



## โครงการ

# การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

<b>ชื่อโครงการ</b>	การพัฒนาผลิตภัณฑ์โฟมจากยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนเพื่อใช้เป็นวัสดุตกแต่งอาคาร		
	Development of Foam Product from Natural Rubber Blend with Polyurethane for Using as Decorative Building Material		
<b>ชื่อนิสิต</b>	นางสาวชญจิรา	จารุศิริพจน์	<b>เลขประจำตัว</b> 5833231223
	นายนายกฤตไนย	นิจจำรัฐ	<b>เลขประจำตัว</b> 5833402223
<b>ภาควิชา</b>	วัสดุศาสตร์		
<b>ปีการศึกษา</b>	2561		

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)  
are the senior project authors' files submitted through the faculty.

# คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## โครงการวิจัยระดับปริญญาตรี

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์โคมจากยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนเพื่อใช้เป็นวัสดุตกแต่งอาคาร

เสนอ

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ตามระเบียบการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์

- |                               |             |            |
|-------------------------------|-------------|------------|
| 1.นางสาว ธัญจิรา จารุศิริพงษ์ | เลขประจำตัว | 5833231223 |
| 2.นายนายกฤษณ์ นิจจำรูญ        | เลขประจำตัว | 5833402223 |

อนุมัติโดย

กนกทิพย์ บุญเกิด

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกทิพย์ บุญเกิด)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้องานวิจัย	การพัฒนาผลิตภัณฑ์โฟมจากยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน เพื่อใช้เป็นวัสดุตกแต่งอาคาร		
โดย	นางสาว ธัญจิรา จารุศิริพจน์	เลขประจำตัว	5833231223
	นายกฤตชัย นิศจารุญ	เลขประจำตัว	5833402223
สาขาวิชา	วัสดุศาสตร์		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกทิพย์ บุญเกิด		
ปีการศึกษา	2561		

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์โฟมจากยางธรรมชาติผสมกับพอลิยูรีเทนด้วยกระบวนการตัดลอปเพื่อใช้เป็นวัสดุตกแต่งอาคารที่มีสมบัติในการดูดซับเสียงและเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี โดยงานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วน ในส่วนแรกจะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของชิ้นงานโฟมยางธรรมชาติกับความสามารถในการดูดซับเสียงและการนำความร้อน จากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณน้ำยางธรรมชาติจาก 700 กรัม เป็น 800, 900 และ 1000 กรัม ชิ้นงานโฟมยางธรรมชาติที่ได้จะมีความหนาแน่น 0.0752, 0.0832, 0.0899 และ 0.0943 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ โดยโฟมยางธรรมชาติที่มีความหนาแน่นที่สูงสุดจะมีความสามารถในการดูดซับเสียงที่ดีที่สุด ในขณะที่โฟมยางธรรมชาติที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุดจะให้ค่าการนำความร้อนที่ต่ำที่สุด สำหรับในส่วนที่สองนั้นจะทำการศึกษาผลของการเติมพอลิยูรีเทนที่อัตราส่วนต่างๆ กัน ต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติการดูดซับเสียง สมบัติการนำความร้อน และค่าการเจริญของจุลชีพของชิ้นงานโฟมที่ได้ โดยสัดส่วนของยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนที่ทำการศึกษา มีดังนี้ 10 : 0, 10 : 1 และ 10 : 2 ตามลำดับ สำหรับการเตรียมโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนจำเป็นต้องมีการเติมสารเพิ่มความเสถียรของอนุภาคยาง โดยสารที่ใช้ในการทดลองนี้คือ เทอริคแอซิด โดยสูตรโฟมที่อัตราส่วน 10 : 1 ปริมาณสารเทอริคแอซิดที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 40 กรัม สำหรับสูตรโฟมที่อัตราส่วน 10 : 2 ต้องเติมสารเทอริคแอซิดในปริมาณ 50 กรัม จากผลการทดลองพบว่า โฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนให้สมบัติต่างๆ ที่ดีกว่าโฟมยางธรรมชาติ โดยโฟมยางที่ทำการผสมยางธรรมชาติกับพอลิยูรีเทนในอัตราส่วน 10 : 1 จะให้ค่าการดูดซับเสียงที่ดีที่สุด ในขณะที่ชิ้นงานโฟมที่ทำการผสมยางธรรมชาติกับพอลิยูรีเทนในอัตราส่วน 10 : 2 จะให้ค่าความแข็งแบบชอร์เอ และความต้านทานต่อการเสีรูบหลังการกดอัดสูงสุด อีกทั้งให้ค่าการนำความร้อนและค่าการเจริญของจุลชีพที่ต่ำที่สุด ดังนั้นสูตรโฟมจากยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่อัตราส่วน 10 : 2 จึงเป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด

<b>Title</b>	Development of Foam Product from Natural Rubber blended with Polyurethane for Using as Decorative Building Material	
<b>Authors</b>	Mrs. Thunjira Jarusiripot Student	Student ID 5833231223
	Mr. Krittanai Nitjumroon	Student ID 5833402223
<b>Department</b>	Material science	
<b>Advisor</b>	Asst. Dr. Kanoktip Boonkerd	
<b>Academic Year</b>	2018	

---

### Abstract

This research was aimed to develop foam from natural rubber blended with polyurethane by a Dunlop process for using as materials for building decoration with good sound absorption and thermal insulation property. The research was divided into two parts. The first part was focused on the relationship between density of natural rubber foam and sound absorption ability and thermal conductivity. The result showed that when using the same process but increasing amount of natural rubber latex from 700, 800, 900 and 1000 grams, the obtained rubber foams had the density of 0.0752, 0.0832, 0.0899 and 0.0943 g/cm<sup>3</sup>, respectively. The obtained rubber foam with highest density showed the best sound absorption ability, while the one with lowest density gave the lowest thermal conductivity. For the second part, the study was focused on the effect of polyurethane on physical property, sound absorption ability, thermal conductivity and the number of microbes of the blended foam. The blended foams with different natural rubber to polyurethane ratios including 10:0, 10:1 and 10:2 were prepared. In this case of the blended foam, it was necessary to add teric acid into the rubber latex during mixing step to enhance the stability of natural rubber particle in the latex. The results showed the suitable amount of teric acid was 40 g for the blended foam at a 10:1 ratio and 50 g for the blended foam at a 10:2. The result here showed that rubber foam blended with polyurethane showed superior properties to the pure rubber foam. The best sound absorption ability was found from the blended foam at a 10:1 ratio. However, the blended foam at a 10:2 ratio gave the highest hardness (shore A), compression set, and the lowest number of microbes. Therefore, the best formula for preparing the blended foam from natural rubber and polyurethane was at a 10:2 ratio.

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ การสนับสนุน และความช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการ การดำเนินงาน และเงินทุนสนับสนุนจากคณาจารย์ และหน่วยงานต่างๆ ดังนี้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกทิพย์ บุญเกิด อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้คอยให้คำชี้แนะในการค้นคว้าหาข้อมูล การทดลอง การศึกษา การเขียนงานวิจัย อีกทั้งยังแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัญญา แก้ววัฒนา ซึ่งให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงาน

ขอขอบคุณ อาจารย์กนกอร หันเจริญ ซึ่งให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงาน

ขอขอบคุณเพื่อนนิสิตปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 ที่เป็นกำลังใจในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถานที่ในการดำเนินงานศึกษาวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นแบบอย่างที่ดี ตลอดจนส่งเสริมการศึกษาและให้กำลังใจเป็นอย่างดี ทำให้การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาว ธัญจิรา จารุศิริพจน์

นายนายกฤษณ์ นิจจำรูญ

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
<b>บทที่ 1 ที่มาและความสำคัญ</b>	
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 วัสดุโฟม.....	3
2.2 โฟมพอลิยูรีเทน.....	5
2.3 ยางธรรมชาติ.....	7
2.4 เทคโนโลยีการผลิตโฟมยางธรรมชาติ.....	8
2.5 สารเคมีสำหรับเตรียมโฟมยางธรรมชาติ.....	11
2.6 การดูดซับเสียง.....	16
2.7 ฉนวนกันความร้อน.....	18
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	20
3.2 วัตถุประสงค์ สารเคมีและอุปกรณ์.....	21
3.3 ขั้นตอนการเตรียมโฟมยาง.....	27
3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์และทดสอบ.....	29
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง</b>	
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติกับ ค่าการนำความร้อนและค่าการดูดซับเสียง .....	31
4.2 สมบัติทางกายภาพของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน.....	33
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	39
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	40
เอกสารอ้างอิง.....	41
ภาคผนวก.....	43

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1 สูตรโพลีเมอร์ชาติ.....	27
ตารางที่ 3.2 สูตรโพลีเมอร์ชาติผสมพอลิยูรีเทน.....	28
ตารางที่ 4.1 การตรวจวัดปริมาณของเชื้อราและแบคทีเรียของ โพลีเมอร์จากน้ำยาธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน.....	38
ตารางที่ 6.1 ค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์ชาติผสมพอลิยูรีเทน.....	43
ตารางที่ 6.2 ค่าความต้านทานต่อการเสีรูปหลังการกดอัด (แบบกดค้ำง) ของโพลีเมอร์ชาติผสมพอลิยูรีเทน.....	44
ตารางที่ 6.3 ค่าการเสีสภาพหลังการกดอัดของโพลีเมอร์ชาติผสมพอลิยูรีเทน.....	45
ตารางที่ 6.4 ค่าความแข็งของโพลีเมอร์ชาติผสมพอลิยูรีเทน.....	46

## สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างภายในของโฟมแบบ (ก) เซลล์เปิด (ข) เซลล์ปิด.....	3
รูปที่ 2.2 ระบบ One step One shot.....	6
รูปที่ 2.3 ระบบ Quasi Pre polymer.....	6
รูปที่ 2.4 ระบบ Full Pre Polymer.....	7
รูปที่ 2.5 กระบวนการขั้นตอนการผลิตแบบตันลอป.....	9
รูปที่ 2.6 การบวนการขั้นตอนการผลิตแบบทาลาเลย์.....	10
รูปที่ 2.7 ลักษณะโฟมจากวิธีตันลอปและวิธีทาลาเลย์.....	10
รูปที่ 2.8 ลักษณะของสเตบิลไอเซอร์ไปห่อหุ้มอนุภาคยาง.....	12
รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย.....	20
รูปที่ 3.2 เครื่องผสมอาหารความจุ 30 ลิตร.....	22
รูปที่ 3.3 เครื่องผสมอาหารความจุ 3 ลิตร.....	22
รูปที่ 3.4 ตู้อบลมร้อน.....	22
รูปที่ 3.5 เตานึ่งไอน้ำ.....	23
รูปที่ 3.6 แม่พิมพ์อลูมิเนียมขนาด 38 X 38 X 5 cm <sup>3</sup> .....	23
รูปที่ 3.7 แม่พิมพ์อลูมิเนียมขนาด 5 X 5 X 2 cm <sup>3</sup> .....	23
รูปที่ 3.8 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง.....	23
รูปที่ 3.9 ไม้พายปาดโฟม.....	24
รูปที่ 3.10 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง.....	24
รูปที่ 3.11 เครื่อง Two-fixed microphone impedance tube.....	24
รูปที่ 3.12 เครื่องวัดความแข็งชนิด shore A.....	25
รูปที่ 3.13 เครื่อง Universal Testing Machine.....	25
รูปที่ 3.14 จุฬาสมาร์ทเลนส์.....	25
รูปที่ 3.15 เครื่อง Heat Flow Meter.....	26
รูปที่ 3.16 แนวการตัดชิ้นงานตัวอย่างเพื่อตรวจสอบขนาดเซลล์โฟม.....	29
รูปที่ 4.1 ค่าความหนาแน่นของโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติเมื่อใช้ปริมาณน้ำยางต่าง ๆ กัน.....	31
รูปที่ 4.2 ค่าการนำความร้อนของโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติต่าง ๆ กัน.....	32
รูปที่ 4.3 ค่าการดูดซับเสียงของโฟมยางธรรมชาติ.....	33
รูปที่ 4.4 ค่าความหนาแน่นของโฟมยาง ธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน.....	34



## สารบัญรูปภาพ

รูป

หน้า

รูปที่ 4.5 ลักษณะของเซลล์โคมจากน้ำยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน	
(ก) สัดส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทน 10:0	
(ข) สัดส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทน 10:1	
(ค) สัดส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทน 10:2.....	34
รูปที่ 4.6 ค่าความต้านทานต่อการเสียรูปหลังการกดอัด.....	35
รูปที่ 4.7 ค่าการเสียสภาพหลังการกดอัดของโคมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน.....	36
รูปที่ 4.8 ความแข็งของโคมยางจากน้ำยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน.....	36
รูปที่ 4.9 ค่าการนำความร้อนของโคมยาง ธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน.....	37
รูปที่ 4.10 ค่าการดูดซับเสียงของโคมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน.....	38

## บทที่ 1

### ที่มาและความสำคัญ

จากสภาวะสังคมในปัจจุบัน ไม่ว่าจะจะเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ที่ก้าวกระโดดอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการขยายตัวของเมืองใหญ่ต่างๆ ทั่วโลก ทำให้มีประชากรจำนวนมากเดินทางเข้ามาทำงานและพักอาศัยในเมืองมากขึ้น คาดว่าในอนาคตประชากรจะหนาแน่นตามเมืองใหญ่มากกว่าบริเวณอื่นของประเทศ โดยเฉพาะประเทศที่กำลังพัฒนา เช่น ประเทศไทย เพื่อรองรับการขยายตัวนี้จึงมีการก่อสร้างอาคารทั้งที่อยู่อาศัยและอาคารสำนักงานจำนวนมากในรูปแบบตึกที่มีความสูงจำนวนหลายสิบชั้น ซึ่งสถานที่ตั้งส่วนใหญ่จะอยู่ใจกลางเมืองหลวงหรือชานเมืองโดยรอบ ทั้งนี้เพื่ออำนวยความสะดวกสบายในเรื่องของการคมนาคม จากการขยายตัวของสังคมเมืองอย่างมากทำให้เกิดผลกระทบตามมามากมายหลายด้าน ซึ่งผลกระทบที่ตามมาที่ได้รับความสนใจในขณะนี้ก็คือ ผลกระทบทางด้านมลภาวะทางเสียง และความร้อน ซึ่งแนวทางการก่อสร้างอาคารต่างๆ นอกจากจะต้องออกแบบและเลือกใช้วัสดุให้มีความแข็งแรง มั่นคงและปลอดภัยแล้ว จะต้องคำนึงถึงการแก้ปัญหามลภาวะทางเสียงและความร้อนอีกด้วย ซึ่งส่วนใหญ่ตามผนังหรือฝ้าของตัวอาคารจะมีการแทรกชั้นของวัสดุดูดซับเสียงและความร้อนเอาไว้ ซึ่งปัจจุบันวัสดุดูดซับเสียงและฉนวนกันความร้อนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายนี้มีองค์ประกอบสำคัญเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิยูรีเทน (Polyurethane, PU) หรือ พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) โดยลักษณะโครงสร้างของวัสดุดูดซับเสียงและฉนวนกันความร้อนก็คือ การมีรูพรุนจำนวนมาก อย่างไรก็ตามการใช้พอลิเมอร์สังเคราะห์เป็นวัตถุดิบในการผลิตวัสดุข้างต้นมีข้อเสียหลายประการ เช่น พอลิเมอร์สังเคราะห์เกิดสลายตัวได้ยากเมื่อถูกทิ้งให้เป็นขยะจะตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน ยากต่อการกำจัดเนื่องจากเมื่อเผาจะก่อให้เกิดควันที่เป็นแก๊สพิษ และหากนำไปฝังก็จะทำให้ดินบริเวณนั้นเสื่อมสภาพไม่สามารถเพาะปลูกได้ ซึ่งนอกจากปัญหาขยะพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีมากขึ้นแล้ว การที่ราคาปิโตรเลียมซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพอลิเมอร์สังเคราะห์มีราคาสูงมากขึ้น ยังเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้มีงานวิจัยมุ่งเน้นการพัฒนาวัสดุดูดซับเสียงจากการใช้วัสดุจากธรรมชาติเป็นส่วนประกอบ

จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น วัสดุดูดซับเสียงและฉนวนกันความร้อนจะมีลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุน ซึ่งยางธรรมชาติก็เป็นอีกวัสดุที่สามารถเตรียมให้มีโครงสร้างเป็นรูพรุนด้วยกระบวนการบวมตีโฟมจากน้ำยางได้โดยตรง ทำให้มีงานวิจัยจำนวนมากสนใจที่จะนำยางธรรมชาติมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตวัสดุดูดซับเสียงและฉนวนกันความร้อนหรือที่เรียกว่า โฟมยาง ซึ่งนอกจากกระบวนการเตรียมที่ไม่ยุ่งยากแล้ว การใช้ยางธรรมชาติไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยางธรรมชาติเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย หากเราสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตก็จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติอย่างมาก ซึ่งจะเป็นการช่วยลดปัญหาราคายางที่ตกต่ำอยู่ในปัจจุบันอีกด้วย แต่การนำยางธรรมชาติมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตวัสดุดูดซับเสียงและฉนวนกันความร้อนในงานตกแต่งอาคารอาจมีข้อจำกัดทางด้านการใช้งานบางประการ เนื่องจากยางธรรมชาติมีองค์ประกอบบางส่วนที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์ หากมีการกำจัดออกไม่หมดอาจก่อให้เกิดเชื้อราเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความชื้นได้ อีกทั้งแผ่นโฟมยางธรรมชาติมักเกิดการหย่อน ทำให้ไม่สามารถรักษารูปร่างได้ ทำให้เมื่อใช้งานเป็นเวลานานจะมีรูปร่างหรือระยะที่ผิดไปจากแนวการติดตั้งเดิม ในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะหาแนวทางที่จะแก้ปัญหาค่าการหย่อนจากแนวการติดตั้งโดยการนำพอลิเมอร์สังเคราะห์มาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อลด

ความเป็นอิลาสติกของตัวยางธรรมชาติลง หากแต่การนำพอลิเมอร์สังเคราะห์มาผสมกับยางธรรมชาตินั้น ปัญหาที่อาจเกิดตามมาคือ ความเข้ากันได้ของของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด อีกทั้งความสามารถในการเกิดเป็น โพร่งของวัสดุ ซึ่งสมบัติความเป็นโพร่งนี้เป็นสมบัติสำคัญในการเป็นวัสดุดูดซับเสียงและฉนวนกันความร้อน จึง จำเป็นที่จะต้องควบคุมสัดส่วนปริมาณของยางธรรมชาติและพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่จะนำมาผสมรวมกันให้ เหมาะสม

ในงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายที่จะคิดค้นสูตรโพร่งจากยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่สามารถดูดซับเสียง ได้ดี นำความร้อนต่ำ สมบัติเชิงกลเหมาะสม รวมถึงสามารถลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ ยังปราศจาก สารเคมีที่เป็นพิษในการผลิต เพื่อที่จะนำไปใช้เป็นตัวแบบในการผลิตวัสดุตกแต่งอาคารที่ใช้ยางธรรมชาติเป็น วัสดุติดหลักต่อไป

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 วัสดุโฟม<sup>[1]</sup>

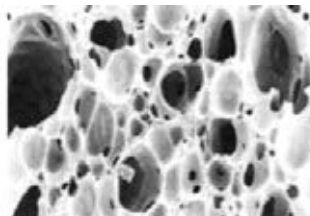
โฟมคือ วัสดุที่มีฟองก๊าซจำนวนมากแทรกและกระจายตัวอยู่ในเนื้อของวัสดุนั้น ซึ่งโดยทั่วไปวัสดุโฟมจะมีส่วนประกอบอย่างน้อย 2 วัฏภาค ได้แก่ วัฏภาคที่เป็นของแข็งหรือของเหลว และวัฏภาคก๊าซ ซึ่งวัฏภาคที่เป็นก๊าซจะกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคของแข็งหรือของเหลวทำให้คุณสมบัติของวัสดุนั้นเปลี่ยนไป เช่น ความหนาแน่นลดลง ความแข็งแรงเชิงกลลดลง เป็นต้น

วัสดุหลักที่นิยมนำมาทำเป็นโฟมคือ พอลิเมอร์ หรือที่เรียกว่า พอลิเมอร์โฟมนั่นเอง ส่วนที่เป็นวัฏภาคของแข็งอาจประกอบไปด้วยพอลิเมอร์เพียงหนึ่งชนิดหรือมากกว่าก็ได้ ที่อุณหภูมิห้องพอลิเมอร์โฟมอาจมีลักษณะยืดหยุ่นหรือแข็งแรงก็ได้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์นั้นๆ องค์ประกอบของสารเคมีที่ใช้ในการผลิตโฟม ระดับของการเกิดผลึกพอลิเมอร์ และปริมาณการเชื่อมโยงของพอลิเมอร์

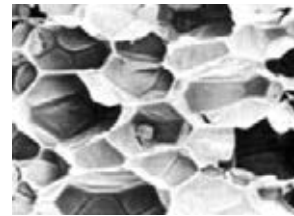
##### 2.1.1 การแบ่งประเภทของโฟม

การแบ่งประเภทของโฟมตามลักษณะของเซลล์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. โฟมแบบเซลล์เปิด (open cell) หมายถึง โฟมที่มีโพรงของเซลล์ต่อกันจนทำให้ก๊าซในอากาศที่แทรกตัวอยู่ในหมูนเวียนกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ก)
2. โฟมแบบเซลล์ปิด (close cell) หมายถึง โฟมที่มีโพรงของช่องว่างหรือเซลล์ไม่ต่อกัน ทำให้ก๊าซในอากาศที่แทรกตัวอยู่ในแต่ละเซลล์ไม่สามารถหมูนเวียนถึงกันได้ ลักษณะของเซลล์แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 (ข)



(ก) โฟมแบบเซลล์เปิด



(ข) โฟมแบบเซลล์ปิด

รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างภายในของโฟมแบบ (ก) เซลล์เปิด (ข) เซลล์ปิด

ประเภทของโฟมยังสามารถแบ่งตามประเภทของพอลิเมอร์ได้ด้วย จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. โฟมชนิดเทอร์โมเซตติง (thermosetting foam) คือ โฟมที่เตรียมจากพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โฟมประเภทนี้ที่รู้จักกันดีคือ พอลิยูรีเทนโฟม (polyurethane foam) ซึ่งเป็นโฟมที่เกิดจากสารเคมีที่มีลักษณะเป็นของเหลวและมีหมู่ฟังก์ชันเคมี 2 ชนิด ที่สามารถทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหและกลายเป็นของแข็งในเวลาต่อมา โฟมที่ได้อาจจะมีลักษณะเป็นโฟมคงรูปหรือโฟมยืดหยุ่นก็ได้
2. โฟมชนิดเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic foam) คือ โฟมที่เตรียมจากพอลิเมอร์ที่สามารถผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีนโฟม พอลิสไตรีนโฟม เป็นต้น

การแบ่งประเภทโฟมยังสามารถแบ่งตามลักษณะการทำให้เกิดฟองก๊าซได้อีกด้วย ซึ่งส่วนใหญ่มีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี หลักๆ ดังนี้

1. วิธีทางกายภาพ (physical method) คือ การใช้ก๊าซความดันสูงอัดให้ก๊าซเกิดการแทรกเข้าไปในเนื้อพอลิเมอร์ที่อ่อนตัวเนื่องจากความร้อน เมื่อลดความดันลงอย่างรวดเร็วก๊าซที่แทรกตัวในพอลิเมอร์จะเกิดการขยายตัวทำให้เกิดรูพรุนกระจายในพอลิเมอร์ หรือการใช้กระบวนการเชิงกล เช่น การใช้เครื่องปั่นให้อากาศแทรกตัวในพอลิเมอร์ก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนการที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดคงรูปเพื่อกักอากาศไว้ในโครงสร้างเซลล์เกิดเป็นโฟมในที่สุด

2. วิธีการทางเคมี (chemical method) คือ การเกิดโฟมเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี ซึ่งอาจทำได้โดยการผสมพอลิเมอร์กับสารทำให้เกิดฟอง (blowing agent) ซึ่งตัวที่ได้รับความนิยมก็คือ สารเคมีตระกูลเอโซคอมพาวนด์ (azo compound) สารเคมีกลุ่มนี้เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการสลายตัวได้เป็นก๊าซออกมา ดังนั้นเมื่อเติมสารทำให้เกิดโฟม จะทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อพอลิเมอร์

### 2.1.2 การเกิดโฟม

การเกิดโฟมเป็นปรากฏการณ์ของการเกิดวัฏภาคใหม่ ที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์และทางด้านเคมีเมื่อพิจารณาปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์นั้นการเกิดวัฏภาคใหม่สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการเกิดนิวเคลียส (Nucleation) หากความไม่เสถียรทางเทอร์โมไดนามิกส์ (thermodynamic instability) เกิดขึ้นมาก ก็จะไปกระตุ้นการเกิดนิวเคลียส ทำให้เกิดกลุ่มของฟองจำนวนมากภายในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งวิธีการทำให้เกิดความไม่เสถียรทางเทอร์โมไดนามิกส์อย่างเพียงพอสำหรับการเกิดนิวเคลียสมี 2 วิธี คือ การลดความดันและการเพิ่มอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามการเกิดเป็นโฟมจะสำเร็จหรือไม่นั้น ต้องมีลักษณะที่สำคัญดังนี้ โมเลกุลของก๊าซที่ก่อกวนขึ้นชนและกระจายอยู่ในวัฏภาคของพอลิเมอร์ต้องมีพลังงานพอที่จะเอาชนะแรงดันภายนอกเพื่อให้เกิดการขยายขนาด

กระบวนการเกิดโฟมจะประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐาน 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเกิดฟองก๊าซ (bubble formation) การเจริญเติบโตของฟองก๊าซ (bubble growth) และการคงสภาพของฟองก๊าซ (bubble stability) แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

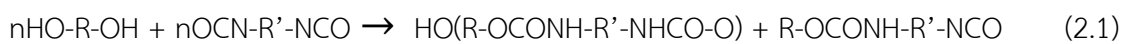
1. การเกิดฟองก๊าซ เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการเกิดโฟม โดยเมื่อมีการรบกวนระบบหรือก่อกวนให้เกิดความไม่เสถียรทางเทอร์โมไดนามิกส์กระบวนการดังกล่าวจะไปกระตุ้นการเกิดนิวเคลียสหรือฟองก๊าซขนาดเล็กๆ จำนวนมากและการกระจายตัวอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ นิวเคลียสเหล่านี้มีการเจริญเติบโตไปเป็นฟองก๊าซขนาดใหญ่ต่อไป

2. การเจริญเติบโตของฟองก๊าซ หลังจากเกิดนิวเคลียสของฟองก๊าซแล้ว จะมีการขยายขนาดเพิ่มซึ่งเป็นผลมาจากการแพร่ของก๊าซจากพอลิเมอร์เข้าไปในฟองก๊าซ และผลจากการรวมตัวกันของฟองก๊าซมากกว่า 2 ฟอง

3. การคงสภาพของฟองก๊าซ การคงสภาพของฟองก๊าซเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการเกิดโฟม ฟองก๊าซ ในขั้นตอนนี้จะมีการคงสภาพและไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาด ซึ่งอาจเกิดจากสมดุลใหม่ของระบบหรือเกิดจากการคงรูปของพอลิเมอร์

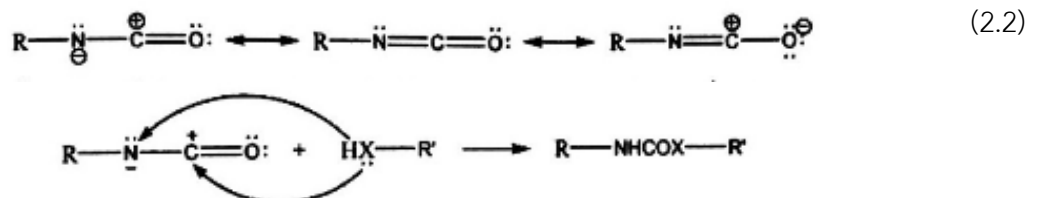
## 2.2 โฟมพอลิยูรีเทน (Polyurethane foam) <sup>[2]</sup>

พอลิยูรีเทนเป็นหนึ่งในวัสดุพลาสติกที่มีความหลากหลายที่สุด พอลิยูรีเทน (Polyurethane) นิยมเรียกโดยย่อว่า พียู (PU) เป็นพอลิเมอร์ชนิดที่ประกอบด้วยหน่วยชีวเคมีของยูรีเทน พอลิเมอร์ของพอลิยูรีเทนประกอบขึ้นจากมอนอเมอร์อย่างน้อย 2 ชนิด โดยปฏิกิริยาของพอลิออล (Polyols) (สารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า หรือเท่ากับสองหมู่ฟังก์ชันต่อโมเลกุล) กับไดไอโซไซยาเนต (Diisocyanate) รวมทั้งเติมสารเติมแต่ง และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม จากความหลากหลายของไดไอโซไซยาเนต และความหลากหลายของพอลิออลนี้เอง ทำให้สามารถผลิตโฟมพอลิยูรีเทนที่มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีที่หลากหลายตามไปด้วย ทำให้สามารถผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานที่เฉพาะเจาะจงได้ เช่น พอลิยูรีเทนโฟมแบบอ่อนและความหนาแน่นต่ำใช้ในส่วนประกอบของเตียง พอลิยูรีเทนโฟมแบบแข็งความหนาแน่นต่ำใช้สำหรับฉนวนในรถยนต์ โครงสร้างทางเคมีของพอลิยูรีเทนสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.1



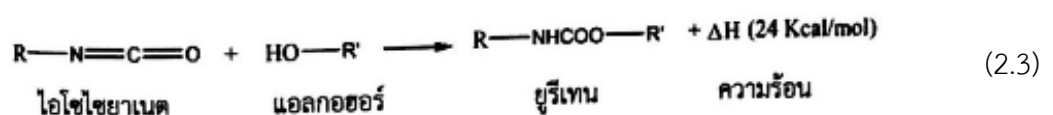
### 2.2.1 การสังเคราะห์หมู่ไอโซไซยาเนต (Isocyanate) <sup>[2]</sup>

จากโครงสร้างด้านล่างจะเห็นได้ว่า มอนอเมอร์หรือโมเลกุลที่มีหมู่ไอโซไซยาเนต ออกซิเจนอะตอมจะมีอิเล็กตรอนปริมาณมากกว่าคาร์บอนอะตอม ส่งผลให้ออกซิเจนอะตอมมีประจุลบและคาร์บอนอะตอมมีประจุบวก ซึ่งโครงสร้างสามารถเกิดเรโซแนนซ์นั้นได้ ทำให้โมเลกุลมีความว่องไวต่อสารประกอบที่มีไฮโดรเจนมาก ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาบริเวณพันธะคู่ของคาร์บอนกับไนโตรเจน ดังแสดงในสมการที่ 2.2



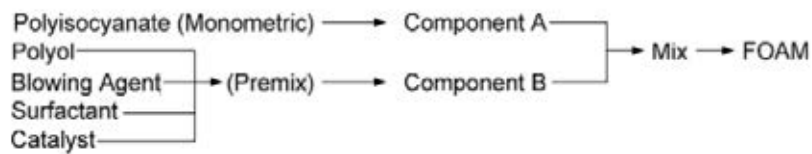
เมื่อนิวคลีโอฟิลิกของสารประกอบที่มีหมู่ไฮโดรเจนที่ว่องไวที่ปรากฏในปฏิกิริยาด้านบนเข้าทำปฏิกิริยาที่อะตอมอิเล็กโตรฟิลิกคาร์บอน อะตอมไฮโดรเจนจะเข้าไปสร้างพันธะกับอะตอมไนโตรเจนของหมู่ไอโซไซยาเนต โดยหมู่ที่ดึงอิเล็กตรอนจะเพิ่มความว่องไวของหมู่ไอโซไซยาเนต ในทางตรงกันข้ามถ้าเป็นหมู่ให้อิเล็กตรอน จะทำให้ความว่องไวต่อปฏิกิริยาของหมู่ไอโซไซยาเนตลดลง ทั้งยังพบว่าอะโรมาติกไอโซไซยาเนตมีความว่องไวมากกว่าอะลิฟาติกไอโซไซยาเนต และความเกะกะบริเวณหมู่ไอโซไซยาเนตหรือหมู่ HXR มีผลทำให้ความว่องไวของปฏิกิริยาลดลง

ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนตและแอลกอฮอล์จะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน แสดงได้แสดงในสมการที่ 2.3



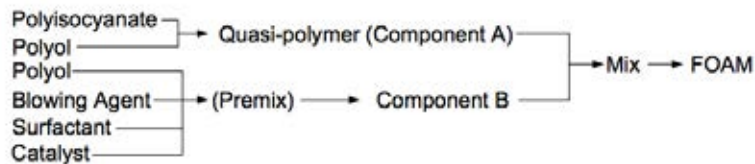
## 2.2.2 การสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทน <sup>[3]</sup>

การบวนการการสังเคราะห์โฟมสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบ ตามสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ แบ่งเป็น 3 ระบบ คือ ระบบ One step One shot, ระบบ Quasi Pre polymer, ระบบ Full Pre Polymer system โดยระบบ One step One shot และระบบ Quasi Pre polymer เป็นระบบที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรม ในระบบ One step One shot system ส่วนประกอบ A และส่วนประกอบ B ถูกแยกออกจากกัน ส่วนประกอบ A ประกอบด้วยพอลิไอโซไซยาเนตเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ส่วนประกอบ B ประกอบด้วย สารลดแรงตึงผิว สารทำให้เกิดฟอง และตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อทั้งสองส่วนประกอบถูกผสมรวมกัน จะก่อให้เกิดการคงรูปเป็นโฟม ดังแสดงในรูปที่ 2.2



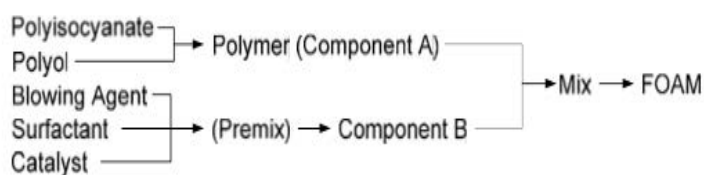
รูปที่ 2.2 ระบบ One step One shot

ระบบ Quasi Pre polymer ส่วนประกอบ A ประกอบด้วยพอลิไอโซไซยาเนตและพอลิออล ในขณะที่ส่วนประกอบ B จะประกอบด้วยพอลิออล ตัวเร่งปฏิกิริยา สารทำให้เกิดฟอง เมื่อนำทั้งสองส่วนมาผสมกันจะเกิดการคงรูปเป็นโฟมขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ระบบ Quasi Pre polymer

ระบบ Full Pre Polymer ส่วนประกอบ A ประกอบด้วยพอลิไอโซไซยาเนตและพอลิออล ในส่วนประกอบ B ประกอบด้วย สารทำให้เกิดฟอง, สารลดแรงตึงผิว, ตัวเร่งปฏิกิริยา ผสมส่วนประกอบ A และ B ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระบบ Full Pre Polymer

## 2.3 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีหน่วยย่อย (building block) เป็นหน่วยไอโซพรีน (isoprene unit) ซึ่งมีสูตรทางเคมีเป็น  $C_5H_8$  จากการศึกษาโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์พบว่า หน่วยของไอโซพรีนที่พบในยางธรรมชาติจะอยู่ในโครงสร้างแบบซิส (cis-conformation)

### 2.3.1 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ <sup>[4]</sup>

ยางธรรมชาติเป็นยางที่มีสมบัติโดดเด่นหลายประการที่ดีกว่ายางไอโซพรีนสังเคราะห์ เช่น ความยืดหยุ่นอีลาสติกซิตี (elasticity) ความทนทานแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear strength) ความทนทานต่อการขัดถู (abrasion resistance) ความเหนียวติด (tack) สมบัติเชิงพลวัต (dynamic property) เป็นต้น ซึ่งทำให้ยางธรรมชาติเหมาะแก่การใช้งานในเชิงวิศวกรรมที่ต้องรับแรงสูง แต่ยางธรรมชาติก็ยังมีข้อจำกัดหลายประการในการใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น สีที่เข้มของยางธรรมชาติเมื่อเปรียบเทียบกับยางไอโซพรีนสังเคราะห์ ทำให้ไม่เหมาะในการใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่มีสีอ่อนและโปรตีนที่ทำให้เกิดอาการแพ้ที่มีอยู่ในยางธรรมชาติ ทำให้ไม่เหมาะกับการผลิตผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เป็นต้น

สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติได้แก่

#### 1. ความยืดหยุ่น (elasticity)

ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นที่สูงโดยสามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมอย่างรวดเร็ว

#### 2. ความทนต่อแรงดึง (tensile strength)

ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อแรงดึงที่สูงเนื่องจากยางธรรมชาติสามารถเกิดการตกผลึกเมื่อได้รับแรงดึง (strain induce crystallization) ซึ่งเชื่อว่าการเกิดผลึกนี้ช่วยให้ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อแรงดึงสูงทั้งก่อนและหลังการทำให้คงรูป

#### 3. ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear strength)

ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อการต่อแรงดึงที่สูง เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถเกิดการตกผลึกเมื่อได้รับแรงดึง โดยผลึกที่เกิดขึ้นนี้จะมีการเรียงตัวในแนวเดียวกับแรงดึงและตั้งฉากกับรอยฉีกขาดทำให้ขัดขวางการฉีกขาดที่เกิดขึ้น

#### 4. การกระด้างกระดอน (rebound resistance)

ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระด้างกระดอนที่สูงมาก และในระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมีการสูญเสียพลังงานที่ต่ำโดยเมื่อถูกใช้งานในทางพลวัต ยางธรรมชาติก็จะมีความร้อนสะสมที่ต่ำอีกด้วยทำให้ยางธรรมชาติเหมาะสำหรับการผลิตยางล้อรถขนาดใหญ่ เช่น ยางล้อรถบรรทุกหรือ ยางล้อเครื่องบิน

#### 5. ความทนทานต่อการขัดถู (abrasion resistance)

ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อการขัดถูที่ดี

#### 6. ความเหนียวติดกัน (tack)

ยางธรรมชาติมีความเหนียวติดกันที่สูง โดยเฉพาะยางที่ไม่ได้ผ่านการคงรูปโดยสามารถ ยึดติดกับวัสดุอื่น เช่น โลหะและสิ่งทอได้

#### 7. ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (insulation)



ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่สูงมาก

#### 8. ความทนทานต่อสารเคมี (chemical resistance)

ยางธรรมชาติไม่สามารถทนทานต่อสารเคมีที่ไม่มีขี้ผึ้งได้ ยกตัวอย่างเช่น น้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ผึ้งต่างๆ เช่น เบนซิน โทลูอีน เฮกเซน เป็นต้น เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของยางธรรมชาติทำให้ถูกละลายได้ในตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ผึ้ง แต่ยางธรรมชาติจะทนต่อตัวทำละลายที่มีขี้ผึ้ง เช่น อะซิโตน และแอลกอฮอล์ เป็นต้น

9. สมบัติการเสื่อมสภาพ (aging property) เนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดด ยางธรรมชาติมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ โดยเฉพาะเมื่อมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้การเสื่อมสภาพของยางเกิดได้ง่าย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับยางไอโซพรีนสังเคราะห์แล้ว ยางธรรมชาติมีความทนต่อการเสื่อมสภาพที่มากกว่ายางไอโซพรีนสังเคราะห์ เนื่องจากโปรตีนในยางธรรมชาติมีความสามารถในการยับยั้งการเสื่อมสภาพได้ นอกจากนี้แล้วยางธรรมชาติไม่ทนต่อโอโซนอีกด้วย ดังนั้นเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพและยืดอายุการใช้งานจึงนิยมเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (anti-degradation) หรือสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันลงในยางธรรมชาติ

#### 10. ความแปรปรวนของยางธรรมชาติ

สมบัติของยางธรรมชาตินั้นค่อนข้างจะมีความไม่สม่ำเสมอเนื่องมาจาก ความแปรปรวนของยางธรรมชาติที่มีสาเหตุหลักมาจากความไม่สม่ำเสมอในองค์ประกอบทางเคมี ที่ประกอบอยู่ในน้ำยางซึ่งถูกกำหนดโดยตัวแปรทางภูมิอากาศและทางชีวภาพ เช่น ลักษณะของดินที่ใช้ปลูกต้นยาง ฤดูกาล สายพันธุ์ของยาง อายุของต้นยาง ส่วนต่างๆของต้นยางที่ถูกกรีด ความถี่ในการกรีดน้ำยาง ฯลฯ อีกมากมายซึ่งรวมแล้วจะส่งผลให้ปริมาณขององค์ประกอบที่ไม่ใช่ยางมีความแปรปรวน ซึ่งส่งผลต่อสมบัติยางธรรมชาติ นอกจากนี้แล้วปรากฏการณ์การแข็งขึ้นของยางระหว่างการเก็บ (storage hardening) ทำให้สมบัติของยางมีความแปรปรวนเช่นเดียวกัน

### 2.4 เทคโนโลยีการผลิตโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติ <sup>[5]</sup>

หลักการสำคัญของการผลิตโฟมยาง คือ การทำให้น้ำยางธรรมชาติเกิดฟองอากาศหรือแก๊สขึ้นระหว่างการวัลคาไนซ์ แล้วคงรูปหรือวัลคาไนซ์ฟองยางด้วยสารเคมีและความร้อน เทคโนโลยีการผลิตโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติมีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมี 2 วิธีหลักๆ ได้แก่

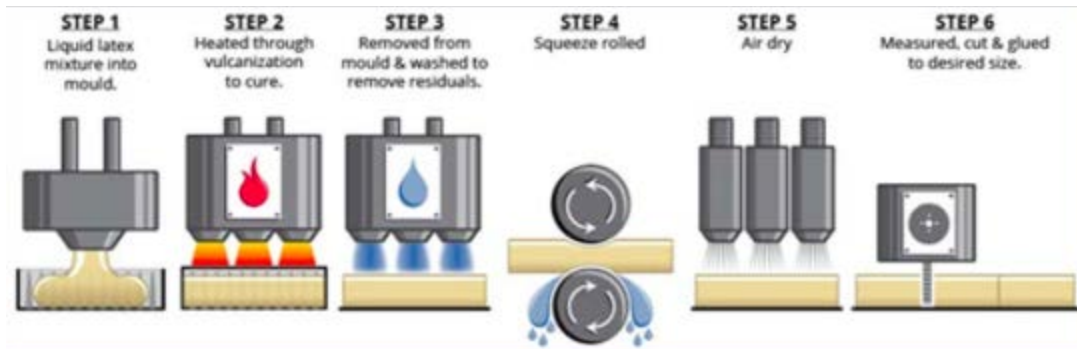
#### 1. เทคโนโลยีการผลิตแบบดันลอป (Dunlop process)

เทคโนโลยีการผลิตแบบดันลอปเป็นกระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติที่มีการจดสิทธิบัตร เมื่อปี ค.ศ. 1930 โดย Murphy, Chapman และ Pounder นักวิจัยของบริษัท Dunlop Rubber Company การผลิตโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติแบบดันลอปนั้น อาศัยหลักการตีน้ำยางให้เกิดฟองอากาศและใช้สารก่อเจลอย่างช้า (delayed-action gelling agent) ที่มีชื่อว่า sodium silicofluoride ทำให้ฟองเซตตัว ก่อนนำไปอบวัลคาไนซ์

ขั้นตอนของเทคโนโลยีการผลิตแบบดันลอป ดังแสดงในรูป 2.5 ประกอบด้วย

1. เติมสารช่วยการเกิดฟอง (foaming agent) เช่น แอมโมเนียมโอเลเอต (ammonium oleate) ลงในน้ำยางคอมพาวด์เพื่อให้เกิดฟอง

2. จากนั้นเติมสารก่อเจล เช่น alkali-metal silicofluoride ลงไปอย่างช้าๆ
3. เทโฟมยางขณะที่ยังเหลวลงในแม่พิมพ์ที่ต้องการและปล่อยให้โฟมยางจับตัวที่อุณหภูมิห้อง (ขั้นตอนที่ 1)
4. วัลคาไนซ์โฟมยางที่ได้ เพื่อให้เกิดการคงรูป (ขั้นตอนที่ 2)
5. จากนั้นจึงดึงโฟมยางออกจากแม่พิมพ์ ล้าง บิดให้หมาด และนำไปอบให้แห้ง (ขั้นตอนที่ 3-5)
6. นำโฟมยางที่แห้งไปตัดตามขนาดที่ต้องการ (ขั้นตอนที่ 6)



รูปที่ 2.5 กระบวนการขั้นตอนการผลิตแบบต้นลอป <sup>[5]</sup>

ข้อดี

1. โฟมยางมีความหนาแน่นตั้งแต่ต่ำไปจนถึงสูง
2. สามารถควบคุมความนิ่ม-แข็งของโฟมยางได้ด้วยการควบคุมระดับการตีฟอง ถ้าตีฟองให้ฟูเป็นเวลานานจะได้ โฟมยางที่นิ่ม ความหนาแน่นต่ำ หากตีฟองเป็นเวลาสั้นๆ จะได้โฟมยางที่แข็ง มีความหนาแน่นสูง ถ้าโฟมยางมีความแข็งสูงก็จะมีความทนทานดี
3. ต้นทุนต่ำกว่าแบบทาลาเลย์
4. รอบของการผลิตผลิตภัณฑ์ใช้เวลาสั้นกว่า ซึ่งผลิตได้เร็วกว่าแบบทาลาเลย์

ข้อเสีย

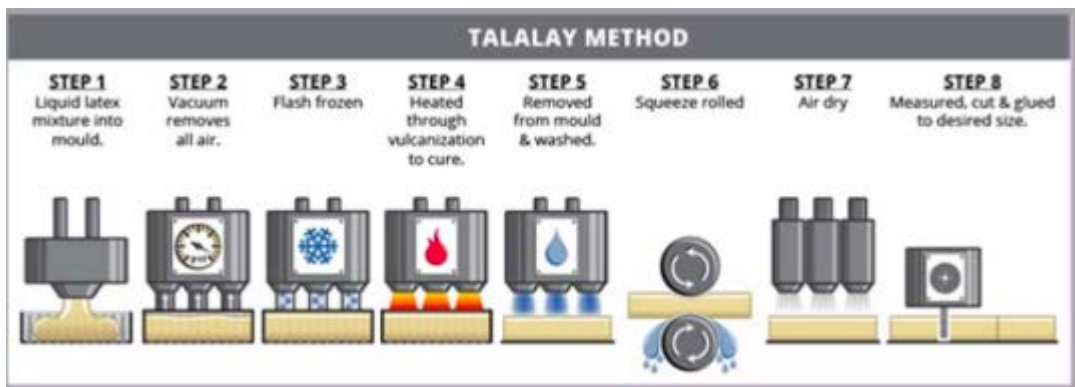
1. ขนาดของรูพูนที่แตกต่างกันทำให้ระดับความนิ่มของโฟมยางไม่สม่ำเสมอตลอดความหนาของโฟมยาง กล่าวคือ ด้านล่างมักจะแข็งกว่าด้านบน
2. โฟมยางมีความหนาแน่นสูงทำให้แข็งและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น

## 2. เทคโนโลยีการผลิตแบบทาลาเลย์ (Talalay process)

การผลิตโฟมยางธรรมชาติแบบทาลาเลย์ พัฒนามาจากกระบวนการดันลอป โดย J.A.A. and L Talalay นักวิจัยของบริษัท Dunlop Rubber Company ในช่วงปี ค.ศ.1950 โดยอาศัยหลักการดูดสุญญากาศให้เต็มแม่พิมพ์ ทำให้ฟองยางเช็ดตัวที่อุณหภูมิต่ำ และเติมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในฟองยางก่อนนำไปอบวัลคาไนซ์

ขั้นตอนของเทคโนโลยีการผลิตแบบทาลาเลย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ประกอบด้วย

1. ทำให้น้ำยางคอมพาวด์เกิดฟองแล้วเทใส่เบ้า (ขั้นตอนที่ 1)
2. ปิดเบ้าด้วยระบบสุญญากาศเพื่อให้ฟองเกิดขยายตัวหรือไหลได้เต็มเบ้า (ขั้นตอนที่ 2)
3. นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำประมาณ -30 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะใส่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปเพื่อให้โฟมยางเกิดเจลและคงรูป (ขั้นตอนที่ 3)
4. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100-120 องศาเซลเซียส (ขั้นตอนที่ 4)
5. จากนั้นจึงนำมาล้างและอบให้แห้ง (ขั้นตอนที่ 5-7)
6. นำโฟมยางที่แห้งไปตัดตามขนาดที่ต้องการ (ขั้นตอนที่ 8)



รูปที่ 2.6 การบวนการขั้นตอนการผลิตแบบทาลาเลย์ <sup>[5]</sup>



รูปที่ 2.7 ลักษณะโฟมยางจากวิธีดันลอปและวิธีทาลาเลย์ <sup>[5]</sup>

### ข้อดี

1. โฟมยางมีความหนาแน่นต่ำ ทำให้มีความนิ่ม
2. ขนาดของรูพรุนมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นโฟมยาง ทำให้มีความนิ่มสม่ำเสมอตลอดชิ้นและนิ่ม กว่าโฟมยางที่ได้จากกระบวนการดันลอป

### ข้อเสีย

1. ไม่สามารถทำให้โฟมยางมีความหนาแน่นสูงได้แบบดันลอป
2. ต้นทุนสูงกว่าแบบดันลอป
3. สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าแบบดันลอปประมาณ 5 เท่า (เนื่องจากการทำให้เป็นสูญญากาศ และการใช้อุณหภูมิต่ำ)
4. การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการทำให้ฟองยางแข็งตัวมีผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน
5. รอบของการผลิตผลิตภัณฑ์นานกว่าแบบดันลอปประมาณ 4 เท่า

## 2.5 สารเคมีสำหรับเตรียมโฟมยางธรรมชาติ<sup>[6]</sup>

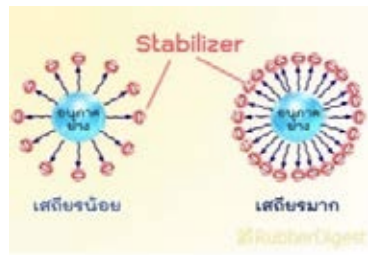
สารเคมีสำหรับยาง หมายถึง สารเคมีต่างๆ ที่ผสมลงไปในยาง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตามต้องการ ยางที่ผสมสารเคมีจะนำไปใช้งานได้ก็ต่อเมื่อสารเคมีเหล่านี้ได้ทำปฏิกิริยากับยางแล้ว โดยสามารถเร่งได้ด้วยการให้ความร้อน ยางที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยากับสารเคมี เรียกว่า ยางไม่คงรูป (green compound หรือ uncured compound) ส่วนยางที่สารเคมีทำปฏิกิริยากับยางแล้ว เรียกว่า ยางคงรูป (vulcanized rubber หรือ cured rubber) จุดประสงค์ของการเติมสารเคมีลงไปในยางเพื่อทำผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ได้แก่

1. เพื่อให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น เช่น ในขั้นตอนการผสมยางกับสารเคมี และการขึ้นรูปยาง เป็นต้น
2. เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตรงตามความต้องการ
3. เพื่อลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากสารเติมแต่งสมบัติยาง (fillers) บางชนิดมีราคาถูกกว่ายาง มาก จึงเติมลงไปเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณ

### 2.5.1 สารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer)<sup>[7]</sup>

สเตบิไลเซอร์ เป็นสารเคมีที่ใช้รักษาน้ำยางให้คงสภาพของอนุภาคเดี่ยวๆ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 สารเพิ่มความเสถียรของน้ำยางมีหลายชนิดด้วยกัน แนวทางการใช้ที่จะทำให้น้ำยางเกิดความเสถียร สามารถทำได้ 2 แนวทาง ดังนี้

1. เติมสารสเตบิไลเซอร์ เพื่อเพิ่มประจุลบให้กับอนุภาคยาง เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคของน้ำยางมากขึ้น เช่น การเติมต่างลงไปอนุภาคอย่างที่มีประจุ
2. เติมสารสเตบิไลเซอร์ ที่ทำให้เกิดชั้นป้องกันขึ้นในอนุภาคยาง สารชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็น highly hydrated material จัดเป็นสารพวกไม่มีประจุ



รูปที่ 2.8 ลักษณะของสเตบิลไลเซอร์ไปห่อหุ้มอนุภาคยาง<sup>[7]</sup>

ชนิดของสารสเตบิลไลเซอร์ สารสเตบิลไลเซอร์ที่ช่วยปรับความเสถียรของน้ำยางแบ่งออกเป็น 2 ระบบด้วยกัน คือ

#### 1.ระบบ Ionic

เป็นสารสเตบิลไลเซอร์ที่ละลายน้ำแล้วจะให้อนุมูล (ion) ในน้ำได้ ในระบบนี้จะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ ชนิดแอนไอออน (anionic) ซึ่งให้ประจุลบ ชนิดแคทไอออน (cationic) ให้ประจุบวก และชนิดแอมโฟเทอริก (amphoteric) ซึ่งให้ทั้งประจุบวกและประจุลบขึ้นกับค่า pH

1.1 สเตบิลไลเซอร์ชนิดแอนไอออน เป็นสารสเตบิลไลเซอร์ที่ไปเกาะบนอนุภาคยางและให้ประจุลบจะแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1.1.1 สบูกรดไขมัน (Fatty acid soap) ซึ่งเป็นสเตบิลไลเซอร์ชนิดคาร์บอกซิเลท (Carboxylate stabilizer) เช่น potassium laurate, potassium ricinoleates ส่วนที่แตกตัวเป็นประจุลบจะไปเกาะที่ผิวของอนุภาคอย่างอนุภาคอย่างจึงมีประจุลบเพิ่มขึ้น

1.1.2 สารอินทรีย์กลุ่มซัลเฟต (Organic Sulphates) เช่น sodium lauryl sulphate ประจุลบที่แตกตัวออกมาจะไปเกาะที่ผิวอนุภาคยาง

1.1.3 สารอินทรีย์กลุ่มซัลโฟเนต (Organic Sulphonate) เป็นสารสเตบิลไลเซอร์ที่ทำให้แรงตึงผิวของน้ำลดลง และป้องกันการรวมตัวของน้ำยางได้ดี

1.2 สเตบิลไลเซอร์ชนิดแคทไอออน เป็นสารสเตบิลไลเซอร์ที่ไปเกาะบนอนุภาคยาง และให้ประจุบวกมี 2 ประเภทคือ

1.2.1 เกลือของ primary, secondary, tertiary amine ได้แก่ n-dodecyl ammonium acetate เป็นต้น สารในกลุ่มนี้เกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนได้เฉพาะในสภาวะเป็นกรด

1.2.2 เกลือของ quaternary ammonium salts เป็นสารที่เกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนได้ในช่วง pH ที่กว้างมาก

โดยทั่วไปไม่นิยมใช้แคทไอออนสเตบิลไลเซอร์กับน้ำยางธรรมชาติ เพราะทำให้น้ำยางเสถียรภาพได้ง่ายเนื่องจากปกติน้ำยางธรรมชาติมีประจุเป็นลบ

1.3 สเตบิลไลเซอร์ชนิดแอมโฟเทอริก สารชนิดนี้มี 2 ขั้ว บวกหรือลบ ขึ้นอยู่กับ pH เช่น พวกรโพรตีนจากต้นยางที่ละลายน้ำได้ในน้ำยางธรรมชาติเด่นสเตบิลไลเซอร์หลัก

#### 2.ระบบ Non-Ionic

เป็นสเตบิลไลเซอร์ที่เกิดจากการควบแน่นระหว่าง polyethylene oxide กับ fatty acid หรือ fatty alcohol หรือ phenol หรืออาจเป็น block copolymer ของ propylene oxide กับ ethylene oxide

ส่วนของ polyethylene oxide เป็นส่วนที่ไม่มีประจุ น้ำยางมีความเสถียรโดยการดูโมเลกุลของน้ำเข้าไปล้อมรอบอนุภาคอย่างเป็นแบบ steric effect

น้ำยางที่ใช้สาร non-ionic stabilizer มีความเสถียรต่อกรด ต่าง และเกลือเป็นอย่างดี สเตบิลิเซอร์ในกลุ่มนี้บางครั้งจะตกตะกอนลงมาในน้ำยางเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อุณหภูมิทำให้เกิดการตกตะกอนนี้เรียกว่า “Cloud Point” เมื่อตกตะกอนลงมาจะทำให้ น้ำยางเสียความเสถียร

### 2.5.2 สารช่วยในการก่อฟอง<sup>[8]</sup>

สบู่ คือ สารประกอบประเภทเกลือของกรดไขมัน (fatty acid) ซึ่งเป็นกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid, RCOOH หรือ  $C_nH_{2n+1}COOH$ ) สำหรับกรดคาร์บอกซิลิกที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนในสายโซ่อัลคิล (alkyl chain, R- หรือ  $C_nH_{2n+1}$ ) มากกว่า 8 อะตอมขึ้นไป หรือกรดไขมันสายโซ่ยาว (higher chain fatty acids, HFA) เมื่อละลายน้ำ เกลือของกรดเหล่านี้ จะมีลักษณะโมเลกุลเป็นแบบแอมฟิฟิลิก (amphiphilic หรือ amphipathic molecule) กล่าวคือ โมเลกุลจะแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนที่มีขั้ว (polar part) สามารถละลายในน้ำได้เรียกว่าส่วนไฮโดรฟิลิก (hydrophilic part) ส่วนที่สองเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว (non-polar part) ละลายในน้ำได้ไม่ดีเรียกว่า ส่วนไฮโดรโฟบิก (hydrophobic part) ส่วนที่ไม่มีขั้วสามารถรวมกับส่วนไขมันต่าง ๆ ได้ ในขณะที่ส่วนที่มีขั้วจะเลือกอยู่ในส่วนที่มีขั้วด้วยกัน เช่นอยู่ในน้ำ

สบู่ถูกใช้เป็นสารเพิ่มความเสถียร และลดแรงตึงผิวในน้ำยางธรรมชาติเพื่อช่วยในการก่อฟองในกระบวนการตีฟองจากน้ำยางธรรมชาติ ในกลุ่มของเกลือโลหะอัลคาไลน์ของกรดไขมัน ตัวอย่างเช่นสบู่ที่มีสูตรโครงสร้างแบบ  $RCOO^-Na^+$  หรือ  $RCOO^-K^+$  จะละลายในน้ำได้ง่ายกว่าตัวของกรดไขมันเอง ทั้งนี้ เนื่องจากสมบัติของการเป็นโมเลกุลแบบแอมฟิฟิลิกรวมทั้งทำให้มีสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิวด้วยในเวลาเดียวกัน

### 2.5.3 สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agent)<sup>[9]</sup>

สารทำให้ยางคงรูป คือ สารที่ทำให้โมเลกุลยางเกิดการเชื่อมโยงกันเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติผ่านปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า ปฏิกิริยวัลคาไนซ์เซชัน ยางวัลคาไนซ์ที่ได้มีความยืดหยุ่นสูง และมีสมบัติที่เสถียรไม่เปลี่ยนแปลง ตามอุณหภูมิมากนัก การวัลคาไนซ์ยางที่ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบใหญ่ๆ ได้แก่ ระบบ กำมะถัน ระบบเพอร์ออกไซด์ และระบบที่ใช้สารเคมีอื่นๆ

1. กำมะถัน (sulfur) เป็นสารวัลคาไนซ์ที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมยางเพราะเป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ ปฏิกิริยวัลคาไนซ์สามารถเกิดขึ้นได้เร็ว และยางวัลคาไนซ์ที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี ระบบนี้นิยมใช้กับยางทุกชนิดที่มีพันธะคู่ อยู่ในโมเลกุล โดยเฉพาะยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ เช่น SBR, IR, BR, NBR เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ก็มีข้อจำกัดหลัก คือ ไม่สามารถใช้วัลคาไนซ์ยางที่ไม่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล เช่น ยางซิลิโคน หรือ ยาง EPM ได้

2. เพอร์ออกไซด์ (peroxide) แม้ว่าการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์จะสามารถใช้ได้กับยางส่วนใหญ่ (ทั้งที่มีพันธะคู่และไม่มีพันธะคู่ ในโมเลกุล) แต่เนื่องจากระบบนี้มีต้นทุนสูงกว่าระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน และยางวัลคาไนซ์ที่ได้มีสมบัติ ทั้งเชิงกลและเชิงพลวัตต่ำกว่ายางที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน ประกอบกับเพอร์ออกไซด์จัดเป็นสารเคมี ที่ค่อนข้างอันตราย การขนย้ายและการเก็บรักษาต้องทำด้วยความระมัดระวัง ดังนั้นการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ ออกไซด์นั้นจึงนิยมใช้กับยางที่ไม่มีพันธะคู่ในโมเลกุล (เช่น EPM, EVA, CPE เป็นต้น) หรือยางที่มีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลต่ำมากเท่านั้น (เช่น HNBR, EPDM) สำหรับยางอื่นๆ นิยมวัลคาไนซ์

ด้วยกำมะถันมากกว่า ยกเว้นกรณีที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทนต่อความร้อนได้ดีหรือมีค่าการเสีयरูปถาวรหลังกด (compression set) ต่ำเท่านั้น

3. สารเคมีอื่นๆ นอกจากระบบหลักๆ 2 ระบบดังที่กล่าวมาแล้ว ยังมีการนำสารวัลคาไนซ์ชนิดอื่นๆ มาใช้ในการคงรูปด้วย เช่นกัน แต่มีการใช้น้อยหรือใช้ในกรณีที่จำเป็น เช่น การใช้โลหะออกไซด์ (แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับซิงค์ออกไซด์) ในการคงรูปของยางคลอโรพรีน (chloroprene; CR) หรือการใช้สารประกอบในกลุ่มควิโนนไดออกไซม์นิยมใช้ในการวัลคาไนซ์ยาง IIR เป็นต้น

#### 2.5.4 สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป (Vulcanization accelerators) <sup>[6]</sup>

เป็นสารที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาการคงรูปหรือปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางให้เกิดเร็วขึ้น นอกจากนั้น ยังช่วยลดการใช้กำมะถันให้น้อยลงและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอยิ่งขึ้น สารเร่งที่ดี จะสามารถทำให้ยางคงรูปได้เร็ว มีความไวในการเร่งให้เกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลยางสูง ละลายได้ดี ยางมีความปลอดภัยในกระบวนการผลิต สามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสื่อม ใช้งานได้ใน ช่วงอุณหภูมิกว้าง เข้ากันได้ดีกับสารเคมีอื่นๆ ที่ใส่เข้าไปในยาง และไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ สารเร่งจัดเป็นกลุ่มตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีได้ 7 ประเภท คือ

1. กลุ่มกวานิดีน (guanidine) ได้แก่ ดีพีจี (diphenyl guanidine; DPG), ดีโอทีจี (di-o-tolyl guanidine; DOTG)
2. กลุ่มอัลดีไฮด์อะมีน (aldehyde amine) ได้แก่ บีเอ (butyraldehyde aniline; BA), เฮกซ์เอ็มที (hexamethylene tetramine; HMT)
3. กลุ่มซัลฟีนามิด (sulphenamide) ได้แก่ ซีบีเอส (n-cyclohexyl-2-benzthiazyl sulphenamide; CBS), ทีบีบีเอส (n-tert-butyl-2-benzthiazyl sulphenamide; TBBS)
4. กลุ่มไธอาโซล (thiazole) ได้แก่ เอ็มบีที (2-mercaptobenzthiazole; MBT), เอ็มบีทีเอส (2,2'-dibenzthiazyl disulphide; MBTS), แซดเอ็มบีที (zinc-2-mercaptobenzthiazole; ZMBT)
5. กลุ่มไธยูรัม (thiuram) ได้แก่ ทีเอ็มทีเอ็ม (tetramethyl thiuram monosulphide; TMTM), ทีเอ็มที หรือ ทีเอ็มทีดี (tetramethyl thiuram disulphide; TMT หรือ TMTD), ทีอีที หรือ ทีอีทีดี (tetraethyl thiuram disulphide; TET หรือ TETD)
6. กลุ่มไดไธโอคาร์บาเมต (dithiocarbamate) ได้แก่ แอมโมเนียมไดไธโอคาร์บาเมต (ammonium dithiocarbamate), โซเดียมไดไธโอคาร์บาเมต (sodium dithiocarbamate), ซิงค์ไดไธโอคาร์บาเมต (zinc dithiocarbamate)
7. กลุ่มแซนเทท (xanthate) เป็นสารเร่งที่มีปฏิกิริยาเร็วมาก นิยมใช้ในน้ำยาง

#### 2.5.5 สารกระตุ้น (Activator) <sup>[6]</sup>

สารกระตุ้น คือ สารที่ช่วยเสริมให้สารตัวเร่งทำงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สารกระตุ้นอาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ สารอนินทรีย์เป็นสารกระตุ้นที่สำคัญและนิยมใช้ คือ ซิงค์ออกไซด์ สารกระตุ้นที่

เป็นสารอินทรีย์ที่สำคัญคือพวกกรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก สารกระตุ้นมีสมบัติที่สำคัญคือ เมื่อใส่เข้าไปในยาง ปริมาณเล็กน้อยจะทำให้ยางคงรูปเร็วขึ้น ชนิดของสารกระตุ้นมีดังนี้

1. สารกระตุ้นที่เป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic compounds) ส่วนใหญ่เป็นสารพวกออกไซด์ของโลหะ เช่น ออกไซด์ของสังกะสี (zinc oxide) ออกไซด์ของแมกนีเซียม (magnesium oxide) อัลคาไลคาร์บอเนต (alkali carbonate) และไฮดรอกไซด์ (hydroxide) ออกไซด์ของสังกะสีเป็นสารกระตุ้นการเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้กันมากที่สุด

2. สารกระตุ้นที่เป็นสารอินทรีย์ (organic acid) มักใช้ร่วมกับออกไซด์ของโลหะซึ่งมักเป็นกรดที่มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง เช่น stearic, oleic, myristic, น้ำมันจากปาล์ม

3. สารประกอบอัลคาไลน์ (Alkaline substance) ซึ่งสารประกอบอัลคาไลน์นี้จะเพิ่มความเป็นกรดต่าง (pH) ของสารประกอบยาง เช่นสารประกอบพวกแอมโมเนีย (ammonia) เอมีน (amine) เกลือของเอมีนกับกรดอ่อน

### 2.5.6 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Protective agent)<sup>[6]</sup>

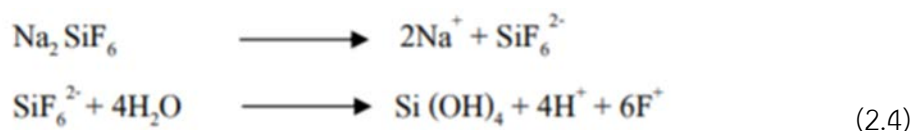
ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อเป็นการป้องกันยางเสื่อมสภาพ เพิ่มความทนทานของยางให้ดีขึ้นไปจากเดิม จึงจำเป็นต้องมีสารป้องกันยางเสื่อมสภาพ โดยใช้สารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) หรือสารแอนติโอโซนแนนท์ (antiozonant) ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิด จะทำให้อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยางยาวขึ้น

สารแอนติออกซิแดนท์ เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยางเนื่องมาจากการที่ออกซิเจน (oxygen, O<sub>2</sub>) เข้าทำปฏิกิริยากับยาง ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ได้แก่ สารประกอบอะมีน (Amine) หรืออนุพันธ์ของอะมีน เป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูง แต่เมื่อใช้จะทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีสีคล้ำ เปลี่ยนสี หรือตกสี นิยมใช้กับยางที่มีสีดำ เช่น อัลคิลเลทเต็ด ไดฟีนิลเอมีน (alkylated diphenylamines), อัลคิลเลทเต็ดพาราไดฟีนิลเอมีน (alkylated p-phenylenediamines) และสารประกอบฟีนอล (phenol) หรืออนุพันธ์ของฟีนอล (substituted phenols) ใช้กับยางสีทัวไปที่ไม่ใช่สีดำ ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางตกสี และไม่เปลี่ยนสียาง เช่น อนุพันธ์ของฟีนอล, บิสฟีนอล (bisphenol)

สารแอนติโอโซนแนนท์ (antiozonant) เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยางเนื่องจากโอโซน (ozone, O<sub>3</sub>) ได้แก่ พาราฟีนิลีนไดเอมีน (para-phenylen diamine) และขี้ผึ้งพาราฟิน (paraffin wax)

### 2.5.7 สารก่อเจลสำหรับโฟมยาง (Gelling agent)<sup>[10]</sup>

สารก่อเจลที่นิยมในการผลิตโฟมยางคือ โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ โดยมักจะเตรียมให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอยในตัวกลางที่เป็นน้ำ ซึ่งมีค่า pH ประมาณ 3.3 ณ อุณหภูมิห้อง โดยปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นจะช่วยควบคุมเวลาในการเกิดเจลและช่วยในการจับตัวของฟองยางให้แน่นขึ้นและยึดติดกันได้ดี อย่างไรก็ตามการเกิดซิลิโคนไฮดรอกไซด์ (silicon hydroxide) ดังแสดงในสมการที่ 2.4 ข้างล่าง ซึ่งจะดูดซับสารพวกสบู่จากอนุภาคของน้ำยาง อาจทำให้เกิดความไม่เสถียรของการเกิดเจลได้





## 2.6 การดูดซับเสียง (Sound Absorption)

### 2.6.1 เสียง <sup>[11]</sup>

เสียงเป็นคลื่นกล หรือพลังงานรูปหนึ่งที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ ทำให้ตัวกลาง เช่น อากาศ เกิดการอัดและขยายของโมเลกุลอากาศและเกิดเป็นคลื่นเสียงขึ้น ทำให้มนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่เกิดจากการสั่นของวัตถุ นอกจากอากาศแล้วนั้นยังมีสสารอื่นๆ ที่อยู่ในสถานะก๊าซ ของเหลว และของแข็ง สามารถเป็นตัวกลางให้เสียงเดินทางได้ แต่เสียงไม่สามารถเดินทางผ่านสุญญากาศได้ มนุษย์สามารถได้ยินเสียงในคลื่นความถี่ 20-20,000 Hz โดยเสียงที่มีความถี่ต่างหรือสูงกว่านี้ มนุษย์ไม่สามารถรับรู้ได้

### 2.6.2 มลภาวะทางเสียง

มลภาวะทางเสียงเกิดจากการที่มนุษย์ได้ยินเสียงดังเป็นระยะเวลานานส่งผลให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยระดับของความรุนแรงของเสียง ขึ้นอยู่กับ สภาพลักษณะของเสียงและระดับความดังของเสียง ที่มนุษย์สัมผัส ประกอบกับระยะเวลาในการสัมผัสเสียงนั้นๆ <sup>[11]</sup>

เสียงรบกวน (noise) หมายถึง เสียงซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของมนุษย์ ถึงแม้เสียงรบกวนกับเสียง (sound) เกิดมาจากปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงความดันของอากาศหรือตัวกลาง (เกิดจากการอัดและขยาย ของโมเลกุลตัวกลาง) เช่นเดียวกันก็ตาม แต่สิ่งที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน คือ เสียงรบกวนมีผลในด้านการรับรู้เสียงที่ต้องการหรือความเจ็บ และเป็นเสียงที่เป็นอันตรายต่อการได้ยิน ความดังของเสียง ขึ้นอยู่กับ ความสูงหรือแอมพลิจูด (amplitude) ของคลื่นเสียง ส่วนความถี่หรือความถี่ของเสียง ขึ้นอยู่กับ ความถี่ของเสียง (frequency of Sound) <sup>[11]</sup>

ความถี่ของเสียง (frequency, f) หมายถึง จำนวนรอบของการเปลี่ยนแปลงความดันการอัดและขยายตัวของตัวกลางต่อหน่วยเวลา เช่น จำนวนรอบของการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศต่อวินาที หน่วยของความถี่จึงเป็นรอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์ (hertz ; Hz) <sup>[12]</sup>

แอมพลิจูดของเสียง (amplitude, A) หมายถึง ขนาดการเปลี่ยนแปลงของช่วงความดันของ ตัวกลาง ในแนวตั้งระหว่างจุดสูงสุดและต่ำสุด <sup>[12]</sup>

เดซิเบลเอ (decibel A, dBA, dB(A)) เป็นหน่วยวัดระดับความดังของเสียงหรือความดันของเสียง (LP) ที่สอดคล้องกับหูมนุษย์ปกติสามารถตรวจจับได้ วัดได้จากเครื่องวัดระดับเสียง <sup>[12]</sup>

### 2.6.3 ทฤษฎีการดูดซับเสียง

1. การดูดซับเสียง (Sound Absorption) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงผลรวมของพลังงานเสียงในแนวโน้มนที่ลดน้อยลง เมื่อผ่านตัวกลางใดๆ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า เมื่อคลื่นเสียงสัมผัสกับพื้นผิวของวัสดุ เสียงส่วนหนึ่งถูกสะท้อน ส่วนหนึ่งถูกส่งผ่านออกไป และส่วนที่เหลือถูกดูดซับไว้โดยตัวของวัสดุเอง ดังนั้นการดูดซับเสียง คือ ความสามารถของวัสดุในการดูดซับพลังงานเสียงและเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานความร้อน <sup>[11-12]</sup>

2. ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound absorption coefficient,  $\alpha$ ) คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานเสียงที่ถูกดูดซับ (E) และพลังงานเสียงที่ตกกระทบบนพื้นผิววัสดุ ( $E_0$ ) สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเป็นตัวชี้วัดหลักที่ใช้ในการประเมินสมบัติการดูดซับเสียงของวัสดุ การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเป็นดังแสดงในสมการที่ 2.5 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงชนิดเดียวกันอาจมีค่า แตกต่าง

กัน ขึ้นอยู่กับ มุมระหว่างเสียงและพื้นผิววัสดุ และความถี่ของเสียงที่มาตกกระทบ ถ้าเสียงที่ตกกระทบถูกดูดซับ 65% และมีเสียงที่ถูกสะท้อนออกมา 35 % มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของ วัสดุมีค่าเท่ากับ 0.65 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ค่าตัวเลขยิ่งมาก หมายความว่าวัสดุนั้นมีสมบัติการดูดซับเสียงที่มากขึ้น<sup>[13]</sup>

$$\alpha = \frac{E}{E_0} \quad (2.5)$$

โดยที่  $\alpha$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

$E$  คือ พลังงานเสียงที่ถูกดูดซับ

$E_0$  คือ พลังงานเสียงที่ตกกระทบบนพื้นผิววัสดุ

วัสดุดูดซับเสียงเป็นวัสดุที่ช่วยลดพลังงานของคลื่นเสียงที่ตกกระทบทำให้แอมพลิจูดของเสียง สะท้อนลดลงวัสดุที่สามารถดูดซับเสียงได้โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นเส้นใย (fibrous) หรือรูพรุน (porous) ตัวอย่างวัสดุดังกล่าว เช่น เส้นใยแก้ว ใยหิน และวัสดุโฟม เป็นต้น วัสดุดูดซับเสียงทำหน้าที่กั้นคลื่นเสียง และลดพลังงานของคลื่นเสียงโดยการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ทางกลของอนุภาคอากาศให้กลายเป็นความร้อนที่มีพลังงานต่ำ หลักการทำงานนี้มีส่วนช่วยในการป้องกันการสะสมของเสียงในพื้นที่ปิดและลดปริมาณการสะท้อนของเสียงลงด้วย<sup>[13]</sup>

#### 2.6.4 ตัวแปรที่มีผลต่อการดูดซับเสียงของวัสดุ<sup>[13]</sup>

1. ความเป็นรูพรุน (porosity) สำหรับวัสดุที่ไม่มีการกักทอของเส้นใยจะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง เพิ่มขึ้นไปตามแนวการแพร่ของเสียง รูปร่าง ขนาด และจำนวนของรูพรุนล้วนเป็นปัจจัยที่มีผล

2. ความคดเคี้ยวของรูพรุน (tortuosity) เป็นการวัดเส้นทางในการเดินทางของเสียงในแนวตามยาวตลอดรูพรุนเปรียบเทียบกับความหนาของชิ้นงานตัวอย่าง ดังนั้นความคดเคี้ยวของรูพรุนจึงถูกใช้ใน การอธิบายอิทธิพลของโครงสร้างภายในที่มีสมบัติการดูดซับเสียง ความคดเคี้ยวของรูพรุนมีผลในการกำหนดพฤติกรรมของวัสดุดูดซับเสียงที่มีรูพรุน ณ ความถี่สูง

3. ความหนาของชิ้นงาน ความหนาของชิ้นงานวัสดุที่มีรูพรุนมีผลเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อการดูดซับเสียง ช่วงความถี่ต่างๆ ในขณะที่ความถี่สูงความหนาของชิ้นงานไม่มีผลกระทบต่อ การดูดซับเสียง

4. การกั้นขวางของพื้นผิว (surface impedance) การกั้นขวางเสียงของพื้นผิวมีมากขึ้นเมื่อความต้านทานของผิวมากขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของเสียงสะท้อนที่ผิวมีมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับเสียงลดลง นอกจากนี้การกั้นขวางเสียงยังขึ้นอยู่กับความถี่

5. ความหนาแน่นของชิ้นงาน วัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนาแน่นต่ำสามารถดูดซับเสียงช่วงความถี่ต่ำ (500 Hz) ได้ดี ในขณะที่วัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนาแน่นมากดูดซับเสียงช่วงความถี่สูง (2000 Hz) ได้ดี

6. การสร้างช่องว่างอากาศ การสร้างช่องว่างอากาศด้านหลังวัสดุดูดซับเสียงช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับเสียง โดยเฉพาะ ณ ช่วงความถี่ปานกลางและสูง

## 2.7 ฉนวนกันความร้อน

คือ วัสดุที่สามารถสกัดความร้อนไม่ให้ส่งผ่านไปยังส่วนอื่น ๆ โดยมีลักษณะเบา ประกอบด้วย ฟองอากาศเล็ก ๆ จำนวนมากซึ่งมีคุณสมบัติสกัดกั้นความร้อนให้อยู่ในฟองอากาศ จึงไม่นำพาความร้อนไปยังส่วนอื่น ๆ ซึ่งในด้านการตกแต่งบ้าน นิยมนำมาใช้ติดตั้งไว้บนโครงหลังคาบ้าน เพื่อลดความร้อนแรงของแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่งผ่านเข้ามาในบ้าน

### 2.7.1 หลักการถ่ายเทความร้อนของฉนวนความร้อน<sup>[14]</sup>

การถ่ายเทความร้อน โดยธรรมชาติจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่นเดียวกับน้ำที่ไหลจากที่สูงไปยังที่ต่ำ วิธีการถ่ายเทความร้อน แบ่งออกเป็น 3 วิธีหลักๆ คือ การนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) และการแผ่รังสีความร้อน (thermal radiation)

1. การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่งที่อยู่ติดกันไปเรื่อยๆ จากอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ ยกตัวอย่างเช่น หากเราจับทัพพีในหม้อหุงข้าว ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านทัพพีมายังมือของเรา ทำให้เรารู้สึกร้อน โลหะเป็นตัวนำความร้อนที่ดี อโลหะและอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่เลว

2. การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสสาร ซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวและแก๊ส ส่วนของแข็งมีการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนและการแผ่รังสีเท่านั้น การพาความร้อนส่วนมากมักเกิดขึ้นในบรรยากาศและมหาสมุทร รวมทั้งแมกมาและโลหะเหลวภายในโลก และแก๊สร้อนในดวงอาทิตย์

3. การแผ่รังสี (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงานดังเช่นการนำความร้อนและการพาความร้อน การแผ่รังสีจึงสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอากาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า  $-273^{\circ}\text{C}$  หรือ  $0\text{ K}$  (เคลวิน) ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้น วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาวตามกฎของวิน

### 2.7.2 คุณสมบัติของฉนวนความร้อนที่ดี

ฉนวนความร้อนจะต้องเลือกใช้ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์กับงาน และตามชนิดของฉนวน ซึ่งคุณสมบัติที่ฉนวนนั้นควรมีน้ำหนักเบาและมีความหนาแน่นน้อยมีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำกล่าวคือยอมให้ความร้อนผ่านตัวฉนวนได้น้อยมากในบางชนิดจะต้องมีความคงทนต่อแรงดึงแรงอัดได้ดีมีอัตราการดูดซับความชื้นที่ต่ำมา สามารถต้านการกัดกร่อนได้ดี โดยเฉพาะทางเคมีมีความคงตัวสูง เปลี่ยนรูปได้ยากต้องทนต่อการติดไฟได้ดีใช้กับอุณหภูมิที่กว้างติดตั้งเพื่อใช้งานที่สะดวกและมีราคาถูกและสามารถหาซื้อได้ง่าย

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุเพ็ญรัตน์ สุวรรณรักษา และคณะ<sup>[15]</sup> ศึกษาการประยุกต์ใช้งานด้านเสียงของยางธรรมชาติ: แผ่นดูดซับเสียง โดยศึกษาอิทธิพลของสารลดแรงตึงผิว ขนาดรูพรุน ความพรุน ชนิดของสารตัวเติมและรูปแบบของแผ่นดูดซับเสียง จากการทดลองพบว่า ยางธรรมชาติสามารถทำเป็นแผ่นดูดซับเสียงได้ โดยเฉพาะที่ความถี่สูง แผ่นดูดซับเสียงจากยางธรรมชาติสามารถดูดซับเสียงได้ดี การใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม การเพิ่มความหนาและพื้นที่ผิวสัมผัสของแผ่นดูดซับเสียง สามารถเพิ่มความสามารถในการดูดซับเสียงได้

Sobral, M. และคณะ<sup>[16]</sup> ได้ทำการศึกษาผลของขนาดอนุภาคยางที่มีต่อสมบัติการรับแรงดัด และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง โดยการใช้ตัวประสานประเภทพอลิเมอร์เป็นตัวช่วยยึดเกาะอนุภาคยาง พบว่าขนาดอนุภาคยางที่เล็กมีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติการรับแรงดัด และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงให้มีความเพิ่มขึ้น

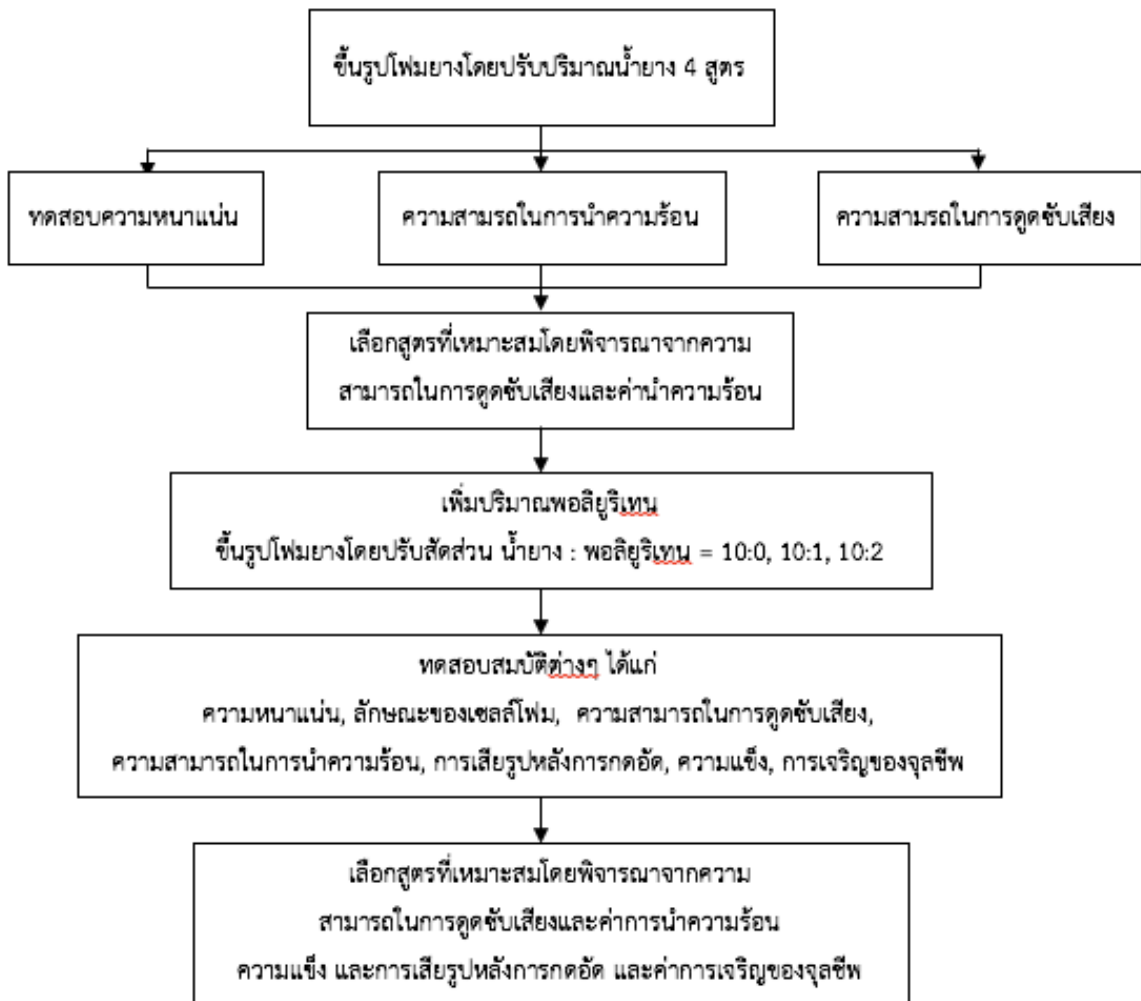
Najib, N.N. และคณะ<sup>[17]</sup> ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิการเกิดโฟมที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในยางโฟมธรรมชาติ โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) เป็นสารเพิ่มฟองและทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิการเกิดโฟมที่ 140-160 องศาเซลเซียส พบว่า การใช้อุณหภูมิการเกิดโฟมที่ 140 องศาเซลเซียส หรือ ณ อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้ได้ชิ้นงานที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่สูงกว่าที่อุณหภูมิการเกิดโฟมสูง (150 และ 160 องศาเซลเซียส) เนื่องจาก ณ อุณหภูมิการเกิดโฟมต่ำ ขนาดเซลล์ของโฟมที่มีขนาดเล็กมีส่วนช่วยเสริมการดูดซับเสียง เพราะขนาดรูที่เล็กช่วยกระจายเสียงได้ดีกว่ารูที่มีขนาดใหญ่ และอุณหภูมิการเกิดโฟมต่ำมีผลทำให้เนื้อยางบริเวณผนังของเซลล์โฟมมีความหนาแน่นมากขึ้นซึ่งมีผลทำให้วัสดุมีความเป็นออสติกมากขึ้นช่วยทำให้การดูดซับเสียงได้มากขึ้น

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

##### 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะพัฒนาสูตรโพนจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติและพอลิยูรีเทนที่สามารถดูดซับเสียงและมีสมบัติเป็นฉนวนความร้อน เพื่อที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุตกแต่งอาคาร โดยภาพรวมแผนการดำเนินการวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

## 3.2 วัตถุดิบ สารเคมีและอุปกรณ์

### 3.2.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1. น้ำยางธรรมชาติชั้นชนิดที่มีปริมาณแอมโมเนียสูง (concentrated latex 60% drc, HA latex)
2. น้ำสบู่โปแตสเซียมโอเลต (potassium oleate) ความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ทำหน้าเป็นสารทำให้เกิดฟอง
3. สารแขวนลอยกำมะถัน (sulfur) ความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมโยงหรือสารคงรูปยาง (crosslinking agent)
4. สารแขวนลอยซิงค์ไดเอทิลไทโอคาร์บาเมต (zinc diethyldithiocarbamate dispersion, ZDEC) ความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก ทำหน้าที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยาคงรูป (accelerator)
5. สารแขวนลอยซิงค์เมอร์แคปโทเบนโซไทอาโซล (zinc mercaptobenzothiazole dispersion, ZMBT) ความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาคงรูป (accelerator)
6. สารแขวนลอยวิงสแตย์แอล (wingstay L dispersion) ความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก ทำหน้าที่ป้องกันการเสื่อมสภาพของยางธรรมชาติ
7. สารแขวนลอยซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide dispersion, ZnO) ความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยา (activator) ในการทำปฏิกิริยาคิวริง
8. สารแขวนลอยไดฟีนิลกวาดินีน (diphenyl guanidine dispersion, DPG) ความเข้มข้น 33% โดยน้ำหนัก ทำหน้าที่เป็นสารเสริมการก่อเจล
9. สารแขวนลอยโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (sodium silicofluoride dispersion, SSF) ความเข้มข้น 12.5% โดยน้ำหนัก ทำหน้าที่เป็นสารก่อเจลหลัก
10. สารตั้งต้นสำหรับสังเคราะห์พอลิยูรีเทนโพลีเมอริต์
11. สารละลายกรดเทอริก (teric acid) ความเข้มข้น 50% ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มเสถียรภาพน้ำยาง

### 3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมโพนียงและขึ้นรูปโพนียง

1. เครื่องผสมอาหาร (food blender) ขนาดความจุ 30 ลิตร ยี่ห้อ SAKURA รุ่น B10GF ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องผสมอาหารความจุ 30 ลิตร

2. เครื่องผสมอาหาร (food blender) ขนาดความจุ 3 ลิตร ยี่ห้อ otto รุ่น HM-274 ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องผสมอาหารความจุ 3 ลิตร

3. ตู้อบลมร้อน (hot oven) ชนิดใช้ไฟฟ้า ยี่ห้อ memmert ดังแสดงในรูปที่ 3.4



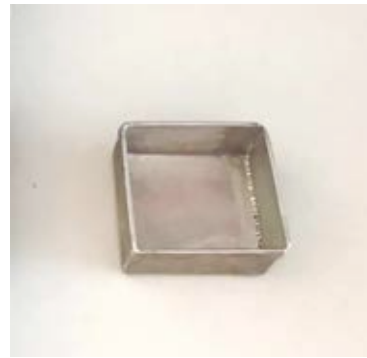
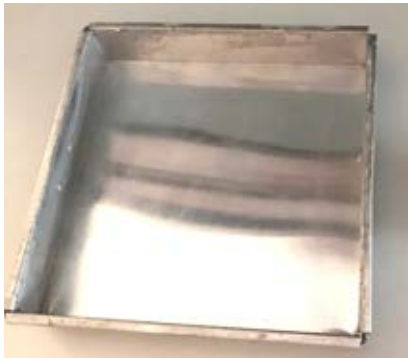
รูปที่ 3.4 ตู้อบลมร้อน

4. เตาตั้งไอน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เตาตั้งไอน้ำ

5. แม่พิมพ์อลูมิเนียมขนาด  $38 \times 38 \times 5$  และ  $5 \times 5 \times 2$  cm<sup>3</sup> ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และ 3.7



รูปที่ 3.6 แม่พิมพ์อลูมิเนียมขนาด  $38 \times 38 \times 5$  cm<sup>3</sup>      รูปที่ 3.7 แม่พิมพ์อลูมิเนียมขนาด  $5 \times 5 \times 2$  cm<sup>3</sup>

6. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ TANITA รุ่น KD-321 ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง



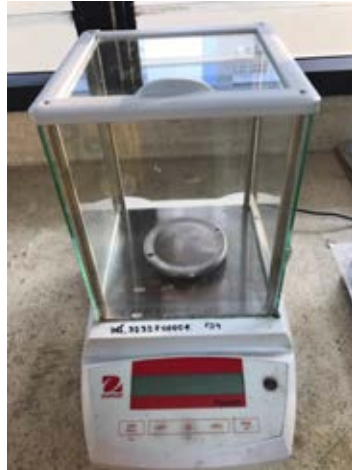
7. ไม้พายปาดโฟม ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ไม้พายปาดโฟม

### 3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมบัติต่างๆ ของโฟมยาง

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น PA314 สำหรับวิเคราะห์ความหนาแน่นของโฟม ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

2. เครื่อง two-fixed microphone impedance tube สำหรับวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับเสียงของโฟม ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่อง two-fixed microphone impedance tube

3. เครื่องวัดความแข็งชนิด shore A สำหรับวิเคราะห์ความแข็งของโฟม ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เครื่องวัดความแข็งชนิด shore A

4. เครื่อง universal testing machine ยี่ห้อ LLOYD รุ่น Tinius Olsen สำหรับวิเคราะห์ความต้านทานต่อการกดอัดของโฟม ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เครื่อง universal testing machine

5. จุฬาสมาร์ทเลนส์ (chula smart lens) สำหรับวิเคราะห์สีฐานวิทยาของโฟม ดังในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 จุฬาสมาร์ทเลนส์

6. เครื่อง heat flow meter ยี่ห้อ EKO Instrument รุ่น HC-074 สำหรับวิเคราะห์การนำความร้อนของโฟม  
ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 เครื่อง heat flow meter

### 3.3 ขั้นตอนการเตรียมโพลียาง

#### 3.3.1 โพลียางธรรมชาติ

สูตรสารประกอบโพลียางธรรมชาติ แสดงในตารางที่ 3.1 โดยมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1. เติมน้ำมันฟอง K-oleate ลงในน้ำยาง ซึ่งปริมาณที่เติมจะแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.1 คนของผสมทั้งหมดอย่างต่อเนื่อง 5 นาที
2. เติม กำมะถัน แซตติวี่ซี แซตเอ็มบีที และวีสเตย์แอล และคนส่วนผสมอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 นาที
3. เติมซิงค์ออกไซด์และดีพีจี และทำการคนส่วนผสมอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 3 นาที
4. เติมเอสเอสเอฟและทำการคนส่วนผสมเป็นเวลา 2 นาที อย่างต่อเนื่องจนของผสมที่ได้เริ่มแข็งตัว
5. ทำการเทลงในถาดแม่พิมพ์ จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
6. นำโพลีที่ได้ใส่เตาหนึ่งไอน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาให้นำโพลีที่เตรียมได้ออกจากแม่พิมพ์และวางพักทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิห้อง
7. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาแช่น้ำที่ 70 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดสารเคมีที่ตกค้าง
8. อบโพลียางให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน

ตารางที่ 3.1 สูตรโพลียางธรรมชาติ

ความเข้มข้น (%)	วัตถุดิบและสารเคมี	Phr	สูตร 1 (กรัม)	สูตร 2 (กรัม)	สูตร 3 (กรัม)	สูตร 4 (กรัม)
60	น้ำยางข้น	100	700	800	900	1000
10	โปแตสเซียมโอเลเอต	1.5	0	0	0	0
50	กำมะถัน	2	62.87	71.86	80.84	89.82
50	แซตติวี่ซี	1	8.39	19.16	21.55	23.95
50	แซตเอ็มบีที	1	8.39	9.58	10.78	11.98
50	วีสเตย์แอล	1	8.39	9.58	10.78	11.98
50	ซิงค์ออกไซด์	5	41.92	47.90	53.89	59.88
33	ดีพีจี	1	6.30	7.20	8.10	9.00
	เอสเอสเอฟ	1	33.53	38.30	43.11	47.90

#### 3.3.2 โพลียางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน

สูตรโพลียางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน ประกอบไปด้วย 3 สูตร

โดยสูตรที่ 1 NRPU100 แสดงสัดส่วนของน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนเป็น 10:0

โดยสูตรที่ 2 NRPU101 แสดงสัดส่วนของน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนเป็น 10:1

โดยสูตรที่ 3 NRPU102 แสดงสัดส่วนของน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนเป็น 10:2

โดยสารเคมีที่ใช้ในแต่ละสูตร แสดงในตารางที่ 3.2 โดยมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1. เติมสารเพิ่มฟอง K-oleate พอลิยูรีเทนคอมโพเน้น B และกรดเทอริก ลงในน้ำยาง คนของผสมทั้งหมดอย่างต่อเนื่อง 3 นาที
2. เติม กำมะถัน แซตดีอีซี แซตเอ็มบีที วิงสเตย์แอล และซิงค์ออกไซด์และคนส่วนผสมอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 3 นาที
3. เติมพอลิยูรีเทนคอมโพเน้น A คนส่วนผสมให้พอลิยูรีเทนกระจายตัว
4. เติมดีพีจีและเอสเอสเอฟ และทำการคนส่วนผสมอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 นาที อย่างต่อเนื่องจนของผสมที่ได้เริ่มแข็งตัว
5. ทำการเทลงในถาดแม่พิมพ์ จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
6. นำโฟมที่ได้ใส่เตาตั้งไอน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาให้นำโฟมที่เตรียมได้ออกจากแม่พิมพ์และวางพักทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิห้อง
7. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาแช่น้ำที่ 70 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดสารเคมีที่ตกค้าง
8. อบโฟมให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน

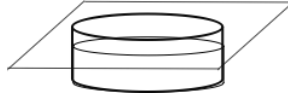
ตารางที่ 3.2 สูตรโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน

ความเข้มข้น (%)	วัตถุดิบและสารเคมี	Phr	สูตรที่ 1 NRPU100 (กรัม)	สูตรที่ 2 NRPU101 (กรัม)	สูตรที่ 3 NRPU102 (กรัม)
60	น้ำยางชั้น	100	500	500	500
-	พอลิยูรีเทน (คอมโพเน้น A:B = 1:2)		0 0	30 10:20	60 20:40
10	โปแตสเซียมโอเลียด	1.5	44.91	44.91	44.91
50	กำมะถัน	2	11.98	11.98	11.98
50	แซตดีอีซี	1	5.99	5.99	5.99
50	แซตเอ็มบีที	1	5.99	5.99	5.99
50	วิงสเตย์แอล	1	5.99	5.99	5.99
50	ซิงค์ออกไซด์	5	29.94	29.94	29.94
33	ดีพีจี	0.3	2.70	2.70	2.70
12.5	เอสเอสเอฟ	1.2	28.74	28.74	28.74
50	กรดเทอริก	-	0	40	50

### 3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของโฟม

#### 3.4.1 การวิเคราะห์รูปร่างและขนาดของเซลล์โฟม

รูปร่างและขนาดของเซลล์ของโฟมที่ได้ สามารถตรวจสอบโดยการถ่ายภาพด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์ สมาร์ทเลนส์ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ซึ่งก่อนการถ่ายภาพรูปร่างและขนาดของเซลล์ของชิ้นงานโฟม ต้องทำการตัดผิวหน้าของชิ้นงานในแนวขนานกับผิวหน้าดังแสดงใน รูปที่ 3.16 เพื่อเปิดผิวหน้าให้เห็นลักษณะของเซลล์ โฟมด้านใน



รูปที่ 3.16 แนวการตัดชิ้นงานตัวอย่างเพื่อตรวจสอบขนาดเซลล์โฟม

#### 3.4.2 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของโฟม

การหาค่าความหนาแน่นของชิ้นงานโฟมสามารถทำได้โดยนำชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ขนาด  $5 \times 5 \times 2 \text{ cm}^3$  มาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิทัล จากนั้นทำการวัดขนาดของชิ้นงาน ค่าความหนาแน่นของ โฟมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (3.1)$$

โดยที่  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของชิ้นงานทดสอบมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ( $\text{g/cm}^3$ )

$M$  คือ น้ำหนักชิ้นทดสอบหน่วยเป็นกรัม (g)

$V$  คือ ปริมาตรของชิ้นงานทดสอบหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร ( $\text{cm}^3$ )

#### 3.4.3 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

การวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient) สามารถวัดได้อย่างอิงตามมาตรฐาน ISO10534-2 โดยทำการวัดด้วยเครื่อง two-fixed microphone impedance tube ดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยช่วงความถี่ที่ใช้ในการทดสอบอยู่ระหว่าง 100 ถึง 6400 Hz ในเครื่อง two-fixed microphone impedance tube จะมีแหล่งกำเนิดเสียงจะอยู่ที่ปลายท่อด้านหนึ่ง ในขณะที่ชิ้นงานทดสอบจะถูกติดตั้งอยู่ที่ปลายอีกด้านหนึ่งของท่อ ชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร จะถูกใช้ในการทดสอบ สมบัติการดูดซับเสียงที่ช่วงความถี่ 0-1600 Hz ขณะที่ชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ถูกใช้ในการทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงที่ช่วงความถี่ 1600-6400 Hz

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสามารถทำได้โดยใช้สมการที่ 3.2

$$\text{Sound absorption coefficient} = \frac{\text{sound intensity absorb}}{\text{sound intensity incident}} \quad (3.2)$$

#### 3.4.4 การทดสอบความแข็ง

นำแผ่นโฟมที่มีความหนาอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร มาทำการวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งชนิดชอร์ A (durometer ชนิด shore A) ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ตามมาตรฐาน ASTM D2240 โดยวัดความแข็งของชิ้นงานที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน 5 จุด และอ่านค่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 20 วินาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

#### 3.4.5 การทดสอบความสามารถในการนำความร้อน

การทดสอบหาค่าสภาพนำความร้อนของวัสดุด้วย heat flow meter ตามมาตรฐาน ASTM C518 ใช้หลักการของการถ่ายเทความร้อนคือ พลังงานความร้อนจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ชิ้นทดสอบมีขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ยาว 0.6-8 เซนติเมตร โดยชิ้นทดสอบจะถูกวางอยู่ระหว่างแผ่นความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศา และแผ่นความเย็นอุณหภูมิ 20 องศา เครื่องจะวัดแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากฟลักซ์ที่ติดอยู่กับผิวของแผ่นอุณหภูมิทั้งสอง โดยการวัดการไหลของความร้อนและอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างแผ่นทั้งสอง เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (steady-state condition)

#### 3.4.6 การทดสอบค่าการเสียรูปหลังการกดอัด

การทดสอบการยุบตัวอันเนื่องมาจากแรงอัดของชิ้นงานตัวอย่าง ในการทดสอบทดสอบทั้งการกดค้าง (hold) และกดเป็นรอบ (cycle) ขนาดของชิ้นงาน กว้าง 5x5x2 เซนติเมตร โดยทำการวัดความสูงของชิ้นงานตัวอย่างก่อนการทดสอบ ( $t_0$ ) แล้วนำชิ้นงานตัวอย่างขนาดไว้วางไว้ในเครื่อง universal testing machine โหมด compression set โดยอัดให้ชิ้นงานยุบตัวลงจากเดิมตามที่กำหนด 25% วัดความหนาของชิ้นงานหลังใช้แรงอัด ( $t_s$ )

#### 3.4.7 การทดสอบการเจริญเติบโตของจุลชีพ

การตรวจวัดปริมาณของเชื้อราและแบคทีเรียของโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนสามารถหาได้จากการนับจำนวนโคโลนี โดยการวางชิ้นงานตัวอย่างในงานเพาะเชื้อ การนับจำนวนโคโลนีเมื่อผ่านไป 24 ชั่วโมง และ 7 วัน เทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน โดยเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง เกณฑ์มาตรฐาน คือ มีจำนวนโคโลนีที่นับได้น้อยกว่า 30 โคโลนี และเมื่อผ่านไป 7 วัน เกณฑ์มาตรฐาน คือ มีจำนวนโคโลนีที่นับได้น้อยกว่า 300 โคโลนี

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

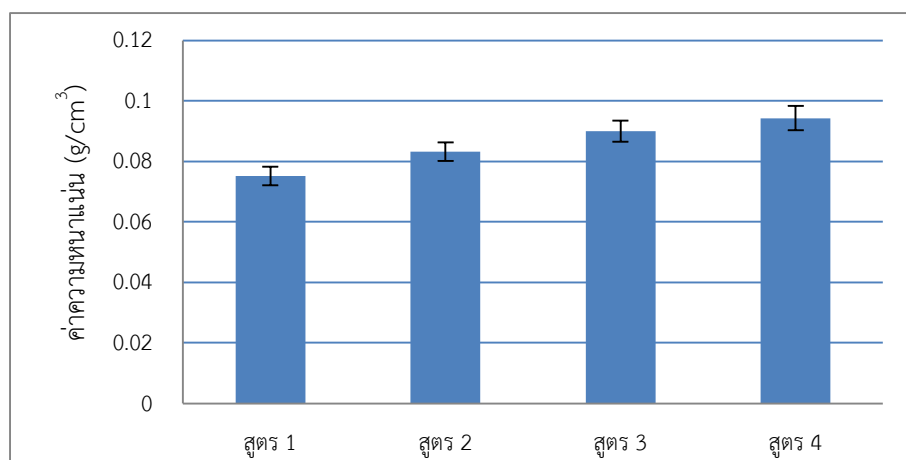
งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์โพนจากน้ำยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน เพื่อให้ได้โพนที่มีสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติการกันความร้อน สมบัติการดูดซับเสียง และการวัดปริมาณของเชื้อราและแบคทีเรีย เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นวัสดุตกแต่งอาคาร โดยผลการทดลองและอภิปรายผลจะแบ่งพิจารณาเป็นสองส่วนได้แก่ โพนยางจากน้ำยางธรรมชาติ และโพนยางจากน้ำยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่อัตราส่วนแตกต่างกัน โดยแบ่งพิจารณาผลการทดลองได้ดังนี้

#### 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของโพนยางธรรมชาติกับค่าการนำความร้อนและค่าการดูดซับเสียง

ในส่วนแรกนี้จะทำการเตรียมโพนยางธรรมชาติจากน้ำยางด้วยกระบวนการบดดันลอปให้มีความหนาแน่นต่างๆ กัน ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของน้ำยางธรรมชาติที่ใช้ให้ต่างกันไป ตั้งแต่ 700, 800 900 และ 1000 กรัม จากนั้นทำการทดสอบค่าการนำความร้อนและการดูดซับเสียงของโพนยางธรรมชาติที่ได้

##### 4.1.1 ค่าความหนาแน่นของโพนยางจากน้ำยางธรรมชาติ

รูปที่ 4.1 ค่าความหนาแน่นของโพนยางจากน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งสามารถหาได้จากกาคำนวณระหว่างน้ำหนัก (กรัม) ต่อปริมาตรของชิ้นงาน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) จากผลการทดลองจะเห็นว่า สูตรที่ 1 ที่ใช้ปริมาณน้ำยาง 700 กรัม จะให้ความหนาแน่นที่ต่ำที่สุดคือ 0.0752 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณน้ำยางขึ้นเป็น 800 900 และ 1000 กรัม ตามลำดับ โพนยางที่ได้จะมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเป็น 0.0832, 0.0899 และ 0.0943 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้สืบเนื่องมาจาก ในขั้นตอนการตีโพนนั้นได้มีการกำหนดปริมาตรของโพนให้คงที่ทุกครั้ง เมื่อทำการเพิ่มปริมาณของน้ำยางธรรมชาติ จึงส่งผลให้น้ำหนักของชิ้นทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาคำนวณค่าความหนาแน่นจึงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ

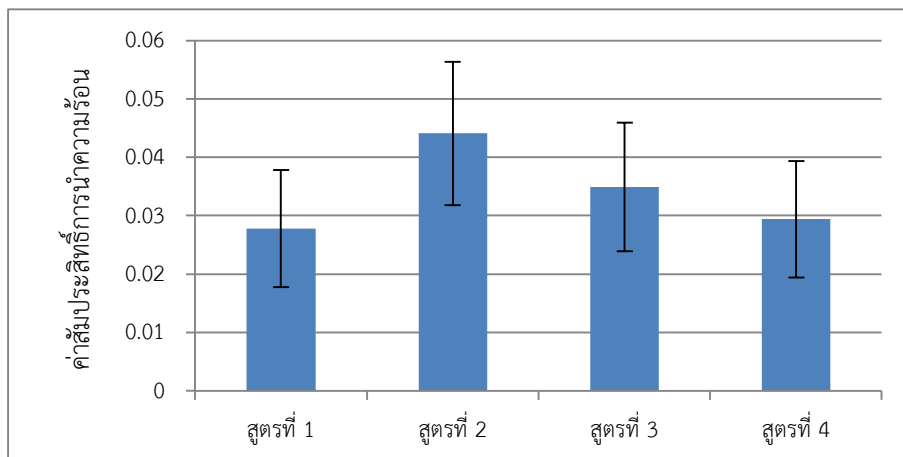


รูปที่ 4.1 ค่าความหนาแน่นของโพนยางจากน้ำยางธรรมชาติเมื่อใช้ปริมาณน้ำยางต่าง ๆ กัน (สูตรที่ 1 = น้ำยาง 700 g สูตรที่ 2 = น้ำยาง 800 g สูตรที่ 3 = น้ำยาง 900 g และสูตรที่ 4 = น้ำยาง 1000 g)



#### 4.1.2 ค่าการนำความร้อนของโพนียงธรรมชาติ

รูปที่ 4.2 แสดงค่าการนำความร้อนของโพนียงธรรมชาติที่มีความหนาแน่นต่าง ๆ กัน ซึ่งค่าการนำความร้อนจะบ่งชี้ถึงความสามารถในการเป็นฉนวนกันความร้อนของโพนียง โดยค่าการนำความร้อนสามารถหาได้จากเครื่อง Heat flow meter โดยศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร ซึ่งหากค่าการนำความร้อนมีค่าต่ำแสดงว่าชิ้นงานสามารถเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี จากผลการทดลองจะพบว่า สูตรที่ 1 ซึ่งมีความหนาแน่น 0.0752 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำที่สุด นั่นคือ 0.0278 และเมื่อโพนียงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเป็น 0.0832, 0.0899 และ 0.0943 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จะได้ค่าการนำความร้อนเป็น 0.0441, 0.0349 และ 0.0294 ตามลำดับ การที่วัสดุประเภทโพนียงนำความร้อนได้ไม่ดี ก็เนื่องมาจากอากาศที่อยู่ภายในโครงสร้างทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อน ดังนั้นสาเหตุที่สูตรที่ 1 ซึ่งเป็นโพนียงที่มีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุด มีการนำความร้อนได้ต่ำที่สุด ก็เนื่องมาจากมีปริมาณอากาศภายในโครงสร้างมาก แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาทางวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าเมื่อค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าการนำความร้อนนั้นเพิ่มขึ้นตาม เนื่องจากอากาศที่ทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนนั้นลดลง แต่จากการทดลองนี้พบยังไม่พบความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่นกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ชัดเจน ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นในช่วงต้นเมื่อโพนียงมีความหนาแน่นมากขึ้น แต่จะเริ่มลดลงหากโพนียงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอีก

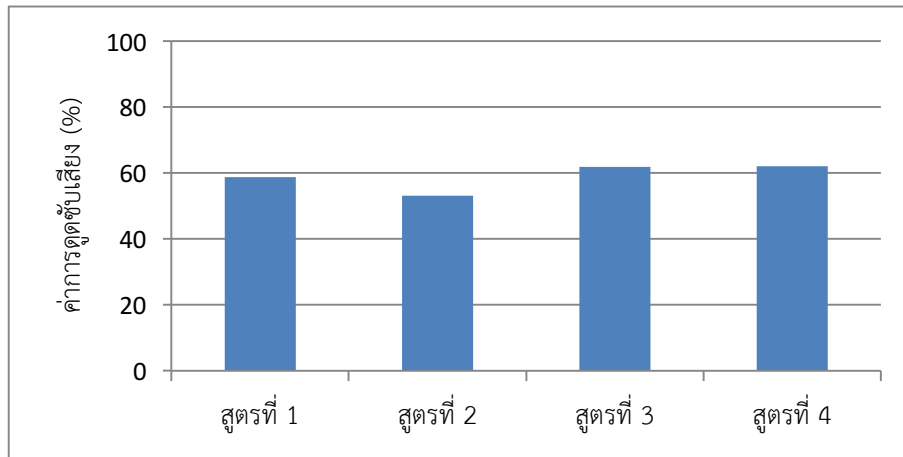


รูปที่ 4.2 ค่าการนำความร้อนของโพนียงจากน้ำยางธรรมชาติที่มีความหนาแน่นต่าง ๆ กัน (สูตรที่ 1 = 0.0752 สูตรที่ 2 = 0.0832 สูตรที่ 3 = 0.0899 และสูตรที่ 4 = 0.0943 g/cm<sup>3</sup>)

#### 4.1.3 ค่าดูดซับเสียงของโพนียงธรรมชาติ

รูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดซับเสียงของโพนียงธรรมชาติที่มีความหนาแน่นต่าง ๆ กัน ซึ่งค่าดังกล่าวจะบ่งชี้ถึงความสามารถในการลดเสียงรบกวน (noise reduction coefficient, NRC) โดยสามารถหาได้จากเครื่อง two-fixed microphone impedance tube โดยศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร ซึ่งหากค่าการดูดซับเสียงมีค่าสูง แสดงว่าชิ้นงานมีความสามารถในการลดเสียงรบกวนสูง จากผลการทดลองจะพบว่า สูตรที่ 4 ซึ่งมีความหนาแน่น 0.0943 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จะให้ค่าการดูดซับเสียงที่สูงที่สุด นั่นคือ 62.083 % ซึ่งคิดเป็นค่า NRC ได้ 0.6208 และเมื่อค่าความหนาแน่นของโพนียงลดลง จะให้ค่าการดูดซับเสียง

เป็น 61.922 %, 53.037 % และ 58.811 % ตามลำดับ และค่า NCR 0.6192, 0.5304 และ 0.5881 ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อเสียงเดินทางไปกระทบชิ้นงาน เสียงจะเดินทางจากเฟสของเนื้อเยื่อไปสู่เฟสของอากาศ ภายในรูปทรงของชิ้นงานทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปภายในเนื้อชิ้นงาน ชิ้นงานที่มีปริมาณของเนื้อเยื่อมาก จะทำให้เกิดการสูญเสียของพลังงานได้มาก ส่งผลให้สูตรที่ 4 ซึ่งเป็นสูตรที่ได้โฝมยางที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด มีค่าการดูดซับเสียงที่ดีที่สุด และหากสังเกตค่าการดูดซับเสียงจะพบว่าค่าการดูดซับเสียงจะลดลงตามเมื่อความหนาแน่นของโฝมยางลดลง



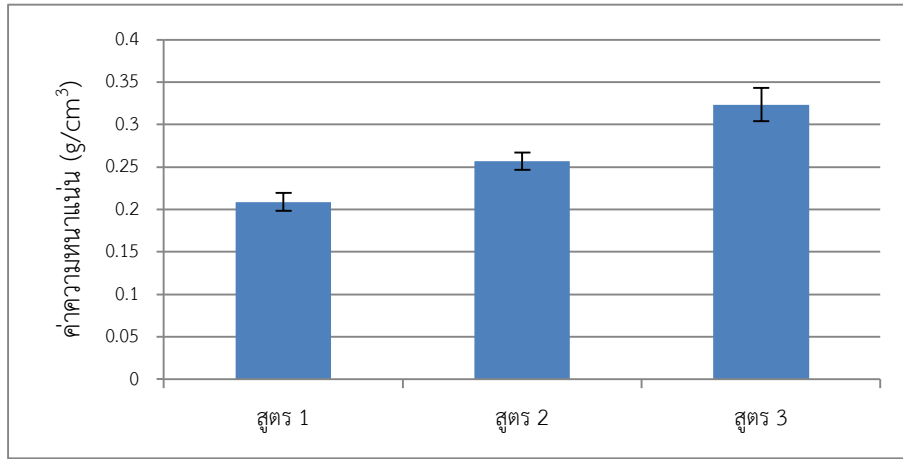
รูปที่ 4.3 ค่าการดูดซับเสียงของโฝมยางจากน้ำยางธรรมชาติที่มีความหนาแน่นต่างกัน (สูตรที่ 1 = 0.0752 สูตรที่ 2 = 0.0832 สูตรที่ 3 = 0.0899 และสูตรที่ 4 = 0.0943  $\text{g/cm}^3$ )

## 4.2 สมบัติทางกายภาพของโฝมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน

ในส่วนที่สองนี้จะทำการเติมพอลิยูรีเทนเพื่อทำการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของโฝมยาง และศึกษาผลของการเติมพอลิยูรีเทนที่อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทน 10:0, 10:1 และ 10:2 ต่อค่าความหนาแน่น ลักษณะของเซลล์โฝม ค่าความต้านทานต่อการเสียรูปหลังการกดอัด ค่าความแข็ง ค่าการนำความร้อน ค่าการดูดซับเสียง และปริมาณการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อรา ของโฝมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน

### 4.2.1 ค่าความหนาแน่นของโฝมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน

รูปที่ 4.4 แสดงค่าความหนาแน่นของโฝมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน ซึ่งสามารถหาได้จากการคำนวณระหว่างน้ำหนัก (กรัม) ต่อปริมาตรของชิ้นงาน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) จากผลการทดลองจะเห็นว่า สูตรที่ 1 ที่ไม่ได้มีการทำการเติมพอลิยูรีเทนลงไปนั้นจะมีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุดคือ 0.2089 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเมื่อทำการเติมพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 10:1 และ 10:2 ค่าความหนาแน่นที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.2569 และ 0.3233 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากในขั้นตอนการตีโฝมนั้นได้มีการกำหนดปริมาตรของโฝมให้คงที่ทุกครั้งที่การตี เมื่อทำการเติมพอลิยูรีเทนซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่ายางลงไป จึงส่งผลให้น้ำหนักของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาคำนวณค่าความหนาแน่นจึงทำให้ค่าความหนาแน่นที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของพอลิยูรีเทนที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.4 ค่าความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างกัน (สูตรที่ 1 = 10:0 สูตรที่ 2 = 10:1 สูตรที่ 3 = 10:2)

#### 4.2.2 ลักษณะของเซลล์โฟมของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของเซลล์โฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนจากที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กัน จากการใช้จุฬาสมาธิเลนส์ ที่กำลังขยาย 20 เท่า โดยรูปที่ 4.4 (ก) จะเป็นลักษณะของเซลล์โฟมยางธรรมชาติที่ไม่มีพอลิยูรีเทน (10:0) ส่วนรูปที่ 4.4 (ข) และ (ค) จะเป็นลักษณะของเซลล์โฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนจากที่อัตราส่วน 10:1 และ 10:2 ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบลักษณะของเซลล์โฟมที่ได้จะเห็นว่าสูตรที่อัตราส่วน 10:0 นั้นจะมีขนาดของเซลล์โฟมที่เล็กที่สุด และเมื่อมีการเติมพอลิยูรีเทนขนาดของเซลล์โฟมจะใหญ่ขึ้นตามปริมาณพอลิยูรีเทนที่เติม โดยจากรูปที่ 4.4 (ค) จะเห็นได้ว่ามีขนาดของเซลล์โฟมที่ใหญ่ที่สุด ทั้งนี้เหตุผลที่เป็นเช่นนี้ก็อาจเนื่องมาจากพอลิยูรีเทนที่ทำการเติมลงไปนั้นในระหว่างการขึ้นรูปพอลิยูรีเทนจะเกิดการขยายตัว การขยายตัวนี้จะส่งผลให้ขนาดของเซลล์โฟมเกิดการขยายตัวตามไปด้วย เมื่อปริมาณของพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้นการขยายตัวก็จะเพิ่มขึ้นตามเช่นเดียวกัน



(ก) สูตรที่ 1



(ข) สูตรที่ 2

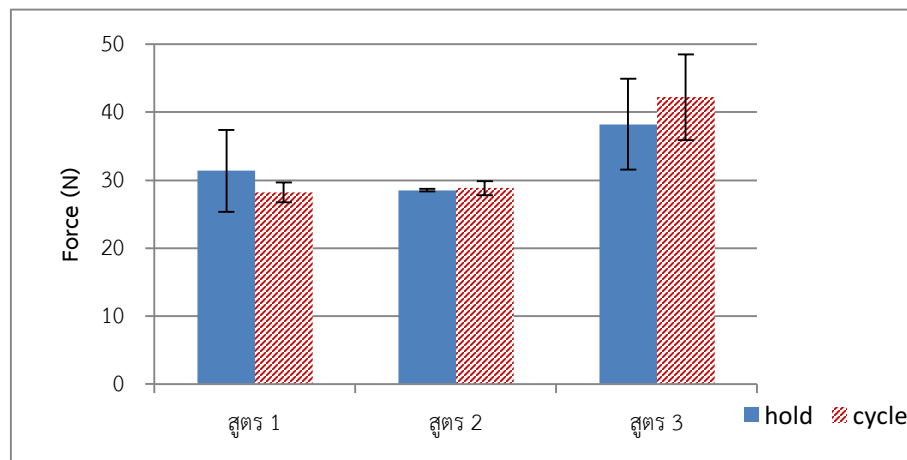


(ค) สูตรที่ 3

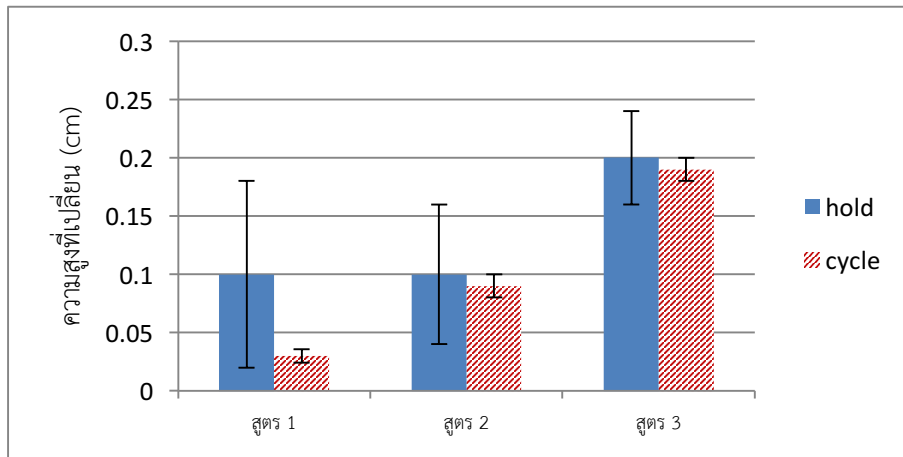
รูปที่ 4.5 ลักษณะของเซลล์โฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กัน (สูตรที่ 1 = 10:0 สูตรที่ 2 = 10:1 สูตรที่ 3 = 10:2)

#### 4.2.3 ค่าความต้านทานต่อการเสียรูปหลังการกดอัดของโพลียูรีเทนผสมพอลิยูรีเทน

รูปที่ 4.6 แสดงค่าความต้านทานต่อการเสียรูปหลังการกดอัดของโพลียูรีเทนผสมพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กัน ซึ่งค่าความต้านทานต่อการเสียรูปหลังการกดอัดจะบ่งชี้ได้ถึง ความแข็งแรงของชิ้นงาน โดยสามารถหาได้จากเครื่อง Universal testing machine โดยรูปแบบการทดสอบแบบ Compression set หากค่าแรงที่ใช้ในการกดชิ้นงานมีค่าสูงจะแสดงว่าชิ้นงานมีความแข็งแรงสูง จากผลการ ทดลองในรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าการเติมพอลิยูรีเทนในอัตราส่วน 10:2 ส่งผลให้ค่าแรงที่ใช้ในการกดชิ้นงานมี ค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดทั้งในการทดสอบแบบกดค้าง (hold) และแบบกดเป็นรอบ (cycle) ซึ่งให้ค่าแรงกด 38.218 และ 42.233 นิวตัน ตามลำดับ อีกทั้งหากพิจารณารูปที่ 4.7 ซึ่งแสดงถึงค่าการเสียสภาพหลังการกดอัด จาก การวัดความสูงของชิ้นงานที่เปลี่ยนไป (เช่นติเมตร) หากค่าที่วัดได้มีค่ามาก จะแสดงว่าชิ้นงานมีการสูญเสีย สภาพความยืดหยุ่นสูง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการเติมพอลิยูรีเทนในอัตราส่วน 10:2 ส่งผลให้ค่าการ เสียสภาพหลังการกดอัดมีค่าสูงที่สุดทั้งในการทดสอบแบบกดค้าง (hold) และแบบกดเป็นรอบ (cycle) ซึ่งให้ ค่า 0.2 และ 0.19 เซนติเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากพอลิยูรีเทนที่ทำการผสมลงไปนั้นจะเป็นส่วนที่ ช่วยให้ได้เพิ่มความแข็งแรงขึ้นภายในชิ้นงานอันเป็นผลมาจากคุณสมบัติของตัวพอลิยูรีเทนเอง เมื่อทำการเติมพอลิ ยูรีเทนในปริมาณที่มากขึ้น จึงส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นทำให้แรงที่ใช้ในการกดมีค่าเพิ่มขึ้น และ จากการที่ชิ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นนี้จะส่งผลให้สภาพยืดหยุ่นของชิ้นงานนั้นมีค่าลดลงทำให้ค่าการเสีย สภาพหลังการกดอัดมีค่าเพิ่มขึ้น



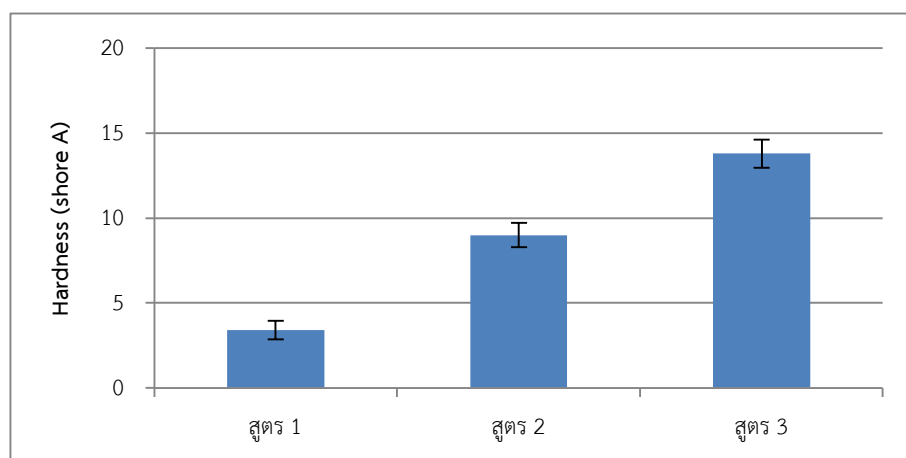
รูปที่ 4.6 ค่าความต้านทานต่อการเสียรูปหลังการกดอัดของโพลียูรีเทนผสมพอลิยูรีเทนที่สัดส่วน ยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กัน (สูตรที่ 1 = 10:0 สูตรที่ 2 = 10:1 สูตรที่ 3 = 10:2)



รูปที่ 4.7 ค่าการเสียสภาพหลังการกดอัดของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กัน (สูตรที่ 1 = 10:0 สูตรที่ 2 = 10:1 สูตรที่ 3 = 10:2)

#### 4.2.4 ค่าความแข็งของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน

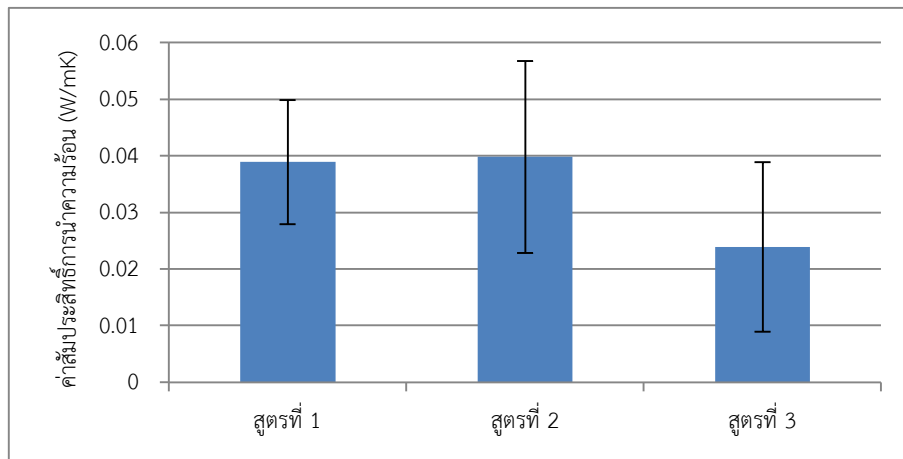
ค่าความแข็งของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนสัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กันสามารถหาได้จากการใช้เครื่องวัดความแข็ง ชนิด Shore A โดยค่าที่ได้จะแสดงในรูปที่ 4.8 จากผลการทดลองที่ได้พบว่า โฟมยางธรรมชาติที่ไม่มีการเติมพอลิยูรีเทน (สัดส่วน 10:0) จะมีค่าความแข็งอยู่ที่ประมาณ 3.4 shore A เมื่อทำการเติมพอลิยูรีเทนในอัตราส่วน 10:1 และ 10:2 ค่าความแข็งของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่ได้จะมีค่าประมาณ 9.0 และ 13.8 shore A ตามลำดับ ผลที่ได้บ่งชี้ว่า พอลิยูรีเทนที่ทำการเติมลงไปนั้นมีผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานอย่างเห็นได้ชัดเจน ยิ่งมีการเติมพอลิยูรีเทนในปริมาณมากขึ้นเท่าไร ค่าความแข็งของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนก็จะยิ่งมากขึ้น ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องไปกับค่าความต้านทานต่อการเสียรูปหลังการกดอัดในหัวข้อ 4.2.3



รูปที่ 4.8 ค่าความแข็งของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กัน (สูตรที่ 1 = 10:0 สูตรที่ 2 = 10:1 สูตรที่ 3 = 10:2)

#### 4.2.5 ค่าการนำความร้อนของโพนยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน

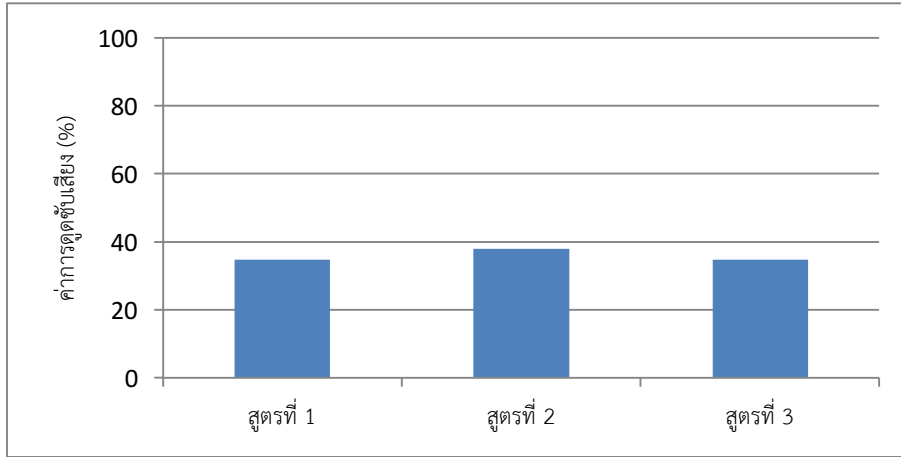
รูปที่ 4.9 แสดงค่าการนำความร้อนของโพนยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กัน โดยค่าที่วัดได้นั้นจะบ่งชี้ถึงความสามารถในการเป็นฉนวนกันความร้อนของโพนยาง จากผลการทดลองจะพบว่า สูตรที่ 3 ซึ่งเป็นสูตรที่มีสัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนเป็น 10:2 จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำที่สุด นั่นคือ 0.0239 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากเมื่อทำการพิจารณาลักษณะของเซลล์โพนจากหัวข้อ 4.2.2 จะพบว่าสูตร 10:2 นั้นจะมีขนาดของเซลล์โพนที่ใหญ่ที่สุดทำให้มีความสามารถในการกักเก็บอากาศภายในโพรงในปริมาณที่มาก ซึ่งอากาศที่อยู่ภายในนี้จะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อน เมื่อมีปริมาณของอากาศมากจึงทำให้การนำความร้อนเป็นไปได้ไม่ดี ส่งผลให้ได้ค่าการนำความร้อนที่ต่ำที่สุด



รูปที่ 4.9 ค่าการนำความร้อนของโพนยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กัน (สูตรที่ 1 = 10:0 สูตรที่ 2 = 10:1 สูตรที่ 3 = 10:2)

#### 4.2.6 ค่าการดูดซับเสียงของโพนยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน

รูปที่ 4.10 แสดงค่าการดูดซับเสียงของโพนยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กัน ซึ่งค่าที่วัดได้จะบ่งชี้ถึงความสามารถในการลดเสียงรบกวน (Noise Reduction Coefficient, NRC) จากการทดลองจะพบว่า ซึ่งเป็นสูตรที่มีสัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนเป็น 10:1 จะให้ค่าการดูดซับเสียงที่สูงที่สุดนั่นคือ 37.958 % ซึ่งคิดเป็นค่า NRC ได้ 0.3796 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปัจจัยด้านความหนาแน่นของชิ้นงานอย่างที่กล่าวไว้ในส่วนแรก ทำให้สูตรที่ 2 มีค่าการดูดซับเสียงที่สูงกว่าสูตรที่ 1 ซึ่งให้ค่าการดูดซับเสียง 34.669 % และเมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบสูตรที่ 2 กับสูตรที่ 3 จะพบว่าทั้งที่ค่าความหนาแน่นของสูตรที่ 3 มีค่ามากกว่าแต่กลับให้ค่าการดูดซับเสียงที่ต่ำกว่านั่นคือ 34.755 % ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยอื่น โดยนอกจากปัจจัยด้านความหนาแน่นแล้วอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าการดูดซับเสียงก็คือ การสั่นที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงาน ชิ้นงานที่มีความยืดหยุ่นนั้นเมื่อคลื่นเสียงเดินทางผ่านจะทำให้เกิดการสั่นขึ้นภายใน การสั่นที่เกิดขึ้นนี้จะช่วยให้พลังงานของคลื่นเสียงถูกดูดซับไป ซึ่งจากหัวข้อ 4.2.3 นั้นจะเห็นว่าสูตรที่ 3 จะมีการเสียสภาพยืดหยุ่นไปมากที่สุด ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดการดูดซับพลังงานเกิดขึ้นได้น้อย ส่งผลให้ค่าการดูดซับเสียงมีค่าลดลง



รูปที่ 4.10 ค่าการดูดซับเสียงของโพนยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กัน (สูตรที่ 1 = 10:0 สูตรที่ 2 =10:1 สูตรที่ 3 = 10:2)

#### 4.2.7 ค่าการตรวจวัดปริมาณของเชื้อราและแบคทีเรียของโพนยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการตรวจวัดปริมาณของเชื้อราและแบคทีเรียของโพนยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กัน โดยสามารถหาได้จากการนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นในชุดทดสอบ โดยศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร โดยจากการทดลองจะพบว่า โพนยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่อัตราส่วน 10:2 จะมีจำนวนของโคโลนีน้อยที่สุดคือ ที่เวลา 24 ชั่วโมง นับได้ 3 โคโลนี และที่ 7 วัน นับได้ 289 โคโลนี เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากโดยปกติแล้วยางธรรมชาติจะเป็นแหล่งสะสมความชื้นและอาหารของเชื้อราและแบคทีเรีย เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และ ลิพิด ที่ตกค้างจากกระบวนการผลิต แต่เมื่อมีการแทนที่ของยางธรรมชาติด้วยพอลิยูรีเทน เนื้อยางนั้นจะมีสัดส่วนที่ลดน้อยลงจึงเห็นได้ว่าเมื่อทำการเติมพอลิยูรีเทนในสัดส่วนที่มากขึ้นการสะสมของเชื้อราและแบคทีเรียจะมีปริมาณที่ลดลง

ตารางที่ 4.1 การตรวจวัดปริมาณของเชื้อราและแบคทีเรียของโพนยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กัน (สูตรที่ 1 = 10:0 สูตรที่ 2 =10:1 สูตรที่ 3 = 10:2)

สูตร	TOTAL PLATE COUNT AGAR	
	24 hours (colony counter)	7 days (colony counter)
สูตรที่ 1	10	>300
สูตรที่ 2	7	>300
สูตรที่ 3	3	289

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนเพื่อใช้เป็นวัสดุตกแต่งอาคารที่มีความแข็งแรงและมีสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนและวัสดุดูดซับเสียงด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบดัดลอป โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งจะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติต่อค่าการนำความร้อนและค่าการดูดซับเสียง และส่วนที่สองจะศึกษาผลของการเติมพอลิยูรีเทนที่อัตราส่วนต่างๆ (10:0, 10:1 และ 10:2) ต่อสมบัติทางกายภาพ ค่าการนำความร้อน ค่าการดูดซับเสียง และปริมาณของเชื้อราและแบคทีเรียของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน

ในส่วนที่หนึ่งพบว่า สมบัติในการดูดซับเสียงและการเป็นฉนวนกันความร้อนของโฟมยางธรรมชาติขึ้นกับความหนาแน่นของโฟมยางเป็นสำคัญ โดยสมบัติการดูดซับเสียงนั้นมีค่าแปรผันตามค่าความหนาแน่นของโฟมยาง ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า โฟมยางที่มีความหนาแน่นสูงจะมีสมบัติการดูดซับเสียงที่ดี และเมื่อพิจารณาสมบัติการนำความร้อนกับความหนาแน่นจะพบว่า โฟมยางที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุดนั้นจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่าโฟมยางที่มีความหนาแน่นต่ำสามารถเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี

ในส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลของการเติมพอลิยูรีเทนลงในโฟมยางธรรมชาติที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กัน โดยพบว่าความหนาแน่นของโฟมยางจะแปรผันตามปริมาณของพอลิยูรีเทนที่เติม กล่าวคือ เมื่อปริมาณของพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้นความหนาแน่นของโฟมยางก็จะเพิ่มขึ้นตาม เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะเซลล์โฟมระหว่างสูตรที่ไม่มีการเติมพอลิยูรีเทนกับสูตรที่ทำการเติมพอลิยูรีเทน พบว่าสูตรที่ทำการเติมพอลิยูรีเทนจะมีขนาดของเซลล์โฟมที่ใหญ่กว่าและแนวโน้มของขนาดเซลล์โฟมจะใหญ่ขึ้นเมื่อมีการเติมพอลิยูรีเทนที่เพิ่มขึ้น สำหรับค่าความต้านทานต่อการเสีรูปหลังการกดอัดและความแข็งของโฟม ยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทน พบว่าปริมาณของพอลิยูรีเทนนั้นมีส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความต้านทานต่อการเสีรูปหลังการกดอัดและความแข็งของโฟม โดยเมื่อปริมาณของพอลิยูรีเทนเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ชิ้นงานโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนมีความต้านทานต่อการเสีรูปดียิ่งขึ้นและมีความแข็งที่มากขึ้นเช่นเดียวกัน แต่โฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนจะมีสภาพยืดหยุ่นลดลง ซึ่งสามารถพิจารณาค่าการเสียสภาพหลังการกดอัด เมื่อพิจารณาสมบัติการดูดซับเสียงและสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อน พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบสูตรโฟมยางทั้งสามสูตร สูตรที่มีสัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนที่ 10:1 จะให้ค่าการดูดซับเสียงที่สูงที่สุด แต่สูตรที่มีสัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนที่ 10:2 จะเป็นสูตรที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำที่สุด และเมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบวัดปริมาณการเจริญของเชื้อราและแบคทีเรียพบว่า สูตรที่มีสัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทน 10:2 เป็นเพียงสูตรเดียวที่มีค่าการเจริญของเชื้อราและแบคทีเรียผ่านเกณฑ์การทดสอบ



ในกรณีนี้ที่ต้องการนำโคมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนไปใช้เป็นวัสดุตกแต่งอาคารที่มีความแข็งแรง มีสมบัติการดูดซับเสียงและสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม และสามารถลดการเจริญเติบโตของ เชื้อราและแบคทีเรีย จากผลการทดลองข้างต้น พบว่า สูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปพัฒนาเป็นวัสดุตกแต่ง อาคารที่มีสมบัติดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นคือ สูตรโคมที่ใช้สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนที่ 10:2

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่า มีความคลาดเคลื่อนของของผลการทดสอบในบางจุด ซึ่งการหา สาเหตุที่แน่นอนของความคลาดเคลื่อนเหล่านี้กระทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากมีปัจจัยมากมายที่สามารถส่งผล ต่อการทดลองได้ หากผู้ทดสอบพบว่าผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนผิดปกติ ผู้ทดสอบควรตรวจสอบสาเหตุ ที่เป็นไปได้ ซึ่งสาเหตุบางส่วนที่ผู้วิจัยพบ และคาดว่าจะจะเป็นสาเหตุที่ส่งผลต่อผลการทดลอง มีดังนี้

5.2.1 แหล่งที่มาและความบริสุทธิ์ของยางและสารเคมียาง เนื่องจากหากยางหรือสารเคมียางชนิด เดียวกันแต่มาจากต่างแหล่งกัน อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพและสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของความ คลาดเคลื่อนของผลการทดลองที่ได้

5.2.2 สภาวะของการตีโคมยาง จำเป็นต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้เหมือนกันทุกครั้ง เช่น ระยะเวลาใน การตี ปริมาตรของโคมยางในการตีโคมแต่ละครั้ง ลำดับขั้นตอนในการใส่ยางและสารเคมียาง ความเร็วรอบใน การตีของเครื่องตีฟอง และอุณหภูมิของห้องที่ตีฟอง เป็นต้น

5.2.3 การขึ้นรูปชิ้นงานโคมนั้น ในขั้นตอนการเทโคมลงในแม่พิมพ์ต้องตรวจสอบให้มั่นใจว่าโคมนั้น เริ่มมีการเซตตัว เนื่องจากหากเทโคมลงในแม่พิมพ์ก่อนที่โคมจะเกิดการเซตตัว ชิ้นงานจะเกิดการยุบตัวได้ และ ในขณะที่นั้นต้องเคาะแม่พิมพ์อยู่ตลอดเพื่อให้โคมนั้นเข้าไปได้เต็มแม่พิมพ์ เมื่อโคมเข้าเต็มแม่พิมพ์แล้วทำการ ปาดหน้าโคมทันทีด้วยความเร็วพอประมาณและห้ามหยุดในขณะที่ปาด เพื่อให้ได้โคมที่มีผิวเรียบ

5.2.4 การคงรูปโคมยาง เมื่อเทโคมลงในแม่พิมพ์แล้วควรปล่อยให้โคมได้เซตตัวด้วยเวลาที่เท่ากันทุกครั้ง ก่อนนำไปอบเพื่อให้เกิดการเชื่อมขวาง และในขณะที่อบเพื่อทำการเชื่อมขวางนั้นต้องควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ให้คงที่ ตลอดการอบ

5.2.5 การตัดชิ้นทดสอบ ควรใช้เครื่องมือในการตัดที่มีความคมและตัดให้ขาดในครั้งเดียว อีกทั้งควร หลีกเลี่ยงการตัดชิ้นงานในบริเวณที่มีตำหนิ ซึ่งตำหนิเหล่านี้จะส่งผลต่อการทดลอง

5.2.6 การวัดขนาดของชิ้นงานควรใช้ผู้ทดสอบคนเดียวกันเสมอ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของค่าที่ได้

5.2.7 การควบคุมความชื้นในชิ้นตัวอย่าง ก่อนทำการทดสอบควรอบชิ้นงานให้แห้งสนิททุกครั้ง เนื่องจากความชื้นภายในชิ้นตัวอย่างจะส่งผลทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองผิดไปจากความเป็นจริง

5.2.8 การทดสอบสมบัติความแข็ง ควรที่จะใช้ผู้ทดสอบคนเดียวกันเสมอ เพื่อลดความคลาดเคลื่อน ของผลการทดลอง

### เอกสารอ้างอิง

- [1] วัสดุโฟม.[ออนไลน์].แหล่งที่มา:  
[http://doi.nrct.go.th/ListDoi/Download/68084/d6311662ca8e9a144ade0ab330f79c8b?Resolve\\_DOI=10.14457/KMITL.the.2006.10](http://doi.nrct.go.th/ListDoi/Download/68084/d6311662ca8e9a144ade0ab330f79c8b?Resolve_DOI=10.14457/KMITL.the.2006.10). [22 มีนาคม 2561]
- [2] American Chemistry Council, Inc. Polyurethanes. [online]. แหล่งที่มา:  
<http://polyurethane.americanchemistry.com> [2017, March 20]
- [3] Kaneyoshi Ashida, Polyurethane and Related Foams Chemistry and Technology (New York: Taylor & Francis, 2005), 48.
- [4] รศ.ดร.จิตต์ลัดดา ศักดาภิพาณิชย์. เทคโนโลยียางธรรมชาติ. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: บริษัทเทคโนโลยีคอมมิวนิเคชั่นส์ จำกัด, 2553
- [5] ชินรัตน์ ลากพูลธนะอนันต์. เทคโนโลยีการผลิตและทดสอบโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติ.[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://rubber.oie.go.th/rrd/file/latex\\_foam.pdf](http://rubber.oie.go.th/rrd/file/latex_foam.pdf) [22 มีนาคม 2561]
- [6] ภัณทิลา ภูมิระเปียบ. สารเคมีในยาง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:<http://www.dss.go.th/images/st-article/pep-8-2556-afr.pdf>
- [7] สมกฤต ชื่นอารมณ. สารเพิ่มความเสถียรของน้ำยาง. [ออนไลน์].แหล่งที่มา:<http://rubberdigest.com/?p=117>
- [8] สปุกับความปลอดภัยของน้ำยาง [ออนไลน์]. สืบค้นจาก  
[http://rescom.trf.or.th/display/keydefaultp.aspx?id\\_colum=23](http://rescom.trf.or.th/display/keydefaultp.aspx?id_colum=23) [31 พฤษภาคม 2561]
- [9] เทคโนโลยีการผลิตยางคอมพาวด์.สถาบันพลาสติก.[ออนไลน์].  
<http://rubber.oie.go.th/box/Article/25239/เทคโนโลยีการผลิตยางคอมพาวด์.pdf>
- [10] Anil, K., et al. Rubber Products Manufacturing Technology, Marcel Dekker, Newyork, p. 250-251
- [11] แนวปฏิบัติตามกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อนและแสงสว่าง และเสียง พ.ศ.2549 การตรวจวัดเสียงดัง (Noise Measurement). ฝ่ายพัฒนาความปลอดภัย สถาบันความปลอดภัยในการทำงานกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน.
- [12] Goelzer, B., et al. Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control, World Health Organization, Geneva
- [13] Haimei, Z., 2011, Building Materials in Civil Engineering, Woodhead Publishing, Philadephia, p. 306-316.
- [14] กลไกการถ่ายเทความร้อน [ออนไลน์] สืบค้นจาก :  
<http://www.lesa.biz/earth/atmosphere/heat-transfer> [31 พฤษภาคม 2561]

- [15] สุเพ็ญรัตน์ สุวรรณรักษาและอาฮามัด ตอเลาะ. การประยุกต์ใช้งานด้านเสียงของยางธรรมชาติ : แผ่นดูดซับเสียง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา, 2546
- [16] Sobral, M., et al. Mechanical and Acoustical Characteristics of Bound Rubber Granulate, Journal of Materials Processing Technology, Vol.142, p. 427-433
- [17] Najib, N.N., et al. Correlation between the Acoustical and Dynamic Mechanical Properties of Natural Rubber Foam: Effect of Foaming Temperature, Materials and Design, Vol. 32, p. 505-511,2011.

## ภาคผนวก

ตารางที่ 6.1 ค่าความหนาแน่นของโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่สัปดาห์ที่ 1 ของตัวอย่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่สัปดาห์ที่ 1 ต่อโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่สัปดาห์ที่ 1 ต่างๆ กัน

ตัวอย่าง	ค่าความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	mean	SD
NR : PU 10 : 0	0.1910	0.2089	0.0107
	0.2216		
	0.2029		
	0.2099		
	0.2121		
	0.2159		
NR : PU 10 : 1	0.2576	0.2569	0.0100
	0.2626		
	0.2655		
	0.2591		
	0.2399		
NR : PU 10 : 2	0.3505	0.3233	0.0196
	0.3237		
	0.2927		
	0.3248		
	0.3130		
	0.3351		

ตารางที่ 6.2 ค่าความต้านทานต่อการเสียรูปหลังการกดอัด (แบบกดค้าง) ของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กัน

ตัวอย่าง	แรง (N)	mean	SD
NR : PU 10 : 0	25.048	31.390	6.032
	37.054		
	32.068		
NR : PU 10 : 1	28.754	28.543	0.185
	28.464		
	28.410		
NR : PU 10 : 2	32.419	38.218	6.695
	45.545		
	36.691		

ตารางที่ 6.3 ค่าการเสียสภาพหลังการกดอัดของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ กัน

ตัวอย่าง	ความสูงที่เปลี่ยนไป (cm)		mean	SD
NR : PU 10 : 0	Hold	0.19	0.10	0.08
		0.05		
		0.05		
	Cycle	0.03	0.03	0.006
		0.03		
		0.02		
NR : PU 10 : 1	Hold	0.14	0.1	0.06
		0.14		
		0.03		
	Cycle	0.08	0.09	0.01
		0.10		
NR : PU 10 : 2	Hold	0.21	0.2	0.04
		0.16		
		0.23		
	Cycle	0.21	0.19	0.01
		0.20		
		0.18		

ตารางที่ 6.4 ค่าความแข็งของโฟมยางธรรมชาติผสมพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนยางธรรมชาติต่อพอลิยูรีเทนต่างๆ  
กัน

ตัวอย่าง	ความแข็ง (shore A)	mean	SD
NR : PU 10 : 0	3	3.4	0.55
	3		
	3		
	4		
	4		
NR : PU 10 : 1	9	9.0	0.71
	9		
	8		
	9		
	10		
NR : PU 10 : 2	13	13.8	0.84
	13		
	14		
	15		
	14		