120 °C เปิดฝา	110	120	130
1.2 120 °C ปิดฝา	60	75	90
2. การปรับสาร			
2.1 DPG (1.4 phr เดิมใช้ 2 phr)			
2.2 ZDEC (1.15 phr เดิมใช้ 2 phr)			
2.3 ZMBT (1.25 phr เดิมใช้ 2 phr)	60	75	90
2.4 S (1.75 phr เดิมใช้ 4 phr)			
2.5 ZnO (5.4 phr เดิมใช้ 10 phr)			

นอกจากนี้ตัวแปรอื่นๆที่มีผลต่อเวลาในการอบ คือ ความหนาของเบ้าพิมพ์ และชนิดของวัสดุที่ใช้ในการทำเบ้าพิมพ์ ซึ่งได้ศึกษาเบื้องต้นในการใช้วัสดุประเภทต่างๆ เช่น พลาสติก โลหะ (อะลูมิเนียม) และปูนปลาสเตอร์ พบว่ายางสามารถวัลคาไนซ์ได้เร็วที่สุดเมื่อใช้เบ้าพิมพ์โลหะเมื่อเทียบกับเบ้าพิมพ์พลาสติกและปูนปลาสเตอร์

2. ตัวแปรที่มีผลต่อความหนืดของฟองยาง

ในช่วงที่ปั่นให้เกิดฟอง (เดิมสาร ammoniumoleate) ถ้าปั่นโดยใช้ระดับความเร็ว 4.5 ถ้าใช้ใช้เวลาในการปั่น 2 นาที ทำให้ฟองยางมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 6 เท่า ของปริมาตรเริ่มต้นน้ำยางขึ้น เวลาที่ใช้ในการปั่นเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ได้ปริมาตรฟองยางเพิ่มขึ้นแต่ข้อเสียคือทำให้ฟองยางมีความหนืดมาก เทลงเบ้าพิมพ์ได้ยากซึ่งไม่เหมาะกับการผลิต และปริมาณ SSF ควรใช้ 0.04 phr (สูตรน้ำยาง 2 ส่วน) เนื่องจากถ้าใช้ SSF ในปริมาณมากกว่านี้ จะทำให้ฟองยางหนืดและจับตัวเป็นเจลเร็ว

3. เปรียบเทียบระหว่างการอบกับการนึ่ง

จากสูตรที่ได้พัฒนาแล้วและใช้เบ้าพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ความหนาของขอบเบ้าพิมพ์ 3.0 ซม. ได้ข้อสรุปเปรียบเทียบระหว่างการอบกับการนึ่งดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5.2 แสดงเปรียบเทียบระหว่างการอบกับการนึ่ง

การอบ	การนึ่ง
1. ยางใช้เวลาวัลคาไนซ์ 60-90 นาที (ความหนา 2-4 ซม.)	1. ยางใช้เวลาวัลคาไนซ์ 15-25 นาที (ความหนา 2-4 ซม.)
2. คุณภาพของเนื้อโฟมสม่ำเสมอทุกความหนาของชิ้นงานที่ทดสอบ (2.4 และ 8 ซม.)	2. คุณภาพของเนื้อโฟมแปรตามความหนาของชิ้นงาน (ชิ้นงานกลวงตรงกันเบ้าพิมพ์ที่ความหนา 8 ซม.)
3. เบ้าพิมพ์มีอายุการใช้งานนาน (6-8 รอบใช้งาน)	3. เบ้าพิมพ์มีอายุการใช้งานสั้น (2-3 รอบใช้งาน)

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำโฟมยาง

1. เบ้าพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ก่อนนำมาใช้ควรแห้งสนิทก่อน โดยการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 2–3 วัน
2. พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ควรมีความหนาของขอบตั้งแต่ 3 เซนติเมตรขึ้นไป เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบที่ 120 องศาเซลเซียสเพราะถ้าเบ้าพิมพ์มีความหนาน้อยกว่านี้เบ้าพิมพ์จะแตกง่าย ทำให้อายุการใช้งานสั้น
3. เบ้าพิมพ์โลหะและพลาสติกจะใช้เวลาในการวัลคาไนซ์น้อยกว่าเบ้าพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ และผิวของชิ้นงานจะเรียบกว่า คุณภาพของเนื้อโฟมภายในใกล้เคียงกัน
4. ZnO ควรใช้เกรด White seal (Zn 99 %) เพราะถ้าเกรดดำ จะมีผลต่อคุณภาพของเนื้อโฟม
5. สำหรับการนั่งความหนาของชิ้นงานจะมีผลต่อคุณภาพของเนื้อโฟม (ทดลองที่สูตรเดียวกับการอบ) ชิ้นงานที่หนามากกว่า 4 เซนติเมตรเนื้อโฟมจะมีลักษณะกลวง เนื่องจากการกระจายความร้อนและอัตราการถ่ายเทที่ต่างกัน ควรมีการทดลองปรับสูตรและเลือกใช้ชนิดของเบ้าพิมพ์ที่เหมาะสม
6. การใช้แอมโมเนียมโอเลตเป็นสารที่ทำให้เกิดฟองฟองยางที่ได้จะมีความเสถียรมากกว่าการใช้สารโปแตสเซียมโอเลต และแอมโมเนียจะหาซื้อได้ง่ายกว่า
7. ปริมาตรฟองยางที่ปั่นได้ถ้ามากเกินไป 6 เท่า จะทำให้ฟองยางมีความหนืดมาก เกิดจากการใช้เวลาในการปั่นนานเกินไป เกล็ดเบ้าพิมพ์ได้ยาก
8. ความเร็วในการปั่นช่วงปั่นให้เกิดฟองถ้าใช้ความเร็วระดับสูงมาก (มากกว่าระดับ 5 หรือประมาณ 1293 rpm) ฟองยางที่ได้จะไม่เสถียรและแตกเมื่อดึงให้ฟองยางเซตตัวในลักษณะเหมือนน้ำเดือด ทำให้คุณภาพของเนื้อโฟมที่ได้ไม่ดี ดังนั้นควรปั่นโดยใช้ความเร็วระดับ 4–4.5 (ประมาณ 1055 RPM)
9. อุณหภูมิช่วง 130–150 องศาเซลเซียส ยางสามารถวัลคาไนซ์ได้เร็วแต่ยางจะมีผิวเหลืองรวมทั้งอาจเกิด reversion ได้และที่สำคัญเบ้าพิมพ์จะใช้งานได้เพียงครั้งเดียว
10. น้ำยางที่ยังไม่ผ่านการหมักจะมีผลต่อคุณภาพของเนื้อโฟม และผิวของชิ้นงานจะลอกไม่ติดกับเนื้อโฟมดังนั้นก่อนนำน้ำยางมาทำผลิตภัณฑ์โฟมยาง ควรหมักน้ำยางอย่างน้อย 1 เดือน แต่น้ำยางที่ผ่านการหมักเกิน 4 เดือน จะทำให้ฟองยางจับตัวเร็ว

บรรณานุกรม

1. วราภรณ์ จจรไชยกุล “น้ำยาง” 2525
2. พรพรรณ นิธิอุทัย “สารเคมีสำหรับน้ำยาง” 2528
3. ชลดา เลวิช และ สุดา เกียรติกำจรวงศ์ “การเบลนด้วยธรรมชาติกับยางต่างชนิด” สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย 2545
4. เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี “การเตรียมสารเคมีสำหรับน้ำยาง” 2545
5. เอกสารประกอบการบรรยายภาคปฏิบัติแผนกพัฒนานิเทศเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ส่วนวิชาการและการปฏิบัติการ “งานผลิตภัณฑ์ยางจากน้ำยาง”.สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยางจังหวัดภูเก็ต
6. “การทำของชำร่วยจากน้ำยางพารา” ส่วนอุตสาหกรรมสถาบันวิจัยกรมวิชาการเกษตร
(http://www.doa.go.th/learning/rubber_toy/toy.html)
7. R.S. Gypta, and K.C. Dhingra, “Handbook of Rubber Chemical and Rubber Goods Industries”, Rubber,P 39 – 43.
8. S.Kiatkamjornwong, P.surunchanajirasakul , and P.Tasakorn . Plastics “Natural Rubber – Cassava Starch Foam by Compression Molding”, Plastics Rubber and composites vol.30 No. 7, P. 318 – 327, 2001.
9. G.P. Maurya, “Technology of Rubber Product”, Rubber Technology P.72 – 75.
10. M. Morton , Rubber Technology, P.471 – 477, 1973.
11. M. Morton, Rubber Technology, P.546 - 555 ,1987.

ภาคผนวก

ภาคผนวก A:

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง
(ยี่ห้อ adventure OHAUS
รุ่น PB3002 – S)



เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
(ยี่ห้อ adventure OHAUS
รุ่น AB 204 – S)



กล้องจุลทรรศน์
(optical microscope, OM)
(ยี่ห้อ OLYMPUS SBX60)



เตาอบ
(ยี่ห้อ memmert D06058 model 200)



Water Bath
(ยี่ห้อ ยี่ห้อ Julabo Labortechnik รุ่น TW20)



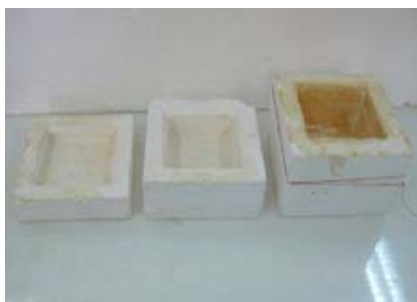
เครื่องบดผสม
(Ball Mill)



หม้อกระเบื้อง
และลูกบดอะลูมินา



เครื่องปั่น
(ยี่ห้อ pensonic รุ่น PM -209)



เบ้าพิมพ์ปูนปลาสเตอร์
ความหนาของขอบ 3 cm



หม้อนึ่งไอน้ำ



สารเคมีอยู่ในรูป
ดีสเพิซชั่น (dispersion)



ชุดป้องกันความสับสน
ในการผสมสารเคมีกับน้ำยาง

ภาคผนวก B:

ลักษณะของโฟมที่เกิดจากการทดลอง



ผิวเรียบ



ผิวย่น



ผิวลอก



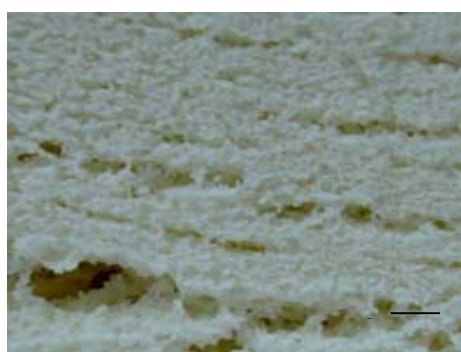
กลวง



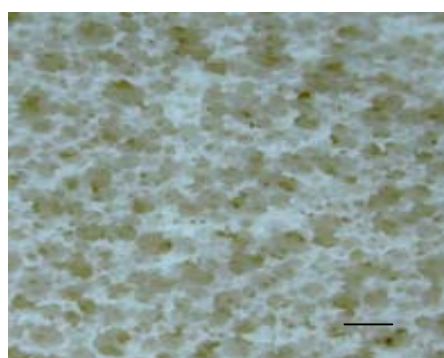
ขอบแตก



ไม่เซ็ดตัว



ลักษณะเนื้อโฟมที่เป็นชั้น



ลักษณะเนื้อโฟมที่สม่ำเสมอ

ภาคผนวก C:

บทความสำหรับเผยแพร่

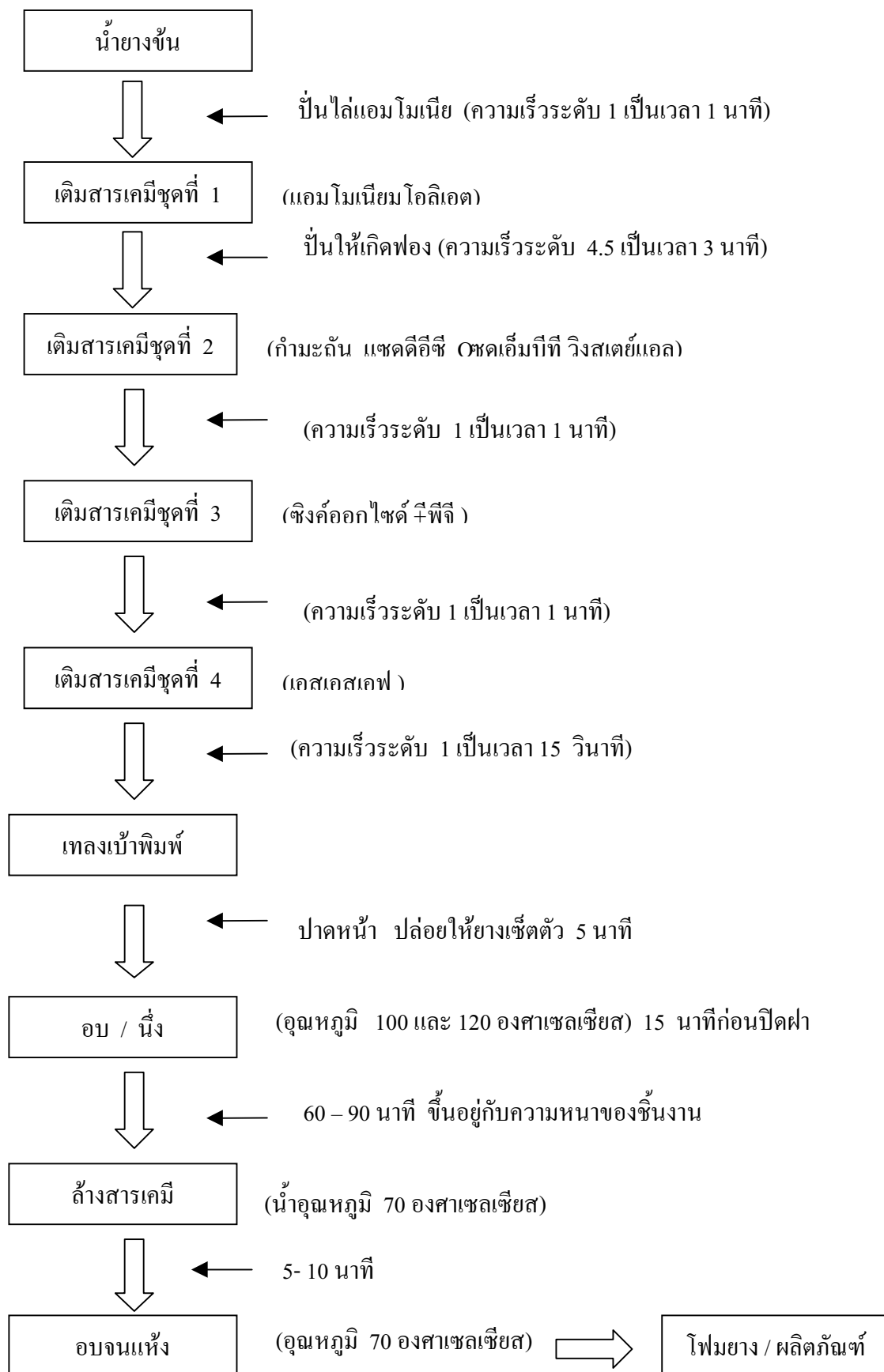
บทนำ

ผลิตภัณฑ์โฟมยางหรือยางฟองน้ำที่ทำจากยางธรรมชาติมีลักษณะเป็นรูพรุนใช้ทำผลิตภัณฑ์จำพวก เบาะนั่ง ที่นอน หมอน เสื้อการนอน ตุ๊กตาและของชำร่วยต่างๆ หลักการสำคัญของการผลิตยางฟองน้ำคือการทำให้น้ำยางเกิดฟองของอากาศหรือของแก๊สต่างๆแล้วทำให้ฟองยางคงรูป (หรือวัลคาไนซ์) ด้วยสารเคมีและความร้อน อย่างไรก็ตามการทำผลิตภัณฑ์โฟมจากยางธรรมชาติโดยทั่วไปยังประสบปัญหาเรื่องกระบวนการผลิต (รูปที่-1) ในแต่ละขั้นตอนยังไม่ได้พอทำให้ได้เนื้อโฟมที่ไม่สม่ำเสมอ นับตั้งแต่กรรมวิธีในการเตรียมสารเคมีหรือดิสเพิซชั่นต่างๆ (ตารางที่-1) ไม่ได้อัตราส่วนที่เหมาะสม ไม่สามารถเตรียมดิสเพิซชั่นที่แหล่งผลิตได้เองเนื่องจากขาดชุดอุปกรณ์การเตรียมสารและไม่สามารถควบคุมคุณภาพของดิสเพิซชั่นได้เนื่องจากต้องสั่งซื้อจากแหล่งอื่น รวมทั้งอาจเกิดการสับสนเรื่องขั้นตอนการผสมสารเคมีต่างๆเข้ากับน้ำยางขึ้น ตลอดจนถึงกรรมวิธีทำให้ยางคงรูปโดยการนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการสึกหรอของแม่พิมพ์ ด้วยเหตุนี้การพัฒนากระบวนการผลิตตลอดกระบวนการจึงมีความจำเป็นเพื่อที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้นและเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ

ตารางที่-1 สารเคมีที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์โฟมจากยางธรรมชาติ

สารเคมี-ดิสเพิซชั่น	หน้าที่
10% แอมโมเนียมโอเลเอต (Ammonium oleate)	สารช่วยให้เกิดฟอง
50% กำมะถัน (sulfur)	สารทำให้ยางคงรูป (แข็ง)
50% แซดดีอีซี (ZDEC)	สารตัวเร่งให้ยางสุก
50% แซดเอ็มบีที (ZMBT)	สารตัวเร่งให้ยางสุก
50% วิงสเตย์แอล (Wingstay L)	สารกันยางเสื่อม
50% ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	สารกระตุ้นตัวเร่ง
33% ดีพีจี (DPG)	สารตัวเร่งให้ยางสุก
12.5% เอสเอสเอฟ (SSF)	สารช่วยให้ฟองจับตัว

ขั้นตอนการทำโคมยามีดังต่อไปนี้



รูปที่-1 แสดงขั้นตอนการทำโคมยารและผลิตภัณฑ์จากโคมยาร

วัตถุประสงค์ของการวิจัย: เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติโดยการ

1. สร้างชุดอุปกรณ์เตรียมคัสเพิสชั้นด้วยเครื่องบดขนาดเล็ก (ball mill) ที่สามารถปรับปริมาณสารที่เตรียมตามความต้องการได้
2. ชุดอุปกรณ์และระบบป้องกันความสับสนในขั้นตอนการผสมสารเคมี-น้ำยาง
3. ทดลอง ปรับปรุงและพัฒนาสูตรเพื่อลดเวลาในการทำให้อย่างคงรูป (การบ่ม) ด้วยเตาอบที่ให้เนื้อโฟมที่มีคุณภาพสม่ำเสมอเพื่อลดการสึกหรอของเบ้าพิมพ์ (ปูนพลาสติกอร์)

ผลการวิจัย

1. เครื่องบดขนาดเล็ก (ball mill) ที่ได้ออกแบบและสร้างเพื่อใช้เตรียมสารคัสเพิสชั้นซึ่งมีลักษณะดังรูปที่-2 ซึ่งใช้ได้ทั้งหม้อบดเซรามิกส์และพลาสติกขนาดต่างๆ เส้นผ่าศูนย์กลางหม้อบดเท่ากับ 12.5 เซนติเมตร (บน) และ 10.2 เซนติเมตร (ล่าง) ความเร็วรอบของเพลาลูกหมุน (rollers) บนและล่างประมาณ 280 รอบ/นาที ภายในหม้อบดบรรจุลูกบดอะลูมิเนียมขนาด 1 และ 2 เซนติเมตร ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า (รวมราคาวัสดุทั้งสิ้นประมาณ 17,000 บาท แยกเป็นเหล็กและมอเตอร์ 11,000 และ หม้อบด 2 ใบราคารวม 7,000 บาท)



รูปที่-2 แสดงเครื่องบดสารเคมี (ball mill) ที่ออกแบบและจัดสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้

2. ชุดสารเคมี (คัสเพิสชั้น) ป้องกันความสับสนตามลำดับขั้นตอนการผสมที่จัดทำขึ้นแสดงดังรูปที่-2 ซึ่งประกอบด้วยภาชนะพลาสติกสำหรับใส่สารสำหรับทำโฟมยางจำนวน 8 ชนิดจัดเก็บในชั้นเก็บสารที่ระบุรายละเอียดของขั้นตอนการผสม ภาชนะแต่ละใบระบุชื่อสารแต่ละชนิดและภายในบรรจุลูกบอลอะลูมิเนียมขนาด 0.6 มิลลิเมตรเพื่อช่วยในการกวนสารที่ตกตะกอน โดยภาชนะที่บรรจุคัสเพิสชั้นจะทำการแบ่งสารออกเป็นชุดๆ (ตามสีของภาชนะ) เพื่อป้องกันความสับสนเรื่องขั้นตอนการผสม



รูปที่-3 แสดงชุดสารเคมี (คีสเพิสชั่น) เพื่อป้องกันความสับสนในขั้นตอนผสม

3. ในการทำการทดลองพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติเพื่อลดเวลาในการบ่มยางด้วยเตาอบที่ให้เนื้อโฟมที่มีคุณภาพสม่ำเสมอสรุปได้ดังต่อไปนี้

3.1. ตัวแปรที่มีผลต่อเวลาที่ใช้อบ

ผลการศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อการลดเวลาที่ใช้อบในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาถึงปริมาณสารเคมีที่ใช้ ความเร็วและเวลาในการปั่นสรุปได้ดังตารางที่-2 และ ตารางที่-3 จากข้อมูลสรุปได้ว่าปริมาณสารเคมีที่ใช้ไม่ได้แปรผันตรงกับปริมาตรของเนื้อโฟมที่เปลี่ยนไป (เช่นในกรณีของ 2 ส่วน) ซึ่งในการผลิตจริงอาจต้องมีการปรับปริมาณสารบ้างอันเนื่องมาจากผลจากทั้งระดับความเร็วและเวลาของการปั่นที่ปริมาตรต่างๆออกไป ส่วนผลการศึกษาถึงอุณหภูมิและวิธีการอบที่ขึ้นงานความหนาต่างๆได้สรุปไว้ดังตารางที่-4

ตารางที่-2 สรุปปริมาณสารเคมี ระดับความเร็วและเวลาในการปั่นของการของการทำโฟมยาง 1 ส่วนที่ได้พัฒนาในงานวิจัยนี้

น้ำยางและสารเคมี	น้ำหนัก (เปียก) (g)	น้ำหนัก (แห้ง) (phr)	ระดับความเร็ว ในการปั่น	เวลาในการปั่น (min)
60 % น้ำยางข้น	167	100	3	1
10 % แอมโมเนียมโอเลเอต (ชุด-1)	15	1.5	4.5	2
50 % S (ชุด-2)	4	2	3	2
50 % ZDEC (ชุด-2)	4	2		
50 % ZMBT (ชุด-2)	4	2		
50 % Wingstay L (ชุด-2)	4	2		
50 % ZnO (ชุด-3)	10	5	1	1
33 % DPG (ชุด-3)	4	1.4		
12.5 % SSF (ชุด-4)	2	0.4	1	45 วินาที

* 1 ส่วนคือ การทดลองที่ใช้ปริมาณน้ำยางข้น 167 g (เปียก) เทียบเท่ากับยาง 100 ส่วน (แห้ง)

ตารางที่-3 สรุปปริมาณสารเคมี ระดับความเร็วและเวลาในการปั่นของการของการทำโฟมยาง 2 ส่วนที่ได้พัฒนาในงานวิจัยนี้

นํ้ายางและสารเคมี	นํ้าหนัก (เปียก) (g)	นํ้าหนัก (แห้ง) (2*phr)	ระดับความเร็ว ในการปั่น	เวลาในการปั่น (min)
60 % นํ้ายางข้น	334	2 * 100	3	2
10 % แอมโมเนียมโอเลต (ชุด-1)	30	2 * 1.5	4.5	2
50 % S (ชุด-2)	7	2 * 1.75	2	3
50 % ZDEC (ชุด-2)	4.6	2 * 1.15		
50 % ZMBT (ชุด-2)	5	2 * 1.25		
50 % Wingstay L (ชุด-2)	4	2 * 1		
50 % ZnO (ชุด-3)	21.6	2 * 5.4	1	1.30
33 % DPG (ชุด-3)	8.6	2 * 1.4		
12.5 % SSF (ชุด-4)	0.6	2 * 0.04	1	1

* 2 ส่วน คือ การทดลองที่ใช้ปริมาณนํ้ายางข้น 334 g (เปียก) เทียบเท่ากับยาง 2*100 ส่วน (แห้ง)

ตารางที่-4 แสดงผลการศึกษาและเปรียบเทียบถึงตัวแปรที่มีผลต่อการลดเวลาในการอบ

ตัวแปร	เวลาในการอบได้ (นาที)		
	หนา 2 ซ.ม.	หนา 4 ซ.ม.	หนา 8 ซ.ม.
1. อุณหภูมิ (เดิม 100 °C เปิดฝา / ปิดฝา)	120 / 70	120 / 90	140 / 110
1.1 120 °C เปิดฝา	110	120	130
1.2 120 °C ปิดฝา	60	75	90
2. การปรับสาร			
2.1 DPG (1.4 phr เดิมใช้ 2 phr)	60	75	90
2.2 ZDEC (1.15 phr เดิมใช้ 2 phr)			
2.3 ZMBT (1.25 phr เดิมใช้ 2 phr)			
2.4 S (1.75 phr เดิมใช้ 4 phr)			
2.5 ZnO (5.4 phr เดิมใช้ 10 phr)			

ซึ่งพบว่าการปรับสารเคมีที่ใช้ไม่มีผลต่อเวลาที่ใช้อบดังเช่นการปรับอุณหภูมิและการปิดฝาเบ้าพิมพ์ นอกจากนี้ตัวแปรอื่นๆที่มีผลต่อเวลาในการอบ คือ ความหนาของเบ้าพิมพ์ และชนิดของวัสดุที่ใช้ในการทำเบ้าพิมพ์ ซึ่งได้ศึกษาเบื้องต้นในการใช้วัสดุประเภทต่างๆ เช่น พลาสติก โลหะ (อะลูมิเนียม) และปูนปลาสเตอร์ พบว่ายังสามารถวัดค่าไนซ์ได้เร็วที่สุดเมื่อใช้เบ้าพิมพ์โลหะเมื่อเทียบกับเบ้าพิมพ์พลาสติกและปูนปลาสเตอร์

3.2 ตัวแปรที่มีผลต่อความหนืดของฟองยาง

ในช่วงที่ปั่นให้เกิดฟอง (เติมสาร Ammoniumoleate) โดยใช้ระดับความเร็ว 4.5 ถ้าใช้เวลาในการปั่น 2 นาที ทำให้ฟองยางมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 6 เท่า ของปริมาตรเริ่มต้นน้ำยางขึ้น เวลาที่ใช้ในการปั่นเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ได้ ปริมาตรฟองยางเพิ่มขึ้นแต่ข้อเสียคือทำให้ฟองยางมีความหนืดมาก เทลงเบ้าพิมพ์ได้ยากซึ่งไม่เหมาะกับการผลิต และ ปริมาณ SSF ที่ใช้มากเกินไปมีผลทำให้ฟองยางหนืดและจับตัวเป็นเจลเร็ว

3.3 เปรียบเทียบระหว่างการอบกับการนึ่ง

จากสูตรที่ได้พัฒนาแล้วและใช้เบ้าพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ความหนาของขอบเบ้าพิมพ์ 3.0 ซม. ได้ข้อสรุปเปรียบเทียบระหว่างการอบกับการนึ่งดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่-4 แสดงผลเปรียบเทียบระหว่างการอบและการนึ่ง (สูตรในตารางที่-2)

การอบ	การนึ่ง
1. ยางใช้เวลาวัลคาไนซ์ 60-90 นาที (ความหนา 2-4 ซม.)	1. ยางใช้เวลาวัลคาไนซ์ 15-25 นาที (ความหนา 2-4 ซม.)
3. คุณภาพของเนื้อโฟมสม่ำเสมอทุกความหนา ของชิ้นงานที่ทดลอง (2 4 และ 8 ซม.)	3. คุณภาพของเนื้อโฟมแปรตามความหนาของชิ้นงาน (ชิ้น งานกลวงตรงกันเบ้าพิมพ์ที่ความหนา 8 ซม.)
3. เบ้าพิมพ์มีอายุการใช้งานนาน (6-8 รอบใช้งาน)	3. เบ้าพิมพ์มีอายุการใช้งานสั้น (2-3 รอบใช้งาน)

สรุปผลการวิจัย

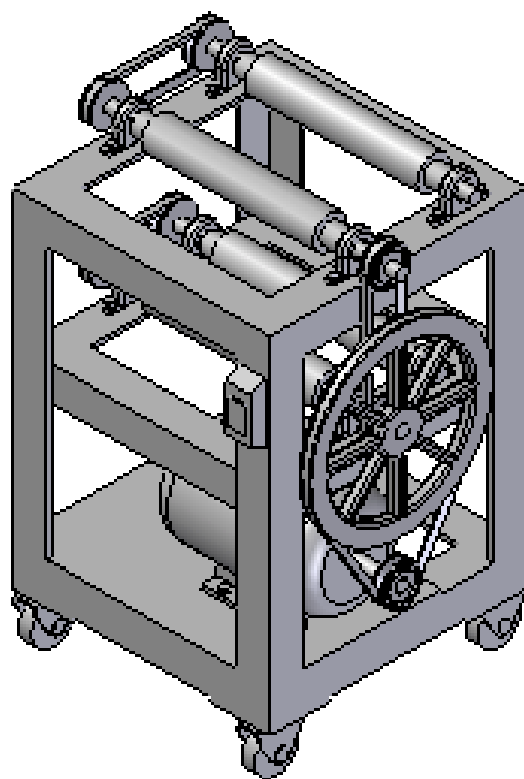
การพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติให้มีคุณภาพ ในโครงการนี้ได้พัฒนากระบวนการตั้งแต่การเตรียม สารเคมี (ดีสเพิซัน) โดยการสร้างเครื่องบดสารขนาดเล็ก (ball mill) ที่สามารถเตรียมดีสเพิซันได้ดีเทียบเท่ากับเครื่อง บดสารที่มีขายตามท้องตลาดแต่ราคาถูกกว่า และชุดอุปกรณ์ป้องกันความสับสนเรื่องขั้นตอนการผสมสารเคมีต่างๆ เข้า กับน้ำยาง ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตและพัฒนาสูตรเพื่อลดเวลาในการอบยางด้วยเตาอบที่ให้เนื้อโฟมที่มีคุณภาพ สม่ำเสมอ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการอบยางเป็น 120°C และปิดเบ้าพิมพ์ด้วยแผ่นอะลูมิเนียมความหนา 1 มิลลิเมตร ยางใช้เวลาเซตตัวเพื่อคงรูป (วัลคาไนซ์) 60-90 นาที ที่ความหนาของชิ้นงาน 2-8 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อเทียบกับการบ่มที่ ใช้กันทั่วไปที่ความหนาเดียวกัน (อุณหภูมิ 100°C ใช้เวลาในการเซตตัว 120 – 140 นาที) สามารถลดเวลาในการบ่ม ยางได้ประมาณ 2 เท่า ผลการทดลองแปรค่าปริมาณสารเคมีต่างๆ ได้แก่ สารคงรูป (Sulfur, S) สารตัวเร่ง (ZDEC, ZMBT, DPG) สารตัวกระตุ้น (ZnO) และสารทำให้เกิดเจล (SSF) พบว่าการเพิ่มหรือลดปริมาณสารเคมีไม่มีผลต่อเวลา ในการอบยางและความหนาแน่นของโฟมที่ได้ (ความหนาแน่นเฉลี่ยของโฟมยางมีค่าเท่ากับ 0.167 g/cm^3) แต่การแปรค่า ปริมาณสารเคมีทำให้เนื้อโฟมมีคุณภาพสม่ำเสมอสังเกตได้จากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลและกล้องจุลทรรศน์และความหนา แน่น

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมา

กิจกรรม	ดำเนินการ	ผลที่ได้
1.ศึกษาเก็บข้อมูลของการผลิตโคมยางธรรมชาติและแนวความคิดในการแก้ปัญหา	100%	ทราบถึงกระบวนการเตรียมคิสเพิสชั้นรวมถึงสูตรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำโคมยางธรรมชาติ
2.ออกแบบกระบวนการและชุดอุปกรณ์เตรียมสารวางแผนและทดลองปรับสูตรการผสมสารเคมีกับน้ำยาง	100%	ออกแบบเครื่องบดผสมสารเคมี (ball mill) และวางแผนการทดลองการปรับสูตรการผสมสารเคมีกับน้ำยาง
3.สร้างชุดอุปกรณ์สำหรับเตรียมสารเคมีที่ได้ออกแบบและทำการทดสอบการใช้งาน และสร้างชุดอุปกรณ์ป้องกันความสับสนในขั้นตอนการผสมสารเคมี-น้ำยาง	100%	สร้างเครื่องบดผสมสารเคมี (ball mill) และทดสอบการบดสารเคมีเพื่อไปใช้ในการทดลองออกแบบชุดอุปกรณ์จัดหมวดสารที่ต้องใช้เพื่อป้องกันความสับสนในการผสม
4.ทดสอบเก็บข้อมูลคุณสมบัติต่างๆของโคมยางธรรมชาติที่ผลิตได้และปรับปรุงแก้ไข	100%	ปรับสูตรการผสมสารเคมีกับน้ำยางและทดลองผลิตโคมยางธรรมชาติดูถึงคุณสมบัติความสม่ำเสมอของโคมยางธรรมชาติที่ผลิตได้ พร้อมทั้งปรับปรุงกรรมวิธีในการอบและปริมาณสารเคมีเพื่อให้ได้เนื้อโคมที่มีความสม่ำเสมอมากขึ้น
5.ประเมินคุณสมบัติต่างๆของโคมยางธรรมชาติหลังปรับปรุงแก้ไขและสรุปผล	100%	นำโคมยางธรรมชาติที่ได้จากสูตรที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบกับโคมยางธรรมชาติที่ได้จากสูตรทั่วไปโดยกรรมวิธีการอบและการนึ่งและสรุปผลการทดลอง

ภาคผนวก D:

โครงสร้างและรายละเอียดของเครื่องบดผสมสารเคมี (ball mill machine) ที่สร้างขึ้น



ball mill machine