รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์โฟมยาง

The Development of Rubber Foam

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกทิพย์ บุญเกิด และคณะ

เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2561

สัญญาเลขที่ RDG60T0085

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์โฟมยาง

The Development of Rubber Foam

	คณะผู้วิจัย	**สังกัด**
1.	ผศ. ดร.กนกทิพย์ บุญเกิด	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2.	ผศ. ดร.อัญญพร บุญมหิทธิสุทธิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม” ปีงบประมาณ 2560

สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย วช. - สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร

จากการลงพื้นที่วิสาหกิจชุมชนที่ผลิตผลิตภัณฑ์โฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติจังหวัดนครศรีธรรมราช ทำให้ได้รับทราบข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาด้านความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพผลิตภัณฑ์โฟมยาง ซึ่งเกิดจากการขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเลือกวัตถุดิบ การจัดเก็บวัตถุดิบ ตลอดจนกระบวนการผลิต ซึ่งนำไปสู่ผลิตภัณฑ์โฟมยางที่ไม่ได้มาตรฐานและมีข้อบกพร่อง เช่น ผลิตภัณฑ์หมอนโฟมยางไม่เต็มใบ เกิดโพรงอากาศในเนื้อผลิตภัณฑ์ และผิวผลิตภัณฑ์ไม่สวยงาม เป็นต้น โดยทางกลุ่มวิจัยได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะของโฟมยาง พร้อมทั้งการลงพื้นที่เพื่อนำไปสู่การถ่ายทอดองค์ความรู้ความเข้าใจให้กับสมาชิกของวิสาหกิจชุมชน ตั้งแต่การเลือกและจัดเก็บวัตถุดิบ ตลอดจนรายละเอียดขั้นตอนการผลิตที่สามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าว ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์โฟมยางของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนมีคุณภาพดีและมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งปัจจุบันพบว่า ข้อมูลการจดบันทึกตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนพบของเสียลดลงเหลือเพียงร้อยละ 3 ของจำนวนการผลิตทั้งหมด และผลิตภัณฑ์หมอนโฟมยางที่ผลิตได้ถูกจัดอยู่ในเกรดที่มีคุณภาพสูงตามลักษณะภายนอกที่ปรากฏเกือบทั้งหมด โดยแนวทางการปรับปรุงที่ได้ดำเนินไปมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ การเลือกเกรดน้ำยางให้เหมาะสมสำหรับการตีโฟมยาง การจัดเก็บสารเคมียางซึ่งอยู่ในรูปสารแขวนลอยอย่างถูกต้อง การควบคุมระยะและรอบการปั่นโฟมให้เหมาะสม การพักโฟมยางก่อนนำเข้านึ่ง การสังเกตลักษณะของโฟมยางก่อนการเกิดเจล รวมไปถึงการปรับปรุงแม่พิมพ์และอุปกรณ์การปั่นโฟม อย่างไรก็ตามพบว่าความรู้บางอย่างเช่น การลดขนาดของฟองในเนื้อโฟมโดยการลดจำนวนรอบความเร็วของแกนปั่นลง ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ที่วิสาหกิจชุมชนใช้อยู่ได้ ถึงแม้โฟมยางที่ได้จะมีฟองเล็กลงและผิวเนียนมากขึ้นก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากการแตกตัวและการกระจายตัวของสารเคมีเกิดได้ไม่ดี นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของปริมาณสารคงรูปและสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกดอัด พบว่า การเพิ่มปริมาณสารข้างต้นไม่ส่งผลต่อลักษณะของโฟมยางแต่อย่างไร แต่จะทำให้โฟมยางมีความต้านทานต่อการยุบตัวเนื่องจากแรงกดอัดดีขึ้น

บทคัดย่อภาษาไทย

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตต่อสมบัติของโฟมยาง พร้อมทั้งถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนจังหวัดนครศรีธรรมราชเพื่อการพัฒนาและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์โฟมยางที่อยู่ในรูปแบบของหมอนยาง เบื้องต้นจากเข้าเยี่ยมชมวิสาหกิจชุมชนในครั้งแรก พบว่าผลิตภัณฑ์โฟมยางที่ได้มีข้อบกพร่องและเกิดของเสียจำนวนมาก โดยสาเหตุหลักก็เนื่องมาจากการขาดความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะและสมบัติของโฟมยาง เบื้องต้นประเด็นแรกที่ทำการชี้แจงคือ การจัดเก็บและการนำสารเคมีซึ่งเป็นสารแขวนลอยมาใช้อย่างเหมาะสม ซึ่งเมื่อวิสาหกิจชุมชนปรับปรุงระบบการจัดเก็บและเปลี่ยนวิธีการนำสารเคมีซึ่งเป็นสารแขวนลอยมาใช้ พบว่าสามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์โฟมยางที่มีปัญหาลงได้อย่างชัดเจน ในส่วนถัดมาเป็นการถ่ายทอดความรู้ในรูปแบบการปฏิบัติการและวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาในจุดต่าง ๆ และการชี้ให้เห็นถึงความเชื่อมโยงระหว่างผลของกระบวนผลิตต่อลักษณะของโฟมยางที่ได้ ผลที่ได้คือทำให้วิสาหกิจชุมชนสามารเข้าปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปลักษณ์ของโฟมยาง ทำให้สามารถลดจำนวนของเสียระหว่างกระบวนการผลิตและจำนวนผลิตภัณฑ์โฟมยางที่มีข้อบกพร่องลงได้อย่างยั่งยืน อีกทั้งยังสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์โฟมยางให้มีลักษณะที่ดีขึ้นโดยมีฟองขนาดเล็กและเนื้อเนียนขึ้น

Abstract

The objective of this research is to study the influence of production operation on the characteristic of rubber foam and then transfer the knowledge to small community enterprise in Nakhon Si Thammarat province for developing and improving the quality of rubber foam product in the form of rubber pillow. During the first visiting small community enterprise, it was found there were a lot rubber foam products with flaw and low quality. The reasons that caused the defect in the rubber foam product were the lack of knowledge and understanding about the factors effecting the appearance and properties rubber foam product. Firstly, the main reason that was noted was the handling system of the rubber foam chemical which is in the suspension form. It was dried and precipitated during storage. Once the handling system was improved, the amount of rubber foam product with defects was noticeably decreased. After that it was about technology transferring by practical section, analyzing about the reasons that cause the defects and pointing out the link between the results of the production operation on the characteristics of the rubber foam. As a result, small community enterprise can understand the factors influencing the appearance of the rubber foam, thus sustainably reducing rubber waste and the amount of rubber product with the defect and also producing better quality of rubber foam with finer porous.

สารบัญ

บทที่	หัวข้อ		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย			i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ			ii
สารบัญ			iii
สารบัญตาราง			v
สารบัญภาพ			vi
บทที่ 1	**บทนำ**		**1**
	1.1	ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	2
	1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	1.3	ขอบเขตของการวิจัย	2
	1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	2
	1.5	กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัย	3
	1.6	แผนงานโครงการ	4
บทที่ 2	**การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง**		**5**
	2.1	ทฤษฎี สมมติฐานและการทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3	**วิธีการดำเนินการวิจัย**		**9**
	3.1	วัตถุดิบและสารเคมี	10
	3.2	วิธีการทดลอง	10
	3.3	รวบรวม วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลและเขียนรายงาน	13
บทที่ 4	**ผลการทดลอง**		**14**
	4.1	การลงพื้นที่วิสาหกิจชุมชน (จังหวัดนครศรีธรรมราช) เพื่อติดตามกระบวนการผลิตโฟมยางและรวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์โฟมยาง	15
	4.2	การดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์โฟมยาง	16
	4.3	ปัจจัยทางกระบวนผลิตที่ส่งผลต่อลักษณะของโฟมยาง	23
	4.4	การปรับปรุงลักษณะของโฟมยางและลดปัญหาระหว่างกระบวนการผลิต	31
	4.5	การศึกษาผลของปริมาณสารเคมีต่อลักษณะของโฟมยาง	42
บทที่ 5	**สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ**		**62**
	5.1	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	63
บรรณานุกรม			**64**
ภาคผนวก			**65**
	เอกสารแนบ ก		66
	เอกสารแนบ ข		95
	เอกสารแนบ ค		96

บทที่	หัวข้อ	หน้า
	เอกสารแนบ ง	97
	เอกสารแนบ จ	98
ตารางเปรียบเทียบ Output ที่เสนอในข้อเสนอโครงการและได้จริง		**131**

สารบัญตาราง

	หัวข้อ		หน้า
บทที่ 3			
ตารางที่	3.1	สูตรสารเคมียางที่ใช้ในการผลิตโฟมยาง พร้อมขั้นตอนการปั่นผสม (ปริมาณสารเคมีและเวลาปั่นกวนจากการสำรวจกลุ่มวิสาหกิจชุมชน)	11
บทที่ 4			
ตารางที่	4.1	ข้อมูลการบันทึกคุณภาพของโฟมยาง	17
ตารางที่	4.2	ข้อมูลการบันทึกคุณภาพของโฟมยางหลังจากปรับปรุงเรื่องการจัดเก็บสารเคมียาง	21
ตารางที่	4.3	ผลของเวลาพักยางก่อนเข้าเตานึ่งต่อลักษณะของโฟมยาง	24
ตารางที่	4.4	ผลของเวลาในการปั่นกวนน้ำยางกับน้ำสบู่ต่อลักษณะของโฟมยาง	27
ตารางที่	4.5	ผลของเวลาในปั่นกวนโฟมยางกับสารเคมีชุดที่ 2 และ 3 ต่อลักษณะของโฟมยาง	29
ตารางที่	4.6	ผลของเวลาในการคงรูปยางด้วยไอน้ำต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด	40
ตารางที่	4.7	ผลของอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่โฟมยางต่อปริมาณสารตกค้าง	42
ตารางที่	4.8	สูตรโฟมยางมาตรฐานสำหรับทำหมอนยางธรรมชาติ	43
ตารางที่	4.9	ผลของปริมาณดีพีจีต่อลักษณะของโฟมยาง	44
ตารางที่	4.10	ผลของปริมาณ SFF ต่อลักษณะของโฟมยาง	49
ตารางที่	4.11	ผลของปริมาณกำมะถันต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด	52
ตารางที่	4.12	ผลของปริมาณ ZDEC ต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด	55
ตารางที่	4.13	ผลของปริมาณ ZMBT ต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด	58
ตารางที่	4.14	สมบัติของโฟมยางจากสูตรมาตรฐาน	61

สารบัญภาพ

	หัวข้อ		หน้า
บทที่ 2			
ภาพที่	2.1	ลักษณะสัณฐานวิทยาของโฟมยูรีเทนชนิด (a) เซลล์ปิด (b) ชนิดเซลล์เปิด	6
ภาพที่	2.2	ขั้นตอนการผลิตโฟมยางด้วยเทคโนโลยีแบบดันลอป	7
บทที่ 3			
ภาพที่	3.1	อุปกรณ์ชุดปั่นกวนน้ำยางกับสารเคมีต่างๆ ในการผลิตโฟมยาง ที่ใช้ในวิสาหกิจชุมชน	11
ภาพที่	3.2	(ก) แม่พิมพ์ในการขึ้นรูปโฟมยาง (ข) ขั้นตอนการเทน้ำยางที่ผ่านการผสมสารเคมีและขึ้นฟองแล้วแล้วลงในแม่พิมพ์	12
ภาพที่	3.3	ขั้นตอบการอบโฟมยางในตู้อบไอน้ำ	12
ภาพที่	3.4	(ก) ขั้นตอนการล้างโฟมยาง (ข) ขั้นตอนการรีดน้ำออกจากโฟมยาง	13
ภาพที่	3.5	ขั้นตอนการตากผึ่งลมโฟมยางจนแห้งสนิท	13
บทที่ 4			
ภาพที่	4.1	ตัวอย่างตำหนิที่พบในผลิตภัณฑ์โฟมยาง (ก) โฟมยางไม่เต็มหน้า (ข) ผิวมีฟองอากาศขนาดใหญ่และย่น (ค) การฉีกขาดของโฟมยางเนื่องจากมีโพรงอากาศ	15
ภาพที่	4.2	การจำแนกปัญหาที่เกิดกับโฟมยาง (ก) โฟมยางไม่เต็มด้านหน้า (ข) โฟมยางไม่เต็มด้านข้าง และ (ค) โฟมยางมีโพรงอากาศ	16
ภาพที่	4.3	ภาชนะบรรจุสารแขวนลอย SSF และการจับตัวเป็นก้อนของ SSF	19
ภาพที่	4.4	ภาชนะบรรจุสารแขวนสารเคมียาง	20
ภาพที่	4.5	ลักษณะการตกตะกอนที่ก้นภาชนะปั่นกวนโฟมยางของสารเคมียางที่มีความหนืดสูง	20
ภาพที่	4.6	การจัดเก็บภาชนะบรรจุสารเคมียางหลังการเยี่ยมชม	21
ภาพที่	4.7	ลักษณะการยุบตัวของโฟมยางเนื่องจากโฟมยางเซตตัวก่อนปิดฝา	32
ภาพที่	4.8	ลักษณะของโฟมยางที่ปั่นกวนกับสารก่อเจล SSF ที่เวลาต่างกันก่อนเทลงแม่พิมพ์	32
ภาพที่	4.9	การเกิดฟิล์มยางจากการบีบด้วยปลายนิ้ว	33
ภาพที่	4.10	เปรียบเทียบลักษณะโฟมยางที่เทลงแม่พิมพ์ที่เวลาต่างกัน (ก) เวลาเดิมที่วิสาหกิจชุมชนใช้ (ข) เวลาจากการพิจารณาฟองของโฟมยางระหว่างการปั่นโฟม	33
ภาพที่	4.11	ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดเจล	34
ภาพที่	4.12	ลักษณะฟองอากาศตามผิวของโฟมยาง	35
ภาพที่	4.13	ลักษณะของโฟมยางที่ตีด้วยความเร็วรอบต่างกัน (ก) ใช้ความเร็วรอบสูงตลอดเพียงยางเดียว (ข) ใช้ความเร็วรอบสูงเมื่อตีน้ำยางกับน้ำสบู่จากนั้นปรับความเร็วลง	36
ภาพที่	4.14	ผลของการลดความเร็วรอบในการปั่นโฟมยางต่อการกระจายตัวของสารเคมียาง	36
ภาพที่	4.15	ลักษณะแกนปั่น (ก) แนวยาวของเครื่องผสมอาหารที่ใช้ในการทดลอง (ข) แนวขวางของเครื่องตีโฟมที่วิสาหกิจชุมชนใช้	37
ภาพที่	4.16	แกนปั่นแบบ (ก) แนวยาวซีกใหญ่ (ข) แนวยาวซีกเล็ก	38
ภาพที่	4.17	ผลของแกนปั่นต่อลักษณะของโฟมยาง (ก) แกนแนวขวาง (ข) แกนแนวยาวซีกใหญ่ (ค) แกนแนวยาวซีกเล็ก	38

	หัวข้อ		หน้า
ภาพที่	4.18	การซ้อนทับกันของผลิตภัณฑ์โฟมยางระหว่างรอชักล้าง	42
ภาพที่	4.19	เปรียบเทียบลักษณะของเนื้อโฟมด้านในเมื่อมีการเติม DPG ในปริมาณต่างๆ กัน	48
ภาพที่	4.20	เปรียบเทียบลักษณะของเนื้อโฟมด้านในเมื่อมีการเติม SSF ในปริมาณต่างๆ กัน	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

ปัจจุบันเกษตรกรไทยประสบปัญหาความผันผวนของราคาผลผลิตทางการเกษตร รัฐบาลไทยจึงมีแนวทางแก้ไขปัญหาโดยจัดทำโมเดลแผนการพัฒนาประเทศไทย 4.0 บนวิสัยทัศน์ที่ว่าเป็นการพัฒนา เพื่อความมั่นคง มั่งคั่งและยั่งยืน โดยมุ่งเน้นให้เกษตรกรเกิดการรวมกลุ่มกันเพื่อเป็นผู้ประกอบการและมุ่งผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรที่มีอยู่ในชุมชน จนเกิดการจัดตั้งเป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนขึ้น ซึ่งชุมชนในจังหวัดนครศรีธรรมชาติได้มีการรวมกลุ่มจัดตั้งวิสาหกิจชุมชนเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์โฟมยาง โดยอาศัยทรัพยากรสำคัญในท้องถิ่นนั้นคือ ยางธรรมชาติ หากแต่ขาดองค์ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตต่อสมบัติของโฟมยาง จึงทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์โฟมยางไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติไม่ได้ตามมาตรฐาน ไม่สามารถนำออกสู่ตลาดได้จึงเกิดการสูญเสียทั้งเงินทุนและเวลา รวมไปถึงเกิดขยะจากสินค้าที่ไม่ได้คุณภาพอีกด้วย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตต่อสมบัติของโฟมยาง พร้อมทั้งถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพื่อการพัฒนาและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์โฟมยางให้สามารถออกแข่งขันสู่ตลาดโลกได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์โฟมยางเพื่อการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์โฟมยางให้มีสมบัติสม่ำเสมอ

1.2.2 ถ่ายทอดองค์ความรู้ ความเข้าใจและความเชี่ยวชาญในการผลิตโฟมยางแก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพื่อการยกระดับและพัฒนาศักยภาพของผลิตภัณฑ์โฟมยาง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาความหนืดและความเข้มข้นของน้ำยางต่อสมบัติของโฟมยาง

1.3.2 ศึกษาความหนืดของสารประกอบน้ำยางต่อสมบัติของโฟมยาง

1.3.3 ศึกษาอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการผสมต่อสมบัติของโฟมยาง

1.3.4 ศึกษาอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการอบขึ้นรูปต่อสมบัติของโฟมยาง

1.3.5 ตรวจสอบลักษณะและทดสอบสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์โฟมยาง

1.3.6 ถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจ พร้อมให้คำแนะนำและคำปรึกษาแก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

ได้ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์โฟมยาง เพื่อการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์โฟมยางให้มีสมบัติสม่ำเสมอ

1.5 กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัยในภาพรวม

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตต่อสมบัติของโฟมยาง โดยเริ่มจากการเลือกและจัดเก็บวัตถุดิบให้เหมาะสม จากนั้นทำการผสมน้ำยางกับสารเกิดฟอง สารคงรูป และสารเกิดเจลตามอัตราส่วนต่าง ๆ และทำการปั่นของผสมให้เข้ากันด้วยอุณหภูมิและเวลาที่ต้องการทำการศึกษา ทำการตรวจสอบความหนืดของสารประกอบน้ำยางอีกครั้ง ก่อนนำไปขึ้นรูปพร้อมทั้งบ่มชิ้นงานให้คงรูปด้วยอุณหภูมิและเวลาที่ต้องการทำการศึกษา จากนั้นทำการทดสอบความหนาแน่น สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยาของโฟมยางที่เตรียมได้ รวบรวม วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลและเขียนรายงาน พร้อมทั้งถ่ายทอดงานวิจัยนี้ไปยังกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ทำผลิตภัณฑ์โฟมจากน้ำยาง

1.6 แผนงานโครงการ

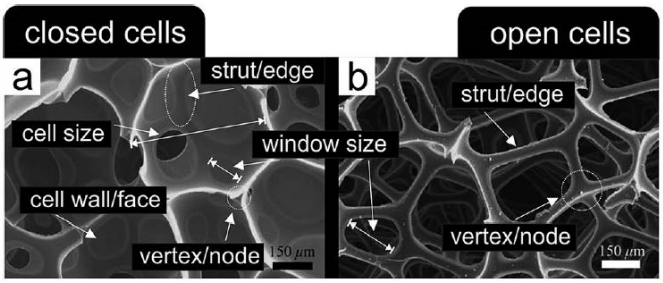
ระยะเวลา	กิจกรรม	ผลที่คาดว่าจะได้
เดือนที่ 1-2	1. ลงพื้นที่วิสาหกิจชุมชน (จังหวัดนครศรีธรรมราช) เพื่อรวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์โฟมยาง ตรวจสอบคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้การผลิตผลิตภัณฑ์โฟมยางและติดตามกระบวนการผลิตของแต่ละชุมชน 2. เตรียมวัตถุดิบสำหรับการวิจัย โดยตรวจสอบความเข้มข้นและความหนืดของน้ำยางก่อนทำการเตรียมเป็นสารประกอบน้ำยาง	1. ได้ข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์โฟมยาง ความสม่ำเสมอของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์โฟมยางและกระบวนการผลิตของแต่ละชุมชน 2. ได้วัตถุดิบเบื้องต้นสำหรับการทำวิจัย
เดือนที่ 3-6	1. เตรียมสารประกอบน้ำยางกับสารเกิดฟอง สารคงรูป และสารเกิดเจลตามอัตราส่วนต่างๆ พร้อมขึ้นรูปโฟมยาง 2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมบัติต่างๆ ของโฟมยาง	1. ได้ผลิตภัณฑ์โฟมยาง 2. ได้ข้อมูลผลกระทบของปัจจัยต่างๆ (ความหนืด ความเข้มข้น อุณหภูมิการขึ้นรูป เวลาในการขึ้นรูป) ต่อสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงกลพลวัต สัณฐานวิทยาของโฟมยางที่เตรียมได้
เดือนที่ 7-12	1. เตรียมสารประกอบน้ำยางกับสารเกิดฟอง สารคงรูป และสารเกิดเจลตามอัตราส่วนต่างๆ พร้อมขึ้นรูปโฟมยาง (ต่อ) 2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมบัติต่างๆ ของโฟมยาง (ต่อ) 3. รวบรวม วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล 4. ถ่ายทอดความรู้และความเข้าใจในองค์ความรู้ขั้นพื้นฐานในผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตต่อสมบัติของโฟมยางแก่ชุมชนวิสาหกิจ 5. ติดตามการเก็บข้อมูลการลดลงของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพของวิสาหกิจชุมชนอย่างน้อย 1 ชุมชน 6. จัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์	1. ได้ผลิตภัณฑ์โฟมยาง 2-3. ได้ข้อมูลผลกระทบของปัจจัยต่างๆ (ความหนืด ความเข้มข้น อุณหภูมิการขึ้นรูป เวลาในการขึ้นรูป) ต่อสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงกลพลวัต สัณฐานวิทยาของโฟมยางที่เตรียมได้ 4. วิสาหกิจชุมชนได้ความรู้และความเข้าใจในองค์ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตต่อสมบัติของโฟมยาง 5. จำนวนผลิตภัณฑ์โฟมยางที่ไม่ได้คุณภาพลดลง 6. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี สมมติฐานและการทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

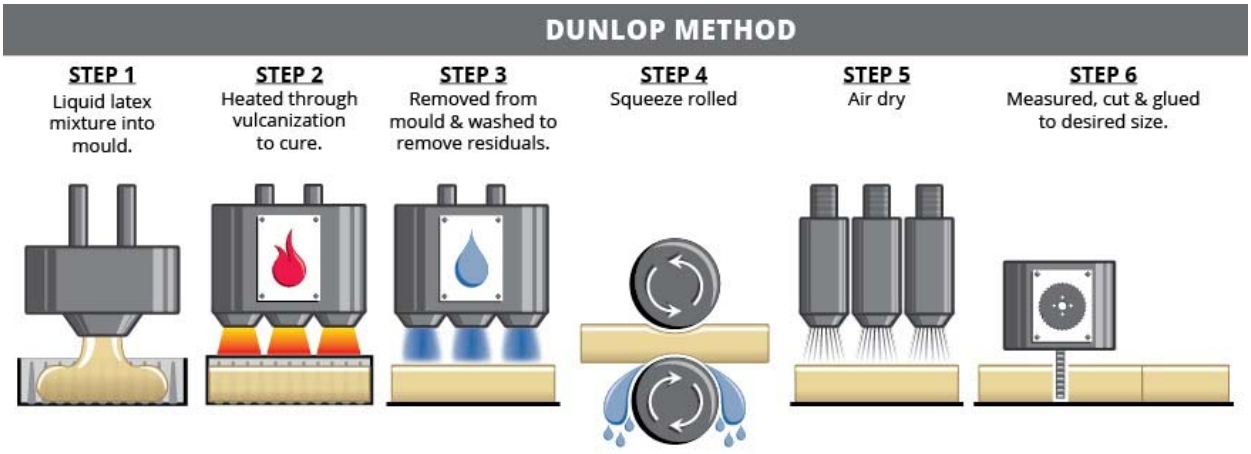
โฟมพอลิเมอร์ (polymeric foam) เป็นวัสดุที่ประกอบด้วย 2 เฟส คือ เฟสที่เป็นพอลิเมอร์เมทริกซ์ (polymer matrix) และเฟสที่เป็นแก๊สซึ่งเกิดจากการทำให้เกิดฟองของสารเกิดฟอง (foaming agent) กระจายตัวอยู่ในเฟสของพอลิเมอร์เมทริกซ์ในรูปแบบช่องว่างที่เรียกว่า เซลล์ (cell) ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของโฟมตามลักษณะทางกายภาพของโฟม ดังนี้ โฟมแข็ง (rigid foam) โฟมกึ่งแข็ง (semi-rigid foam) โฟมกึ่งยืดหยุ่น (semi-flexible foam) และโฟมยืดหยุ่น (flexible foam) หรืออาจแบ่งประเภทของโฟมตามโครงสร้างของเซลล์ ดังนี้ โฟมชนิดเซลล์เปิด (open-cell type) ซึ่งเป็นโฟมที่มีโครงสร้างเซลล์เป็นรูโพรงเล็กๆ กระจายอยู่ในเฟสพอลิเมอร์เมทริกซ์ โดยไม่พบผนังหรือเยื่อบางๆ กั้นระหว่างรูโพรงหรือเซลล์ ดังภาพที่ 1(a) ทำให้น้ำและอากาศสามารถไหลผ่านได้ โฟมชนิดนี้จะมีความยืดหยุ่นสูง เหมาะในการนำไปใช้ทำเบาะรถยนต์ เฟอร์นิเจอร์ ที่นอน และวัสดุที่ใช้ดูดซับเสียง และโฟมชนิดเซลล์ปิด (close-cell type) ซึ่งเป็นโฟมที่มีโครงสร้างเซลล์เป็นรูโพรงเล็กๆ กระจายอยู่ในเฟสพอลิเมอร์เมทริกซ์ โดยพบผนังหรือเยื่อบางๆ กั้นระหว่างรูโพรงหรือเซลล์ ดังรูปที่ 1(b) ทำให้น้ำและอากาศไม่สามารถไหลผ่านได้ แต่สามารถแพร่ผ่านได้ โฟมชนิดนี้จะมีความเป็นฉนวนที่ดี



ภาพที่ 2.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของโฟมยูรีเทนชนิด (a) เซลล์ปิด (b) ชนิดเซลล์เปิด [1]

โฟมยาง (rubber foam) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากน้ำยางสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ด้านต่างๆ เช่น ของใช้ในครัวเรือน (หมอน เบาะที่รองนั่ง ที่นอน ขอบตู้เย็น ของเล่น) อุตสาหกรรมยานยนต์ (เบาะนั่งรถยนต์ เพดานหุ้มด้านในรถยนต์ ยางขอบกระจกรถยนต์ โฟมหุ้มด้านในหมวกกันน็อก เบาะหุ้มแผงเครื่องในหัวเครื่องบิน) อุตสาหกรรมก่อสร้าง (โฟมฉนวนกันความร้อน โฟมกันเสียง) อุปกรณ์กีฬา (พื้นรองเท้า ทุ่นลอยในสระว่ายน้ำ) เป็นต้น โดยโครงสร้างของโฟมยางจะมีลักษณะเป็นรูโพรง ซึ่งเกิดจากการทำให้เกิดฟองอากาศหรือแก๊สในน้ำยาง แล้วทำการคงรูปโฟมยางด้วยสารเคมีและความร้อน ในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตโฟมยางที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม คือ เทคโนโลยีการผลิตแบบดันลอป (Dunlop process) เป็นกระบวนการผลิตโฟมยางที่มีการจดสิทธิบัตรโดย Murphy, Chapman และ Pounder นักวิจัยของบริษัท Dunlop Rubber Company เมื่อปี ค.ศ. 1930 โดยอาศัยหลักการตีน้ำยางให้เกิดฟองอากาศและใช้สารก่อเจลเพื่อทำให้ฟองเกิดการเซ็ตตัว และนำไปอบเพื่อทำการคงรูปโฟมยางต่อไป ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตดังนี้ (รูปที่ 2)

1. ผสมน้ำยางกับสารเกิดฟอง เช่น โพแทสเซียมโอลิเอต (potassium oleate) สารคงรูป (curing agent) และสารเกิดเจลชนิดอย่างช้า (delayed-action gelling agent) เช่น โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (sodium silicofluoride, SSF)
2. เทลงเบ้าพิมพ์และปล่อยให้โฟมยางจับตัวที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 2 step 1)
3. อบเพื่อทำการคงรูปโฟมยาง (รูปที่ 2 step 2)
4. ดึงโฟมยางออกจากแม่พิมพ์ ล้างสารเคมี รีดน้ำออกจากโฟมยางพร้อมทั้งอบแห้ง (ภาพที่ 2 step 4-5)
5. ตัดและตกแต่งโฟมยางให้มีรูปร่างตามที่ต้องการ (รูปที่ 2 step 6)



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการผลิตโฟมยางด้วยเทคโนโลยีแบบดันลอป

อย่างไรก็ตาม การผลิตโฟมยางเพื่อให้ได้คุณภาพที่สม่ำเสมอจำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในระหว่างกระบวนการผลิต เช่น ความหนืดและความเข้มข้นของน้ำยาง ความหนืดของสารประกอบน้ำยาง รวมไปถึงอุณหภูมิและเวลาในการผสมและอบขึ้นรูปต่อสมบัติของโฟมยาง เช่น ความหนาแน่น ลักษณะโครงสร้างรูพรุน ความแข็ง ความทนแรงกดอัด การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด สมบัติการคืนตัว เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์โฟมยางเพื่อการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์โฟมยางให้มีสมบัติสม่ำเสมอ ซึ่งจะนำไปสู่การถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจและความเชี่ยวชาญในการผลิตโฟมยางแก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพื่อการยกระดับและพัฒนาศักยภาพของผลิตภัณฑ์โฟมยาง

Chaowanich และ Nitthi-Uthai [2] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาของการบ่มสารประกอบน้ำยางก่อนเข้ากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อสมบัติของสารประกอบน้ำยาง พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการบ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความหนืดของสารประกอบน้ำยางมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่อัตราการบวมตัวมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดการรวมตัวของสารประกอบในน้ำยางและเกิดปฏิกิริยาการคงรูปในระหว่างการบ่ม ค่าความเป็น

กรด-ด่างและปริมาณแอมโมเนียมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการบ่ม เนื่องจากแอมโมเนียเกิดการระเหยระหว่างการบ่ม นอกจากนี้ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการบ่มมากขึ้น ส่งผลต่อสมบัติของยางในแนวโน้มเดียวกันด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลงที่สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิจะเป็นตัวเร่งให้เกิดการรวมตัวของสารประกอบในน้ำยาง การเกิดปฏิกิริยาการคงรูปและการระเหยของแอมโมเนีย

Ariff และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิในการอบขึ้นรูปต่อสมบัติของโฟมยาง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบขึ้นรูป ส่งผลให้ความหนาแน่นของโฟมลดลงและมีขนาดเซลล์ใหญ่ขึ้นโดยที่ความหนาผนังของเซลล์มีค่าลดลง อีกทั้งความหนาแน่นของการเชื่อมขวางมีค่าลดลง นอกจากนี้ พบว่าความทนแรงกดอัดมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบขึ้นรูป

Najib และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิในการอบขึ้นรูปต่อสมบัติทางเสียงและสมบัติเชิงกลพลวัตของโฟมยาง พบว่าอุณหภูมิในการอบขึ้นรูปสูงขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของโฟม ความหนาแน่นของการเชื่อมขวางมีค่าลดลง ขณะที่ขนาดของเซลล์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้โฟมยางมีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงและมีค่ามอดุลัสสะสมที่ดี

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1) น้ำยางธรรมชาติ (natural rubber latex) ที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก

2) สารละลายโปแตสเซียมโอลีเอต (potassium oleate)

3) สารดิสเพอร์สชัน sulphur ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

4) สารดิสเพอร์สชัน ZDEC ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

5) สารดิสเพอร์สชัน ZMBT ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

6) สารดิสเพอร์สชัน Wingstay L ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

7) สารดิสเพอร์สชัน ZnO ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

8) สารดิสเพอร์สชัน DPG ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 33 โดยน้ำหนัก

9) สารดิสเพอร์สชันโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (sodium silicofluoride, SSF) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนัก

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนการผสมสารประกอบน้ำยาง

ตัวอย่างขั้นตอนการตีโฟมที่วิสาหกิจชุมชนใช้มีรายละเอียดดังนี้ เริ่มจากการปั่นกวนผสมน้ำยางข้นกับสารเกิดฟองโปแตสเซียมโอลีเอต เป็นเวลา 30 นาที (อาจมีการเพิ่มลดเวลาพิจารณาจากความสูงของโฟมที่ได้) จากนั้นทำการเติมสารเคมียางชุดที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วย 50% กำมะถัน, 50% ZDEC, 50% ZMBT และ 50% Wingstay L โดยทำการเติมในสัดส่วนต่างๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 2.30 นาที แล้วจึงเติมสารเคมีชุดที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วย 50% ZnO และ 50% DPG ทำการปั่นกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1.40 นาที จากนั้นจึงทำการเติม SSF ซึ่งเป็นสารเกิดเจลชนิดอย่างช้า (delayed-action gelling agent) ที่ความเข้มข้น 50% และ น้ำ 50 กรัม ปั่นกวนต่อไปเป็นเวลา 1.20 นาที โดยภาพที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ชุดปั่นกวนที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์โฟมยางของวิสาหกิจชุมชน

ตารางที่ 3.1 สูตรสารเคมียางที่ใช้ในการผลิตโฟมยาง พร้อมขั้นตอนการปั่นผสม (ปริมาณสารเคมีและเวลาปั่นกวนจากการสำรวจกลุ่มวิสาหกิจชุมชน)

น้ำยางและสารเคมียาง	น้ำหนัก	เวลาในการปั่นกวน
60% น้ำยางข้น (ชุดที่ 1)	9.5 กิโลกรัม	30 นาที
โปแตสเซียมโอลีเอต (ชุดที่ 1)	600 กรัม	
50%กำมะถัน (ชุดที่ 2)	400 กรัม	2.30 นาที
50% ZDEC (ชุดที่ 2)	140 กรัม	
50% ZMBT (ชุดที่ 2)	140 กรัม	
50% Wingstay L (ชุดที่ 2)	120 กรัม	
50% ZnO (ชุดที่ 3)	450 กรัม	1.40 นาที
33% DPG (ชุดที่ 3)	40 กรัม	
12.5% SSF (ชุดที่ 4)	230 กรัม	1.20 นาที
น้ำ (ชุดที่ 4)	50 กรัม	

ภาพที่ 3.1 อุปกรณ์ชุดปั่นกวนน้ำยางกับสารเคมีต่างๆ ในการผลิตโฟมยาง ที่ใช้ในวิสาหกิจชุมชน

3.2.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปโฟมยาง

นำน้ำยางที่ปั่นกวนกับสารเคมีต่างๆ และขึ้นฟองเรียบร้อยแล้ว ไปเทลงในเบ้าแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 3.2 โดยในการผลิตตามปริมาณสารต่างๆ ที่แสดงในตารางที่ 3.1 จะได้หมอนโฟม จำนวน ทั้งสิ้น 4 ใบ

(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.2 (ก) แม่พิมพ์ในการขึ้นรูปโฟมยาง (ข) ขั้นตอนการเทน้ำยางที่ผ่านการผสมสารเคมีและขึ้นฟองแล้วแล้วลงในแม่พิมพ์

จากนั้นทำการปิดฝาแม่พิมพ์ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5-10 นาที จากนั้นนำเข้าไปอบในตู้อบไอน้ำเพื่อให้ยางสุกดังแสดงในภาพที่ 3.3 เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

ภาพที่ 3.3 ขั้นตอบการอบโฟมยางในตู้อบไอน้ำ

ทำการถอดโฟมยางจากแม่พิมพ์ จากนั้นจุ่มแช่ในอ่างน้ำเพื่อทำความสะอาด ตามด้วยการรีดน้ำออกจากโฟมยางด้วยเครื่องรีดแบบสองลูกกลิ้ง ดังแสดงในภาพที่ 3.4

(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.4 (ก) ขั้นตอนการล้างโฟมยาง (ข) ขั้นตอนการรีดน้ำออกจากโฟมยาง

จากนั้นทำการตากผึ่งลมโฟมยางที่ได้จนแห้งสนิท ดังแสดงในภาพที่ 3.5

ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการตากผึ่งลมโฟมยางจนแห้งสนิท

3.2.3 ทดสอบความหนาแน่นและสัณฐานวิทยาของโฟมยางที่เตรียมได้

3.3 รวบรวม วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลและเขียนรายงาน

บทที่ 4

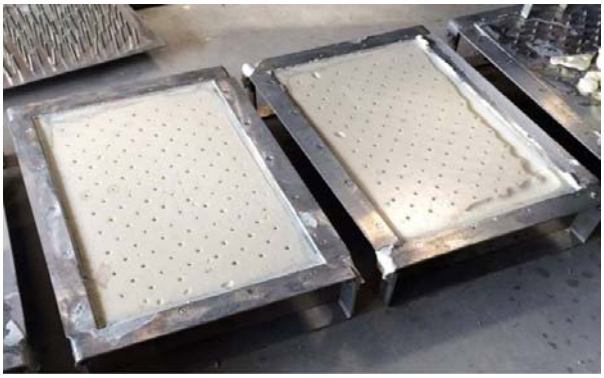
ผลการทดลอง

ผลการทดลอง

4.1 การลงพื้นที่วิสาหกิจชุมชน (จังหวัดนครศรีธรรมราช) เพื่อติดตามกระบวนการผลิตโฟมยางและรวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์โฟมยางและที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต

4.1.1 ปัญหาที่พบในผลิตภัณฑ์โฟมยางและที่พบระหว่างกระบวนการผลิต

ในส่วนของผลิตภัณฑ์ พบว่าในการผลิตจะพบผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพอยู่ โดยข้อบกพร่องที่พบจะเป็นการยุบตัวของโฟมทำให้โฟมไม่เต็มหน้า (ด้านที่สัมผัสกับฝาของแม่พิมพ์) ที่ผิวมีฟองอากาศขนาดใหญ่ ผิวหน้าย่นคล้ายหนังไก่ และบางครั้งเมื่อทำการเปิดฝาแม่พิมพ์ออก พบว่าโฟมจะเกิดการฉีกขาดเนื่องจากมีโพรงอากาศด้านในเนื้อโฟม ดังภาพที่ 4.1 ทำให้ต้องจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่ข้อบกพร่องเหล่านี้ในราคาที่ถูก (เกรด B หรือ C) หรือไม่อาจจะไม่สามารถจำหน่ายได้เลย ส่งผลทำให้วิสาหกิจชุมชนขาดทุน



(ก)

(ข)

(ค)

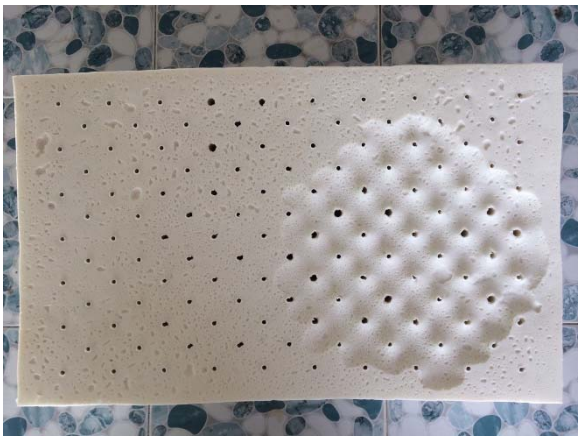
ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างข้อบกพร่องที่พบในผลิตภัณฑ์โฟมยาง
(ก) โฟมยางไม่เต็มหน้า (ข) ผิวมีฟองอากาศขนาดใหญ่และย่น (ค) การฉีกขาดของโฟมยางเนื่องจากมีโพรงอากาศ

สำหรับปัญหาหลัก ๆ ที่พบระหว่างกระบวนการผลิตก็คือ การขาดความรู้และความเข้าใจในการตรวจสอบการเกิดเจล จึงทำให้เทโฟมยางช้าจนเกิดเจลในหม้อตี หรือบางครั้งเทโฟมยางก่อนจะเกิดเจล

4.2 การดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์โฟมยาง

4.2.1 คุณภาพของโฟมยางก่อนการแก้ปัญหา

เพื่อให้การแก้ไขปัญหาเป็นไปอย่างประสิทธิภาพ ทางผู้วิจัยได้ให้ตัวแทนกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปหมอนยางพารา จังหวัดนครศรีธรรมราช ทำการจดบันทึกปัญหาที่เกิดขึ้นกับโฟมยาง (ตามเอกสารแนบ ก) โดยแบ่งปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นสามแบบหลักๆ คือ โฟมไม่เต็มด้านหน้า โฟมไม่เต็มด้านข้าง และโฟมที่เกิดโพรงอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 4.2



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 4.2 การจำแนกปัญหาที่เกิดกับโฟมยาง

(ก) โฟมยางไม่เต็มด้านหน้า (ข) โฟมยางไม่เต็มด้านข้าง และ (ค) โฟมยางมีโพรงอากาศ

โดยผลการบันทึกข้อมูลในช่วงวันที่ 11-23 กันยายน 2560 รวมทั้งสิ้น 11 วัน โดยมีจำนวนโฟมยางที่ผลิตในช่วงเวลานี้ทั้งหมด 816 ใบ ซึ่งเป็นช่วงก่อนที่คณะผู้วิจัยได้ลงไปช่วยวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นกับโฟมยาง ในวันที่ 22 กันยายน 2560 (เอกสารแนบ ข แสดงภาพกิจกรรม) แสดงในตารางที่ 4.1 โดยในการตีโฟมยาง 1 ถัง สามารถใช้เตรียมโฟมยางได้ 4 ใบ และในการนึ่ง 1 เตา สามารถนึ่งโฟมยางได้ 12 ใบ

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการบันทึกคุณภาพของโฟมยาง

วัน-เดือน-ปี	จำนวนรอบที่นึ่งโฟม (เตา)	จำนวนรอบการตีโฟม (ถัง)	จำนวนโฟมยางที่ได้ (ใบ)	จำนวนโฟมที่ไม่มีปัญหา (ใบ)	จำนวนโฟมที่มีปัญหา (ใบ)	หมายเหตุ
11-09-60	6	18	72	61	11	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 9 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 1 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 1
12-09-60	6	18	72	57	15	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 10 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 3 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 2
13-09-60	6	18	72	60	12	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 8 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 1 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 3
14-09-60	6	18	72	62	10	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 8 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 1 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 1
15-09-60	6	18	72	68	4	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 2 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 2
16-09-60	6	18	72	64	8	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 1 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 7
19-09-60	8	24	96	85	11	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 5 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 6
20-09-60	6	18	72	56	16	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 10 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 1 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 5
21-09-60	6	18	72	57	15	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 8 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 7

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการบันทึกคุณภาพของโฟมยาง (ต่อ)

วัน-เดือน-ปี	จำนวนรอบที่นึ่งโฟม (เตา)	จำนวนรอบการตีโฟม (ถัง)	จำนวนโฟมยางที่ได้ (ใบ)	จำนวนโฟมที่ไม่มีปัญหา (ใบ)	จำนวนโฟมที่มีปัญหา (ใบ)	หมายเหตุ
22-09-60	6	18	72	61	11	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 5 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 6
23-09-60	6	18	72	51	21	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 18 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 3

จากข้อมูลข้างต้นสามารถแสดงสัดส่วนร้อยละของโฟมที่ไม่มีและมีปัญหาได้เท่ากับ 83.6 และ 16.4 ตามลำดับ โดยโฟมยางที่มีปัญหาแบ่งเป็น โฟมยางไม่เต็มด้านหน้าร้อยละ 62.7 โฟมยางไม่เต็มด้านข้างร้อยละ 5.2 และ โฟมยางที่เกิดโพรงอากาศร้อยละ 32.1

4.2.2 การวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ทำให้โฟมยางเกิดปัญหาจากการเยี่ยมชม

คณะผู้วิจัยได้เข้าเยี่ยมชมการผลิตโฟมยางของตัวแทนกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปหมอนยางพารา จังหวัดนครศรีธรรมราชที่ทำการจดบันทึกปัญหาที่เกิดขึ้นกับโฟมยาง ในวันที่ 22 กันยายน 2560 เพื่อวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาของโฟมยาง ซึ่งสามารถสรุปประเด็นต่างๆ ได้ดังนี้

- *สารเคมีที่ใช้ในการผลิตโฟมยาง*

สำหรับสารเคมียางที่ใช้ในการเตรียมโฟมยาง เพื่อความสะดวกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนจะสั่งซื้อสารเคมีที่อยู่ในรูปสารแขวนลอย ซึ่งมีการจัดเก็บและนำมาใช้ไม่ที่ไม่เหมาะสม ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้โฟมยางมีข้อบกพร่อง

- *คุณภาพของน้ำยาง*

น้ำยางแต่ละรอบไม่เหมือนกัน บางครั้งสามารถตีโฟมยางได้บางครั้งก็ไม่สามารถตีโฟมได้เลย

- *ช่วงอุณหภูมิโดยรอบระหว่างกระบวนการผลิต*

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนพบว่า การทำโฟมยางในช่วงเวลาต่างกันซึ่งมีอุณหภูมิไม่เท่ากัน ส่งผลต่อการผลิตโฟมยางไม่เหมือนกัน โดยพบว่าหากอุณหภูมิโดยรอบหากต่ำกว่า 27 หรือสูงกว่า 35 องศาเซลเซียล จะไม่สามารถผลิตโฟมยางที่มีคุณภาพได้

- *ความสม่ำเสมอของโฟมยาง*

- กลุ่มวิสาหกิจชุมชนพบว่าใน 1 รอบการผลิตโฟมยาง ผลิตภัณฑ์โฟมยางที่ได้จะมีสมบัติต่างกัน โดยในการผลิตเมื่อทำการเทน้ำยางที่ปั่นผสมกับสารเคมีและขึ้นฟองเรียบร้อยแล้วลงในแม่พิมพ์ พบว่าชิ้นงานที่ 2 และ 3 มีสมบัติใกล้เคียงกัน และดีกว่าชิ้นงานที่ 1 และ 4

4.2.3 การปรับปรุงผลิตภัณฑ์โฟมยางขั้นต้น

จากการเข้าเยี่ยมชมครั้งแรก ผู้วิจัยพบว่าปัจจัยที่ทำให้ผลิตภัณฑ์โฟมยางมีข้อบกพร่องที่เห็นได้อย่างชัดเจนคือ สารเคมียางที่ใช้ในการเตรียมโฟมยาง ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้นเพื่อความสะดวกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนจะสั่งซื้อสารเคมีที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยที่พร้อมใช้งานจากบริษัท ซึ่งในเบื้องต้นก่อนจะเริ่มโครงการวิจัย ตัวแทนวิสาหกิจชุมชนได้ให้ข้อมูลเบื้องต้นว่า ปัญหาน่าจะมาจากคุณภาพของสารเคมีที่ได้ทำการสั่งซื้อมาในรูปสารแขวนลอย ทำให้ผู้วิจัยได้วางแผนศึกษาผลความหนืดของสารประกอบน้ำยางต่อสมบัติของโฟมยาง อย่างไรก็ตามจากการเข้าเยี่ยมชมกระบวนการผลิต พบว่า ในการผลิต ผู้ผลิตขาดความเข้าใจทั้งหน้าที่ของสารเคมี แนวทางการเก็บรักษาและนำสารเคมียางมาใช้อย่างเหมาะสม ดังที่กล่าวไปแล้วในข้างต้น สารเคมีสำหรับการเตรียมโฟมยางจะถูกเตรียมให้ในรูปสารแขวนลอย ซึ่งเมื่อตั้งทิ้งไว้จะสามารถตกตะกอนได้ ก่อนการนำมาใช้ต้องมีการเขย่าให้สารเคมียางเกิดการกระจายตัวที่ดีเสียก่อน นอกจากนี้ผู้ผลิตได้บรรจุสารแขวนลอยของสารเคมียางในภาชนะบรรจุขนาดใหญ่ และเมื่อใช้จะเปิดฝาภาชนะทิ้งไว้ตลอดเวลา ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้น้ำระเหยออกไปได้ทำให้ความเข้มข้นมากขึ้น โดยภาพถ่ายการจัดเก็บสารแขวนลอยของสารเคมี SSF ของผู้ผลิตแสดงในภาพที่ 4.3

ภาพที่ 4.3 ภาชนะบรรจุสารแขวนลอย SSF และการจับตัวเป็นก้อนของ SSF

จากรูปเห็นได้ชัดว่าสารแขวนลอยของสารเคมี SSF ซึ่งเป็นสารที่ทำให้โฟมยางก่อตัวเป็นเจลจับตัวเป็นก้อนไปแล้ว ซึ่งเมื่อนำไปใช้ทำให้โฟมยางไม่แข็งตัว และส่งผลให้โฟมยางยุบตัวได้ โดยคณะผู้วิจัยได้ชี้แจงถึงสาเหตุของปัญหา และในเบื้องต้นได้แนะนำให้ผู้ผลิตเริ่มจากปรับปรุงระบบการจัดเก็บและนำสารเคมียางมาใช้ โดยให้แบ่งบรรจุลงในภาชนะขนาดเล็ก เมื่อใช้ทุกครั้งให้เขย่าอย่างดี พร้อมทั้งแนะนำให้ปิดฝาภาชนะให้มิดชิดและใช้ใบพัดมอเตอร์ปั่นกวนถังบรรจุก่อนแบ่งถ่ายลงภาชนะขนาดเล็กทุกครั้ง เพื่อให้สารเคมีไม่จับตัวเป็นก้อน และให้มีความเข้มข้นตามที่กำหนดอยู่เสมอ

นอกจากนี้การจัดเก็บสารเคมีชนิดอื่นสำหรับการผลิตโฟมยางก็พบปัญหาเช่นเดียวกันดังแสดงในภาพที่ 4.4 ระบบการจัดเก็บสารเคมีที่ไม่เหมาะสมนอกจากจะส่งผลให้การชั่งตวงปริมาณสารคลาดเคลื่อนและทำให้สารเคมีจับตัวเป็นก้อนแล้ว ยังทำให้การกระจายตัวของสารเคมีเกิดได้ไม่ดีอีกด้วย โดยผู้วิจัยได้ทำการจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบการเติมสารเคมีก่อนเปิดฝาภาชนะทิ้งไว้ซึ่งมีค่าความหนืดที่วัดได้จากเครื่องบรุคฟิลด์ที่

ความเร็วรอบ 20 rpm เท่ากับ 162.5 centipoise เทียบการเติมสารเคมีที่เปิดฝาทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ซึ่งมีค่าความหนืดเพิ่มเป็น 375.0 centipoise พบว่าการเติมสารเคมีก่อนเปิดฝาภาชนะทิ้งไว้เมื่อทำการเทโฟมยางลงในแม่พิมพ์แล้วพบว่าในภาชนะที่ใช้ในการปั่นโฟมไม่พบสารเคมีตกค้างที่ด้านล่างภาชนะแต่อย่างไร ซึ่งหมายความว่าสารเคมีกระจายในเนื้อโฟมได้ดี แต่เมื่อทำการปั่นโฟมยางโดยใช้สารเคมียางที่มีความหนืดมากซึ่งเกิดจากการระเหยของน้ำถึงแม้จะใช้สภาวะในการตีโฟมยางเหมือนกันก็ตาม สารเคมีที่มีความหนืดสูงจะตกตะกอนนอนก้นได้ดังแสดงในภาพที่ 4.5 ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารเคมีซึ่งเป็นตัวกำหนดความหนืดของสารนั้น ๆ มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการตีโฟม ดังนั้นควรควบคุมระบบการจัดเก็บสารเคมีให้ดี เพื่อลดปัญหาในส่วนนี้

ภาพที่ 4.4 ภาชนะบรรจุสารแขวนสารเคมียาง

ภาพที่ 4.5 ลักษณะการตกตะกอนที่ก้นภาชนะปั่นกวนโฟมยางของสารเคมียางที่มีความหนืดสูง

ดังนั้นในเบื้องต้นคณะผู้วิจัยได้ให้คำแนะนำกับตัวแทนกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปโฟมยางเกี่ยวกับเรื่องการจัดเก็บสารเคมียาง ตัวแทนกลุ่มได้เปลี่ยนระบบการจัดเก็บสารเคมีใหม่ โดยการแบ่งสารเคมียางลงในภาชนะขนาดเล็กพร้อมกับปิดฝาหลังจากเปิดใช้งานดังแสดงในภาพที่ 4.6

ภาพที่ 4.6 การจัดเก็บภาชนะบรรจุสารเคมียางหลังการเยี่ยมชม

โดยทางตัวแทนกลุ่มได้ทำการจดบันทึกคุณภาพโฟมยางหลังจากปรับปรุงเรื่องการจัดเก็บสารเคมียางโดยผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2 ช่วงเวลาในการจดบันทึกข้อมูลคือ ช่วงวันที่ 25 กันยายน – 15 ตุลาคม 2560 รวมทั้งสิ้น 17 วัน โดยมีจำนวนโฟมยางที่ผลิตในช่วงเวลานี้ทั้งหมด 1140 ใบ

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลการบันทึกคุณภาพของโฟมยางหลังจากปรับปรุงเรื่องการจัดเก็บสารเคมียาง

วัน-เดือน-ปี	จำนวนรอบที่นึ่งโฟม (เตา)	จำนวนรอบการตีโฟม (ถัง)	จำนวนโฟมยางที่ได้ (ใบ)	จำนวนโฟมที่ไม่มีปัญหา (ใบ)	จำนวนโฟมที่มีปัญหา (ใบ)	หมายเหตุ
25-09-60	6	18	72	65	7	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 5 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 2
26-09-60	8	24	96	89	7	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 4 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 3
27-09-60	7	21	84	78	6	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 4 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 1 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 1
28-09-60	9	27	108	108	0	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 0 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 0

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลการบันทึกคุณภาพของโฟมยางหลังจากปรับปรุงเรื่องการจัดเก็บสารเคมียาง (ต่อ)

วัน-เดือน-ปี	จำนวนรอบที่นึ่งโฟม (เตา)	จำนวนรอบการตีโฟม (ถัง)	จำนวนโฟมยางที่ได้ (ใบ)	จำนวนโฟมที่ไม่มีปัญหา (ใบ)	จำนวนโฟมที่ไมีปัญหา (ใบ)	หมายเหตุ
1-10-60	6	18	72	63	9	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 8 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 1
2-10-60	5	15	60	57	3	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 3 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 0
3-10-60	5	15	60	54	6	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 6 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 0
4-10-60	5	15	60	58	2	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 2 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 0
6-10-60	5	15	60	53	7	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 6 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 1
8-10-60	5	15	60	57	3	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 3 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 0
9-10-60	5	15	60	60	0	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 0 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 0
10-10-60	5	15	60	48	12	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 12 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 0
11-10-60	5	15	60	55	5	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 4 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 1
12-10-60	5	15	60	52	2	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 0 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 2
13-10-60	5	15	60	59	1	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 0 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 1

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลการบันทึกคุณภาพของโฟมยางหลังจากปรับปรุงเรื่องการจัดเก็บสารเคมียาง (ต่อ)

วัน-เดือน-ปี	จำนวนรอบที่นึ่งโฟม (เตา)	จำนวนรอบการตีโฟม (ถัง)	จำนวนโฟมยางที่ได้ (ใบ)	จำนวนโฟมที่ไม่มีปัญหา (ใบ)	จำนวนโฟมที่มีปัญหา (ใบ)	หมายเหตุ
14-10-60	4	12	48	43	5	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 4 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 1
15-10-60	5	15	60	59	1	โฟมไม่เต็มด้านหน้า = 1 โฟมไม่เต็มด้านข้าง = 0 โฟมที่เกิดโพรงอากาศ = 0

หมายเหตุ: วันที่ 10-10-60 มีจำนวนโฟมยางที่มีปัญหามากที่สุด คิดเป็น 20% ของที่ผลิตทั้งหมดใน 1 วัน

วันที่ 1-10-60 มีจำนวนโฟมยางที่มีปัญหารองลงมา คิดเป็น 12.5% ของที่ผลิตทั้งหมดใน 1 วัน

ซึ่งจากตารางข้างต้นเมื่อพิจารณาร้อยละของโฟมยางที่ไม่มีและที่มีปัญหาพบว่ามีค่าเท่ากับ 92.8 และ 6.7 ตามลำดับ โดยโฟมยางที่มีปัญหาแบ่งเป็น โฟมไม่เต็มด้านหน้าร้อยละ 81.6 โฟมไม่เต็มด้านข้างร้อยละ 1.3 และโฟมที่เกิดโพรงอากาศร้อยละ 17.1 เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของโฟมยางที่มีปัญหาก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการจัดเก็บสารเคมียาง จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ร้อยละของโฟมที่มีปัญหาลดลงอย่างชัดเจนจาก 16.4 เป็น 6.7

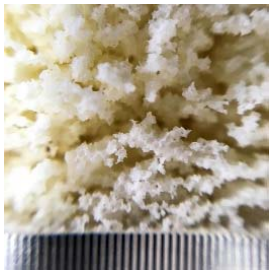
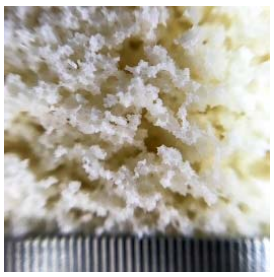
ถึงแม้ว่าการปรับปรุงระบบการจัดเก็บสารจะช่วยลดจำนวนผลิตภัณฑ์โฟมยางที่มีข้อบกพร่องลงได้ แต่ยังคงมีปัญหาเหลืออยู่ เพื่อให้ทราบถึงแนวทางในการแก้ปัญหาเพิ่มเติม งานวิจัยในส่วนการทดลองจะเป็นการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อลักษณะของโฟมยาง

4.3 ปัจจัยทางกระบวนผลิตที่ส่งผลต่อลักษณะของโฟมยาง

4.3.1 ผลของเวลาพักโฟมยางก่อนนำเข้าเตานึ่ง

จากการเข้าเยี่ยมชมการผลิตโฟมยาง พบว่าในการผลิตโฟมยางนั้น ในหนึ่งรอบการผลิตหรือการนึ่งยางจะทำการตีโฟมยางทั้งหมด 3 ถัง โดยเมื่อตีโฟมยางเสร็จสิ้น จึงนำแม่พิมพ์ที่เติมโฟมยางเรียบร้อยแล้วเข้านึ่งพร้อมกัน ซึ่งจะเห็นว่าโฟมยางถังที่ 3 เมื่อเทลงในแม่พิมพ์จะถูกนำเข้าตู้นึ่งในทันที ดังนั้นในการทดลองส่วนนี้ผู้วิจัยจะทำการศึกษาผลของเวลาพักยางก่อนนำเข้าตู้นึ่งต่อลักษณะของโฟมยางที่ได้ โดยผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3

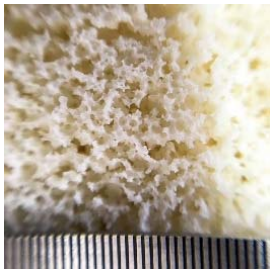
ตารางที่ 4.3 ผลของเวลาพักยางก่อนเข้าเตานึ่งต่อลักษณะของโฟมยาง

<table>
<tr><th>ระยะเวลาที่พักยาง</th><th>ความหนาแน่น (g/cm^3)</th><th colspan="2">ลักษณะของโฟมยาง</th></tr>
<tr><td rowspan="4">30 นาที</td><td rowspan="4">0.1255±0.0001</td><td>รูปชิ้นงานด้านบน</td><td>รูปชิ้นงานด้านข้าง</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>รูปชิ้นงานด้านใน</td><td>ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="4">หมายเหตุ: ชิ้นงานกลวง มีโพรงอากาศขนาดใหญ่ภายใต้ผิวชิ้นงาน โฟมขยายตัวมากจนดันฝาแม่พิมพ์ออก (แม่พิมพ์สูงประมาณ 2.7 ซ.ม. แต่ชิ้นงานที่ได้สูง 3.3 ซ.ม.)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">1 ชั่วโมง</td><td rowspan="4">0.1667±0.0001</td><td>รูปชิ้นงานด้านบน</td><td>รูปชิ้นงานด้านข้าง</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>รูปชิ้นงานด้านใน</td><td>ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="4">หมายเหตุ: ชิ้นงานมีโพรงอากาศขนาดเล็กประปรายภายในผิวชิ้นงาน สังเกตผิวชิ้นงานด้านข้างพบว่ายังมีการขยายตัวและดันฝาแม่พิมพ์ออกอยู่</td></tr>
</table>

ตารางที่ 4.3 ผลของเวลาพักยางก่อนเข้าเตานึ่งต่อลักษณะของโฟมยาง (ต่อ)

<table>
<tr><th>ระยะเวลาที่พักยาง</th><th>ความหนาแน่น (g/cm^3)</th><th colspan="2">ลักษณะของโฟมยาง</th></tr>
<tr><td rowspan="5">2 ชั่วโมง</td><td rowspan="5">0.1670±0.0005</td><td>รูปชิ้นงานด้านบน</td><td>รูปชิ้นงานด้านข้าง</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>รูปชิ้นงานด้านใน</td><td>ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="4">หมายเหตุ: ชิ้นงานมีโพรงอากาศขนาดเล็กประปรายภายในผิวชิ้นงาน แต่น้อยกว่าชิ้นงานที่พักไว้ 1 ชั่วโมง สังเกตผิวชิ้นงานด้านข้างยังเห็นว่ามีการขยายตัวและดันฝาแม่พิมพ์ออกอยู่เล็กน้อย</td></tr>
<tr><td rowspan="5">3 ชั่วโมง</td><td rowspan="5">0.1727±0.0033</td><td>รูปชิ้นงานด้านบน</td><td>รูปชิ้นงานด้านข้าง</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>รูปชิ้นงานด้านใน</td><td>ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="4">หมายเหตุ: จากการสังเกตผิวชิ้นงานด้านข้างและด้านในไม่พบโพรงอากาศ แต่ยังคงเห็นว่ามีการขยายตัวและดันฝาแม่พิมพ์ออกอยู่แต่น้อยมากจนแทบสังเกตไม่เห็น</td></tr>
</table>

ตารางที่ 4.3 ผลของเวลาพักยางก่อนเข้าเตานึ่งต่อลักษณะของโฟมยาง (ต่อ)

<table>
<tr><th>ระยะเวลาที่พักยาง</th><th>ความหนาแน่น (g/cm^3)</th><th colspan="2">ลักษณะของโฟมยาง</th></tr>
<tr><td rowspan="5">4 ชั่วโมง</td><td rowspan="5">0.1758±0.0014</td><td>รูปชิ้นงานด้านบน</td><td>รูปชิ้นงานด้านข้าง</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>รูปชิ้นงานด้านใน</td><td>ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="4">หมายเหตุ: จากการสังเกตผิวชิ้นงานด้านข้างและด้านใน ไม่พบโพรงอากาศ และไม่พบว่ามีการขยายตัวและดันฝาแม่พิมพ์ออก</td></tr>
<tr><td rowspan="5">24 ชั่วโมง</td><td rowspan="5">0.1835±0.0039</td><td>รูปชิ้นงานด้านบน</td><td>รูปชิ้นงานด้านข้าง</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>รูปชิ้นงานด้านใน</td><td>ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="4">หมายเหตุ: จากการสังเกตผิวชิ้นงานด้านข้างและด้านใน ไม่พบโพรงอากาศ และไม่พบว่ามีการขยายตัวและดันฝาแม่พิมพ์ออก</td></tr>
</table>

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่าการเกิดโพรงอากาศด้านในเนื้อโฟมยาง จะเกิดขึ้นกับชิ้นงานที่พักทิ้งไว้ข้างนอกเป็นเวลาสั้นๆ เนื่องมาจากการก่อเจลยังไม่สมบูรณ์เมื่อนำเอาเข้าเตานึ่ง เนื้อโฟมยังไม่คงรูป เมื่อได้รับความร้อน อากาศในโพรงเกิดการขยายได้มาก ซึ่งหากเกิดการขยายตัวในปริมาณมากอาจทำให้เกิดการเชื่อมกันของฟองอากาศเกิดเป็นโพรงขนาดใหญ่ขึ้นในเนื้อโฟม เมื่อออกแรงกดจะยวบลงไป การเกิดโพรงอากาศจะลดน้อยลงเมื่อมีการพักโฟมยางนานขึ้น โดยจากผลการทดลองให้ส่วนนี้ จะเห็นว่าเวลาในการพักทิ้งไว้ที่เหมาะสมจะเป็นเวลาตั้งแต่ 2 ชั่วโมง เป็นต้นไป อย่างไรก็ตามการพักโฟมยางเป็นเวลานาน ชิ้นงานจะมีการหดตัวค่อนข้างมาก ซึ่งจะส่งผลทำให้ความหนาแน่นของโฟมสูงมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้โฟมยางมีลักษณะแน่นเกินไป และมีขนาดเล็กกว่าแม่พิมพ์มาก ในทางปฏิบัติเนื่องจากฝาแม่พิมพ์ที่ผลิตผลิตภัณฑ์โฟมยางมีน้ำหนักค่อนข้างสูงซึ่งสามารถช่วยป้องกันการขยายตัวได้ในระดับหนึ่งแต่การพักยางทิ้งไว้ยังคงเป็นสิ่งจำเป็น ผู้วิจัยจึงได้แนะนำให้ผู้ผลิตทำการพักโฟมยางหม้อสุดท้ายก่อนเข้านึ่งอย่างน้อย 30 นาที

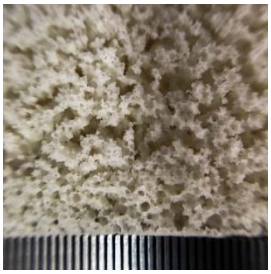
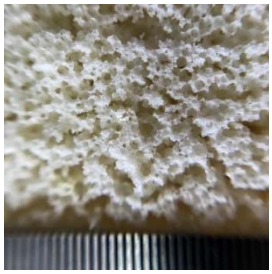
4.3.2 ผลของเวลาปั่นกวนน้ำยางกับน้ำสบู่

จากการเข้าเยี่ยมชมการผลิตโฟมยาง พบว่าในการผลิตโฟมยางนั้น ในช่วงการปั่นโฟมยางพบว่า ไม่ได้มีการกำหนดเวลาในการปั่นที่แน่นอน จะใช้การคาดคะเนจากระดับความสูงของโฟมยาง เพื่อให้เข้าใจถึงผลของเวลาในการปั่นต่อลักษณะของโฟมยาง การทดลองในส่วนนี้จะศึกษาผลของเวลาในการปั่นกวนน้ำยางกับน้ำสบู่ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดฟองต่อลักษณะของโฟมยาง ซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของเวลาในการปั่นกวนน้ำยางกับน้ำสบู่ต่อลักษณะของโฟมยาง

<table>
<tr><th>เวลาในปั่นกวน</th><th>ความหนาแน่น (g/cm^3)</th><th colspan="2">ลักษณะของโฟมยาง</th></tr>
<tr><td rowspan="5">4 นาที</td><td rowspan="5">0.1757 ±0.0029</td><td>รูปชิ้นงานด้านบน</td><td>รูปชิ้นงานด้านข้าง</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>รูปชิ้นงานด้านใน</td><td>ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
</table>

ตารางที่ 4.4 ผลของเวลาพักยางก่อนเข้าเตานึ่งต่อลักษณะของโฟมยาง (ต่อ)

เวลาในปั่นกวน	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ลักษณะของโฟมยาง	
5 นาที	**0.1750±0.0006**	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
			
6 นาที	**0.1735±0.0033**	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
			
หมายเหตุ: สังเกตเห็นฟองอากาศตามผิวชิ้นงานและด้านในมีขนาดใหญ่กว่าชิ้นงานที่ใช้เวลาปั่น 4 และ 5 นาที ตามลำดับ			

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่ายิ่งใช้เวลาในการปั่นกวนน้ำยางกับน้ำสบู่นาน โฟมยางที่ได้จะมีความหนาแน่นจะลดลง และเมื่อออกแรงบีบชิ้นงานที่ปั่นเป็นเวลา 6 นาที จะนิ่มที่สุด ดังนั้นเพื่อให้ได้โฟมยางที่มีความหนาแน่นคงที่ เวลาในการปั่นน้ำยางกับสบู่ควรกำหนดให้คงที่ อย่างไรก็ตาม หากต้องการโฟมยางที่มีความหนาแน่นลดลงก็ปั่นน้ำยางกับสบู่ให้นานขึ้น

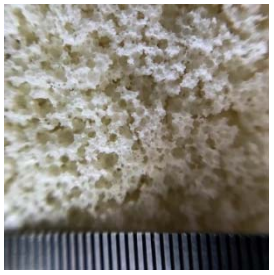
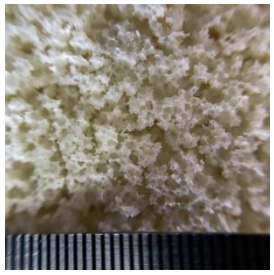
4.3.3 ผลของเวลาปั่นกวนโฟมยางกับสารเคมีชุดที่ 2 และ 3

เพื่อให้เข้าใจถึงผลของเวลาในการปั่นกวนโฟมยางกับสารเคมีชุดที่ 2 และ 3 ต่อลักษณะของโฟมยาง การทดลองในส่วนนี้จะกำหนดเวลาปั่นกวนโฟมยางกับสารเคมีชุดที่ 2 และ 3 รวมเป็นเวลาเท่ากับ 4, 6 และ 8 นาที ตามลำดับ โดยถ้าเวลารวมเท่ากับ 4 นาที หมายความว่าใช้เวลาในการปั่นกวนโฟมยางกับสารเคมีชุดที่ 2 เท่ากับ 2 นาที และใช้เวลาในการปั่นกวนโฟมยางกับสารเคมีชุดที่ 3 เท่ากับ 2 นาที เช่นกัน โดยผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลของเวลาในปั่นกวนโฟมยางกับสารเคมีชุดที่ 2 และ 3 ต่อลักษณะของโฟมยาง

<table>
<tr><th>เวลาในปั่นกวน</th><th>ความหนาแน่น (g/cm^3)</th><th colspan="2">ลักษณะของโฟมยาง</th></tr>
<tr><td rowspan="4">4 นาที</td><td rowspan="4">0.1758±0.0000</td><td>รูปชิ้นงานด้านบน</td><td>รูปชิ้นงานด้านข้าง</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>รูปชิ้นงานด้านใน</td><td>ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
</table>

ตารางที่ 4.5 ผลของเวลาในปั่นกวนโฟมยางกับสารเคมีชุดที่ 2 และ 3 ต่อลักษณะของโฟมยาง (ต่อ)

เวลาในปั่นกวน	**ความหนาแน่น (g/cm^3)**	**ลักษณะของโฟมยาง**	
6 นาที	**0.1717±0.0002**	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
			
8 นาที	**0.1642±0.0005**	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
			

ผลการทดลองข้างต้นพบว่า ยิ่งใช้เวลาในการปั่นกวนโฟมยางกับสารเคมีชุดที่ 2 และ 3 นานขึ้น ชิ้นงานโฟมยางที่ได้จะมีความหนาแน่นจะลดลง แต่ขนาดของรูพรุนจะมีความสม่ำเสมอและความละเอียดมากยิ่งขึ้น

จากการทดลองในส่วนนี้จะเห็นได้ลักษณะของโฟมยางขึ้นกับกระบวนการตีโฟมและเวลาในการพักโฟมยางก่อนเข้าเตานึ่ง ซึ่งหากผู้ผลิตมีความเข้าใจในส่วนนี้ก็จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อให้ได้โฟมยางที่มีความหนาแน่นตามที่ต้องการ และเพื่อไม่ให้เกิดโพรงในเนื้อด้านในควรพักโฟมยางอย่างน้อย 30 นาที ก่อนนำเข้าเตานึ่ง ทั้งที่เพื่อให้โฟมยางมีความแข็งแรงระดับหนึ่งเมื่อไอน้ำด้านในได้ความร้อนและเกิดการขยายตัวจะได้ไม่ทำให้เนื้อโฟมด้านในเกิดการฉีกขาดได้

4.4 การปรับปรุงลักษณะของโฟมยางและลดปัญหาระหว่างกระบวนการผลิต

จังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นอีกจังหวัดที่มีการรวมตัวกันจัดตั้งเป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพื่อผลิตโฟมยางพาราในรูปผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น หมอนยาง เบาะรองนั่ง เป็นต้น ซึ่งหมอนยางที่วิสาหกิจชุมชนผลิตได้ส่วนหนึ่งจัดจำหน่ายเอง โดยผลิตภัณฑ์โฟมยางประเภทหมอนเกรด A จะต้องมีลักษณะตามนี้

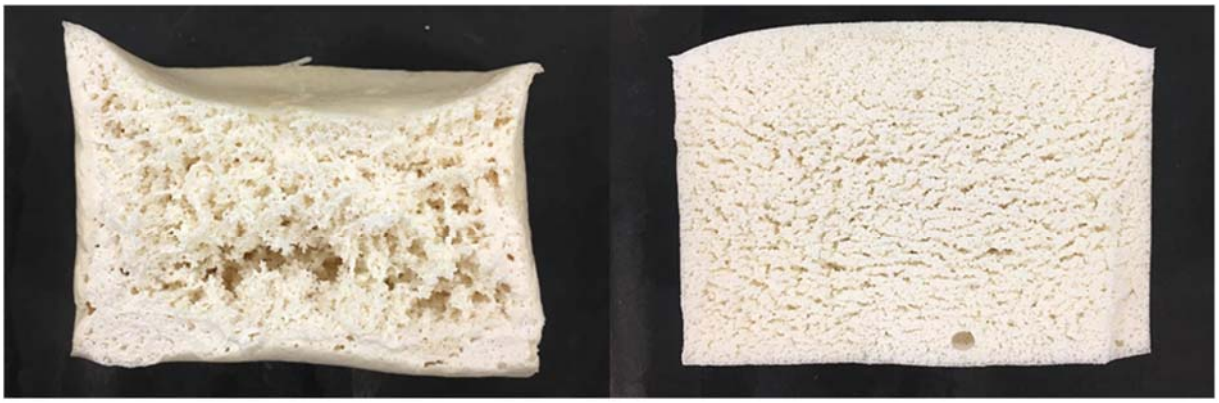
1) เนื้อฟองน้ำยางมีความเหนียว ไม่ฉีกขาดง่าย ไม่เปื่อยยุ่ย
2) ฟองน้ำยาง ไม่มีโพรงอากาศภายใน หรือหากมี ต้องมีขนาดไม่ใหญ่กว่า 1x1 ซม. มีจำนวนไม่เกิน 3 โพรง
3) ฟองน้ำยาง มีผิวหน้าเต็ม มีฟองอากาศขนาดไม่ใหญ่กว่า 1x1 ซม. ลึกไม่เกินกว่า 0.5 ซม.
4) ฟองน้ำยางมีสีขาว-ครีม เท่ากันทั้งใบ ไม่มีสีเหลือง ไม่มีรอยไหม้แดด ไม่มีคราบสกปรก
5) ฟองน้ำยางมีกลิ่นยางพาราโดยธรรมชาติ ไม่มีกลิ่นยางเหม็นฉุน ไม่มีกลิ่นน้ำหอม หรือตกแต่งกลิ่นใดๆ
6) ฟองน้ำยาง แห้งสนิท ไม่มีความชื้น

เพื่อให้โฟมยางที่ได้มีรูปลักษณะที่สวยงามซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดเกรดและลดปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น คณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2561 เพื่อถ่ายทอดความรู้เชิงปฏิบัติการซึ่งประเด็นหลักๆ ที่จะปรับปรุงแก้ไขมีดังนี้

- ปัญหาเนื่องจากเวลาในการก่อเจลไม่เหมาะสม

เวลาในการก่อเจลขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณสารก่อเจล SSF ที่เติมความสามารถในการกระจายตัว ซึ่งปัญหาที่พบคือ เมื่อสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงผู้ผลิตต้องปรับเปลี่ยนปริมาณสารก่อเจล SSF ตลอด เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณสารก่อเจลเวลาในการก่อเจลก็จะไม่เท่ากัน บางครั้งระยะเวลาในการก่อเจลน้อยเกินทำให้เทไม่ทัน โฟมยางจึงเซตตัวในอุปกรณ์ปั่นโฟมเลย หรือถ้าเทได้แต่ปิดฝาไม่ทันก็จะทำให้โฟมยางไหลตัวไม่ดี การไล่อากาศจึงเกิดได้ไม่ดี ทำให้เกิดการอั้นอากาศไว้ใต้ฝา เมื่อนำไปนึ่งอากาศที่ถูกขังอยู่ก็จะขยายตัวทำให้โฟมยุบตัวได้ดังตัวอย่างในภาพที่ 4.7 ในขณะที่บางครั้งเทเร็วเกินโฟมยางยังไม่เซตตัว ฟองอากาศจึงแตกตัวส่งผลให้มีฟองอากาศขนาดใหญ่ และอาจทำให้เกิดโพรงใต้ชั้นผิวหรือผิวมีลักษณะเป็นย่น ไม่สวย ภาพที่ 4.8 แสดงลักษณะของโฟมยางที่เทก่อนเวลาเจลเทียบกับที่เทตอนใกล้เกิดเจล จะเห็นได้ว่าโฟมที่เทตอนใกล้เกิดเจลจะมีลักษณะฟองที่เล็กและละเอียดกว่า ดังนั้นการเข้าใจถึงลักษณะโฟมยางก่อนเริ่มก่อเจลจึงเป็นสิ่งสำคัญ

ภาพที่ 4.7 ลักษณะการยุบตัวของโฟมยางเนื่องจากโฟมยางเซตตัวก่อนปิดฝา



ภาพที่ 4.8 ลักษณะของโฟมยางที่ปั่นกวนกับสารก่อเจล SSF ที่เวลาต่างกันก่อนเทลงแม่พิมพ์

ในการลงพื้นที่ได้ให้ผู้เข้าอบรมได้ลองพิจารณาเวลาในการเกิดเจล ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ

1. การบีบโฟมยางด้วยปลายนิ้ว

   ในการวิเคราะห์เวลาในการเกิดเจลโดยการบีบโฟมยางสามารถทำได้โดยใช้ปลายนิ้วแตะโฟมยางจากนั้นบีบโฟมยางด้วยปลายนิ้ว หากตอนบีบโฟมยางมีลักษณะเป็นน้ำ หมายความว่ายังไม่เริ่มเกิดเจล หากบีบแล้วเกิดเป็นฟิล์มบางขึ้นดังแสดงภาพที่ 4.9 หมายความว่าใกล้เกิดเจลแล้วสามารถเทโฟมยางลงแม่พิมพ์ได้

ภาพที่ 4.9 การเกิดฟิล์มยางจากการบีบด้วยปลายนิ้ว

2. การสังเกตการแตกตัวของฟองในโฟมยาง
   วิธีนี้สามารถทำได้โดยระหว่างปั่นโฟมให้ใช้ไม้พายตักโฟมยางขึ้นมาดู หากฟองในโฟมยางบนไม้พายแตกตัวอย่างรวดเร็ว แสดงว่ายังไม่ถึงเวลาเกิดเจลที่เหมาะสม แต่ถ้าฟองในโฟมยางที่ตักขึ้นมาดูเริ่มแตกตัวช้าลง แสดงว่าโฟมยางเริ่มจะเกิดเจลแล้ว สามารถเทโฟมยางลงในแม่พิมพ์ได้

ซึ่งระหว่างการลงพื้นได้ให้ผู้ผลิตจากวิสาหกิจชุมชนทดลองพิจารณาเวลาในการเกิดเจล ซึ่งในการปั่นโฟมยางสองรอบ รอบแรกให้ใช้เวลาเดิมที่วิสาหกิจชุมชนใช้อยู่ อีกรอบให้ลองพิจารณาตามที่ได้กล่าวไปข้างต้น ผลแสดงในภาพที่ 4.10

(ก) (ข)

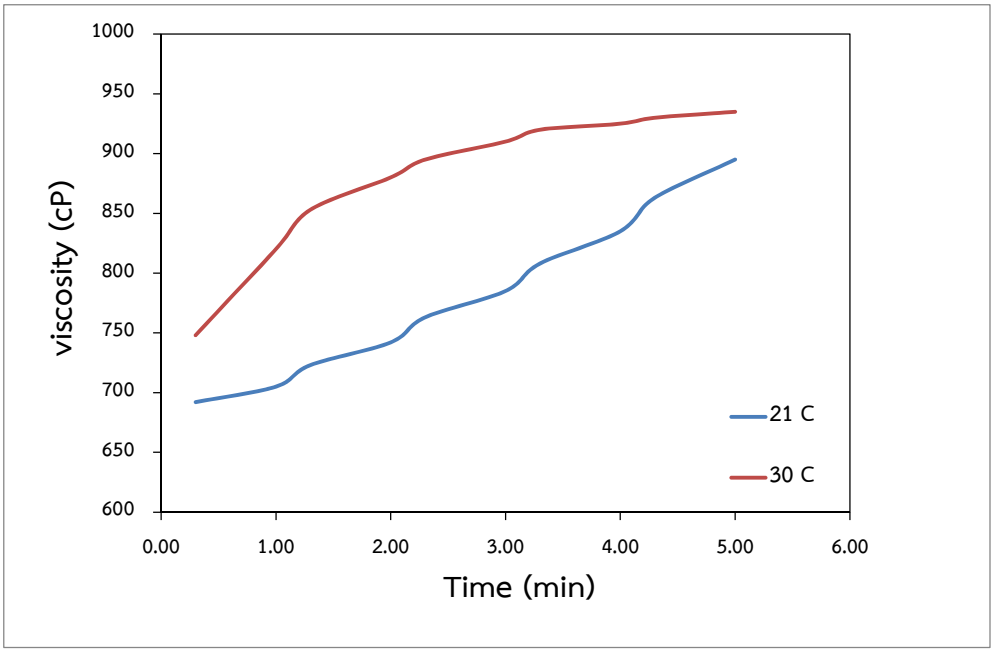
ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบลักษณะโฟมยางที่เทลงแม่พิมพ์ที่เวลาต่างกัน

(ก) เวลาเดิมที่วิสาหกิจชุมชนใช้ (ข) เวลาจากการพิจารณาฟองของโฟมยางระหว่างการปั่นโฟม

จากรูปจะเห็นได้ว่าการเทโฟมยางลงในแม่พิมพ์ก่อนเวลาเกิดเจลนั้น (ภาพที่ 4.10 (ก)) โฟมยางที่รอดออกมาจากแม่พิมพ์มีผิวหน้าแตก ย่นและไม่เรียบ ในขณะที่โฟมยางที่เทใกล้เวลาเกิดเจลซึ่งให้พิจารณาจากวิธี

ข้างต้น จะมีผิวเรียบสวยและไม่แตก ซึ่งหากสามารถพิจารณาเวลาที่เหมาะสมสำหรับเทโฟมยางได้ ก็จะได้ผลิตภัณฑ์โฟมยางที่มีลักษณะสวยงามยิ่งขึ้น

นอกจากการนี้เพื่อลดความแปรปรวนของเวลาก่อเจลเนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบที่เปลี่ยนไป สามารถทำได้โดยแช่น้ำยางในตู้เย็นก่อน โดยภาพที่ 4.11 แสดงถึงอัตราเร็วในการเกิดเจล ซึ่งพิจารณาจากค่าความหนืดที่เปลี่ยนไปของโฟมยางเทียบกับเวลา ที่อุณหภูมิ 30 °C จะเห็นได้อัตราการเกิดเจลสูงกว่าที่อุณหภูมิ 21 °C ค่อนข้างชัดเจน ดังนั้นการแช่น้ำยางให้เย็นจะช่วยชะลอการเกิดเจลได้ทำให้มีเวลาปั่นโฟมยางได้นานขึ้นและเมื่อเทลงแม่พิมพ์แล้วยังมีเวลาที่จะปิดฝาแม่พิมพ์ได้ทัน อย่างไรก็ตามควรระวังอย่าให้น้ำยางเย็นจัดเนื่องจากสารก่อเจลจะไม่สามารถทำงานได้หรืออัตราการก่อเจลต่ำเกิน



ภาพที่ 4.11 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดเจล

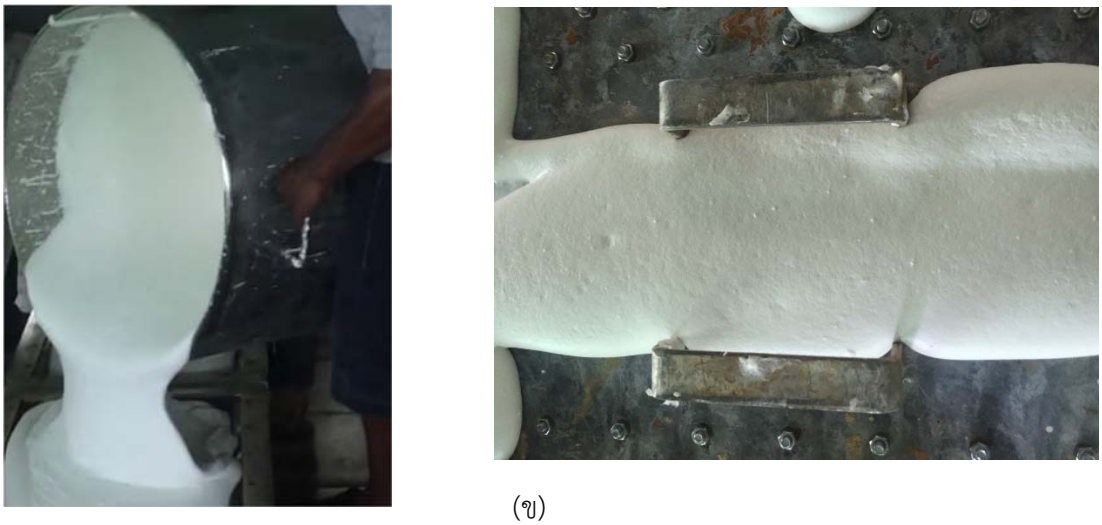
- การวิเคราะห์ถึงผลของความเร็วรอบของแกนปั่นต่อลักษณะของฟองอากาศที่ผิวของโฟมยาง

เมื่อพิจารณาที่ผิวของโฟมยางของวิสาหกิจชุมชนจะพบว่า มีฟองอากาศปรากฏอยู่ทั้งด้านข้างและด้านหน้าผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในภาพที่ 4.12 ซึ่งเมื่อพิจารณาขั้นตอนการตีโฟมจะพบว่า ในการตีฟองจะใช้ความเร็วรอบในการตีสูงเพียงอย่างเดียว โดยความเร็วรอบที่วิสาหกิจชุมชนพึ่งพิงอิงยางซึ่งใช้เป็นสถานที่ในการสาธิตอยู่ที่ประมาณ 93 รอบต่อนาที ซึ่งการตีด้วยความเร็วรอบที่สูงทำให้สามารถขึ้นฟองได้เร็วและสารเคมียางกระจายตัวได้ดี อย่างไรก็ตามโฟมยางที่ได้จะมีฟองค่อนข้างใหญ่และเนื้อหยาบ

ภาพที่ 4.12 ลักษณะฟองอากาศตามผิวของโฟมยาง

เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นว่าความเร็วรอบในการปั่นส่งผลอย่างไรต่อลักษณะโฟมยาง ในรอบแรกของการตีโฟมยาง ตัวแทนวิสาหกิจชุมชนจะตีโฟมยางตามวิธีปกติก่อน ซึ่งลักษณะการตีโฟมที่วิสาหกิจชุมชนใช้อยู่ก็คือ จะตีโฟมยางด้วยความเร็วของแกนปั่นที่อัตราเร็วเดียวกันตลอดทั้งกระบวนการ หลังจากนั้นให้ตีโฟมยางใหม่ โดยในขั้นต้นยังคงตีน้ำยางกับสบู่ด้วยความเร็วรอบที่สูงตามเดิม แต่เมื่อครบเวลาให้ปรับความเร็วรอบลงจากนั้นเติมสารเคมียางต่างๆ ตามลำดับ โดยความเร็วรอบที่ปรับลงจะอยู่ที่ประมาณ 60 รอบต่อนาที ซึ่งลักษณะของโฟมยางที่ได้จาก 2 วิธี แสดงในภาพที่ 4.13

(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.13 ลักษณะของโฟมยางที่ตีด้วยความเร็วรอบต่างกัน
(ก) ใช้ความเร็วรอบสูงตลอดเพียงยางเดียว (ข) ใช้ความเร็วรอบสูงเมื่อตีน้ำยางกับน้ำสบู่จากนั้นปรับความเร็วลง

จากภาพด้านบนจะเห็นว่าการปั่นโฟมยางด้วยความเร็วรอบสูงเพียงอย่างเดียวส่งผลเนื้อโฟมยางมีฟองอากาศขนาดใหญ่และฟองมีลักษณะหยาบ แต่เมื่อตีน้ำยางกับน้ำสบู่จนได้โฟมยางในปริมาณที่ต้องการแล้วหากปรับความเร็วรอบลง จะสังเกตเห็นว่าฟองอากาศมีขนาดเล็กลง

ถึงแม้ว่าการปรับลดความเร็วรอบจะทำให้ได้โฟมยางที่มีลักษณะที่ดีขึ้น แต่ปัญหาที่ตามมาก็คือ การลดความเร็วรอบส่งผลให้การกระจายตัวของสารเคมียางเกิดได้ไม่ค่อยดี ซึ่งสังเกตเห็นได้จากมีสารเคมียางตกค้างอยู่ที่ก้นภาชนะดังแสดงในภาพที่ 4.14 แสดงว่าเมื่อลดความเร็วของแกนปั่นส่งผลทำให้การกระจายตัวของสารเคมีเกิดได้ไม่ดี ซึ่งเมื่อนำไปนึ่งผลิตภัณฑ์โฟมยางที่ได้ตกเป็นเกรด C

ภาพที่ 4.14 ผลของการลดความเร็วรอบในการปั่นโฟมยางต่อการกระจายตัวของสารเคมียาง

ในการวิเคราะห์ถึงแนวทางในการพัฒนา จะเห็นว่ากระบวนการตีโฟมด้วยวิธีดันลอปได้พัฒนามาจากเครื่องผสมอาหาร ซึ่งประกอบไปด้วยหม้อ แกนปั่น และมอเตอร์ เมื่อพิจารณาส่วนของแกนปั่นจะเห็นว่าลักษณะแกนปั่นจะเป็นแบบซีกตามแนวยาวดังแสดงในรูปที่ 4.15 (ก) อย่างไรก็ตามแกนปั่นที่วิสาหกิจชุมชนส่วนใหญ่ใช้จะเป็นแกนแนวขวางตามรูปที่ 4.15 (ข) เมื่อพิจารณาลักษณะการหมุนของแกนแนวขวาง การแตกตัวและกระจายตัวของสารเคมียางนั้นจะเกิดได้ค่อนข้างยากเนื่องจากสารเคมีจะเคลื่อนที่จากด้านบนลงสู่ด้านล่าง ซีกแกนตามแนวขวางจะมีโอกาสกระทบกับสารเคมีได้น้อย ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ความเร็วรอบที่สูง แต่ถ้าเป็นแกนตามยาวสารเคมีมีโอกาสจะกระทบซีกแกนปั่นได้มากกว่า ดังนั้นการแตกตัวและการกระจายก็จะเกิดได้ดีกว่า

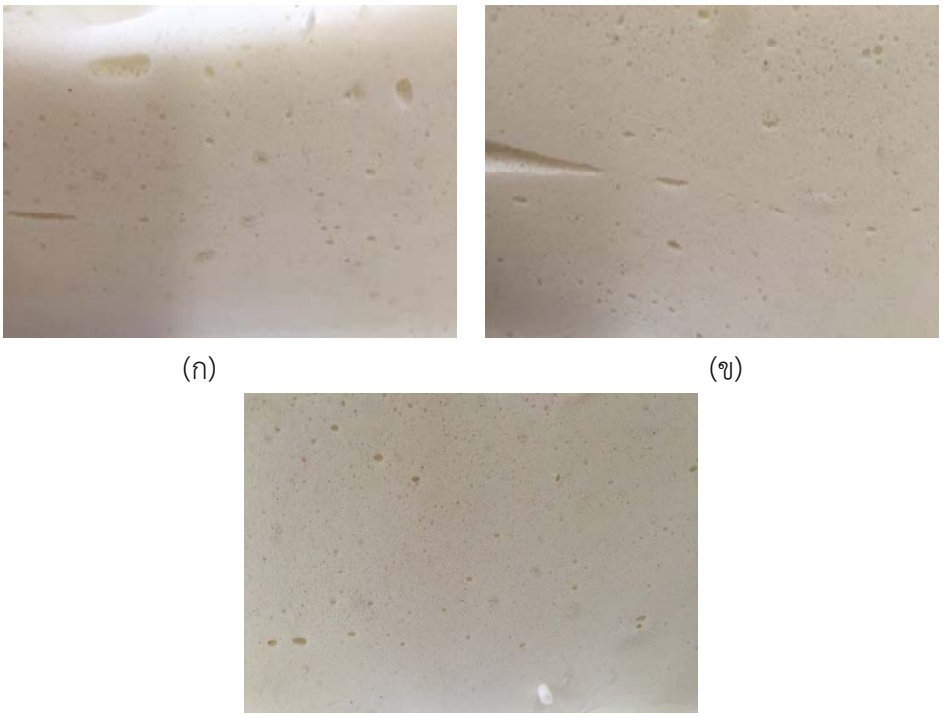
(ก) (ข)

ภาพที่ 4.15 ลักษณะแกนปั่น (ก) แนวยาวของเครื่องผสมอาหารที่ใช้ในการทดลอง (ข) แนวขวางของเครื่องตีโฟมที่วิสาหกิจชุมชนใช้

- ผลของแกนปั่นต่อลักษณะของโฟมยาง

จากการลงพื้นที่ในช่วง 21 เมษายน 2561 ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับแกนปั่น ทำให้วิสาหกิจชุมชนได้ปรับแกนปั่นเป็นแบบแนวยาวแทน ดังแสดงในภาพที่ 4.16 โดยนำแกนปั่นเดิมไปแก้เป็นแนวยาว โดยแกนปั่นแนวยาวจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดต่างกันคือ 0.125 และ 0.1875 นิ้ว โดยในที่นี้จะเรียกว่า เรียกว่าแกนซีกเล็กและแกนซีกใหญ่ ตามลำดับ ในการลงพื้นที่เพื่อติดตามความคืบหน้าในวันที่ 19 พฤษภาคม 2561 ได้ให้วิสาหกิจตีโฟมยางด้วยแกนใหม่ทั้งแกนซีกเล็กและแกนซีกใหญ่ ซึ่งลักษณะของโฟมยางที่ได้แสดงในภาพที่ 4.17

ภาพที่ 4.16 แกนปั่นแบบ (ก) แนวยาวซีกใหญ่ (ข) แนวยาวซีกเล็ก



(ก) (ข)

(ค)

ภาพที่ 4.17 ผลของแกนปั่นต่อลักษณะของโฟมยาง
(ก) แกนแนวขวาง (ข) แกนแนวยาวซีกใหญ่ (ค) แกนแนวยาวซีกเล็ก

ซึ่งจากการทดลองข้างต้นพบว่าการเปลี่ยนแกนปั่นจากแนวขวางเป็นแนวยาวซีกใหญ่ โฟมยางที่ได้ไม่ละเอียดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อเทียบกับโฟมยางที่ได้จากแกนปั่นแนวยาวซีกเล็กแล้ว จะเห็นได้ว่าโฟมยางจากแกนปั่นแนวยาวซีกเล็กมีความละเอียดเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน

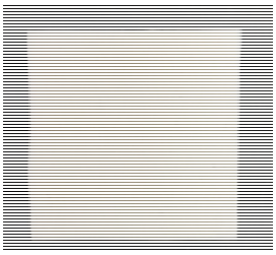
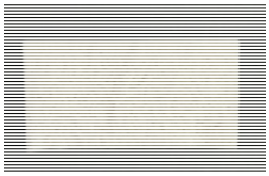
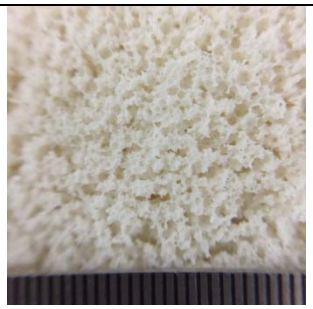
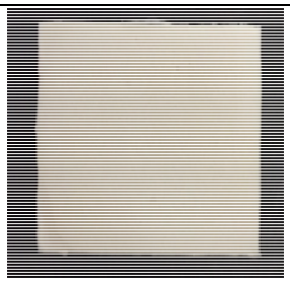
- ความแปรปรวนของน้ำยางเนื่องจากค่าเสถียรเชิงกล

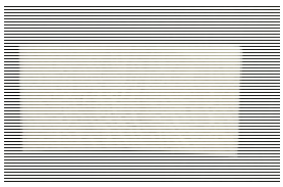
คุณภาพของน้ำยางเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญในการตีโฟมยาง ซึ่งในการให้ความรู้ในส่วนนี้ ผู้วิจัยได้แนะนำให้วิสาหกิจชุมชนทราบว่า น้ำยางที่เหมาะสำหรับการตีโฟมควรมีค่าความเสถียรเชิงกล (Mechanical stability time, MST) อยู่ที่ในช่วงประมาณ 900-1200 วินาที ซึ่งค่าดังกล่าวบ่งบอกถึงความเสถียรของน้ำยางต่ออิทธิพลทางกล เช่น การกวน การปั๊ม การเคลื่อนย้าย หรือการกระทำทางกลโดยวิธีอื่นๆ ซึ่งสามารถทำการวัดได้โดยวัดระยะเวลาที่เริ่มปั่นกวนน้ำยางจนกระทั่งสังเกตเห็นน้ำยางเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆ ในหน่วยของวินาที ถ้าค่า MST สูงจะบ่งชี้ว่า น้ำยางมีความเสถียรต่ออิทธิพลทางกลได้สูง แต่ถ้าน้ำยางมีค่า MST ต่ำ แสดงว่าน้ำยางนั้นจะสูญเสียความเสถียรได้ไว ดังนั้นระหว่างการปั่นกวนโฟมยางถ้าใช้น้ำยางที่มีค่า MST ต่ำเกิน (ไม่ควรต่ำกว่า 900 วินาที) น้ำยางอาจจับตัวเป็นเป็นเม็ดพริกได้ ซึ่งก่อนหน้านี้ทางวิสาหกิจชุมชนไม่ได้คำนึงถึงประเด็นนี้มาก่อน เวลาตีโฟมยางแล้วเสียจึงไม่ทราบถึงสาเหตุที่แท้จริง ปัจจุบันทางวิสาหกิจชุมชนจะเช็คค่าดังกล่าวก่อนซื้อน้ำยาง ซึ่งทางวิสาหกิจชุมชนได้ทำการบันทึกเอาไว้ ค่า MST ของน้ำยางที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 1050-1170 วินาที

- ผลของเวลาในการคงรูปยางด้วยไอน้ำ

เมื่อทำการเทโฟมยางลงในแม่พิมพ์และพักโฟมยางเรียบร้อยแล้ว โฟมยางจะถูกนำไปให้ความร้อนเพื่อทำให้โฟมยางเกิดการคงรูป ซึ่งระบบการให้ความร้อนที่วิสาหกิจชุมชนใช้ในการคงรูปยางจะเป็นระบบไอน้ำ จากการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำสำหรับทำอาหาร ผลของเวลาในการคงรูปต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกดอัดแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลของเวลาในการคงรูปยางด้วยไอน้ำต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด

เวลาในการคงรูป	**ความหนาแน่น (kg/m^3)***	**ร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด***	**ลักษณะของโฟมยาง**	
30 นาที	**191.1**	**5.0**	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
				
			รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
				
45 นาที	**192.9**	**5.0**	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
				
			รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)

ตารางที่ 4.6 ผลของเวลาในการคงรูปยางด้วยไอน้ำต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด (ต่อ)

เวลาในการคงรูป	**ความหนาแน่น (kg/m^3)***	**ร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด***	**ลักษณะของโฟมยาง**	
60 นาที	**188.7**	**5.0**	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
			รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าระยะเวลาในการคงรูปชิ้นงานในช่วง 30, 45 และ 60 นาที ไม่ส่งผลต่อความหนาแน่น ลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกดอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความหนาของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบซึ่งประมาณ 25 มิลลิเมตร มีค่าไม่มากพอ อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์โฟมยาง ผลิตภัณฑ์โฟมยางมีความหนามาก เวลาในการคงรูปอาจส่งผลต่อลักษณะและสมบัติของโฟมยางได้

- การล้างเพื่อกำจัดสารเคมีที่ตกค้าง

เมื่อนึ่งโฟมยางครบตามเวลาแล้ว วิสาหกิจชุมชนจะถอดโฟมยางออกจากแม่พิมพ์และจุ่มแช่น้ำทันที ซึ่งการแช่น้ำทันทีจะทำให้ปฏิกิริยาการคงรูปยางยุติ นอกจากนี้การที่ถอดโฟมยางออกจากแม่พิมพ์แล้วแช่น้ำซ้อนทับ

กันดังแสดงในภาพที่ 4.18 อาจส่งผลทำให้โฟมยางที่ยังคงรูปไม่สมบูรณ์เสียรูปไปได้ง่าย ซึ่งตรงจุดนี้ได้ให้คำแนะนำไปกับวิสาหกิจชุมชนไปว่า เมื่อถอดโฟมยางออกจากแม่พิมพ์แล้วควรวางเรียงทิ้งไว้ในแนวราบข้ามคืนเสียก่อน ความร้อนในเนื้อโฟมจะทำให้การคงรูปดำเนินต่อไปได้อีก ทำให้ช่วยแก้ปัญหาโฟมยางคงรูปไม่สมบูรณ์ได้ จากนั้นค่อยทำการชำระล้างโฟมยางต่อไป ซึ่งในการชำระล้างควรนำโฟมยางไปแช่น้ำอุ่นเพื่อทำให้สารเคมีที่ตกค้างหลุดออกไปได้ง่ายขึ้น ตารางที่ 4.7 แสดงผลของอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่โฟมยางก่อนขย้ำและรีดน้ำออกต่อปริมาณสารตกค้างด้วยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเทอร์มอแกรวิเมตริก (Thermogravimetric analyzer, TGA)

ภาพที่ 4.18 การซ้อนทับกันของผลิตภัณฑ์โฟมยางระหว่างรอชักล้าง

ตารางที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่โฟมยางต่อปริมาณสารตกค้าง

อุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่โฟมยาง (°C)	ปริมาณสารตกค้าง (%)
30	4.35
50	2.43
70	1.95

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่า การใช้น้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะสามารถชำระล้างสารเคมีที่ตกค้างอยู่ได้ดีกว่า ซึ่งยิ่งอุณหภูมิสูงก็ยิ่งชำระล้างสารตกค้างได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

4.5 การศึกษาผลของปริมาณสารเคมีต่อลักษณะของโฟมยาง

การศึกษาผลของปริมาณสารเคมีต่อลักษณะของโฟมยางจะทำให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างสูตรโฟมยางกับสมบัติของโฟมยางมากขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากสูตรโฟมยางที่วิสาหกิจชุมชนใช้มีการปรับเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา อีกทั้งผู้จำหน่ายสารเคมีได้ร่วมสารเคมีชุดที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วย สารคงรูปกำมะถัน สารเร่งปฏิกิริยาคงรูปทั้ง ZDEC และ ZMBT รวมทั้งสารป้องกันการเสื่อม Wingstay L เข้าด้วยกันโดยไม่เปิดเผยอัตราส่วนของสารเคมี ทำให้ไม่สามารถนำสูตรที่วิสาหกิจชุมชนมาใช้ในการทดลองได้ ดังนั้นการทดลองจะใช้สูตรโฟมสำหรับหมอนยางจากน้ำยางของการยางแห่งประเทศไทย ซึ่งมีสัดส่วนน้ำหนักแห้งของสารเคมีต่างๆ เทียบกับยางธรรมชาติ 100 ส่วน (phr) แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สูตรโฟมยางมาตรฐานสำหรับทำหมอนยางจากน้ำยาง

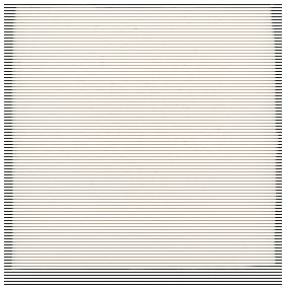
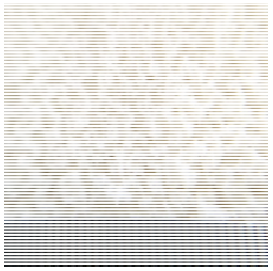
ยางธรรมชาติ/สารเคมี	ปริมาณ (phr)
ยางธรรมชาติ	100
โปแตสเซียมโอลิเอต	1.5
กำมะถัน (S)	2
แซดดีอีซี (ZDEC)	1
แซดเอ็มบีที (ZMBT)	1
วิงสเตย์แอล (wingstay L)	1
ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	5
ดีพีจี (DPG)	1
เอสเอสเอฟ (SSF)	1

ที่มา: คู่มือฝึกอบรม หลักสูตร “การผลิตผลิตภัณฑ์หมอนยางพาราจากน้ำยาง” การยางแห่งประเทศไทย

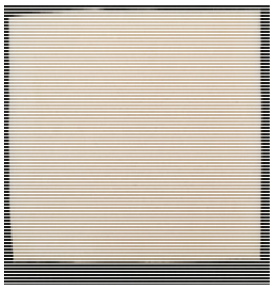
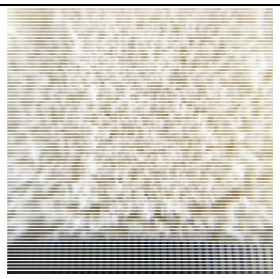
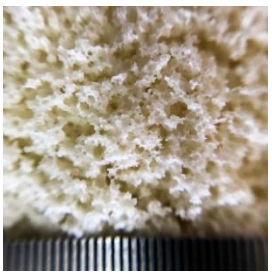
4.5.1 ผลของปริมาณไดฟีนิลกัวนิดีนหรือดีพีจี

โดยทั่วไปไดฟีนิลกัวนิดีนหรือดีพีจี (Diphenylguanidomujfuine, DPG) จะทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาการคงรูปแบบทุติยภูมิ แต่สำหรับการเตรียมโฟมยางด้วยกระบวนดันลอป สารเคมีชนิดนี้ยังทำหน้าที่เป็นสารก่อเจลแบบทุติยภูมิ (secondary gelling agent) อีกทั้งยังช่วยป้องการการยุบตัวของโฟมยางอีกด้วย ตารางที่ 4.9 แสดงผลของปริมาณดีพีจีต่อลักษณะของโฟมยาง

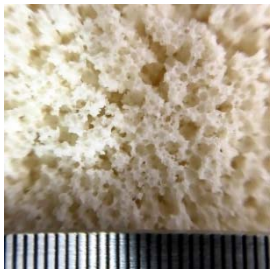
ตารางที่ 4.9 ผลของปริมาณ DPG ต่อลักษณะของโฟมยาง

ปริมาณ DPG (phr)	**ความหนาแน่น (g/cm^3)**	**ลักษณะของโฟมยาง**	
0.0	**N/A**	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
0.2	**0.1935±0.0107***	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
			
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
			

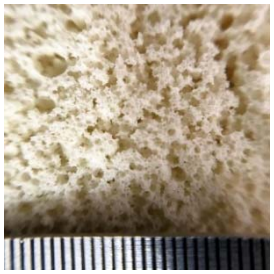
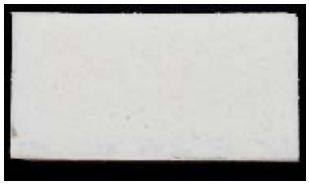
ตารางที่ 4.9 ผลของปริมาณ DPG ต่อลักษณะของโฟมยาง (ต่อ)

ปริมาณ DPG (phr)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ลักษณะของโฟมยาง	
0.4	0.1983±0.0029*	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
			
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
			
0.6	0.1729± 0.0010	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
			

ตารางที่ 4.9 ผลของปริมาณ DPG ต่อลักษณะของโฟมยาง (ต่อ)

ปริมาณ DPG (phr)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ลักษณะของโฟมยาง	
0.8	0.1778± 0.0013	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
			
1.0	0.1831±0.0028	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)

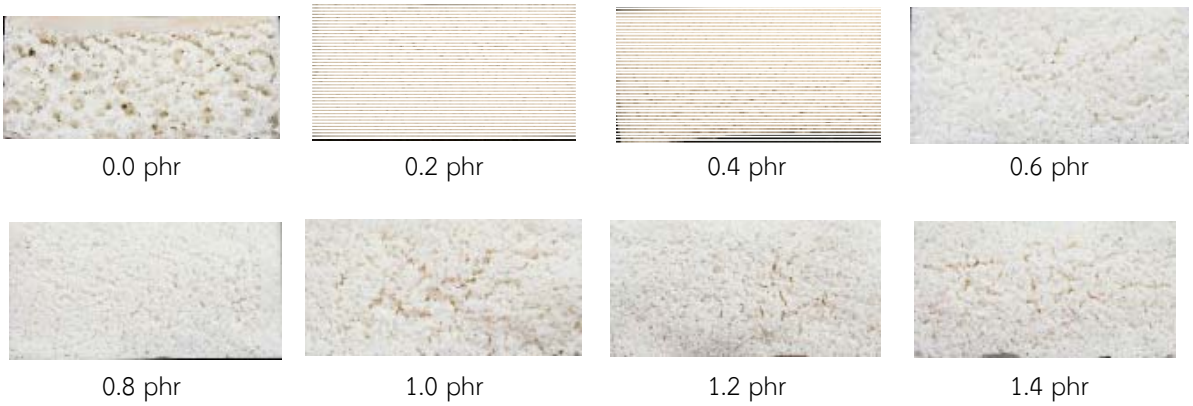
ตารางที่ 4.9 ผลของปริมาณ DPG ต่อลักษณะของโฟมยาง (ต่อ)

ปริมาณ DPG (phr)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ลักษณะของโฟมยาง	
1.2	0.1858±0.0034	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
			
1.4	0.1877±0.0016	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
			
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)

* เปลี่ยนผู้ช่วยวิจัย

จากผลการทดลอง เบื้องต้นพบว่าเมื่อไม่มีการเติม DPG จะส่งผลทำให้ชิ้นงานโฟมยางที่ได้เกิดเป็นโพรงใต้ชั้นผิว ลักษณะโค้งงอ เมื่อพิจารณาด้านในเนื้อโฟมพบว่าเกิดแยกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นเนื้อยางที่ไม่มีรูพรุนเลย และส่วนที่เป็นโฟมยางซึ่งมีรูพรุนที่ค่อนข้างใหญ่ ลักษณะเนื้อโฟมที่ได้มีโครงสร้างค่อนข้างหยาบ เมื่อมีการ

เติมดีพีจี โฟมยางที่ได้มีลักษณะที่ดีขึ้นกล่าวคือ เมื่อเติม DPG ในปริมาณ 0.2 phr ไม่พบการแยกเป็น 2 ชั้น และโพรงใต้ผิว เนื้อโฟมมีลักษณะดีขึ้นอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามที่ชิ้นงานที่เติมดีพีจีในปริมาณ 0.2 และ 0.4 phr ยังคงมีรูปร่างโค้งคล้ายชิ้นงานที่ไม่มีการเติม DPG เมื่อเพิ่มปริมาณ DPG จาก 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 และ 1.4 phr ชิ้นงานไม่มีการโค้งงอสามารถรักษารูปร่างตามแม่พิมพ์ได้ดี เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของเนื้อโฟมยางด้านใน พบว่ารูพรุนในเนื้อโฟมยางละเอียดและมีความสม่ำเสมอยิ่งขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.19 เมื่อทำการวิเคราะห์ความหนาแน่นของโฟมยางพบว่า ชิ้นงานโฟมยางจะมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ DPG ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจาก DPG ลดการยุบตัวของฟองอากาศจึงทำให้ค่าความหนาแน่นมากขึ้น

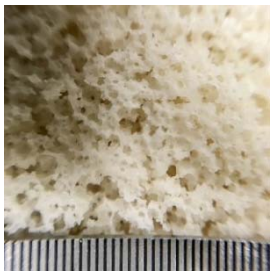


ภาพที่ 4.19 เปรียบเทียบลักษณะของเนื้อโฟมด้านในเมื่อมีการเติม DPG ในปริมาณต่างๆ กัน

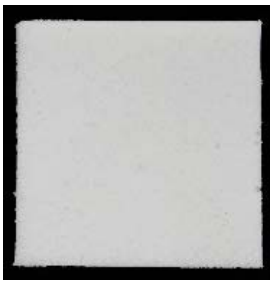
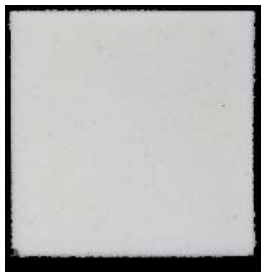
4.5.2 ผลของปริมาณโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (เอสเอสเอฟ)

โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์หรือเอสเอสเอฟ (sodium silicofluoride, SSF) ทำหน้าที่เป็นสารก่อเจล ซึ่งกลไกการทำงานเริ่มจากโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์แตกตัวได้เป็นโซเดียมไอออน (Na^+) และซิลิโคฟลูออไรด์ไอออน (SiF_6^{2-}) จากนั้นซิลิโคฟลูออไรด์ไอออนที่เกิดขึ้นก็จะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำได้เป็นกรดไฮโดรฟลูออริก (H^+ กับ F^-) และ orthosilicic acid ($Si(OH)_4$) ซึ่งกรดไฮโดรฟลูออริกที่เกิดขึ้นส่งผลทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลง เป็นเหตุทำให้อนุภาคของยางซึ่งมีประจุลบล้อมรอบอยู่เกิดการสูญเสียเสถียรภาพไป อนุภาคยางจึงเกิดการจับตัวแข็งขึ้นและคงรูปร่างเอาไว้ได้ ซึ่งปรากฏการณ์ข้างต้นทำให้โฟมยางสามารถรักษาโครงสร้างรูพรุนเอาไว้ได้ [5] ตารางที่ 4.10 แสดงผลของปริมาณเอสเอสเอฟต่อลักษณะของโฟมยาง

ตารางที่ 4.10 ผลของปริมาณ SSF ต่อลักษณะของโฟมยาง

ปริมาณ SSF (phr)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ลักษณะของโฟมยาง	
0.6	0.1911± 0.0048	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
0.8	0.1742±0.0032	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
			

ตารางที่ 4.10 ผลของปริมาณ SSF ต่อลักษณะของโฟมยาง (ต่อ)

ปริมาณ SSF (phr)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ลักษณะของโฟมยาง	
1.0	0.1729±0.0030	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
			
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
1.2	0.1705±0.0024	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
			
		รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)

ตารางที่ 4.10 ผลของปริมาณ SSF ต่อลักษณะของโฟมยาง (ต่อ)

<table>
<tr><th>ปริมาณ SSF (phr)</th><th>ความหนาแน่น (g/cm^3)</th><th colspan="2">ลักษณะของโฟมยาง</th></tr>
<tr><td rowspan="4">1.4</td><td rowspan="4">0.1714±0.0062</td><td>รูปชิ้นงานด้านบน</td><td>รูปชิ้นงานด้านข้าง</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>รูปชิ้นงานด้านใน</td><td>ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
</table>

จากผลการทดลองการเปรียบเทียบผลของปริมาณของ SSF ที่ 0.6 phr, 0.8 phr, 1 phr, 1.2 phr และ 1.4 phr ต่อลักษณะของโฟมยาง เบื้องต้นพบว่าปริมาณของ SSF มีผลต่อระยะเวลาที่ทำให้โฟมยางเกิดเจลก่อนเทลงแม่พิมพ์ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของ SSF โฟมยางจะเกิดเจลได้ไวขึ้น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ระยะเวลาในการเกิดฟิล์มของโฟมยางที่มีการใส่ SSF 1.2 และ 1.4 phr ค่อนข้างมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณารูพรุนในเนื้อโฟมยาง พบว่าปริมาณของ SSF จะมีผลต่อความสม่ำเสมอของรูพรุนค่อนข้างชัดเจน โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของ SSF รูพรุนจะมีความสม่ำเสมอและละเอียดมากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.20 อย่างไรก็ตาม ผลของปริมาณ SSF ต่อความหนาแน่นของโฟมยางมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน ในช่วงต้นเมื่อเพิ่มปริมาณ SSF ความหนาแน่นของโฟมลดลง แต่จะเริ่มคงที่และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อยังคงเพิ่มปริมาณ SSF

0.6 phr

0.8 phr

1.0 phr

1.2 phr

1.4 phr

ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบลักษณะของเนื้อโฟมด้านในเมื่อมีการเติม SSF ในปริมาณต่างๆ กัน

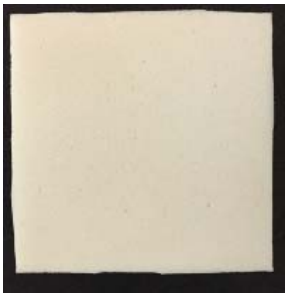
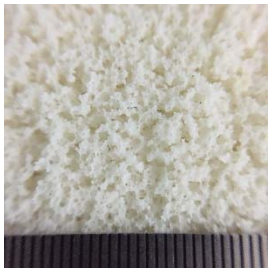
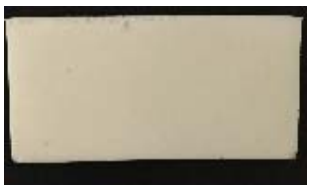
4.5.3 ผลของปริมาณกำมะถัน

กำมะถันถูกใช้เป็นสารคงรูปสำหรับโฟมยาง ซึ่งปริมาณที่ใช้จะส่งผลโดยตรงกับสมบัติเชิงกล ดังนั้นในส่วนนี้จะศึกษาผลของปริมาณกำมะถันต่อลักษณะของโฟมยางและค่าร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกดซึ่งแสดงในตารางที่ 4.11 โดยค่าร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกดวัดจากความหนาของชิ้นตัวอย่างที่เปลี่ยนไปเนื่องจากแรงกดอัดเทียบกับความหนาตั้งต้น

ตารางที่ 4.11 ผลของปริมาณกำมะถันต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด

ปริมาณกำมะถัน (phr)	**ความหนาแน่น (kg/m^3)***	**ร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด***	**ลักษณะของโฟมยาง**	
1.8	**192.6**	**5.4**	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
			รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)

ตารางที่ 4.11 ผลของปริมาณกำมะถันต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด (ต่อ)

ปริมาณกำมะถัน (phr)	ความหนาแน่น (kg/m^3)*	ร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด*	ลักษณะของโฟมยาง	
2.0	188.7	5	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
				
			รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
				
2.2	185.6	5.5	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
				
			รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)

ตารางที่ 4.11 ผลของปริมาณกำมะถันต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด (ต่อ)

ปริมาณกำมะถัน (phr)	ความหนาแน่น (kg/m^3)*	ร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด*	ลักษณะของโฟมยาง	
2.4	187.4	3	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
			รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)

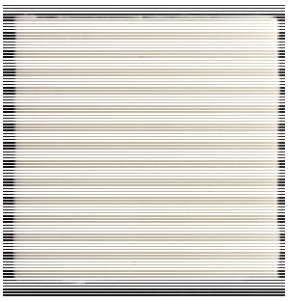
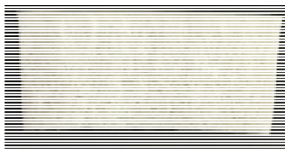
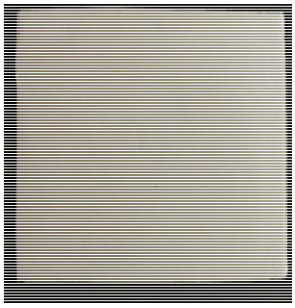
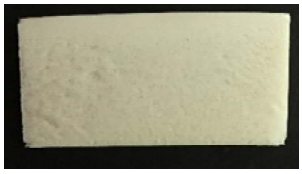
*ทดสอบตาม มอก. 2741-2559 โดยศูนย์บริการทดสอบรับรองภาคกลาง การยางแห่งประเทศไทย

ซึ่งจากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่าภายใต้สภาวะการตีโฟมและก่อเจลที่ใกล้เคียงกัน การแปรปริมาณกำมะถันไม่ได้ส่งผลต่อความหนาแน่นและลักษณะของโฟมยางที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่ปริมาณกำมะถันที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มที่จะทำให้ร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกดลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การเพิ่มปริมาณสารคงรูปทำให้การคงรูปของโฟมยางเกิดได้มากขึ้นส่งผลทำให้สายโซ่มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น เมื่อนำแรงกดออกโฟมมยางจึงสามารถคืนสู่รูปร่างเดิมได้ดีกว่า ร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกดจึงน้อยกว่า

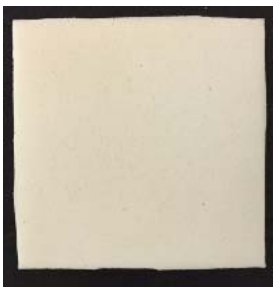
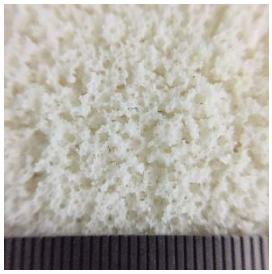
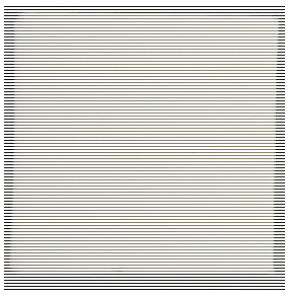
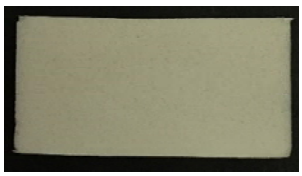
4.5.4 ผลของปริมาณซิงก์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc diethyldithiocarbamate; ZDEC)

ซิงก์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมตหรือแซดดีอีซี (Zinc diethyldithiocarbamate; ZDEC) ทำหน้าที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป นิยมใช้กับน้ำยาง ผลของปริมาณ ZDEC ต่อลักษณะของโฟมยางและค่าร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกดแสดงในตารางที่ 4.12

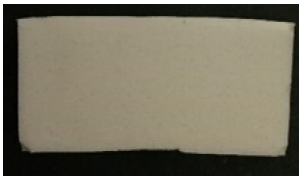
ตารางที่ 4.12 ผลของปริมาณ ZDEC ต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด

ปริมาณ ZDEC (phr)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด	ลักษณะของโฟมยาง	
0.6	188.0	5	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
				
			รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
				
0.8	182.6	4	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
				
			รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)

ตารางที่ 4.12 ผลของปริมาณ ZDEC ต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด (ต่อ)

ปริมาณ ZDEC (phr)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด	ลักษณะของโฟมยาง	
1.0	188.7	5	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
				
			รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
				
1.2	189.6	4	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
				
			รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)

ตารางที่ 4.12 ผลของปริมาณ ZDEC ต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด (ต่อ)

ปริมาณ ZDEC (phr)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด	ลักษณะของโฟมยาง	
1.4	189.6	4	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
				
			รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)

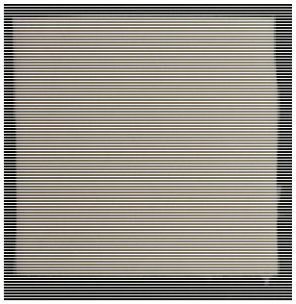
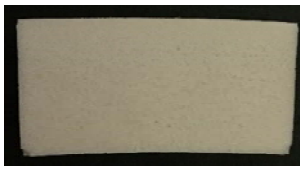
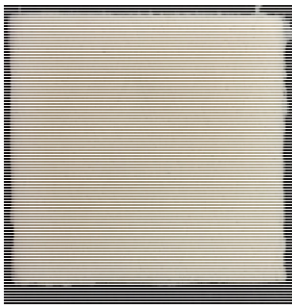
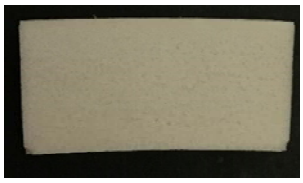
*ทดสอบตาม มอก. 2741-2559 โดยศูนย์บริการทดสอบรับรองภาคกลาง การยางแห่งประเทศไทย

จากการแปรปริมาณสารตัวเร่งปฏิกิริยาการคงรูป ZDEC พบว่า ปริมาณของสารตัวเร่งแซดดีอีซีไม่ส่งผลความหนาแน่นและลักษณะของโฟม แต่การเพิ่มปริมาณตัวเร่งแซดดีอีซีมีแนวโน้มทำให้ได้โฟมที่มีความต้านทานต่อการยุบตัวเนื่องจากแรงกดดีขึ้น

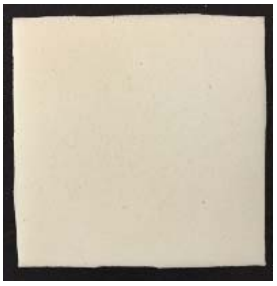
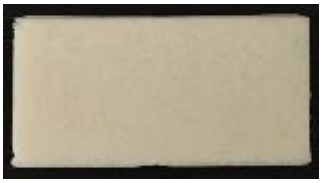
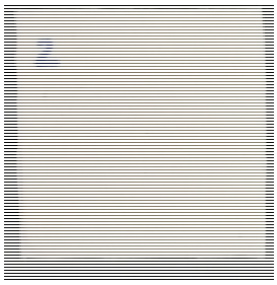
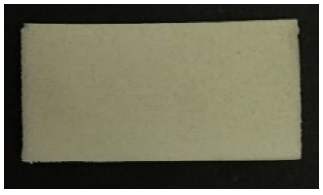
4.5.4 ผลของปริมาณซิงก์ทูเมอร์แคปโตเบ็นซ์ไธอาโซล (Zinc-2-mercaptobenzthiazole; ZMBT)

ซิงก์ทูเมอร์แคปโตเบ็นซ์ไธอาโซลหรือแซดเอ็มบีที (Zinc-2-mercaptobenzthiazole; ZMBT) เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาการคงรูปอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กับน้ำยางสำหรับการขึ้นโฟม โดยจะใช่คู่กับสารตัวเร่งแซดดีอีซี ผลของปริมาณสารตัวเร่งแซดเอ็มบีทีต่อลักษณะของโฟมยางและค่าร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกดแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลของปริมาณ ZMBT ต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด

<table>
<tr><th>ปริมาณ ZMBT (phr)</th><th>ความหนาแน่น (kg/m^3)</th><th>ร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด</th><th colspan="2">ลักษณะของโฟมยาง</th></tr>
<tr><td rowspan="5">0.6</td><td rowspan="5">190.0</td><td rowspan="5">5</td><td>รูปชิ้นงานด้านบน</td><td>รูปชิ้นงานด้านข้าง</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>รูปชิ้นงานด้านใน</td><td>ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="5">0.8</td><td rowspan="5">173.7</td><td rowspan="5">5</td><td>รูปชิ้นงานด้านบน</td><td>รูปชิ้นงานด้านข้าง</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>รูปชิ้นงานด้านใน</td><td>ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
</table>

ตารางที่ 4.13 ผลของปริมาณ ZMBT ต่อลักษณะของโฟมยางและร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด (ต่อ)

ปริมาณ ZMBT (phr)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงกด	ลักษณะของโฟมยาง	
1.0	188.7	5	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
				
			รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)
1.2	194.8	4	รูปชิ้นงานด้านบน	รูปชิ้นงานด้านข้าง
				
			รูปชิ้นงานด้านใน	ลักษณะเนื้อโฟม (กำลังขยาย 20x)