



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติ
(Development of Natural Rubber Foam Processing)

โดย ดร.วิริยะ ทองเรือง และคณะ

14 มีนาคม 2547

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติ
(Development of Natural Rubber Foam Processing)

คณะผู้วิจัย สังกัด

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. ดร.วิริยะ ทองเรือง | ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์ |
| 2. ดร.เจริญยุทธ เดชวายุกุล | ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์ |
| 3. นางสาวจิตระดา สุนโท | หลักสูตรวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์ |
| 4. นายยงยุทธ รุกขชาติสุวรรณ | หลักสูตรวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์ |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ได้ด้วยดี ด้วยการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่ายอุตสาหกรรม (ยางพารา) ภายใต้การดูแลของ ดร. วิริยะ ทองเรือง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่คอยให้คำปรึกษา และคอยแนะนำในทุกๆเรื่องไม่ว่าจะเป็นเรื่องของโครงการและเรื่องของรายงาน รวมทั้งการแก้ปัญหาต่างๆ ซึ่งคำแนะนำของอาจารย์สามารถนำมาเป็นแนวทางในการแก้ปัญหา ทำให้โครงการสำเร็จไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ ดร. เจริญยุทธ เดชวายุกุล ผศ.ครุณี ผ่องสุวรรณ และ ผศ.อดุลย์ เทียงจรรยา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการ ที่คอยให้คำปรึกษา และคอยแนะนำในเรื่องต่างๆ ขอขอบคุณภาควิชาพอลิเมอร์ที่อนุเคราะห์สารเคมีบางชนิด และขอขอบคุณหลักสูตรศาสตร์ วัสดุศาสตร์ที่เอื้อเพื่อสถานที่ และขอขอบคุณเพื่อนๆที่ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ สุดท้ายขอขอบคุณพ่อแม่ และแม่ รวมทั้งทุกๆคนที่คอยให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

นางสาวจิตรดา สุนโท

นายยงยุทธ รุกขชาติสุวรรณ

บทคัดย่อ

การพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติในโรงงานนี้เน้นออกแบบและสร้างเครื่องเตรียมสาร (ดีสเพิซัน) ราคาต่ำตลอดถึงชุดป้องกันความสับสนในการผสม อีกทั้งยังพัฒนาสูตรการผสมเพื่อลดเวลาที่ใช้ในการบ่มในเตาอบที่ส่งผลให้ยืดอายุการใช้งานของโมลได้ การลดเวลาในการบ่มสามารถทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิของการบ่มเป็น 120°C และปิดโมลด้วยแผ่นอลูมิเนียม ซึ่งจะช่วยลดเวลาของการบ่มได้เหลือประมาณครึ่งหนึ่งของเวลาที่ใช้บ่มทั่ว ๆ ไป หรือประมาณ 60-90 นาที (ที่ความหนาของโฟม 2-8 cm) การปรับสภาพพบว่าไม่มีผลต่อเวลาที่ใช้บ่มแต่ทำให้เนื้อโฟมสม่ำเสมอมากขึ้น

Abstract

The development of natural rubber foam processing in this project deals with designing and making a low-cost ball mill machine for chemical dispersion preparation as well as the set of well-organized dispersion. The project was also including development of the new recipe for reducing the cure time in an oven to prolong a mold use. The successful methods to reduce the cure time found from this study are to increase the cure temperature to 120°C and closing the mould with aluminum sheet. The new cure times achieving are 60-90 minutes (of 2-8 cm thick samples) or about a half of a typical curing process (100°C in oven). With varying the amount of chemical agents, sulfur (S), ZDEC, ZMBT, DPG, ZnO and SSF, there is no effect to the cure time and density of foam samples. The well-developed recipe in this study provides highly uniform foam samples.

คำนำ

รายงานฉบับสมบูรณ์นี้เป็นผลจากการทำโครงงานนักศึกษาที่ได้ศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตโคมยางธรรมชาติ โดยร่วมกับสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่ายอุตสาหกรรม (ยางพารา) และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งการพัฒนากระบวนการผลิตโคมยางธรรมชาติในโครงงานนี้ ได้ทำการสร้างเครื่องบดสาร (ball mill) และชุดอุปกรณ์ป้องกันความสับสนในการผสมสารเคมีกับน้ำยางและทดลอง ปรับปรุง และพัฒนาสูตรเพื่อลดเวลาในการบ่มยางด้วยเตาอบที่ให้เนื้อโคมที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ ในรายงานเล่มนี้จะบอกถึงสูตร และขั้นตอนการทำโคมยางอย่างละเอียด รวมถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อคุณภาพของเนื้อโคม และการวัดค่าไนซ์ของยาง ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงงานฉบับนี้จะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาวิจัยของผู้สนใจต่อไป

นางสาวจิตรระดา สุนโท

นายยงยุทธ รุกขชาติสุวรรณ

14 มีนาคม 2547

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ระเบียบวิธีวิจัย	1
1.4 สิ่งที่เราคาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โครงสร้างและสมบัติของยางธรรมชาติ	3
2.2 ยางพองน้ำ	4
2.3 สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการผลิตยางพองน้ำ	4
2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมดีสเฟลชัน	8
บทที่ 3 สารเคมี วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	
3.1 สารเคมี	9
3.2 อุปกรณ์	10
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง	10
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 การทดลองที่ 1 : การพัฒนากระบวนการผลิตสำหรับทำโฟมยาง (1 ส่วน)	17
4.2 การทดลองที่ 2 : การพัฒนากระบวนการผลิตสำหรับทำโฟมยาง (2 ส่วน)	22
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
บรรณานุกรม	43
ภาคผนวก	44
ภาคผนวก A : เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	45
ภาคผนวก B : ลักษณะของโฟมยางที่ได้จากการทดลอง	47
ภาคผนวก C : บทความสำหรับเผยแพร่	48
ภาคผนวก D : ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมา	53
ภาคผนวก E : ลักษณะและโครงสร้างของเครื่องบดผสมสารเคมี (ball mill machine)	54

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงสูตรเริ่มต้นที่ใช้สำหรับพัฒนากระบวนการผลิตโพลิเมอร์อย่างธรรมชาติในการวิจัยนี้	11
3.2 แสดงความเร็วรอบเฉลี่ยของเครื่องปั่นแต่ละระดับ	13
4.1 แสดงเวลาที่ใช้ในการอบและการนึ่ง และความหนาแน่นของโพลิเมอร์ที่ได้จากสูตรเริ่มต้น	17
4.2 แสดงปริมาณสารเคมี ระดับความเร็วและเวลาที่ใช้ในการปั่นของสูตรที่พัฒนา (1 ส่วน)	20
4.3 แสดงเวลาที่ใช้ในการอบและการนึ่ง และความหนาแน่นของโพลิเมอร์โดยการปิดฝา	20
4.4 แสดงการเปรียบเทียบสูตรเริ่มต้นและสูตรที่พัฒนาแล้วสำหรับการทำโพลิเมอร์ (1 ส่วน)	22
4.5 แสดงปริมาณสารเคมี ระดับความเร็วและเวลาที่ใช้ในการปั่น โดยมีการปรับปริมาณสารที่ใช้เป็น 2 ส่วน	23
4.6 แสดงสูตรการทำโพลิเมอร์ (2 ส่วน) ที่ได้พัฒนาแล้ว	25
4.7 แสดงเวลาที่ใช้ในการอบ และความหนาแน่นของโพลิเมอร์เมื่อใช้สูตร 2 ส่วนที่พัฒนาแล้ว	25
4.8 แสดงการแปรค่าปริมาณสารเคมีต่างๆ	27
4.9 แสดงความหนาแน่นเมื่อแปรค่าปริมาณ DPG	27
4.10 แสดงความหนาแน่นเมื่อแปรค่าปริมาณ ZDEC	29
4.11 แสดงความหนาแน่นเมื่อแปรค่าปริมาณ ZMBT	30
4.12 แสดงความหนาแน่นเมื่อแปรค่าปริมาณกำมะถัน (S)	31
4.13 แสดงความหนาแน่นเมื่อแปรค่าปริมาณ ZnO	32
4.14 แสดงสูตรการทำโพลิเมอร์ (2 ส่วน) ที่ทำการปรับค่าปริมาณสารเคมีต่าง ๆ	33
4.15 แสดงเวลาที่ใช้ในการอบและการนึ่ง และความหนาแน่นของโพลิเมอร์ที่ได้จากสูตรการปรับค่าปริมาณสารเคมีต่างๆ (2 ส่วน)	34
4.16 แสดงปริมาณสารเคมี ระดับความเร็วและเวลาที่ใช้ในการปั่นของกลุ่มเกษตรกรทำสวนป่าครอก จังหวัดภูเก็ต (2 ส่วน)	36
4.17 แสดงเวลาที่ใช้ในการอบและการนึ่ง และความหนาแน่นของโพลิเมอร์ที่ได้จากสูตรของกลุ่มเกษตรกรทำสวนป่าครอก จังหวัดภูเก็ต (2 ส่วน)	37
4.18 แสดงการเปรียบเทียบสูตรจากกลุ่มเกษตรกรทำสวนป่าครอก จังหวัดภูเก็ต (2 ส่วน) และสูตรที่พัฒนาแล้วสำหรับการทำโพลิเมอร์ (2 ส่วน)	39
5.1 แสดงผลการศึกษาและเปรียบเทียบถึงตัวแปรที่มีผลต่อเวลาการวัลคาไนซ์ของยาง	40
5.2 แสดงเปรียบเทียบระหว่างการอบกับการนึ่ง	41

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ (cis 1,4- polyisoprene)	3
2.2 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZDEC (Zinc - N – diethyl dithiocarbamate)	5
2.3 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZMBT (Zinc salt of mercaptobenzothiazole)	5
2.4 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ DPG (Diphenyl guanidine)	6
2.5 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ Sodium naphthalene formaldehyde sulphonate	7
4.1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะเนื้อโพลิเมอร์ระหว่างการอบกับการนึ่งของสูตรเริ่มต้น (1 ส่วน)	18
4.2 แสดงลักษณะเนื้อโพลิเมอร์เปรียบเทียบการอบกับการนึ่งของสูตรที่พัฒนา 1 ส่วน	21
4.3 แสดงลักษณะเนื้อโพลิเมอร์ของสูตรเริ่มต้น 2 ส่วนด้วยกระบวนการอบและขึ้นงานหนา 4 cm	23
4.4 แสดงลักษณะฟองอากาศขนาดใหญ่เกิดขึ้นภายในเนื้อโพลิเมอร์เมื่อใช้ SSF น้อยกว่า 0.04 phr (2 ส่วน)	24
4.5 แสดงลักษณะเนื้อโพลิเมอร์ของสูตรการทำโพลิเมอร์ (2 ส่วน) ที่ได้พัฒนาแล้ว	26
4.6 แสดงลักษณะเนื้อโพลิเมอร์เมื่อใช้ DPG 1.4 phr (2 ส่วน)	28
4.7 แสดงลักษณะเนื้อโพลิเมอร์เมื่อใช้ ZDEC 1.15 phr (2 ส่วน)	29
4.8 แสดงลักษณะเนื้อโพลิเมอร์เมื่อใช้ ZMBT 1.25 phr (2 ส่วน)	30
4.9 แสดงลักษณะเนื้อโพลิเมอร์เมื่อใช้กำมะถัน (S) 1.75 phr (2 ส่วน)	31
4.10 แสดงลักษณะเนื้อโพลิเมอร์เมื่อใช้ ZnO 5.4 phr (2 ส่วน)	33
4.11 แสดงลักษณะเนื้อโพลิเมอร์เปรียบเทียบระหว่างการอบกับการนึ่ง (สูตรที่ได้จากการปรับค่าปริมาณสารต่าง ๆ 2 ส่วน)	35
4.12 แสดงลักษณะเนื้อโพลิเมอร์เปรียบเทียบระหว่างการอบกับการนึ่ง (สูตรที่ได้รับจากกลุ่มเกษตรกรทำสวนป่าครอก จังหวัดภูเก็ต 2 ส่วน)	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากการไปทัศนศึกษาและดูงานการทำผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโคมยางธรรมชาติของกลุ่มเกษตรกร (ต. ท่าอยู่ อ. ตะกั่วทุ่ง จ.พังงา) พบว่ากลุ่มยังประสบปัญหาเรื่องกระบวนการผลิตทำให้ได้เนื้อโคมที่ไม่สม่ำเสมอและผลิตภัณฑ์มีคุณภาพไม่ดี ซึ่งจากการวิเคราะห์สรุปได้ว่ากระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนยังไม่มีดีพอ ขาดความแน่นอนและเที่ยงตรง นับตั้งแต่กรรมวิธีในการเตรียมสารเคมีหรือดีสเพิซันต่างๆ ที่อาจไม่ได้อัตราส่วนที่เหมาะสม ไม่สามารถเตรียมดีสเพิซันที่แหล่งผลิตได้เองเนื่องจากขาดชุดอุปกรณ์การเตรียมสาร ไม่สามารถควบคุมทั้งคุณภาพและปริมาณของดีสเพิซันได้ เนื่องจากต้องสั่งซื้อจากแหล่งอื่น และอาจเกิดการสับสนเรื่องขั้นตอนการผสมสารเคมีต่างๆ เข้ากับน้ำยางขึ้น ตลอดจนถึงกรรมวิธีทำให้ยางสุก (โดยการนี้) ที่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการสีกรของแม่พิมพ์ จากปัญหาดังกล่าวทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางธรรมชาติของกลุ่มเกษตรกรท่าอยู่ ยังคงยคุณภาพและไม่เป็นที่ยอมรับของตลาด ด้วยเหตุนี้การพัฒนากระบวนการผลิตตลอดกระบวนการจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้นและเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของตลาด นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของยางพาราได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตโคมยางธรรมชาติโดยการ

1. สร้างชุดอุปกรณ์เตรียมดีสเพิซันด้วยเครื่องบดขนาดเล็ก (ball mill) ที่สามารถปรับปริมาณสารที่เตรียมตามความต้องการได้
2. ชุดอุปกรณ์และระบบป้องกันความสับสนในขั้นตอนการผสมสารเคมี - น้ำยาง
3. ทดลองปรับปรุง และพัฒนาสูตรเพื่อลดเวลาในการบ่มยางด้วยเตาอบที่ให้เนื้อโคมที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ สามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบกระบวนการสำหรับทำผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และเป็นที่ต้องการของตลาดต่อไป

1.3 ระเบียบวิธี

เตรียมดีสเพิซันและผสมสารเคมี - น้ำยาง และพัฒนาสูตรการผสมสารเคมีกับยางธรรมชาติ (น้ำยางข้น) เพื่อลดเวลาในการบ่มให้ยางสุกด้วยเตาอบที่ให้เนื้อโคมที่สม่ำเสมอรวมทั้งศึกษาเปรียบเทียบกับการนี้ วิเคราะห์ปัญหาและแนวคิดต่างๆ ในการแก้ปัญหา ทำการทดสอบแนวคิดเบื้องต้น

1.4 สิ่งที่ได้คาดว่าจะได้รับ

จากการพัฒนากระบวนการผลิตโคมยางธรรมชาติเพื่อใช้ทำผลิตภัณฑ์จะได้กระบวนการผลิตที่ได้ผ่านการทดลองพัฒนาและตรวจสอบแล้วว่าทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีเพื่อใช้เป็นต้นแบบกระบวนการผลิตที่สามารถถ่ายทอดไปสู่กลุ่มเกษตรกร (ตำบลท่าอยู่) และกลุ่มอื่นๆซึ่งจะทำให้ชุมชนมีรายได้เพิ่มขึ้น และเป็นการเพิ่มมูลค่าของยางพาราได้ซึ่งพอจะสรุปผลที่จะได้ดังต่อไปนี้

ระยะเวลา 0 – 3 เดือน

หลักการ และขั้นตอนการเตรียมดีสเพิชั่น (dispersion) และสูตรการผสมสารเคมีกับยางธรรมชาติที่เหมาะสม เพื่อให้ได้เนื้อโฟมที่สม่ำเสมอที่สามารถใช้เป็นต้นแบบสำหรับทำผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

ระยะเวลา 3 – 6 เดือน

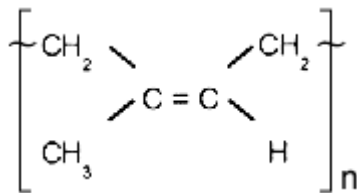
เปรียบเทียบผลหลังการปรับปรุงสูตรถึงเวลาและคุณภาพของเนื้อโฟมด้วยกระบวนการอบ การนึ่ง และ กระบวนการอบก่อนปรับสูตร

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างและสมบัติของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติ เป็นสารประกอบพอลิไฮโดรคาร์บอน ที่มีหน่วยย่อยๆแต่ละหน่วยประกอบขึ้นด้วย C 5 อะตอม และ H 8 อะตอม เขียนเป็นสูตรเคมีได้ดังนี้ คือ C_5H_8 เรียกชื่อทางเคมีว่าไอโซพรีน โครงสร้างที่ประกอบเป็นโมเลกุลยาง 1 โมเลกุลประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีนมากกว่า 5000 หน่วยขึ้นไป ดังนั้นในทางเคมีจึงเรียกว่า โพลีไอโซพรีน (Polyisoprene) (1) ยางธรรมชาติมีความถ่วงจำเพาะ 0.934 ที่ 20 °C และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อถูกยืดหรือเย็นตัวลง มีดัชนีหักเหแสงเท่ากับ 1.5215-1.5238 ที่ 20 °C และสูตรโครงสร้างของโมเลกุลดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ (cis 1,4- polyisoprene)

โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงน้ำยางธรรมชาติในความหมายของโรงงานอุตสาหกรรมแล้วมักจะหมายถึงน้ำยางในสถานะที่ทำให้ข้นแล้ว วิธีการผลิตน้ำยางข้นนั้นมีด้วยกันหลายวิธีแต่ที่นิยมกันมากที่สุดคือวิธีการปั่นน้ำยาง (centrifuging) ซึ่งจะให้ น้ำยางที่มีความเข้มข้นประมาณ 60% ของเนื้อยางแห้ง

โครงสร้างหลักที่มีผลกระทบต่อสมบัติของยาง คือ

1. ยางประกอบด้วย C และ H ล้วนๆ ทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติไม่ทนน้ำมันปิโตรเลียมหรือน้ำมันพืช
2. พันธะคู่ที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา ทำให้สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถันและทำให้ยางทำปฏิกิริยาได้ง่ายกับออกซิเจนและโอโซน เป็นสาเหตุของการเสื่อมของยางทำให้การออกแบบสูตรของยางจำเป็นต้องมีสารกันเสื่อม เช่นสารต้านการถูกออกซิไดซ์ (Antioxidant) และสารต้านโอโซน (Antiozonant)
3. สายโซ่ที่เคลื่อนไหวหักงอไปมาได้ง่าย ทำให้ยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดี อาจจะสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมากๆ ยางธรรมชาติมีค่า T_g เท่ากับ -72 °C ซึ่งต่ำกว่ายางสังเคราะห์อื่นๆยกเว้น เฉพาะยางบิวทาไดอินและยางซิลิโคนเท่านั้น
4. ความสม่ำเสมอในโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อยืดทำให้มีความต้านทานแรงดึงสูงมากและทำให้ค่า green strength สูงและ tack ดี
5. น้ำหนักโมเลกุลสูงทำให้ยางมีความเหนียวเกินไปที่นำไปแปรรูปโดยตรง จึงต้องนำยางไปบด เพื่อให้ได้ โมเลกุลเล็กลงก่อนนำไปใช้งาน

2.2 ยางฟองน้ำ (Latex foam rubber)

ยางฟองน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ผิวหน้าระบายอากาศออกได้และสามารถกดหรือบิดได้โดยไม่เสียรูปร่างถาวร จึงนิยมใช้เป็นสิ่งของเครื่องใช้เพื่อการรองรับน้ำหนัก เช่น ใช้ทำเบาะเก้าอี้ ใช้ทำหมอนหนุน หรือที่นอน เป็นต้น

หลักการสำคัญของการผลิตยางฟองน้ำประกอบด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอน คือ

- (1) การทำให้น้ำยางเกิดฟองเป็นฟองอากาศหรือฟองของก๊าซต่าง ๆ
- (2) การทำให้น้ำยางที่เป็นฟองแล้วเกิดเจลในเบ้าหรือโดยวิธีการอื่น ๆ ที่ต้องการทำยางให้เป็นแผ่น
- (3) การวัลคาไนซ์ฟองยางที่ได้

2.3 สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการผลิตยางฟองน้ำ

2.3.1 สารวัลคาไนซ์

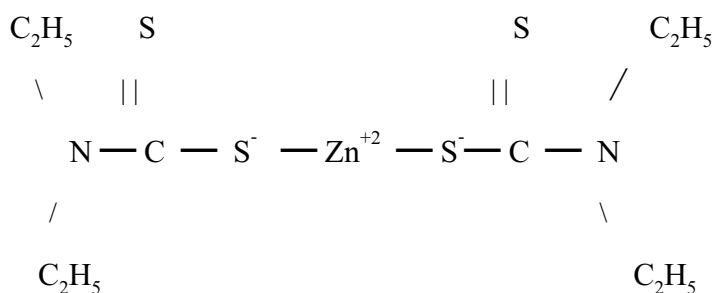
กำมะถัน

เป็นสารที่ใช้เพื่อวัลคาไนซ์ยาง โดยเมื่อใส่กำมะถันเข้าไปในยางแล้วให้ความร้อน จะเกิดการวัลคาไนซ์ ทำให้สมบัติของยางดีขึ้นคือ เมื่อร้อนไม่เหนียว เมื่อเย็นไม่แข็ง ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายในตัวทำละลาย เป็นต้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกำมะถันทำให้เกิดการเชื่อมขวางของโมเลกุลยาง (crosslink) การเชื่อมขวางในยางทำให้โมเลกุลของยางใหญ่ขึ้นทำให้เกิดการหลอมเหลวเมื่อถูกความร้อนและแข็งตัวเมื่อเย็นเป็นไปได้อย่างขึ้น ปริมาณกำมะถันในยางทำให้ปริมาณการเชื่อมขวางเพิ่มขึ้น และสมบัติของยางเช่น ความต้านทานแรงดึง ความแข็ง โมดูลัส และความกระด้างตัวของยางก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเชื่อมขวางด้วย (2)

2.3.2 สารเร่งปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

ZDEC (Zinc - N – diethyl dithiocarbamate)

เป็นสารตัวเร่งประเภทซิงค์ไดไธโอคาร์บาเมต มีสูตรโครงสร้างดังนี้

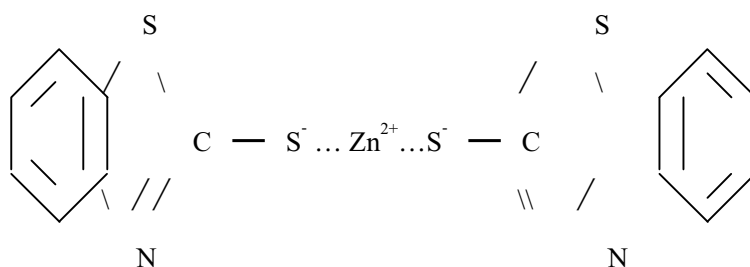


รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZDEC (Zinc - N – diethyl dithiocarbamate)

สารเคมีในกลุ่มนี้เหมาะกับการใช้เป็นตัวเร่ง ในการบ่มยาง (curing) โดยใช้อากาศร้อน หรือ ไอน้ำเพราะเป็นตัวเร่งที่ทำให้เกิดการบ่มเร็วขึ้น สามารถคงรูปได้ดีและวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำที่ 115 - 125 °C ในระยะเวลาสั้น แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้ อาจเกิดการ reversion ขึ้นได้ ดังนั้นไม่ควร cure เกิน 125 °C (2)

ZMBT (Zinc salt of 2-mercaptobenzothiazole)

เป็นสารตัวเร่งในกลุ่มไซอาโซล มีสูตรโครงสร้างดังนี้

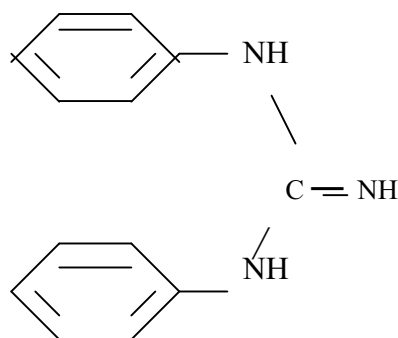


รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZMBT (Zinc salt of mercaptobenzothiazole)

สารเคมีในกลุ่มนี้ สามารถบ่มได้ทุกรูปแบบของการวัลคาไนซ์ และสามารถกระตุ้นให้เกิดการบ่มเร็วขึ้นได้โดยใช้ตัวเร่งที่เป็นต่าง เช่น สารพวกไดไธโอคาร์บาเมต และไซยูแรมแต่การกระตุ้นนี้มีผลให้ scorch time สั้นลงด้วย และถ้าใช้ร่วมกับ basic accelerator โดยใช้สัดส่วนจำนวนโมลเท่ากัน จะให้ ผลสูงสุดและความเร็วในการบ่มเร็วกว่าที่จะใช้เดี่ยว ๆ โดย basic accelerator ที่นิยมใช้จะเป็นสารพวกกำมะถัน เช่น DPG เป็นต้น (2)

DPG (Diphenyl guanidine)

เป็นสารตัวเร่งในกลุ่มกัวนิดีน มีสูตรโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ DPG (Diphenyl guanidine)

สารตัวเร่งกลุ่มกัวนิดีนเป็นสารตัวเร่งที่ทำให้ยางสุก (cure) ช้า ถ้าใช้เป็นตัวเร่งเสริมจะมีการกระตุ้นสูงมากโดยเฉพาะการกระตุ้นพวกไฮโอไซล ถ้าใช้สารเคมีในกลุ่มนี้เป็นตัวเร่งหลักจะไม่สามารถวัลคาไนซ์โดยใช้อากาศร้อนได้ เพราะจับตัวช้าเกินไป การทำงานของกัวนิดีนต้องใช้ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นตัวกระตุ้นแต่ไม่จำเป็นต้องใช้กรดไขมัน (2)

2.3.3 สารกลุ่มกระตุ้นสารตัวเร่งการวัลคาไนซ์

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide , ZnO)

ทำให้น้ำที่เป็นสารกระตุ้นตัวเร่ง ให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเมื่อใส่ไปในยางปริมาณเล็กน้อยจะทำให้โมดูลัสสูงขึ้นและบางครั้งถ้าไม่มีการใส่สารกระตุ้นก็จะไม่มีการวัลคาไนซ์เกิดขึ้นโดยทั่วไปนิยมใช้ ZnO เป็นสารกระตุ้นในปริมาณตั้งแต่ 3 -5 phr ได้ และถ้า ZnO มีขนาดอนุภาคเล็กก็สามารถลดการใช้เหลือเพียง 1 phr ได้และถ้าใช้มากกว่า 5 phr ขึ้นไป มักมีจุดประสงค์อื่นมากกว่าจะใช้เป็นการกระตุ้น เช่น ทำให้การถ่ายเทความร้อนในยางเร็วขึ้นเหมาะแก่การทำยางหนาๆ โดยเฉพาะการทำยางสุกโดยใช้อากาศร้อน

2.3.4 สารต้านทานปฏิกิริยาออกซิเดชัน

โดยทั่วไปแล้วจะไม่ใช้สารต้านทานปฏิกิริยาออกซิเดชันในงานน้ำยาง ทั้งนี้เพราะพอลิเมอร์ที่อยู่ในสภาพของน้ำยางมีความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพได้ดี และพอลิเมอร์ในสภาพน้ำยางไม่ได้ผ่านการบด เนียน หรือผ่านการสัมผัสกับอนุมูลอิสระสูงขณะกระบวนการผลิต

Antioxidant Wingstay L เป็นสารที่ใส่น้ำยางเพื่อป้องกันยางเสื่อมสภาพ

2.3.5 สารที่ทำให้น้ำยางเป็นฟอง

แอมโมเนียมโอดีเอต เป็นสารที่ใส่ในน้ำยางเพื่อทำให้น้ำยางเกิดฟองในขั้นตอนการปั่นฟอง

2.3.6 สารช่วยให้เกิดเจล

โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Sodium silicofluoride ,SSF) เป็นสารที่ใส่ในน้ำยางเพื่อทำให้น้ำยางจับตัวเป็นเจล

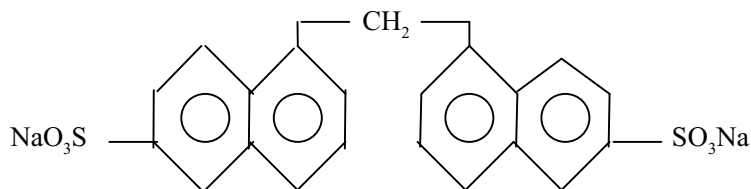
2.3.7 สารที่ใช้ในการเตรียมดีสเพิชั่น (Dispersion)

Dispersing agent

- เป็นสาร stabilizer ชนิดหนึ่ง
- จะอยู่หุ้มผิวอนุภาคของสารเคมี มากกว่าที่จะอยู่ระหว่างผิวของน้ำกับอากาศ
- เวลาใส่ลงไป在水里 ไม่ควรเป็นฟอง (4)

สูตรเคมี Dispersing agent

Sodium naphthalene formaldehyde sulphonate เป็นสารประเภท Dispersing agents ใช้ในการเตรียมสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำยางฟองน้ำ ให้เป็นสารดีสเพิชั่น (Dispersion) โดยจะเป็นสารช่วยการกระจายตัว มีสูตรโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ Sodium naphthalene formaldehyde sulphonate

Bentonite จะช่วยป้องกันสารเคมีตกตะกอน

เครื่องมือในการเตรียมดีเพิชั่น (Disperion)

โดยทั่วไปในการเตรียมดีเพิชั่น (Disperion) ส่วนมากจะใช้เครื่องบดผสม (ball mill) เป็นตัวบดผสมสาร
เครื่องบดผสม (ball mill)

- ถังกลมทำด้วยสแตนเลส หรือทำด้วยกระเบื้อง เรียกว่า บอลมิล
- ใช้บรรจุสารที่ต้องการทำดีสเพิชั่น
- วางนอนอยู่ระหว่างคู่ของลูกกลิ้ง
- ภายในถังกลมใส่วัสดุที่จะบด รวมกับน้ำ ประมาณ 85 % ของทั้งหมด
- มีลูกบดซึ่งส่วนใหญ่ใช้ porcelain หรือ alumina บรรจุอยู่ภายในประมาณ 1 ส่วน 3 ของสารเคมีที่จะบด
- ลูกบดขนาดเล็กจะบดได้เร็วกว่าขนาดใหญ่ เพราะมีพื้นที่สัมผัสได้มากกว่า แต่จะใส่ลูกบดขนาดใหญ่ลงไปด้วย เพื่อบดสารที่เป็นก้อนโต

ความเร็วในการหมุน

- หมุนด้วยความเร็วสม่ำเสมอ โดยถังใหญ่หมุนช้า ถังเล็กหมุนเร็ว
- ความเร็วรอบที่หมุน ประมาณ 75 % ของความเร็ววิกฤติ

ความเร็ววิกฤติในการหมุน

ความเร็ววิกฤติ = $\frac{54.19}{\sqrt{R}}$ รอบ / นาที, R = รัศมีภายใน (ฟุต) ของถังบอลมิล

- ณ จุดความเร็ววิกฤติ ลูกบดและสารเคมี จะอยู่ติดกับผนัง

บทที่ 3

สารเคมี วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 สารเคมี

- 3.1.1 น้ำยางข้น 60 % ชนิดแอมโมเนียต่ำ (NR – LA)
- 3.1.2 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) ชนิด white seal เป็นผงสีขาว จัดจำหน่ายโดยบริษัทภาคใต้เอ็กเซลส์ จำกัด ใช้สำหรับเป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ เตรียมอยู่ในรูป 50% dispersion
- 3.1.3 กำมะถัน (Sulfur, S) เป็นผงสีเหลือง เป็นสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางสำหรับเป็นสารวัลคาไนซ์ จัดจำหน่ายโดยบริษัทภาคใต้เอ็กเซลส์ จำกัด เตรียมอยู่ในรูป 50% dispersion
- 3.1.4 สารตัวเร่งที่ใช้มีดังนี้

Zinc – N – diethyldithiocarbamate (ZDEC) เป็นผงสีขาว ใช้ในอุตสาหกรรมยางเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ เป็นสารตัวเร่งที่เร็วที่สุด จัดจำหน่ายโดยบริษัทภาคใต้เอ็กเซลส์ จำกัด เตรียมอยู่ในรูป 50% dispersion

Zinc – 2 – mercaptobenzothiazole (ZMBT) เป็นชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเสริม (Secondary accelerator) เป็นสารตัวเร่งปรกติ จัดจำหน่ายโดยบริษัทภาคใต้เอ็กเซลส์ จำกัด เตรียมอยู่ในรูป 50% dispersion

Diphenyl guanidine (DPG) เป็นชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ เป็นสารตัวเร่งที่ช้า จัดจำหน่ายโดยบริษัทภาคใต้เอ็กเซลส์ จำกัด เตรียมอยู่ในรูป 33 % dispersion
- 3.1.5 แอนติออกซิแดนท์ ที่ใช้คือ wingstay L เป็นสารป้องกันยางเสื่อม จัดจำหน่ายโดยบริษัทภาคใต้เอ็กเซลส์ จำกัด เตรียมอยู่ในรูป 50 % dispersion
- 3.1.6 Dispersing agent ใช้เป็นตัวช่วยให้เกิดการกระจายตัวของสารเคมีให้อยู่ในรูปของ dispersion สารที่ใช้ คือ Dispersol LN จัดจำหน่ายโดยบริษัทภาคใต้เอ็กเซลส์ จำกัด

Bentonite เป็นสารที่ป้องกันการตกตะกอนเป็นก้อนแข็งในสารเคมีที่บดแล้วให้อยู่ในรูปคัสเพิลชั่น จัดจำหน่ายโดยบริษัทภาคใต้เอ็กเซลส์ จำกัด
- 3.1.7 Sodiumsilicofluoride (SSF) เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล จัดจำหน่ายโดยบริษัทภาคใต้เอ็กเซลส์ จำกัด เตรียมอยู่ในรูป 12.5 % dispersion
- 3.1.8 กรดโอเลอิก (Oleic acid , $C_{17}H_{33}COOH$) ผลิตโดยบริษัท Panreacquimicasa ประเทศ E.U.
- 3.1.9 แอมโมเนีย (Ammonia) ความเข้มข้น 25 % จัดจำหน่ายโดยบริษัทวิทยาศาสตร์ จำกัด ผลิตโดยบริษัท Merck KGaA ประเทศเยอรมันนี

3.2 อุปกรณ์

- 3.2.1 เครื่องปั่น แบบปรับระดับได้ 5 ระดับ ใช้สำหรับปั่นน้ำยางให้เกิดฟอง ยี่ห้อ PENSonic รุ่น PM – 209 ผลิตในประเทศไทย
- 3.2.2 เครื่องบดผสม (Ball mill) เป็นเครื่องบดผสมสารเคมีให้อยู่ในรูปดีสเพิชั่น (dispersion) ภาชนะที่ใช้เป็นหม้อกระเบื้องทรงกระบอกที่มีฝาปิด ภายในบรรจุลูกบอลอะลูมิเนียมสำหรับบดผสมสารเคมี หมุนในแนวนอน
- 3.2.3 แม่พิมพ์ (mold) ปูนพลาสติก โลหะ (อะลูมิเนียม)
- 3.2.4 เตาอบ ยี่ห้อ memmert D06058 Model 200 ผลิตโดยบริษัท Memmert GmbH+Co.KG และเตาอบ ยี่ห้อ BINDER GmbH รุ่น ED240 (E2) ผลิตโดยบริษัท ไชแอนติฟิคโปรโมชัน จำกัด (SCIENTIFIC PROMOTION Co.,LTD)
- 3.2.5 เครื่องชั่ง แบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง สามารถชั่งได้สูงสุด 3100 กรัม ต่ำสุด 0.5 กรัม รุ่น PB3002 – S ผลิตโดยบริษัท Mettler – Toledo GmbH, Laboratory & Weighing Technologies ประเทศ Switzerland และแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น AB204 - S
- 3.2.6 หม้อนึ่งไอน้ำ เป็นตัวให้ความร้อนเพื่อให้ง่ายเกิดการวัลคาไนซ์ ยี่ห้อ KANDO ผลิตโดยบริษัท Kandoelectric ประเทศไทย และ ยี่ห้อ Crocodile ขนาด 44 เซนติเมตร
- 3.2.7 อ่างน้ำปรับอุณหภูมิ ยี่ห้อ Julabo Labortechnik รุ่น TW20 ผลิตโดยบริษัท ไชแอนติฟิคโปรโมชัน จำกัด (SCIENTIFIC PROMOTION Co.,LTD)
- 3.2.8 กล้องจุลทรรศน์ (optical microscope, OM) ยี่ห้อ OLYMPUS Model SBX60 กำลังขยายต่ำสุด 50 เท่า และกล้องถ่ายภาพดิจิทัล ยี่ห้อ NIKON รุ่น COOLPIX 2000 ใช้สำหรับดูโครงสร้างของโฟมยาง

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3.1 เตรียมสารเคมีสำหรับน้ำยาง

การเตรียมดีสเพิชั่น (dispersion)

- 1) สูตรในการเตรียมดีสเพิชั่น (dispersion) ประกอบด้วย
 1. สารเคมีที่ใช้บด
 2. Dispersing agent
 3. น้ำกลั่น
- 2) เครื่องมือในการเตรียมดีสเพิชั่น (dispersion)
 - เครื่องบดผสม (Ball mill)

3) ขั้นตอนในการเตรียมดีสเพิซัน (dispersion)

ชั่งสารเคมีตามสูตร



ใส่สารเคมี + น้ำกลั่น + ลูกบด (1/3 ของปริมาตรสารเคมีที่จะบด)

ประมาณ 85 % ของปริมาตรทั้งหมดภายในภาชนะหม้อบด



บดภายในเวลา 16 – 72 ชั่วโมง

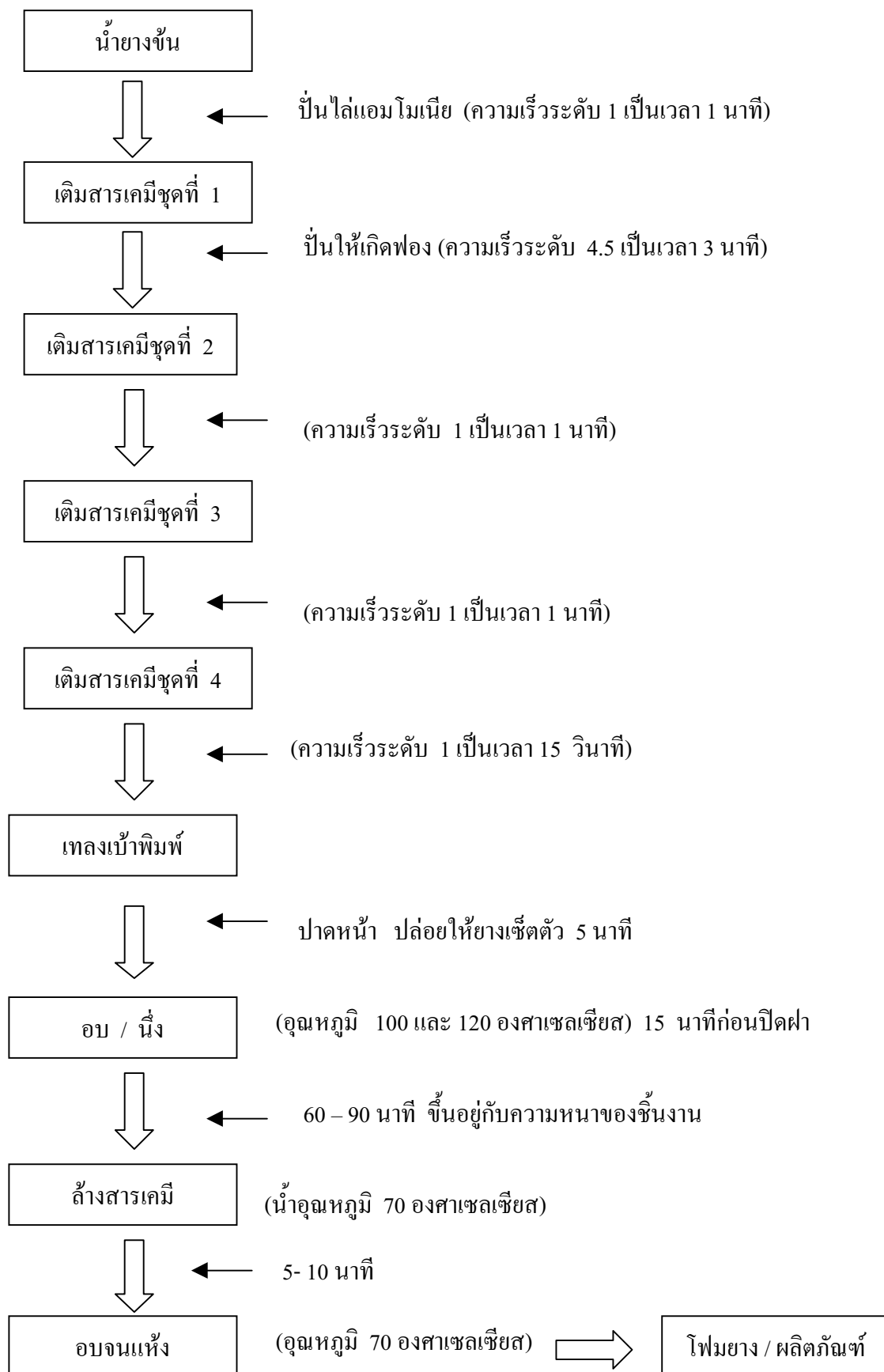
3.3.2 ทดลองทำโฟมยาง

เมื่อเตรียมสารเคมีต่างๆให้อยู่ในรูปดีสเพิซัน (dispersion) แล้ว จึงดำเนินการทดลองปั่นสารเคมีกับน้ำยางธรรมชาติ (น้ำยางข้น) โดยมีสูตรเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองและขั้นตอนการทำโฟมยาง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสูตรเริ่มต้นที่ใช้สำหรับพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติในการวิจัยนี้
(ที่มา : กลุ่มเกษตรกรทำสวนป่าครอก จังหวัดภูเก็ต)

น้ำยางและสารเคมี	น้ำหนัก (เปียก) (g)	น้ำหนัก (แห้ง) (phr)	ระดับความเร็ว ในการปั่น	เวลาในการปั่น (min)
60 % น้ำยางข้น	167	100	1	1
10 % แอมโมเนียมโอเลต (ชุด-1)	15	1.5	4.5	3
50 % S (ชุด-2)	4	2	1	1
50 % ZDEC (ชุด-2)	2	1		
50 % ZMBT (ชุด-2)	2	1		
50 % Wingstay L (ชุด-2)	2	1		
50 % ZnO (ชุด-3)	10	5	1	1
33 % DPG (ชุด-3)	2	0.66		
12.5 % SSF (ชุด-4)	8	1	1	15 วินาที

ขั้นตอนกระบวนการทำโฟมยาง มีขั้นตอนดังต่อไปนี้



หมายเหตุ:**สารเคมีชุดที่ 1 ได้แก่**

- แอมโมเนียมโอเลเอต เป็นสารที่ทำให้เกิดฟอง

สารเคมีชุดที่ 2 ได้แก่

- กำมะถัน (S) เป็นสารวัลคาไนซ์หรือสารที่ทำให้ยางสุก
- แซดดีอีซี (ZDEC) เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ที่เร็วที่สุด
- แซดเอ็มบีที (ZMBT) เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ที่เร็วปานกลาง
- วิงสเตย์ แอล (Wingstay L) เป็นสารป้องกันยางเสื่อมสภาพ

สารเคมีชุดที่ 3 ได้แก่

- ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารกระตุ้นสารตัวเร่งให้ทำงานมีประสิทธิภาพดีขึ้น
- ดีพีจี (DPG) เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ที่ช้า และเป็นสารกันบูบ

สารเคมีชุดที่ 4 ได้แก่

- เอส เอส เอฟ (SSF) เป็นสารที่ทำให้ฟองยางจับตัวเหนียวหรือเป็นเจล

ตารางที่ 3.2 แสดงความเร็วรอบเฉลี่ยของเครื่องปั่นแต่ละระดับ

ระดับความเร็วในเครื่องปั่น	ความเร็วรอบเฉลี่ยในแต่ละระดับ (RPM)
1	537
2	777
3	956
4	1055
5	1293

สูตรการเตรียมคัสเพิลชั่น (dispersion)

50 % ZDEC และ ZMBT Dispersion มีสูตรดังนี้

สารเคมี	ส่วนโดยน้ำหนัก (g)
ZDEC	50
Dispersol LN	1
Bentonite	1
Soft water (น้ำกลั่น)	48

นำสารเคมีที่เตรียมได้จากสูตรนี้ ไปบดด้วยเครื่องบดผสม (Ball mill) เป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง

50 % Sulphur Dispersion มีสูตรดังนี้

สารเคมี	ส่วนโดยน้ำหนัก (g)
Sulphur (กำมะถัน)	50
Dispersol LN	1
Bentonite	1
Soft water (น้ำกลั่น)	48

นำสารเคมีที่เตรียมได้จากสูตรนี้ ไปบดด้วยเครื่องบดผสม (Ball mill) เป็นเวลาอย่างน้อย 72 ชั่วโมง

50 % Zinc Oxide Dispersion มีสูตรดังนี้

สารเคมี	ส่วนโดยน้ำหนัก (g)
Zinc Oxide (ZnO)	50
Dispersol LN	1
Soft water (น้ำกลั่น)	49

นำสารเคมีที่เตรียมได้จากสูตรนี้ ไปบดด้วยเครื่องบดผสม (Ball mill) เป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง

50 % Wingstay L Dispersion มีสูตรดังนี้

สารเคมี	ส่วนโดยน้ำหนัก (g)
Wingstay L	50
Dispersol LN	1
Bentonite	1
Soft water (น้ำกลั่น)	48

นำสารเคมีที่เตรียมได้จากสูตรนี้ ไปบดด้วยเครื่องบดผสม (Ball mill) เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง

33 % DPG Dispersion มีสูตรดังนี้

สารเคมี	ส่วนโดยน้ำหนัก (g)
DPG	33

Dispersol LN	1
Bentonite	1
Soft water (น้ำกลั่น)	48

นำสารเคมีที่เตรียมได้จากสูตรนี้ ไปบดด้วยเครื่องบดผสม (Ball mill) เป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง

12.5 % SSF Dispersion* มีสูตรดังนี้

สารเคมี	ส่วนโดยน้ำหนัก (g)
SSF	25
Dispersol LN	0.75
Bentonite	1
Soft water (น้ำกลั่น)	48

*นำสารเคมีที่เตรียมได้จากสูตรนี้ ไปบดด้วยเครื่องบดผสม (Ball mill) เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 1

10 % Ammonium Oleate มีสูตรดังนี้

สารเคมี	ส่วนโดยน้ำหนัก (g)
ส่วนที่ 1 : น้ำกลั่น	500
Oleice acid	282
ส่วนที่ 2 : น้ำกลั่น (70°C)	677
25 % Ammonia solution	50 (น้ำหนักเปียก)

วิธีการเตรียม : นำสารเคมีส่วนที่ 1 ไปอุ่นจนมีอุณหภูมิ 70 °C จากนั้นจึงค่อย ๆ เติมสารเคมีส่วนที่ 2 ลงไปในสารเคมีส่วนที่ 1 พร้อมกับกวนให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 1

3.3.3 การดูคุณภาพของเนื้อโคมด้วยกล้องจุลทรรศน์ และกล้องดิจิทัล

ตัดชิ้นงานเป็นชิ้นบางๆ รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แล้วนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 50 เท่า (Optical microscope) และดูด้วยกล้องดิจิทัล (ยี่ห้อ NIKON รุ่น COOLPIX2000)

3.3.4 เปรียบเทียบความหนาแน่นของโคมยางที่ได้ในแต่ละสูตร

สูตรการความหนาแน่น

$$\rho = M / V$$

$$\rho = \text{ความหนาแน่น (g / cm}^3\text{)}$$

$$M = \text{น้ำหนักของโคมยาง (g)}$$

$$V = \text{ปริมาตรของโคมยาง (cm}^3\text{)}$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

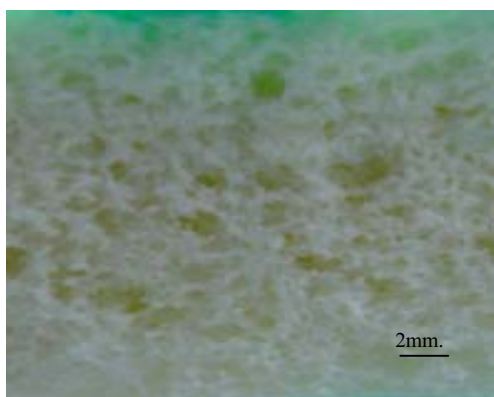
4.1 การทดลองที่ 1 : พัฒนาการผลิตจากสูตรการทำโคมยางสำหรับ 1 ส่วน*

จากสูตรข้างต้น (ตารางที่ 3.1) เมื่อทำการทดลองโดยการปั่นน้ำยางกับสารเคมีที่เตรียมเอง ผลปรากฏว่าเมื่อทดลองโดยใช้สูตรข้างต้นพบว่า ปริมาณของฟองยางเพิ่มขึ้นประมาณ 8 เท่า แต่พบว่าฟองยางค่อนข้างหนืดมาก เทลงเบ้าพิมพ์ยาก เกิดการจับตัวเป็นเจลอย่างรวดเร็ว (ภายใน 1 นาที) และเกิดการจับตัวเป็นก้อนขณะปั่นรวมทั้งที่ก้นภาชนะขณะเทลงเบ้าพิมพ์ จากนั้นเมื่อนำฟองยางที่ปั่นได้ไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยการอบและการนึ่ง (วัลคาไนซ์) พบว่าเนื้อโคมยังมีความสม่ำเสมอ (ดังรูปที่-4.1) ส่วนการอบแบบปิดฝาใช้เวลาน้อยกว่าแบบเปิดฝา ดังแสดงในตารางที่ 4.1 การนึ่งในที่นี้ไม่มีการปิดฝาขึ้นงาน จากการทดลองพบว่ากรอบแบบปิดฝายางสามารถวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้น (ประมาณ 2 เท่า) เมื่อเทียบกับแบบเปิดฝา แต่การนึ่งยางใช้เวลาวัลคาไนซ์เพียง 20 นาทีหรือประมาณ 4 เท่า ของการอบแบบปิดฝา

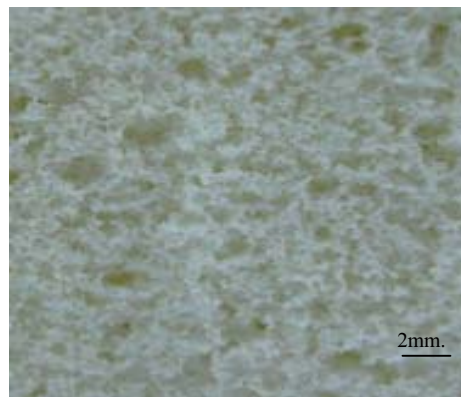
ตารางที่ 4.1 แสดงเวลาที่ใช้ในการอบและการนึ่ง และความหนาแน่นของโคมยางที่ได้จากสูตรเริ่มต้น

กรรมวิธี	อุณหภูมิ (°C)	ความหนาของโคมยาง (cm)	เวลาในการวัลคาไนซ์ (เปิดฝา/ปิดฝา) (min)	ความหนาแน่น (g /cm ³)
อบ	100	2	120/70	0.127
		4	120/90	
	120	2	110/60	0.126
		4	120/75	
นึ่ง	100	2	15/-	0.113
		4	20/-	

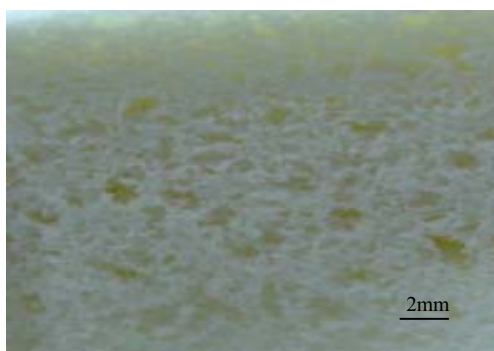
* 1 ส่วน คือ การทดลองที่ใช้ปริมาณน้ำยางข้น 167 g (เปียก) เทียบเท่ากับยาง 100 ส่วน (แห้ง)



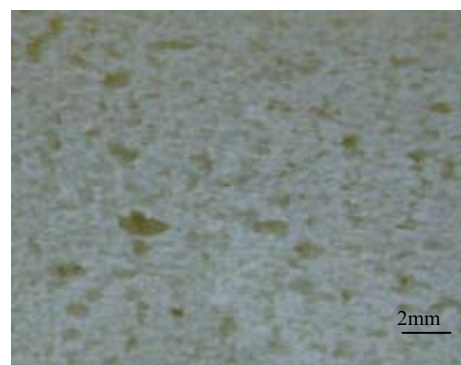
a) อบ 100 °C 2 cm



b) อบ 100 °C 4 cm



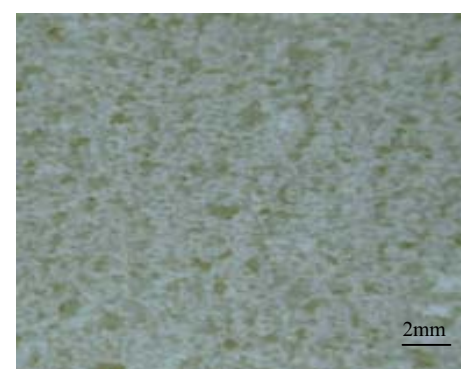
c) อบ 120 °C 2 cm



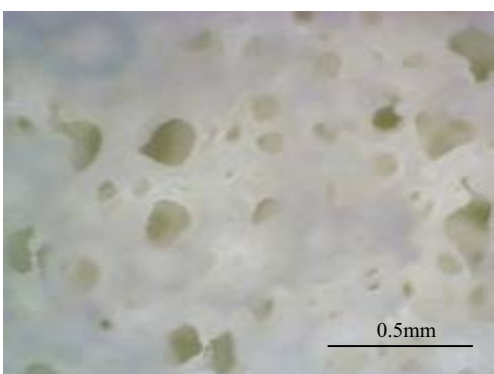
d) อบ 120 °C 4 cm



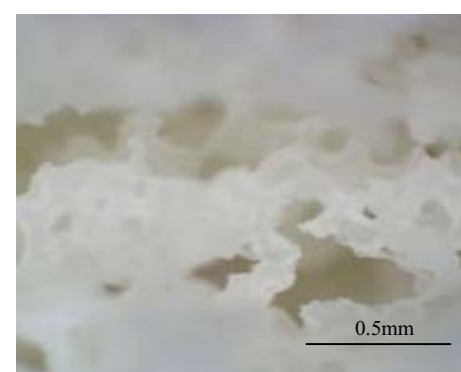
e) นึ่ง 2 cm



f) นึ่ง 4 cm



g) นึ่ง 4 cm (OM กำลังขยาย 50 X)



h) อบ 120 °C 4 cm (OM กำลังขยาย 50 X)

รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะเนื้อโพรระหว่างการอบกับการนึ่งของสูตรเริ่มต้น (1 ส่วน)

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า สูตรเบื้องต้นดังกล่าวใช้ SSF ในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้ฟองยางมีความหนืดมาก และจับตัวเป็นเจลเร็วมาก จึงเทลงเบ้าพิมพ์ได้ยาก จากตารางผลการทดลองพบว่า กรรมวิธีการนี้ ยางจะวัลคาไนซ์ได้เร็วกว่าการอบ ประมาณ 4 เท่า ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการส่งผ่านความร้อนด้วยการพาของไอน้ำดีกว่า และการอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส สามารถลดเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางได้ 10 นาที ที่ความหนาของชิ้นงาน 2 เซนติเมตร และ 15 นาที ที่ความหนาของชิ้นงาน 4 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากรูปจะเห็นว่าคุณภาพของเนื้อโฟมที่ได้จากการนี้และการอบ ยังมีคุณภาพไม่ดี เนื้อโฟมมีลักษณะเป็นชั้นกระจายทั่วชิ้นงานและเนื้อโฟมยังไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างสารเคมีกับน้ำยางยังไม่เหมาะสม จึงได้ทำการทดลอง ปรับปรุง และพัฒนาสูตร เพื่อลดเวลาในการบ่มยาง และให้เนื้อโฟมที่มีคุณภาพสม่ำเสมอมากขึ้น โดยมีแนวทางแก้ไขดังต่อไปนี้

แนวทางแก้ไขและพัฒนาสูตรและผลที่ได้

1. ลด SSF เพื่อลดความหนืด และทำให้ฟองยางจับตัวเป็นเจลช้าลง และจากการทดลองพบว่าเมื่อ SSF ลดลง เนื้อโฟมจะมีลักษณะเป็นชั้นลดลงด้วย
2. เพิ่มกำมะถัน (S) ที่อาจทำให้ยางวัลคาไนซ์เร็วขึ้น (ผลจากความเข้มข้น) แต่เมื่อ S เพิ่มมากขึ้น โฟมยางจะมีความแข็งเพิ่มมากขึ้นและการเพิ่ม S สามารถลดเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางได้ค่อนข้างน้อย (ประมาณ 5 นาที) จึงใช้ S ใน ปริมาณเท่าเดิม ดังสูตรข้างต้น
3. เพิ่มสารตัวเร่ง (ZDEC, ZMBT, DPG) เพื่อเร่งให้ยางวัลคาไนซ์เร็วขึ้น แต่ DPG จะมีผลต่อความเสถียรของฟองยาง โดยฟองยางจะแตกเมื่อใช้ DPG มากกว่า 2.0 phr ในการทดลอง 1 ส่วน
4. ลดเวลาในการปั่นช่วงปั่นให้เกิดฟอง ทำให้ฟองยางมีความหนืดลดลง จึงเทลงเบ้าพิมพ์ได้ง่าย (กรณีนี้ได้ปริมาตรฟองยางประมาณ 6 เท่าของปริมาตรน้ำยางเริ่มต้น)
5. เพิ่มเวลาในการปั่นช่วงเติมสารชุดที่ 2 และ 4 เพื่อให้สารเคมีผสมกับน้ำยางได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ได้เนื้อโฟมที่สม่ำเสมอ และไม่มีสารเคมีจับตัวเป็นก้อนในเนื้อโฟม
6. ปรับความเร็วช่วงการปั่นสารชุดที่ 2 ให้มีความเร็วในการปั่นเพิ่ม เพื่อให้ฟองยางมีขนาดฟองที่ใหญ่ขึ้น
7. จากกรรมวิธีการทำโฟมยางข้างต้น จะไม่มีการปิดฝาชิ้นงานในขณะที่อบ จึงทำให้ยางใช้เวลาในการวัลคาไนซ์นาน (จากตารางผลการทดลอง) แต่ผิวหน้าชิ้นงานเรียบ จากการทดลองพบว่าการปิดฝาชิ้นงานขณะที่อบยางจะวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้น สามารถลดเวลาในการวัลคาไนซ์ได้ประมาณ 2 เท่า แต่ต้องอบชิ้นงานก่อน 15 นาทีก่อนปิดฝา เพราะถ้าปิดฝาชิ้นงานก่อนนำไปอบจะทำให้ผิวบริเวณที่ปิดฝา ไม่เรียบ ตรงขอบแตก และเกิดรอยย่น

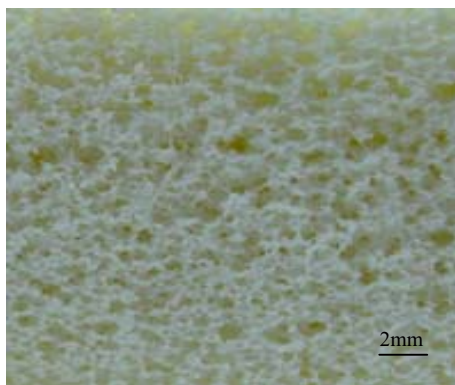
จากการทดลองเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ เช่นความเร็วในการปั่นของแต่ละช่วง และเวลาในการปั่น รวมทั้งปรับปริมาณสารเคมีต่างๆที่ใช้ ทำให้ได้สูตรที่พัฒนาแล้วสำหรับ 1 ส่วน ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณสารเคมี ระดับความเร็วและเวลาที่ใช้ในการปั่นของสูตรที่พัฒนา (1 ส่วน)

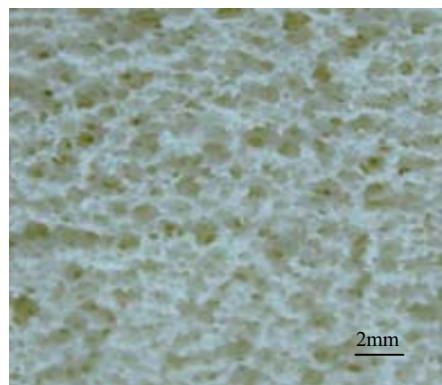
น้ำยางและสารเคมี	น้ำหนัก (เปียก) (g)	น้ำหนัก (แห้ง) (phr)	ระดับความเร็ว ในการปั่น	เวลาในการปั่น (min)
60 % น้ำยางข้น	167	100	3	1
10 % แอมโมเนียมโอเลต (ชุด-1)	15	1.5	4.5	2
50 % S (ชุด-2)	4	2	3	2
50 % ZDEC (ชุด-2)	4	2		
50 % ZMBT (ชุด-2)	4	2		
50 % Wingstay L (ชุด-2)	4	2		
50 % ZnO (ชุด-3)	10	5	1	1
33 % DPG (ชุด-3)	4	1.3		
12.5 % SSF (ชุด-4)	2	0.25	1	45 วินาที

ตารางที่ 4.3 แสดงเวลาที่ใช้ในการอบและการนึ่ง และความหนาแน่นของโฟมยางโดยการปิดฝา

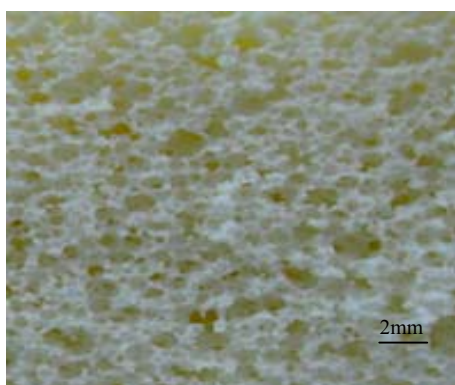
กรรมวิธี	อุณหภูมิ (°C)	ความหนาของโฟมยาง (cm)	เวลาในการวัดค่าในซ้ (min)	ความหนาแน่น (g /cm ³)
อบ	100	2	70	0.164
		4	90	
	120	2	60	0.167
		4	75	
นึ่ง	100	2	15	0.149
		4	20	



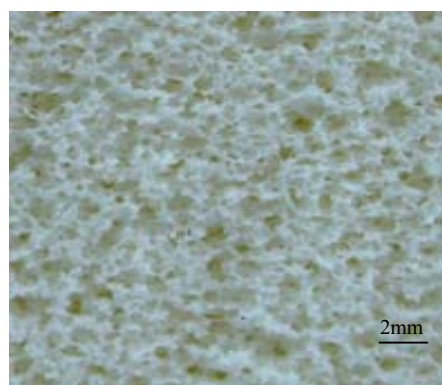
a) อบ 100 °C 2 cm



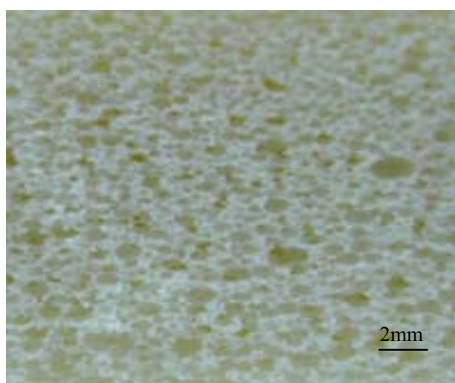
b) อบ 100 °C 4 cm



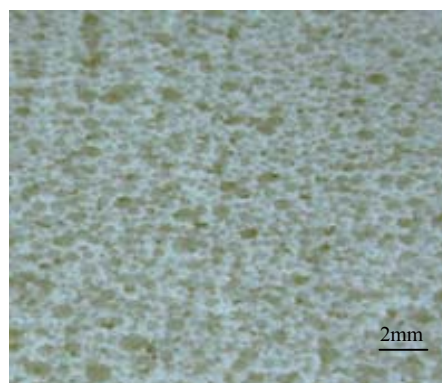
c) อบ 120 °C 2 cm



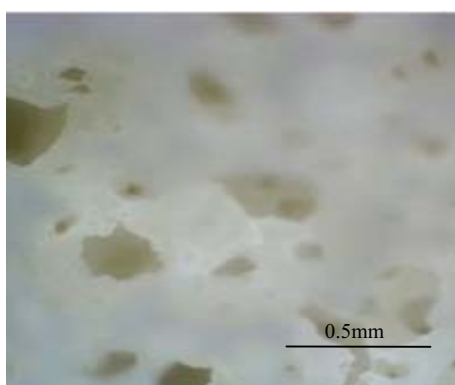
d) อบ 120 °C 4 cm



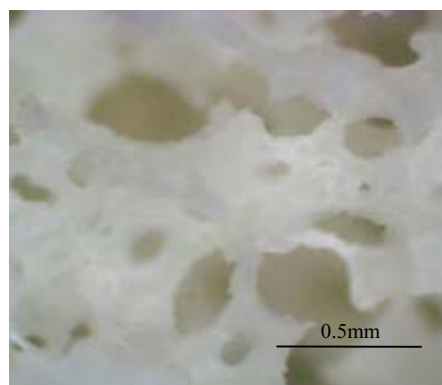
e) นึ่ง 2 cm



f) นึ่ง 4 cm



g) นึ่ง 4 cm (OM กำลังขยาย 50X)



h) อบ 120 °C 4 cm. (OM กำลังขยาย 50X)

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะเนื้อโฟมเปรียบเทียบการอบกับการนึ่งของสูตรที่พัฒนา 1 ส่วน

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อทำการปรับสารเคมีต่างๆ เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำยาง (1 ส่วน) โดยการทดลองใช้สูตรที่พัฒนาแล้ว (1 ส่วน) พบว่า ปริมาณของฟองยางเพิ่มขึ้นประมาณ 6 เท่า ทำให้ฟองยางมีความหนืดลดลง ฟองยางมีความเสถียร และจับตัวเป็นเจลช้าลง (ใช้เวลา 5 นาที) จากนั้นเมื่อนำฟองยางที่ปั่นได้ไปผ่านกระบวนการอบและการนึ่ง โฟมยางที่ได้มีลักษณะเนื้อโฟมที่สม่ำเสมอมากกว่าสูตรเริ่มต้น (ดูจากรูปที่ 4.2 เทียบกับรูปที่ 4.1)

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบสูตรเริ่มต้นและสูตรที่พัฒนาแล้วสำหรับการทำโฟม (1 ส่วน) ซึ่งต่างกันอยู่ที่ปริมาณสารเคมีที่ใช้ ความเร็วและเวลาในการปั่น

สารเคมี	น้ำหนักของสารเคมี (phr)		ความเร็วรอบในการปั่น		เวลาที่ใช้ในการปั่น (min)	
	สูตรเริ่มต้น	สูตรที่พัฒนา	สูตรเริ่มต้น	สูตรที่พัฒนา	สูตรเริ่มต้น	สูตรที่พัฒนา
60%น้ำยางข้น	100	100	1	3	1	1
10%แอม โมเนียม โอลีเอต	1.5	1.5	4.5	4.5	3	2
50%กำมะถัน	2	2	1	3	1	2
50%ZDEC	1	2				
50%ZMBT	1	2				
50%wingstayL	1	2				
50%ZnO	5	5	1	1	1	1
33%DPG	0.7	1.3				
12.5%SSF	1	0.25	1	1	15 วินาที	45 วินาที

4.2 การทดลองที่2: การพัฒนากระบวนการผลิตสำหรับทำโฟมยาง (2 ส่วน*)

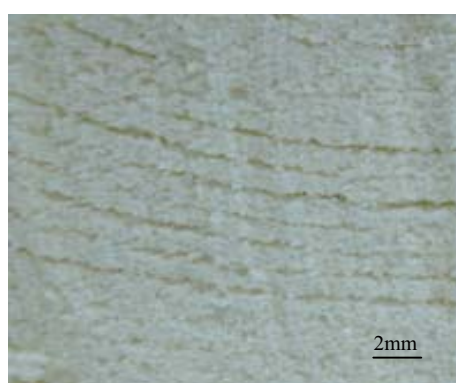
เมื่อทำการทดลองได้สูตร 1 ส่วนที่ดีที่สุดแล้ว จึงเล็งเห็นว่าในระบบอุตสาหกรรมครัวเรือนนั้นการปั่นน้ำยางครั้งละ 1 ส่วนจะเป็นการเสียเวลาและได้ผลิตภัณฑ์ครั้งละไม่มาก ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเอาสูตรที่ดีที่สุด 1 ส่วนมาปรับเป็นการทำ 2 ส่วน แต่ปรากฏว่าคุณภาพของเนื้อโฟมที่ได้ไม่ดี เนื้อโฟมเป็นชั้น จึงต้องมีการพัฒนาสูตร 2 ส่วนต่อไปเพื่อให้ได้เนื้อโฟมที่มีคุณภาพ โดยสูตรเริ่มต้น (2 ส่วน) ที่ได้ทำการทดลองมีสูตรดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณสารเคมี ระดับความเร็วและเวลาที่ใช้ในการปั่น โดยมีการปรับปริมาณสารที่ใช้เป็น 2 ส่วน*

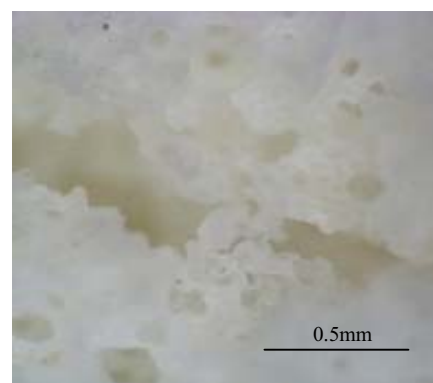
น้ำยางและสารเคมี	น้ำหนัก (เปียก) (g)	น้ำหนัก (แห้ง) (2*phr)	ระดับความเร็ว ในการปั่น	เวลาในการปั่น (min)
60 % น้ำยางข้น	334	2 * 100	3	2
10 % แอมโมเนียมโอเลต (ชุด-1)	30	2 * 1.5	4.5	2
50 % S (ชุด-2)	8	2 * 2	2	3
50 % ZDEC (ชุด-2)	8	2 * 2		
50 % ZMBT (ชุด-2)	8	2 * 2		
50 % Wingstay L (ชุด-2)	8	2 * 2		
50 % ZnO (ชุด-3)	20	2 * 5	1	1.30
33 % DPG (ชุด-3)	8	2 * 1.3		
12.5 % SSF (ชุด-4)	4	2 * 0.25	1	1

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

จากการทดลองสูตร 2 ส่วน พบว่าฟองยางมีความหนืดมาก เทลงเบ้าพิมพ์ได้ยากและฟองยางจับตัวเป็นเจลเร็ว (1 นาที) จากนั้นเมื่อนำฟองยางที่ปั่นได้ไปผ่านขั้นตอนการอบที่อุณหภูมิ 120 °C พบว่าโฟมยางที่ได้มีคุณภาพไม่ดี เนื้อโฟมมีลักษณะเป็นชั้น (ดังรูปที่ 4.3)



a)



b)

รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะเนื้อโฟมของสูตรเริ่มต้น 2 ส่วนด้วยกระบวนการอบและขึ้นงานหนา 4 cm โดย a) ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล และ b) ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 50 เท่า

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าผลที่เกิดขึ้นเนื้อโฟมยังมีคุณภาพไม่ดีเหมือนกับการทดลองสูตรเริ่มต้น 1 ส่วน (ครั้งแรก) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณของ SSF และอัตราส่วนของสารเคมีต่าง ๆ ยังไม่เหมาะสม จึงได้ทำการทดลอง ปรับสารเคมีต่าง ๆ เพื่อให้ได้เนื้อโฟมยางที่มีคุณภาพสม่ำเสมอและเพื่อลดเวลาในการบ่มยาง โดยการปรับสารเคมีต่าง ๆ ดังนี้

1. ลด SSF เพื่อลดความหนืดและให้โฟมยางจับตัวเป็นเจลช้าลง ทำให้ฟองยางมีการไหลตัวดีขึ้น สามารถเทลงเข้าพิมพ์ได้ง่าย ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อ SSF ลดลงเนื้อโฟมจะมีลักษณะเป็นชั้นลดลง แต่ถ้าปริมาณ SSF น้อยกว่า 0.04 phr จะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดใหญ่เกิดขึ้นภายในเนื้อโฟม รวมทั้งได้มีการทดลองกับเข้าพิมพ์โลหะแล้วปรากฏผลในทำนองเดียวกัน โดยฟองยางเกิดการรวมตัวกันกลายเป็นฟองอากาศใหญ่ เพราะฉะนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณ SSF 0.08 phr ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อย แต่ฟองยางก็สามารถจับตัวเป็นเจลได้โดยการเพิ่มเวลาการบ่ม ช่วงเดิมสาร SSF จาก 45 วินาทีเป็น 1 นาทีทำให้ SSF สามารถคลุกเคล้ากับน้ำยางได้ดีขึ้น



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะฟองอากาศขนาดใหญ่เกิดขึ้นภายในเนื้อโฟมเมื่อใช้ SSF น้อยกว่า 0.04 phr (2 ส่วน)

2. เพิ่มสารตัวเร่ง (ZDECและZMBT) ซึ่งเป็นตัวเร่งที่เร็วที่สุดและตัวเร่งที่เร็วปานกลาง การเพิ่มสารตัวเร่ง 2 ตัว จะทำให้สารวัลคาไนซ์ (S) ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าการเพิ่มสารตัวเร่งเพียงตัวเดียว ดูจากเวลาในการวัลคาไนซ์ของยาง ดังการทดลองที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

3. เพิ่มสารตัวกระตุ้น (ZnO) เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ให้เร็วขึ้นทำให้ยางวัลคาไนซ์เร็วขึ้น

4. ลดความเร็วในการบ่มช่วงเดิมสารชุดที่ 2 แต่ใช้เวลาในการบ่มช่วงนี้นานขึ้นเพื่อให้ฟองยางมีขนาดฟองสม่ำเสมอ และทำให้เกิดการผสมกันของสารเคมีในน้ำยางดียิ่งขึ้น

เมื่อทำการทดลอง ปรับปรุง และพัฒนาสูตรเบื้องต้น (2 ส่วน) ทำให้ได้โฟมยางที่มีเนื้อโฟมที่มีคุณภาพดีขึ้น ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.6

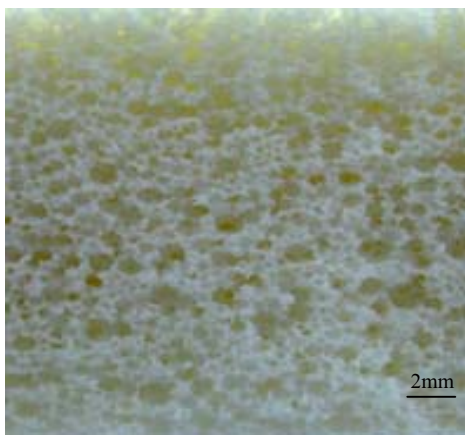
ตารางที่ 4.6 แสดงสูตรการทำโฟมยาง (2 ส่วน) ที่ได้พัฒนาแล้ว (ความหนา 2 และ 4 เซนติเมตร)

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)	8	2 * 2	2	3
50 % ZDEC (ชุด-2)	5	2 * 1.25		
50 % ZMBT (ชุด-2)	5	2 * 1.25		
50 % Wingstay L (ชุด-2)	4	2 * 1		
50 % ZnO (ชุด-3)	21	2 * 5.25	1	1.30
33 % DPG (ชุด-3)	8	2 * 1.3		
12.5 % SSF (ชุด-4)	0.6	2 * 0.04	1	1

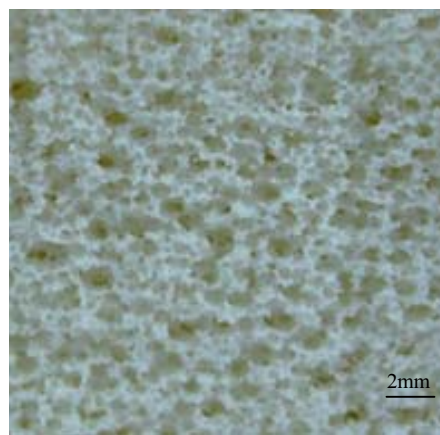
จากการทดลองสูตร 2 ส่วนที่พัฒนาแล้ว พบว่าฟองยางที่ปั่นได้มีความหนืดลดลง เทลงเข้าพิมพ์ได้ง่าย ฟองเสถียรไม่แตก และจับตัวเป็นเจลช้าลง (ใช้เวลาประมาณ 5 นาที) และเมื่อนำฟองยางที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พบว่าเนื้อโฟมมีคุณภาพสม่ำเสมอเมื่อขึ้นงานมีความหนา 2-4 เซนติเมตร แต่เมื่อขึ้นงานมีความหนาเพิ่มขึ้น (ที่ความหนา 8 เซนติเมตร) เนื้อโฟมจะมีลักษณะเป็นชั้น (ดังรูปที่ 4.5) และได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงเวลาที่ใช้ในการอบ และความหนาแน่นของโฟมยางเมื่อใช้สูตร 2 ส่วนที่พัฒนาแล้ว

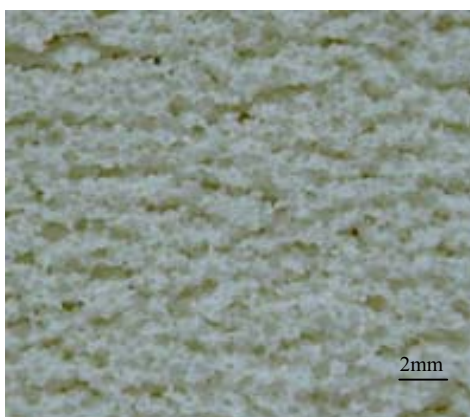
กรรมวิธี	อุณหภูมิ (°C)	ความหนาของชิ้นงาน (cm)	เวลาในการวัลคาไนซ์ (min)	ความหนาแน่น (g /cm ³)
อบ	120	2	60	0.158
		4	80	
		8	100	



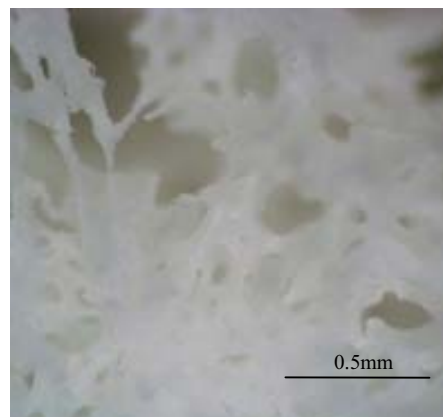
a) หน้า 2 cm



b) หน้า 4 cm



c) หน้า 8 cm



d) หน้า 8 cm (OM กำลังขยาย 50 X)

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะเนื้อโฟมของสูตรการทำโฟม (2 ส่วน) ที่ได้พัฒนาแล้วและ a , b และ c แสดงภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลที่ความหนาชิ้นงาน 2 , 4 และ 8 cm ตามลำดับ และ d แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 50 เท่า ที่ความหนาชิ้นงาน 8 cm

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองยังพบว่าความหนาของชิ้นงานมีผลต่อคุณภาพของเนื้อโฟมด้วย โดยเนื้อโฟมมีแนวโน้มจะแยกเป็นชั้นเมื่อชิ้นงานมีความหนาเพิ่มขึ้น เช่น ที่ความหนา 8 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.5 (c) จึงได้ทดลองแปรค่าปริมาณสารเคมีต่าง ๆ เพื่อหาปริมาณสารที่เหมาะสมเพื่อลดเวลาในการอบยางและทำให้ได้เนื้อโฟมที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ โดยมีการแปรค่าสารเคมีเพื่อดูแนวโน้ม ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงการแปรค่าปริมาณสารเคมีต่างๆ (ทดลอง 2 ส่วน)

สารเคมี	ปริมาณสาร (เปียก) (g)	ปริมาณสาร 2*phr (แห้ง)
33% DPG	7,7.6,8,8.6,9	2.3,2.3,2.6,2.8,2.9
50% ZDEC	4,4.6, 5,5.6,6	2,2.3,2.5,2.8,3
50% ZMBT	4,4.6,5,5.6,6	2,.2.3,2.5,2.8,3
50% S	5,6,6.6,7,7.6,8,8.6,9	2.5,3,3.3,3.5,3.8,4,4.3,4.5
50% ZnO	20,20.6,21,21.6,22	10,10.3,10.5,10.8,11

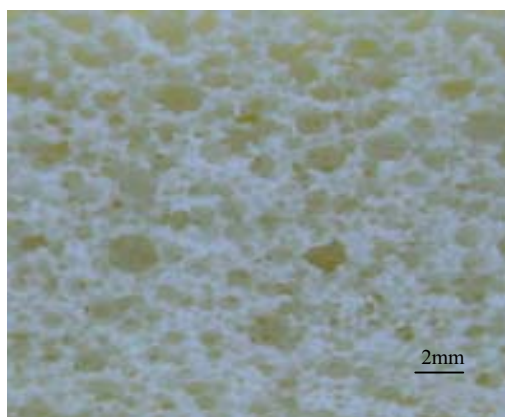
จากผลการทดลองแปรค่าปริมาณสารเคมีต่างๆ ดังตารางที่ 4.8 พบว่าแนวโน้มที่เกิดขึ้นเป็นดังต่อไปนี้

1. การแปรค่า DPG

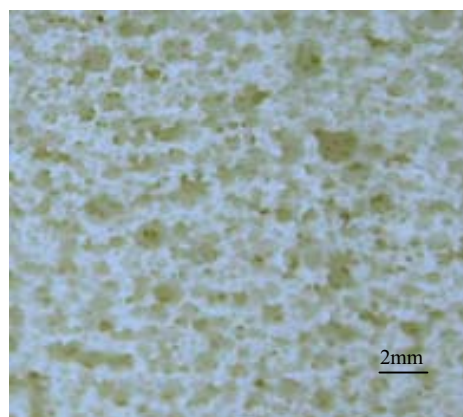
จากการทดลองแปรค่า DPG ซึ่งเป็นสารตัวเร่งที่ช้าที่สุดพบว่าเมื่อใช้ DPG ตั้งแต่ 1.4 phr (8.6 กรัม) ขึ้นไป เนื้อโฟมที่มีความหนา 8 เซนติเมตรจะไม่เป็นชั้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มหรือลด DPG ไม่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดเวลาในการวัลคาไนซ์ของยาง และเมื่อปริมาณสาร DPG ลดลง (<8 กรัมหรือ <1.3 phr) ชิ้นงานที่มีความหนาน้อยกว่า 8 เซนติเมตรจะมีเนื้อโฟมที่สม่ำเสมอ ฉะนั้นเมื่อความหนาของชิ้นงานน้อยกว่า 8 เซนติเมตร ควรใช้ปริมาณสาร DPG 1.3 phr แต่ถ้าความหนาของชิ้นงานมากกว่า 8 เซนติเมตร ควรใช้ปริมาณสาร DPG ตั้งแต่ 1.4 phr ขึ้นไป และจากผลการทดลองพบว่าเมื่อแปรค่า DPG โดยการเพิ่มและลด ความหนาแน่นของโฟมยางที่ได้มีค่าแตกต่างกันไม่มาก ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงความหนาแน่นเมื่อแปรค่าปริมาณ DPG

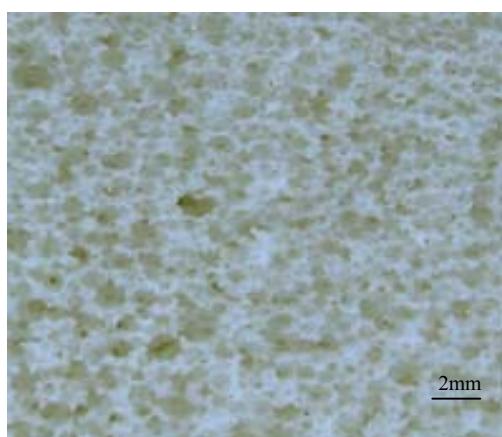
ปริมาณ DPG (33%) (2*phr)	2.3	2.5	2.6	2.8	2.9
ความหนาแน่น (g /cm ³)	0.1338	0.1615	0.1483	0.1638	0.1483



a) หน้า 2 cm



b) หน้า 4 cm



c) หน้า 8 cm



d) หน้า 4 cm (OM กำลังขยาย 50 X)

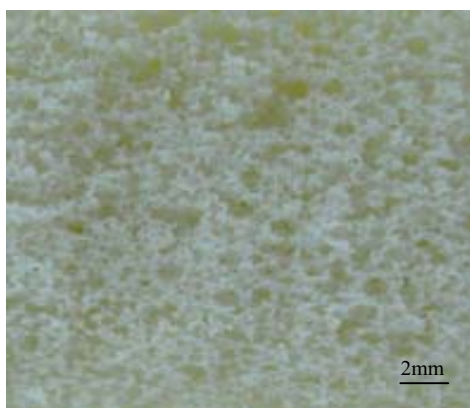
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะเนื้อโฟมเมื่อใช้ DPG (33%) 1.4 phr (2 ส่วน) ภาพ a , b และ c แสดงภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลที่ความหนาชิ้นงาน 2 , 4 และ 8 cm ตามลำดับ และ d แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 50 เท่า ที่ความหนาชิ้นงาน 4 cm

2. การแปรค่า ZDEC

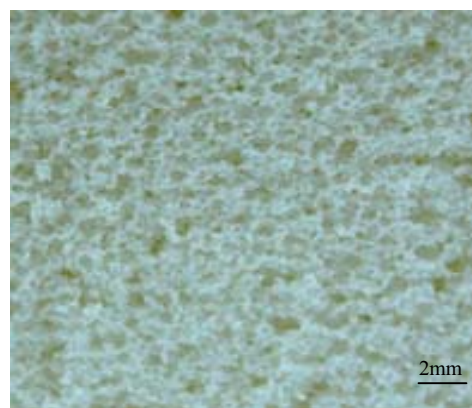
จากการทดลองแปรค่า ZDEC ซึ่งเป็นสารตัวเร่งที่เร็วที่สุดพบว่าเมื่อปริมาณสาร ZDEC เพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 4.6 กรัม (1.15 phr) ขึ้นไป จะทำให้เวลาในการวัลคาไนซ์ของยางลดลงน้อย (ประมาณ 5 นาที) และเมื่อปริมาณสาร ZDEC ลดลงต่ำกว่า 1.15 phr ชิ้นงานที่มีความหนา 8 เซนติเมตร เนื้อโฟมจะมีลักษณะเป็นชั้น จากผลการทดลองพบว่าปริมาณ ZDEC ที่ให้เนื้อโฟมที่สม่ำเสมอที่สุด คือ 1.15 phr และเมื่อแปรค่าปริมาณ ZDEC โดยการเพิ่มและลดความหนาแน่นของโฟมยางที่ได้มีค่าแตกต่างกันไม่มาก ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงความหนาแน่นเมื่อแปรค่าปริมาณ ZDEC

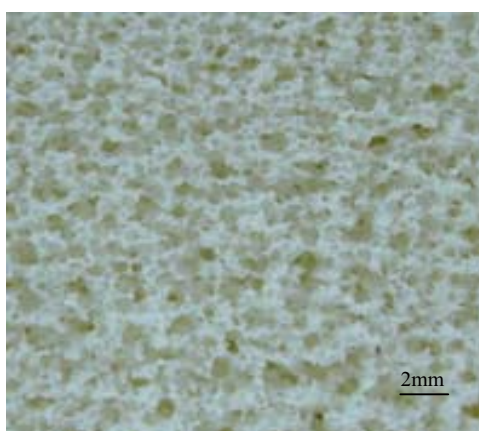
ปริมาณ ZDEC (50%) (2*phr)	2	2.3	2.5	2.8	3
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.143	0.138	0.154	0.142	0.150



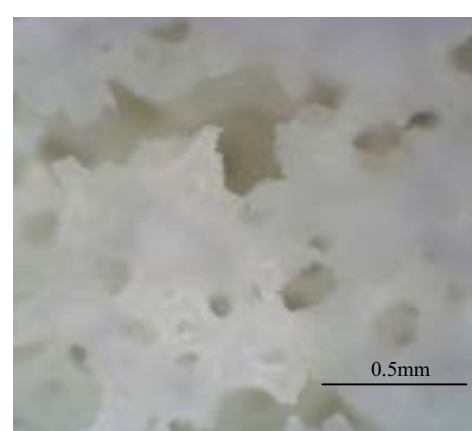
a) หน้า 2 cm



b) หน้า 4 cm



c) หน้า 8 cm



d) หน้า 4 cm (OM กำลังขยาย 50 X)

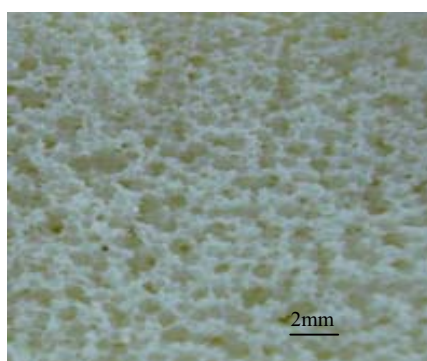
รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะเนื้อโพลิเมอไรซ์ ZDEC (50%) 1.15 phr (2 ส่วน) ภาพ a , b และ c แสดงภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลที่ความหนาขึ้นงาน 2 , 4 และ 8 cm ตามลำดับ และ d แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 50 เท่า ที่ความหนาขึ้นงาน 4 cm

3. การแปรค่า ZMBT

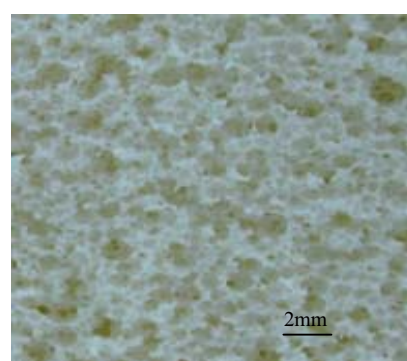
จากการทดลองแปรค่า ZMBT ซึ่งเป็นสารตัวเร่งที่เร็วปานกลางพบว่าเมื่อปริมาณสาร ZMBT เพิ่มขึ้นมากกว่า 5 กรัม (1.25 phr) ก็ไม่สามารถเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางได้ หากลดปริมาณ ZMBT ลงต่ำกว่า 1.25 phr จะทำให้เนื้อโฟมเป็นชั้นเล็กน้อย ดังนั้นจึงเลือกใช้ ZMBT ที่ประมาณ 1.25 phr และจากผลการทดลองพบว่าเมื่อแปรค่าปริมาณ ZMBT โดยการเพิ่มและลด ความหนาแน่นของโฟมยางที่ได้มีค่าแตกต่างกันไม่มาก ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงความหนาแน่นเมื่อแปรค่าปริมาณ ZMBT

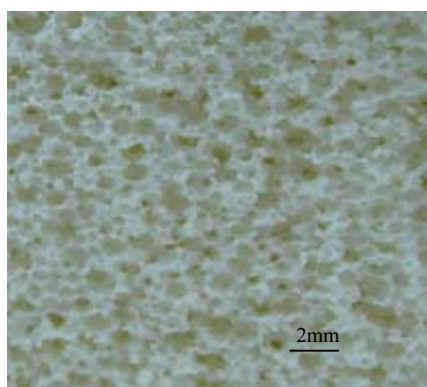
ปริมาณ ZMBT (50%) (2*phr)	2	2.3	2.5	2.8	3
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.135	0.140	0.138	0.143	0.140



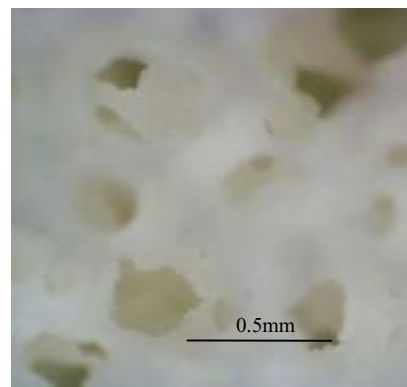
a) หน้า 2 cm



b) หน้า 4 cm



c) หน้า 8 cm



d) หน้า 4 cm (OM กำลังขยาย 50 X)

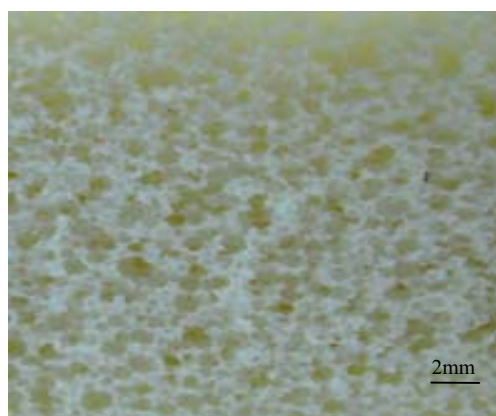
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะเนื้อโฟมเมื่อใช้ ZMBT (50%) 1.25 phr (2 ส่วน) ภาพ a , b และ c แสดงภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลที่ความหนาชิ้นงาน 2 , 4 และ 8 cm ตามลำดับ และ d แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 50 เท่า ที่ความหนาชิ้นงาน 4 cm

4. การแปรค่ากำมะถัน (S)

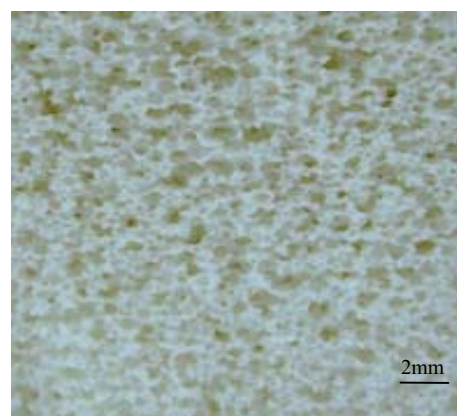
จากการทดลองแปรค่ากำมะถัน (S) ซึ่งเป็นสารวัลคาไนซ์หรือคงรูปพบว่าเมื่อปริมาณกำมะถัน (S) เพิ่มขึ้นจะทำให้ยางสามารถวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้นเล็กน้อย (ประมาณ 5 นาที) แต่โฟมยางจะมีความแข็งเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณกำมะถัน (S) ลดลงโฟมยางจะมีความแข็งลดลง จากผลการทดลองพบว่า กำมะถัน (S) ควรใช้ 7 กรัม (1.75 phr) และจากผลการทดลองพบว่าเมื่อแปรค่าปริมาณ S โดยการเพิ่มและลด ความหนาแน่นของโฟมยางที่ได้มีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงความหนาแน่นเมื่อแปรค่าปริมาณกำมะถัน (S)

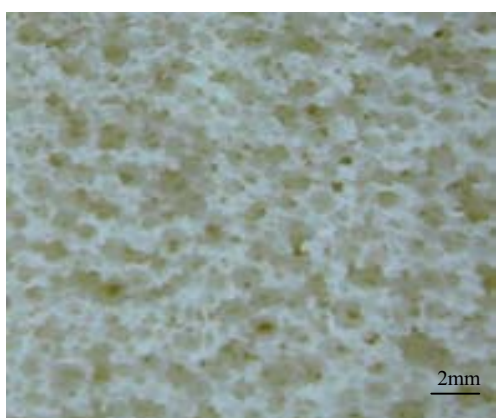
ปริมาณ S (50%) (2*phr)	2.5	3	3.3	3.5	3.8	4	4.3	4.5
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.133	0.156	0.138	0.152	0.168	0.138	0.178	0.153



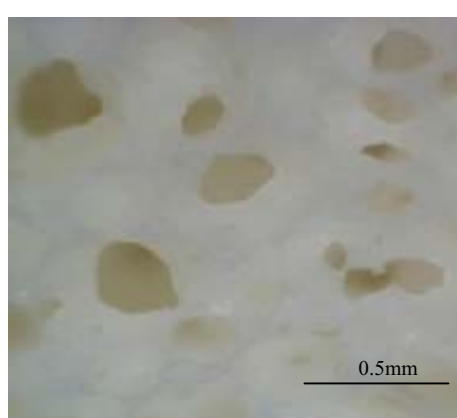
a) หนา 2 cm



b) หนา 4 cm



c) หนา 8 cm



d) หนา 4 cm (OM กำลังขยาย 50 X)

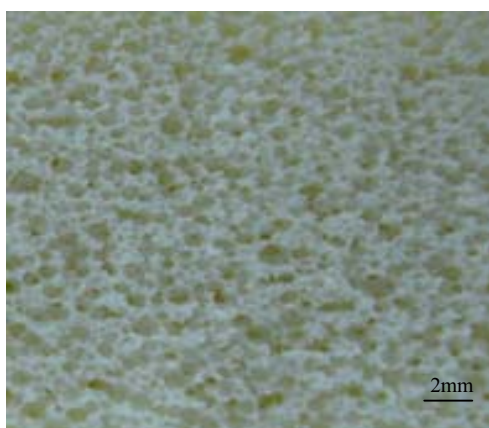
รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะเนื้อโฟมเมื่อใช้กำมะถัน (50%) 1.75 phr (2 ส่วน) ภาพ a , b และ c แสดงภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลที่ความหนาชิ้นงาน 2 , 4 และ 8 cm ตามลำดับ และ d แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 50 เท่า ที่ความหนาชิ้นงาน 4 cm

5. การแปรค่า ZnO

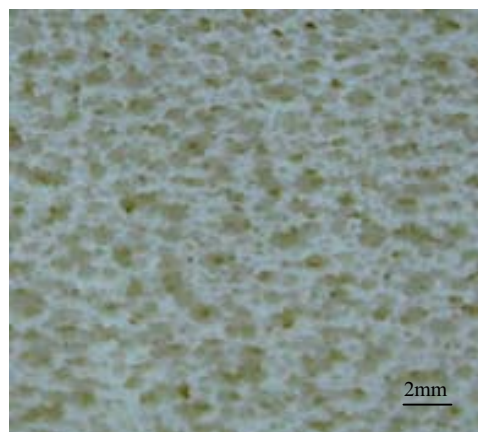
จากการทดลองแปรค่า ZnO ซึ่งเป็นสารตัวกระตุ้นการวัดค่าไนซ์พบว่าเมื่อปริมาณ ZnO ลดลงต่ำกว่า 5.25 phr จะทำให้การวัดค่าไนซ์ของฟองยางช้าลงเล็กน้อย (ประมาณ 5 นาที) และ เกิดฟองอากาศอยู่ใต้ผิวหน้าของชิ้นงาน เมื่อปริมาณ ZnO เพิ่มขึ้นมากกว่า 21 กรัม (5.25 phr) จะทำให้ฟองยางวัดค่าไนซ์เร็วขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ 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

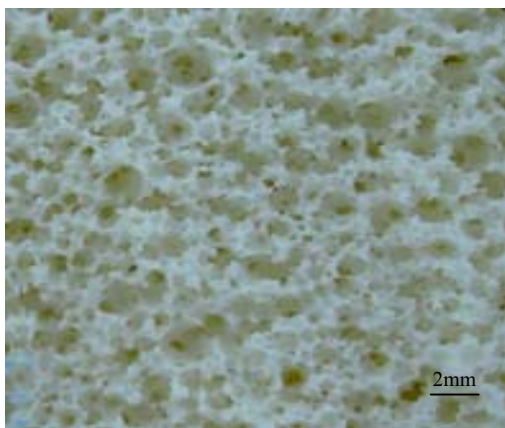
ปริมาณ ZnO (50%) (2*phr)	10	10.3	10.5	10.8	11
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.164	0.159	0.152	0.169	0.153



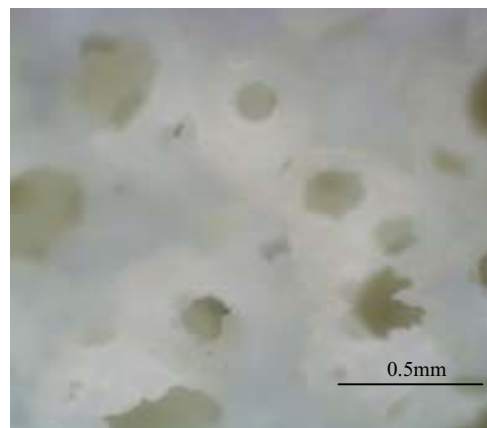
a) หน้า 2 cm



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

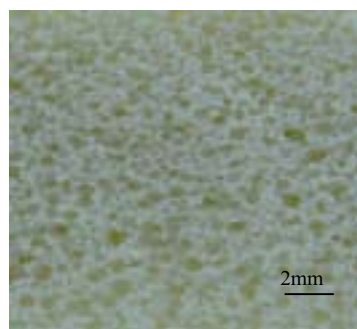
ตารางที่ 4.14 แสดงสูตรการทำโพลิเมอร์ (2 ส่วน) ที่ทำการปรับค่าปริมาณสารเคมีต่าง ๆ เพื่อลดเวลาในการวัลคาไนซ์ และหาปริมาณสารที่เหมาะสม

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

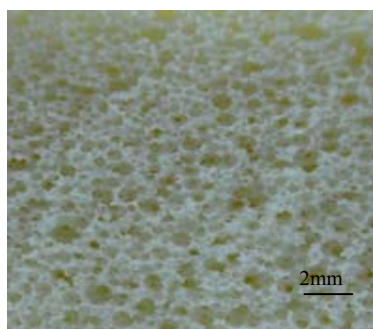
เมื่อทำการทดลองได้สูตร 2 ส่วนที่ดีที่สุดแล้ว จึงได้ทำการทดลองเปรียบเทียบกระบวนการอบกับกระบวนการนึ่ง เพื่อดูเวลาในการวัลคาไนซ์ของยาง และดูคุณภาพของเนื้อโฟมที่ได้จากกระบวนการอบและกระบวนการนึ่ง รวมถึงการเปรียบเทียบความหนาแน่นของโฟมยางด้วย ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงเวลาที่ใช้ในการอบและการนึ่ง และความหนาแน่นของโฟมยาง ที่ได้จากสูตรการปรับค่าปริมาณสารเคมีต่างๆ (2 ส่วน)

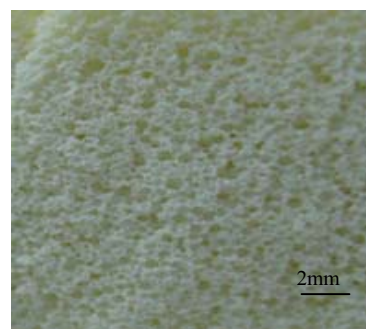
กรรมวิธี	อุณหภูมิ (°C)	ความหนาของชิ้นงาน (cm)	เวลาในการวัลคาไนซ์ (min)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
อบ	100	2	70	0.165
		4	90	
		8	110	
อบ	120	2	60	0.169
		4	75	
		8	90	
นึ่ง		2	15	0.166
		4	20	
		8	25	



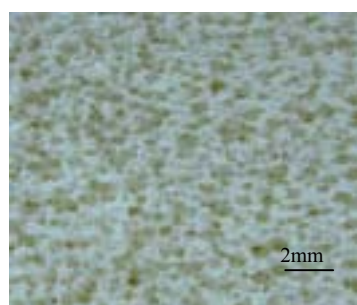
อบ 100 °C 2 cm



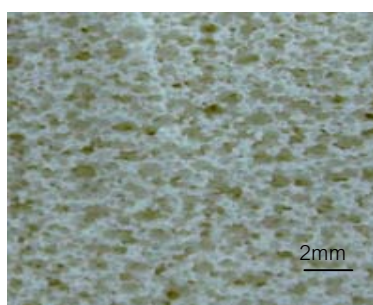
อบ 120 °C 2 cm



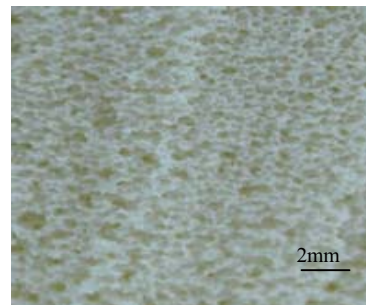
นึ่ง 2 cm



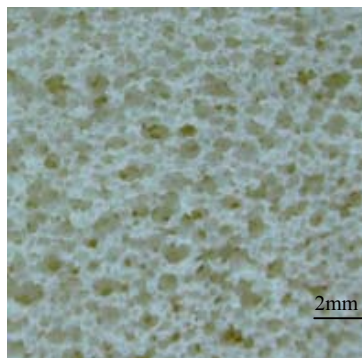
อบ 100 °C 4 cm



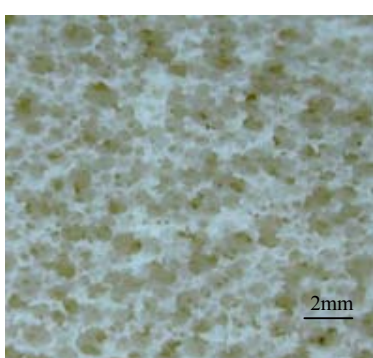
อบ 120 °C 4 cm



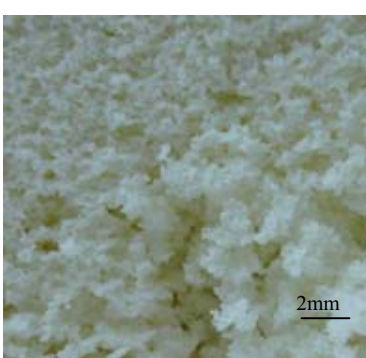
นึ่ง 4 cm



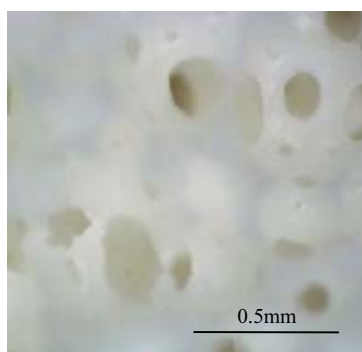
อบ 100 °C 8 cm



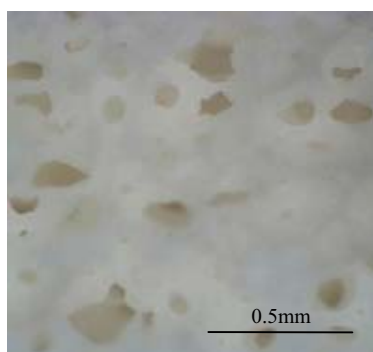
อบ 120 °C 8 cm



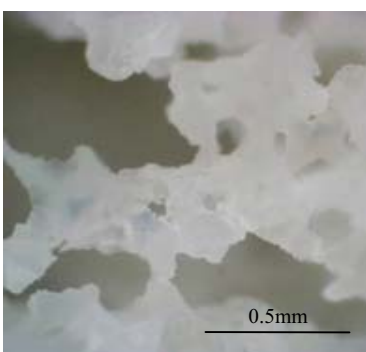
นึ่ง 8 cm



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)

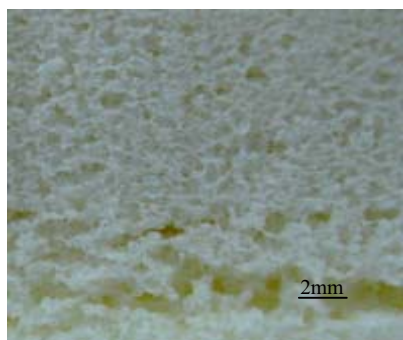
จากนั้นจึงได้ทดลองสูตรจากกลุ่มเกษตรกรทำสวนป่าครอก จังหวัดภูเก็ต ในปริมาณ 2 ส่วน เพื่อเปรียบเทียบเวลาในการวัลคาไนซ์และคุณภาพของเนื้อโพลีเมอร์ทั้งกรรมวิธีการนึ่งและการอบ ซึ่งสูตรที่ใช้ในการทดลองดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงปริมาณสารเคมี ระดับความเร็วและเวลาที่ใช้ในการปั้นของกลุ่มเกษตรกรทำสวนป่าครอก จังหวัดภูเก็ต (2 ส่วน)

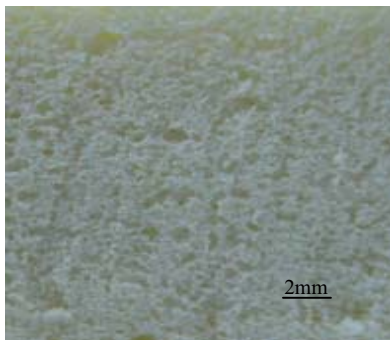
น้ำยางและสารเคมี	น้ำหนัก (เปียก) (g)	น้ำหนัก (แห้ง) (2*phr)	ระดับความเร็ว ในการปั้น	เวลาในการปั้น (min)
60 % น้ำยางข้น	334	2 * 100	1	1
10 % แอมโมเนียมโอเลเอต (ชุด-1)	30	2 * 1.5	4.5	3
50 % S (ชุด-2)	8	2 * 2	1	1
50 % ZDEC (ชุด-2)	4	2 * 1		
50 % ZMBT (ชุด-2)	4	2 * 1		
50 % Wingstay L (ชุด-2)	4	2 * 1		
50 % 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)

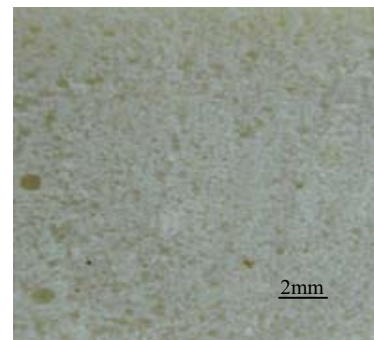
กรรมวิธี	อุณหภูมิ (°C)	ความหนาของชิ้นงาน (cm)	เวลาในการวัลคาไนซ์ (min)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
อบ	100	2	70	0.134
		4	90	
		8	110	
อบ	120	2	60	0.181
		4	75	
		8	90	
นึ่ง		2	15	0.122
		4	20	
		8	25	



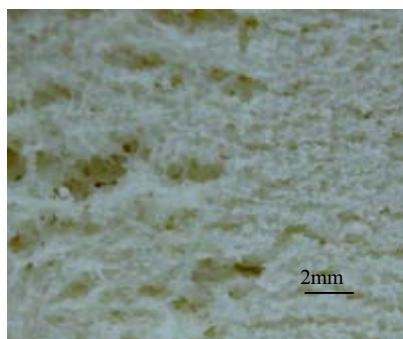
อบ 100 °C 2 cm



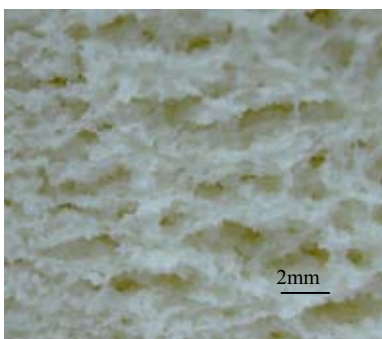
อบ 120 °C 2 cm



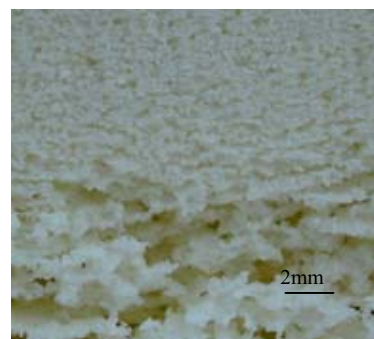
นึ่ง 2 cm



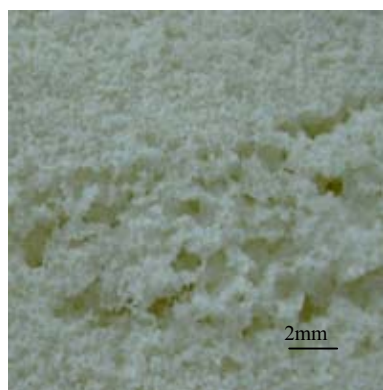
อบ 100 °C 4 cm



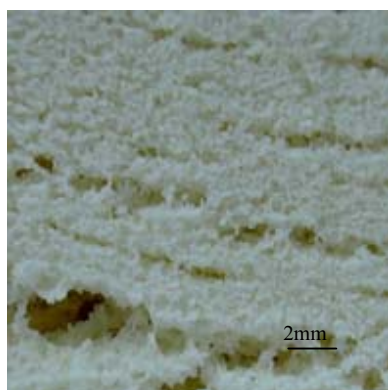
อบ 120 °C 4 cm



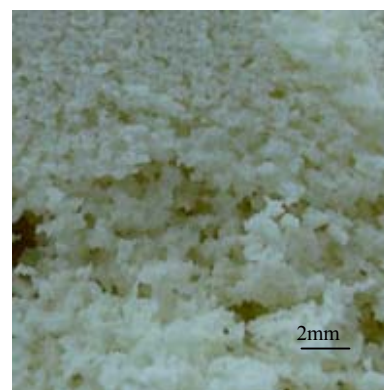
นึ่ง 4 cm



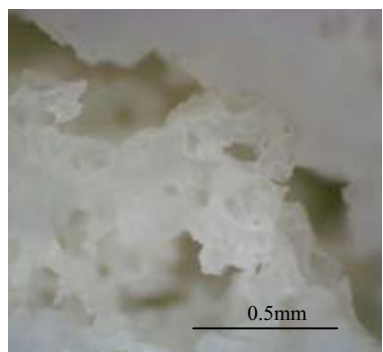
อบ 100 °C 8 cm



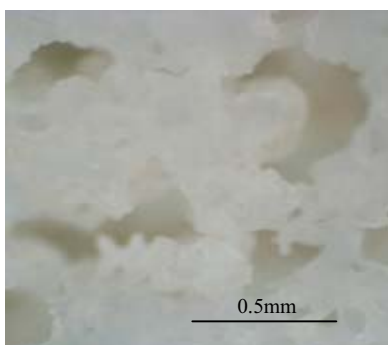
อบ 120 °C 8 cm



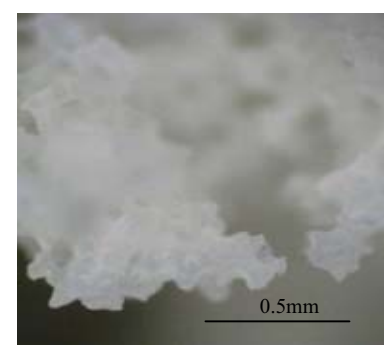
นึ่ง 8 cm



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 โอลิเอต	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)	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)			

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)



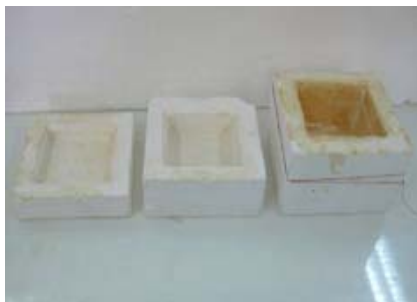
เครื่องบดผสม
(Ball Mill)



หม้อกระเบื้อง
และลูกบดอะลูมินา



เครื่องปั่น
(ยี่ห้อ pensonic รุ่น PM -209)



เบ้าพิมพ์ปูนปลาสเตอร์
ความหนาของขอบ 3 cm



หม้อนึ่งไอน้ำ



สารเคมีอยู่ในรูป
ดีสเพิซชัน (dispersion)



ชุดป้องกันความสับสน
ในการผสมสารเคมีกับน้ำยาง

ภาคผนวก B:

ลักษณะของโฟมที่เกิดจากการทดลอง



ผิวเรียบ



ผิวย่น



ผิวลอก



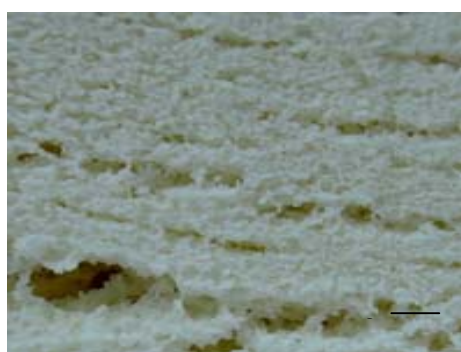
กลวง



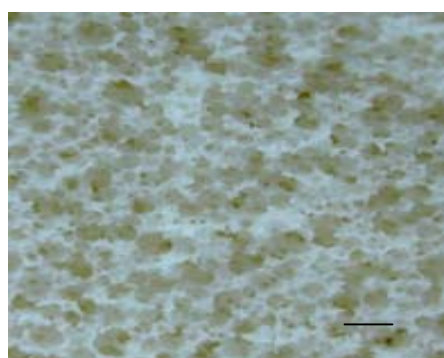
ขอบแตก



ไม่เซ็ดตัว



ลักษณะเนื้อโฟมที่เป็นชั้น



ลักษณะเนื้อโฟมที่สม่ำเสมอ

ภาคผนวก C:

บทความสำหรับเผยแพร่

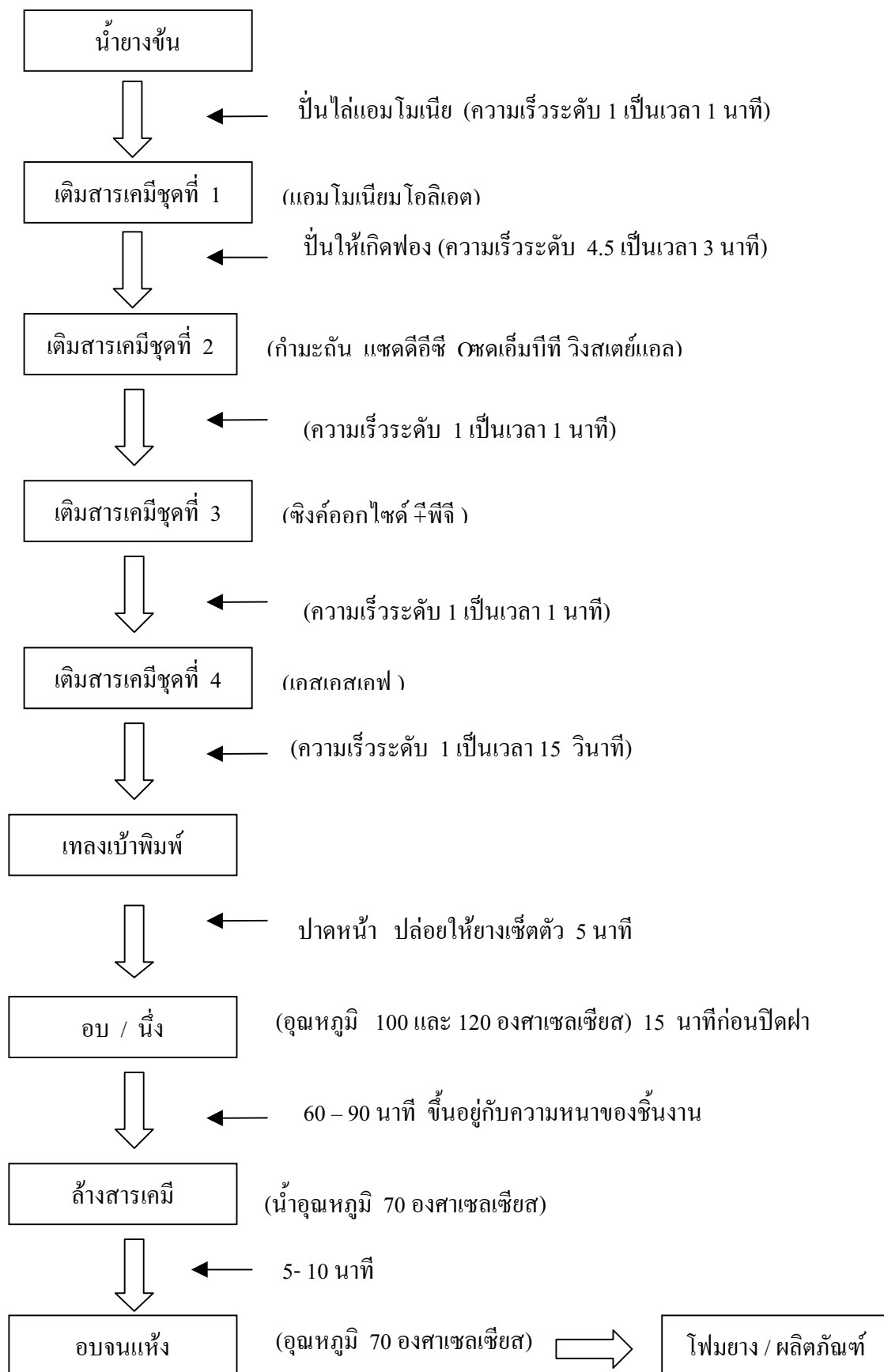
บทนำ

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

ผลการวิจัย

1. เครื่องบดขนาดเล็ก (ball mill) ที่ได้ออกแบบและสร้างเพื่อใช้เตรียมสารดีสเพิซันซึ่งมีลักษณะดังรูปที่-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 (ดีสเพิซัน) ป้องกันความสับสนตามลำดับขั้นตอนการผสมที่จัดทำขึ้นแสดงดังรูปที่-2 ซึ่งประกอบด้วยภาชนะพลาสติกสำหรับใส่สารสำหรับทำโฟมยางจำนวน 8 ชนิดจัดเก็บในชั้นเก็บสารที่ระบุรายละเอียดของขั้นตอนการผสม ภาชนะแต่ละใบระบุชื่อสารแต่ละชนิดและภายในบรรจุลูกบอลอะลูมิเนียมขนาด 0.6 มิลลิเมตรเพื่อช่วยในการกวนสารที่ตกตะกอน โดยภาชนะที่บรรจุดีสเพิซันจะทำการแบ่งสารออกเป็นชุดๆ (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 % แอมโมเนียมโอเลต (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

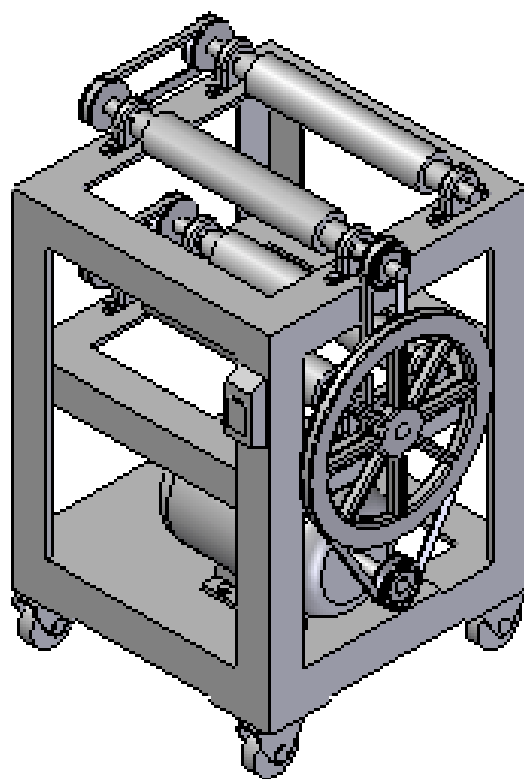
การพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติให้มีคุณภาพ ในโครงการนี้ได้พัฒนากระบวนการตั้งแต่การเตรียม สารเคมี (ดีสเพิซัน) โดยการสร้างเครื่องบดสารขนาดเล็ก (ball mill) ที่สามารถเตรียมดีสเพิซันได้ดีเทียบเท่ากับเครื่อง บดสารที่มีขายตามท้องตลาดแต่ราคาถูกกว่า และชุดอุปกรณ์ป้องกันความสับสนเรื่องขั้นตอนการผสมสารเคมีต่างๆ 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