



การผลิตวัสดุดูดซับเสียงจากวัสดุผสม
ยางโฟมธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติ
Production of Acoustic Materials from Natural Rubber
Foam and Natural Fiber Composites

โดย
ดร.กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล
ดร.วัลลภ หาญณรงค์ชัย

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ ๒๕๕๘
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติ และผลของชนิดและปริมาณของเส้นใยธรรมชาติต่อการพัฒนาวัสดุดูดซับเสียงจากวัสดุยางโฟมธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติ วิธีการการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติที่ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือ การปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของ NaOH 0-15 %โดยน้ำหนัก และเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงผิว 0-30 นาที และชนิดเส้นใยธรรมชาติที่ถูกใช้ คือ เส้นใยชานอ้อย และเส้นใยปาล์มน้ำมัน และทำการประเมินหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวจากค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D) ของเส้นใยธรรมชาติ และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยธรรมชาติ จากผลการทดลอง พบว่า ค่า L/D มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ NaOH เพิ่มสูงขึ้น และ/หรือเวลาในการปรับปรุงผิวเพิ่มสูงขึ้น ยกเว้น ณ ความเข้มข้นของ NaOH ที่ 15 %โดยน้ำหนัก ค่า L/D ของเส้นใยปาล์มน้ำมัน ภายหลังการปรับปรุงผิวมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่ากรณีของเส้นใยชานอ้อย สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิว คือ สำหรับเส้นใยชานอ้อย ความเข้มข้นของ NaOH 10 %โดยน้ำหนัก และเวลาในการปรับปรุงผิว 30 นาที และสำหรับเส้นใยปาล์มน้ำมัน ความเข้มข้นของ NaOH 10 %โดยน้ำหนัก และเวลาในการปรับปรุงผิว 10 นาที สำหรับผลของชนิดและปริมาณเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติการดูดซับเสียงของวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติ ทั้งชานอ้อยและเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสภาวะการปรับปรุงที่เหมาะสมถูกปรับเปลี่ยนปริมาณ ตั้งแต่ 0.0 ถึง 10.0 %wt. และทำตรวจสอบผลด้วยการวิเคราะห์ลักษณะของเซลล์โฟม ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง การวิเคราะห์สมบัติทางกลเชิงไดนามิก (DMA) และค่าความหนาแน่น จากผลการทดลองพบว่า ขนาดของเซลล์โฟมมีขนาดลดลง ขณะที่จำนวนของเซลล์โฟมต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรมีปริมาณขึ้น เมื่อเติมเส้นใยธรรมชาติ แต่หลังจากปริมาณเส้นใยธรรมชาติมากกว่า 2.5 % โดยน้ำหนัก พบว่า ขนาดของเซลล์โฟม และจำนวนของเซลล์ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปในทางตรงกันข้าม การเติมเส้นใยธรรมชาติในยางธรรมชาติช่วยในการปรับปรุงสมบัติการดูดซับเสียง กรณีการเติมชานอ้อยในวัสดุผสมได้ปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมากกว่ากรณีเส้นใยปาล์มน้ำมัน การเติมเส้นใยธรรมชาติมีส่วนช่วยทำให้ความเป็นอิลาสติกของวัสดุผสมเพิ่มสูงขึ้น และนั่นเป็นส่วนช่วยเสริมประสิทธิภาพการดูดซับเสียง การปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วย NaOH มีส่วนช่วยทำให้การยึดเกาะระหว่างเฟสของเส้นใยธรรมชาติและยางธรรมชาติที่มีความแข็งแรง และช่วยเสริมประสิทธิภาพการดูดซับเสียง ค่าความหนาแน่นของวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยธรรมชาติเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: วัสดุดูดซับเสียง/ยางธรรมชาติ/เส้นใยธรรมชาติ/วัสดุผสม/สารทำให้เกิดฟอง

Abstract

This research work was to study the effect of surface treatment of natural fiber and the effects of type and content of natural fiber on the development of acoustic material from natural rubber foam /natural fiber composites. The surface treatment used for this research work was sodium hydroxide (NaOH) treatment. NaOH Concentrations and treatment times were varied from 0 to 15 %wt. and 0 to 30 min, respectively. Natural fibers used for this work were bagasse fiber (BF) and oil palm fiber (OPF). The suitable condition for surface treatment was estimated by fiber length and diameter (L/D) ratio and morphology of natural fiber. The result suggested that L/D ratios tended to increase when NaOH concentrations and/or treatment times increased except for NaOH concentration of 15 %wt. L/D ratios of OPF after surface treatment were changed more than those of BF. The suitable conditions of NaOH treatment for BF and OPF were NaOH concentration of 10 %wt. and surface treatment times of 30 and 10 min, respectively. The effects of fiber type and content on sound absorption properties of natural rubber foam /natural fiber composites were investigated by cell characteristics, sound absorption coefficient, DMA analysis and bulk density. Both treated BF and OPF with suitable treatment condition were varied from content of 0.0 to 10.0 %wt. The result showed that the cell size of composites tended to decrease with addition of natural fiber whereas number of foam cell per unit volume increased. After adding natural fiber more than 2.5 %wt., cell size of composite foam and number of foam cell per unit volume tended to change the inverse direction. Natural fiber in composites enhanced the sound absorption efficiency. Sound absorption coefficient of composites adding BF was more than that of composite adding OPF. The addition of natural fiber enhanced the elasticity of composites and that increased sound absorption efficiency. NaOH treatment led to creation of strong interfacial bonding between natural fiber and natural rubber and enhanced the sound absorption efficiency. Density of NR composite foam increased with increasing natural fiber content.

Keywords: Acoustic Materials/Natural rubber/Natural fiber/ Composite /Blowing agent

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ภายใต้ทุนงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และอุปกรณ์การทดสอบ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ วิสิทธิ์ สีสศิริวงศ์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคุณหนู หรรษคุณาณัย บริษัทยูนิโปรแมนูแฟคเจอร์ จำกัด สำหรับการให้ความช่วยเหลือทั้งทางเทคนิคและอุปกรณ์การทดสอบการดูดซับเสียงเป็นอย่างสูง

คณะวิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
บัญชีตาราง	จ
บัญชีรูป	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เสียง และมลภาวะทางเสียง	5
2.2 ทฤษฎีการดูดซับเสียง	6
2.3 ยางธรรมชาติ	8
2.4 เส้นใยธรรมชาติ	12
2.5 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	13
3. วิธีดำเนินการวิจัย	154
3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	15
3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย	18
3.3 วิธีการทดลอง	19
4. ผลการทดลองและอภิปรายผล	28
4.1 ผลของการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	28
4.2 ผลของชนิดเส้นใยธรรมชาติและอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติการดูดซับเสียง	36
5. สรุปและวิเคราะห์ผล	51
เอกสารอ้างอิง	53
ประวัตินักวิจัย	56

บัญชีตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แผนงานกิจกรรมที่เสนอในข้อเสนอโครงการ และผลการดำเนินงาน	2
2	องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน	13
3	องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน	13
4	สูตรของวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัย	16



บัญชีรูป

รูปที่	หน้า	
1	โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ	9
2	ภาพพื้นผิวของเส้นใยปาล์มน้ำมัน	12
3	ลักษณะของเส้นใยชานอ้อยที่ใช้ในงานวิจัย	17
4	ลักษณะของเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัย	17
5	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	18
6	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการการศึกษาผลของชนิดเส้นใยธรรมชาติและอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติการดูดซับเสียง	19
7	การแช่เส้นใยธรรมชาติในสารละลายโซเดียมคลอไรด์	20
8	ลักษณะของเส้นใยธรรมชาติภายหลังการปรับปรุงผิวและผ่านการอบไล่ความชื้น	21
9	กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ 745T	21
10	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ Philip รุ่น Philip XL30	22
11	น้ำยางธรรมชาติที่ถูกกวนด้วยเครื่องกวนสาร	23
12	ลักษณะของชิ้นงานยางโฟมที่เตรียมได้	23
13	แนวการตัดชิ้นงานตัวอย่างเพื่อตรวจสอบขนาดเซลล์โฟม	24
14	เครื่อง two-fixed microphone impedance tube ยี่ห้อ Scien รุ่น SC9301	25
15	เครื่องชั่งแบบดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง	26
16	เครื่อง dynamic mechanical analyzer ยี่ห้อ GABO Qualimeter รุ่น EPLEXOR QC 25	27
17	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ Philip รุ่น Philip XL30	27
18	ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยธรรมชาติ ณ เวลาในการปรับปรุงผิวต่างๆ กัน	29
19	ภาพถ่ายลักษณะของเส้นใยชานอ้อยก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	30
20	ภาพถ่ายลักษณะของเส้นใยปาล์มน้ำมันก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	31
21	ภาพถ่ายลักษณะของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยชานอ้อยที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ณ ความเข้มข้นต่างๆ กัน	32

รูปที่		หน้า
22	ภาพถ่ายลักษณะของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมันที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ณ ความเข้มข้นต่างๆ กัน	33
23	ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อยก่อนและหลังการผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ถ่ายด้วยกล้อง SEM	34
24	ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมันก่อนและหลังการผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ถ่ายด้วยกล้อง SEM	35
25	ภาพถ่ายหน้าตัดขวางของชิ้นงานวัสดุผสมยางพาราธรรมชาติและชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 %โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที ณ ปริมาณชานอ้อยต่างๆ กัน	37
26	ภาพถ่ายหน้าตัดขวางของชิ้นงานวัสดุผสมยางพาราธรรมชาติและพอลิเมอร์น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 %โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 10 นาที ณ ปริมาณพอลิเมอร์น้ำมันต่างๆ กัน	38
27	การแจกแจงขนาดของเซลล์โพรในวัสดุผสมยางพาราธรรมชาติและชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 %โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที ณ ปริมาณชานอ้อยต่างๆ กัน	39-40
28	การแจกแจงขนาดของเซลล์โพรในวัสดุผสมยางพาราธรรมชาติและพอลิเมอร์น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 %โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 10 นาที ณ ปริมาณพอลิเมอร์น้ำมันต่างๆ กัน	41-42
29	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของขนาดเซลล์โพรและปริมาณของเส้นใยธรรมชาติจากชิ้นงานวัสดุผสมยางพาราธรรมชาติและชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว และชิ้นงานวัสดุผสมยางพาราธรรมชาติและพอลิเมอร์น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิว	43
30	ผลของปริมาณเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อจำนวนเซลล์โพรต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของชิ้นงานวัสดุผสมยางพาราธรรมชาติและชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว และชิ้นงานวัสดุผสมยางพาราธรรมชาติและพอลิเมอร์น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิว	44
31	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของชิ้นงานวัสดุผสมยางพาราธรรมชาติและชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว และชิ้นงานวัสดุผสมยางพาราธรรมชาติและพอลิเมอร์น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิว ณ ปริมาณเส้นใยธรรมชาติต่างๆ กัน	46
32	ภาพโครงสร้างจุลภาพบริเวณรอยต่อระหว่างเฟสของยางพาราธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	47
33	ค่า storage modulus ของชิ้นงานวัสดุผสมยางพาราธรรมชาติที่มีการเติมชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว หรือพอลิเมอร์น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิว ณ ปริมาณเส้นใยธรรมชาติต่างๆ กัน	48

รูปที่		หน้า
34	ค่า Tan δ ของชิ้นงานวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติที่มีการเติมขานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว หรือปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรุงปรุงผิว ณ ปริมาณเส้นใยธรรมชาติต่างๆ กัน	49
35	ผลของชนิดและปริมาณเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อค่าความหนาแน่นชิ้นงานวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติ	50



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

มลพิษทางเสียงถือว่าเป็นมลพิษอย่างหนึ่งที่มีผลกระทบต่อมนุษย์ทั้งในด้านสุขภาพจิตและสุขภาพกายค่อนข้างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะสังคมเมือง มลพิษทางเสียงมีที่มาจากหลากหลายแหล่ง อาทิเช่น เสียงที่มาจากยานพาหนะ เสียงที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม เสียงจากงานก่อสร้างอาคาร และ ถนน เสียงรบกวนจากการเปิดเครื่องขยายเสียง เป็นต้น ดังนั้นวัสดุดูดซับเสียงจึงเป็นวัสดุอีกประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญมากยิ่งขึ้น เนื่องจากถูกนำมาใช้เพื่อลดปัญหาด้านมลภาวะทางเสียง

วัสดุธรรมชาติหลายชนิดถูกจัดเป็นวัสดุที่มีสมบัติดูดซับเสียง (acoustic properties) ที่ดี เช่น เซลลูโลส, ฝ้าย, ขนสัตว์, เส้นใยธรรมชาติ และยางธรรมชาติ เป็นต้น [1] ปัจจุบันวัสดุธรรมชาติเหล่านี้เริ่มได้รับความสนใจมากขึ้นในการนำมาทำเป็นวัสดุฉนวนกันเสียงทดแทนการใช้วัสดุสังเคราะห์ เช่น โยหิน เส้นใยแก้ว เป็นต้น ซึ่งวัสดุสังเคราะห์เหล่านี้ล้วนเป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ ถ้าสูดดมเข้าร่างกาย หรือเมื่อสัมผัสกับผิวหนังจะทำให้เกิดการระคายเคืองผิว [1-2] เส้นใยธรรมชาติและยางธรรมชาติเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีทั้งความเป็นฉนวนทางความร้อนและเสียงที่ดี และมีความเป็นพิษ หรือเป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์น้อยมาก นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ [1] ประกอบกับประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตยางพาราเป็นอันดับหนึ่งของโลก [3] ส่วนเส้นใยธรรมชาติที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากผลผลิตทางการเกษตรของประเทศยังคงมีเหลือทิ้งอยู่เป็นจำนวนมากและยังไม่ได้ถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์เท่าที่ควร เช่น เส้นใยปาล์ม และชานอ้อย เป็นต้น รุพุนภายในเส้นใยธรรมชาติเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติการดูดซับเสียงของวัสดุ [2, 4] นอกจากนี้เซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งในเส้นใยธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงได้ดีโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ความถี่ 500 Hz เท่ากับ 1 [1] เส้นใยตระกูลปาล์มเป็นเส้นใยที่มีช่องว่างในเส้นใย (ท่อลำเลียง) เป็นจำนวนมาก [5] ส่วนชานอ้อยเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดหนึ่งที่มีปริมาณเซลลูโลสสูง และอีกทั้งเส้นใยปาล์มและชานอ้อยมีปริมาณมากในประเทศจึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมในการนำมาพัฒนาทำเป็นวัสดุดูดซับเสียง แต่การนำเส้นใยธรรมชาติเพียงอย่างเดียวมาอัดขึ้นรูปเป็นวัสดุดูดซับเสียงนั้นอาจทำให้อายุการใช้งานน้อย ดังนั้นการนำยางธรรมชาติในรูปของลาเทกซ์มาผสมกับเส้นใยธรรมชาติจึงมีส่วนช่วยในการยืดอายุการใช้งานให้กับวัสดุดูดซับเสียงได้ และยางธรรมชาติยังมีสมบัติในการดูดซับเสียงที่ดี แต่การนำยางธรรมชาติมาผสมกับเส้นใยธรรมชาติโดยตรงอาจทำให้สมบัติการดูดซับเสียงของทั้งสองวัสดุลดลง เนื่องจากการผสมเส้นใยธรรมชาติกับยางธรรมชาติมีผลทำให้ช่องว่างระหว่างเส้นใยธรรมชาติลดลง ความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มสูงขึ้นซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเสียงลดลง ดังนั้นแนวทางในการศึกษาวิจัยวัสดุดูดซับเสียงจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการดูดซับเสียงด้วย เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย, รูพุน, ความคดเคี้ยวของรูพุน, ความหนา, ความหนาแน่น และความต้านทานการไหลผ่านของอากาศ เป็นต้น [6-7] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดนำเส้นใยธรรมชาติมาทำการปรับปรุงผิวด้วยไซเตียมไฮดรอกไซด์เพื่อลดขนาดของเส้นใยธรรมชาติ และกำจัด

สิ่งเจือปน รวมถึงลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสออกบางส่วนเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงให้กับเส้นใยธรรมชาติและเพิ่มความแข็งแรงระหว่างเฟส (interfacial bonding) ของเส้นใยกับเมทริกซ์ และในส่วนยางธรรมชาติควรมีการเติมสารเพิ่มฟอง (blowing agent) ลงไปด้วย เพื่อช่วยเพิ่มรูพรุน และทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลง

โครงการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการพัฒนาวัสดุดูดซับเสียงจากวัสดุผสม (composite) ระหว่างยางพาราธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติ โดยทำการศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติ และผลของชนิดเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติการดูดซับเสียง โดยทำการเลือกใช้เส้นใยปาล์ม และชานอ้อยในการศึกษา และทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับเสียง สมบัติทางกายภาพ สมบัติความเป็นวัสดุโพลีเมอร์ และสัณฐานวิทยา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อนำยางธรรมชาติ และเศษวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติที่มีปริมาณมากในประเทศไทยมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุธรรมชาติและวัสดุเหลือใช้ และลดการใช้วัสดุสังเคราะห์
- 1.2.2 เพื่อผลิตวัสดุดูดซับเสียงที่มีน้ำหนักเบาและมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงจากวัสดุธรรมชาติในประเทศ
- 1.2.3 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติในการผลิตเป็นวัสดุดูดซับเสียงที่สามารถนำไปผลิตได้จริงในเชิงพาณิชย์

ตารางที่ 1 แผนงานกิจกรรมที่เสนอในข้อเสนอโครงการ และผลการดำเนินงาน

กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	คิดเป็น
1. ทำการจัดหาวัตถุดิบและสารเคมี	• ได้วัตถุดิบ และสารเคมีที่ต้องใช้ในการวิจัย พร้อมดำเนินการวิจัย	• ได้วัตถุดิบ และสารเคมีที่ต้องใช้ในการวิจัย พร้อมดำเนินการวิจัย	100%
2. ทำการศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	• ได้สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์ม และชานอ้อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	• ได้สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์ม และชานอ้อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	100%
3. ทำการจัดสร้าง	• ได้แม่พิมพ์สำหรับใช้ในการ	• ได้แม่พิมพ์สำหรับใช้ในการ	100%

กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	คิดเป็น
แม่พิมพ์	ขึ้นรูปชิ้นงาน	ขึ้นรูปชิ้นงาน	
4. ทำการขึ้นรูป ชิ้นงานวัสดุดูดซับ เสียง	<ul style="list-style-type: none"> ได้ชิ้นงานวัสดุผสมระหว่างยางโฟมธรรมชาติและเส้นใยปาล์ม และชิ้นงานวัสดุผสมระหว่างยางโฟมธรรมชาติและชานอ้อย ที่มีอัตราส่วนผสมต่างๆ กัน 	<ul style="list-style-type: none"> ได้ชิ้นงานวัสดุผสมระหว่างยางโฟมธรรมชาติและเส้นใยปาล์ม และชิ้นงานวัสดุผสมระหว่างยางโฟมธรรมชาติและชานอ้อย ที่มีอัตราส่วนผสมต่างๆ กัน 	100%
5. ทำการทดสอบ สมบัติ	<ul style="list-style-type: none"> ได้ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติความเป็นวิสโคอิลาสติก สัณฐานวิทยา และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 	<ul style="list-style-type: none"> ได้ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติความเป็นวิสโคอิลาสติก สัณฐานวิทยา และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 	100%
6. ทำการวิเคราะห์ผล การทดลอง	<ul style="list-style-type: none"> ได้ผลการวิเคราะห์ผลของชนิดและปริมาณเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุผสมระหว่างยางโฟมธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติ 	<ul style="list-style-type: none"> ได้ผลการวิเคราะห์ผลของชนิดและปริมาณเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุผสมระหว่างยางโฟมธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติ 	100%
7. สรุปผลและ รายงานผลการ ดำเนินงาน	<ul style="list-style-type: none"> สรุปผลการทดลอง และจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ 	<ul style="list-style-type: none"> ได้ข้อสรุปผลการทดลอง และรายงานฉบับสมบูรณ์ 	100%

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 วัตถุประสงค์หลักที่ใช้ในการเตรียมวัสดุดูดซับเสียง คือ น้ำยางลาเท็กซ์ เส้นใยปาล์ม ชานอ้อย สารเติมแต่งสำหรับยางธรรมชาติ และสารเพิ่มฟองชนิดเซลล์เปิด
- 1.3.2 ทำการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเวลาในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติ
- 1.3.3 ทำการขึ้นรูปชิ้นงานวัสดุดูดซับเสียงโดยการใช้แม่พิมพ์ และการให้ความร้อนด้วยตู้อบ
- 1.3.4 ตัวแปรทางการศึกษา คือ ชนิดและปริมาณของเส้นใยธรรมชาติ และความถี่ของคลื่นเสียง
- 1.3.5 สมบัติที่ทำการทดสอบ มีดังนี้

- ขนาดของเซลล์โฟม
- จำนวนของเซลล์โฟมต่อปริมาตร
- ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ตามมาตรฐาน ASTM E1050-12
- สันฐานวิทยา
- ค่าความหนาแน่น
- สมบัติความเป็นวิสโคอิลาสติก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี - การพัฒนาวัสดุดูดซับเสียงจากวัสดุธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพสูง และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับเสียงอันเป็นการเสริมสร้างให้เกิดองค์ความรู้แบบองค์รวมของปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ร่วมกัน นอกจากนี้ยังช่วยสร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ให้มีความรู้ความสามารถทางการวิจัยเพิ่มมากขึ้น
- 1.4.2 ด้านสิ่งแวดล้อม - การผลิตวัสดุดูดซับเสียงจากยางธรรมชาติ และเส้นใยธรรมชาติมีส่วนช่วยลดการใช้วัสดุสังเคราะห์ซึ่งย่อยสลายได้ยาก และอาจเป็นพิษต่อร่างกาย
- 1.4.3 ด้านอุตสาหกรรมและพาณิชย์ - การนำองค์ความรู้จากงานวิจัยมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ลดต้นทุนในการผลิต และลดการนำเข้าวัสดุสังเคราะห์จากต่างประเทศ
- 1.4.4 ด้านวิชาการ - ภายหลังจากเสร็จสิ้นโครงการวิจัย จะนำผลงานวิจัยไปเผยแพร่ในรูปแบบของการตีพิมพ์บทความในวารสารวิชาการ และ/หรือการประชุมวิชาการ

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เสียง และมลภาวะทางเสียง

2.1.1 เสียง

เสียงเป็นคลื่นกล หรือพลังงานรูปหนึ่งที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ ทำให้ตัวกลาง เช่น อากาศเกิดการอัดและขยายของโมเลกุลอากาศและเกิดเป็นคลื่นเสียงขึ้น ทำให้มนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่เกิดจากการสั่นของวัตถุ นอกจากอากาศแล้วนั้นยังมีสารอื่นๆ ที่อยู่ในสถานะก๊าซ ของเหลว และของแข็ง สามารถเป็นตัวกลางให้เสียงเดินทางได้ แต่เสียงไม่สามารถเดินทางผ่านสุญญากาศได้ [8] มนุษย์สามารถได้ยินเสียงในคลื่นความถี่ 20-20,000 Hz โดยเสียงที่มีความถี่ต่ำหรือสูงกว่านี้ มนุษย์ไม่สามารถรับรู้ได้ [9]

2.1.2 มลภาวะทางเสียง

มลภาวะทางเสียงเกิดจากการที่มนุษย์ได้ยินเสียงดังเป็นระยะเวลานานส่งผลให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยระดับของความรุนแรงของเสียง ขึ้นอยู่กับ สภาพลักษณะของเสียงและระดับความดังของเสียง ที่มนุษย์สัมผัส ประกอบกับระยะเวลาในการสัมผัสเสียงนั้นๆ [9]

เสียงรบกวน (Noise) หมายถึง เสียงซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของมนุษย์ ถึงแม้เสียงรบกวนกับเสียง (sound) เกิดมาจากปรากฏการณ์การเปลี่ยนความดันของอากาศหรือตัวกลาง (เกิดจากการอัดและขยายของโมเลกุลตัวกลาง) เช่นเดียวกันก็ตาม แต่สิ่งที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน คือ เสียงรบกวนมีผลในด้านการรบกวนการรับรู้เสียงที่ต้องการหรือความเงียบ และเป็นเสียงที่เป็นอันตรายต่อการได้ยิน ความดังของเสียง ขึ้นอยู่กับ ความสูงหรือแอมพลิจูด (Amplitude) ของคลื่นเสียง ส่วนความทึบแหลมของเสียง ขึ้นอยู่กับ ความถี่ของเสียง (Frequency of Sound) [9-10]

ความถี่ของเสียง (frequency, f) หมายถึง จำนวนรอบของการเปลี่ยนแปลงความดันการอัดและขยายตัวของตัวกลางต่อหน่วยเวลา เช่น จำนวนรอบของการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศต่อวินาที หน่วยของความถี่จึงเป็นรอบต่อวินาที หรือ เฮิร์ตซ (Hertz ; Hz) [10]

แอมพลิจูดของเสียง (amplitude, A) หมายถึง ขนาดการเปลี่ยนแปลงของช่วงความดันของตัวกลางในแนวตั้งระหว่างจุดสูงสุดและต่ำสุด [10]

เดซิเบลเอ (Decibel A, dBA, dB(A)) เป็นหน่วยวัดระดับความดังของเสียงหรือความดันของเสียง (L_p) ที่สอดคล้องกับหูมนุษย์ปกติสามารถตรวจจับได้ วัดได้จากเครื่องวัดระดับเสียง [10]

ประเภทของเสียงรบกวน [9] แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. เสียงดังแบบต่อเนื่อง (Continuous Noise) เป็นเสียงดังที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง สามารถจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

- 1.1 เสียงดังต่อเนื่องแบบคงที่ (Steady-state Noise) เป็นลักษณะเสียงดังต่อเนื่องที่มีระดับเสียงเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 3 เดซิเบล เช่น เสียงจากเครื่องทอผ้า เครื่องปั่นตายน เสียงพัดลม เป็นต้น
- 1.2 เสียงดังต่อเนื่องแบบไม่คงที่ (Non-steady State Noise) เป็นลักษณะเสียงดังต่อเนื่องที่มีระดับเสียงเปลี่ยนแปลงเกินกว่า 10 เดซิเบล เช่น เสียงจากเลื่อยวงเดือน, เครื่องเจียร เป็นต้น
2. เสียงดังเป็นช่วงๆ (Intermittent Noise) เป็นเสียงที่ดังไม่ต่อเนื่อง มีระดับเสียงดังหรือเบากว่า สลับกันไปมาเป็นระยะๆ เช่น เสียงเครื่องปม/อัดลม, เสียงจรวด, เสียงเครื่องบินที่บินผ่านไปมา เป็นต้น
3. เสียงกระทบหรือกระแทก (Impact or Impulse Noise) เป็นเสียงที่เกิดขึ้นและสิ้นสุดอย่างรวดเร็วในเวลาน้อยกว่า 1 วินาที มีการเปลี่ยนแปลงของเสียงมากกว่า 40 เดซิเบล เช่น เสียงการตอกเสาเข็ม, การปมชิ้นงาน, การทุบเคาะอย่างแรง เป็นต้น

ผลเสียของเสียงต่อระบบการได้ยิน [9] สามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การสูญเสียการได้ยินแบบชั่วคราว (Temporary hearing loss) เนื่องจากรับฟังเสียงดังมาก ๆ ในระยะเวลาไม่นานนัก ทำให้เซลล์ขนกระทบกระเทือนไม่สามารถทำงานได้ชั่วคราว แต่เซลล์ขนสามารถกลับมาทำงานได้ เมื่อหยุดสัมผัสเสียงดังเป็นระยะเวลาประมาณ 14-16 ชั่วโมง
2. การสูญเสียการได้ยินแบบถาวร (Permanent hearing loss) เกิดจากการที่ต้องรับฟังเสียงดังเป็นระยะเวลานาน หรือเป็นประจำ ทำให้สูญเสียการได้ยินแบบถาวร

2.2 ทฤษฎีการดูดซับเสียง

การดูดซับเสียง (Sound Absorption) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงผลรวมของพลังงานเสียงในแนวโน้มนที่ลดน้อยลง เมื่อผ่านตัวกลางใดๆ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า เมื่อคลื่นเสียงสัมผัสกับพื้นผิวของวัสดุ เสียงส่วนหนึ่งถูกสะท้อน ส่วนหนึ่งถูกส่งผ่านออกไป และส่วนที่เหลือถูกดูดซับไว้โดยตัวของวัสดุเอง ดังนั้นการดูดซับเสียง คือ ความสามารถของวัสดุในการดูดซับพลังงานเสียงและเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานความร้อน [11-12]

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound absorption coefficient, α) คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานเสียงที่ถูกดูดซับ (E) และพลังงานเสียงที่ตกกระทบบนพื้นผิววัสดุ (E_0) สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเป็นตัวชี้วัดหลักที่ที่ใช้ในการประเมินสมบัติการดูดซับเสียงของวัสดุ การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเป็นดังสมการที่ 1 [11] ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงชนิดเดียวกันอาจมีค่าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับ มุมระหว่างเสียงและพื้นผิววัสดุ และความถี่ของเสียงที่มาตกกระทบ [6] ถ้าเสียงที่ตกกระทบถูกดูดซับ 65% และมีเสียงที่ถูกสะท้อนออกมา 35 % มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ มีค่าเท่ากับ 0.65 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของวัสดุมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ค่าตัวเลขยิ่งมากหมายความว่า วัสดุนั้นมีสมบัติการดูดซับเสียงที่ดีมากขึ้น

$$\alpha = \frac{E}{E_0} \quad (1)$$

วัสดุดูดซับเสียงเป็นวัสดุที่ช่วยลดพลังงานของคลื่นเสียงที่ตกกระทบทำให้แอมพลิจูดของเสียงสะท้อนลดลง วัสดุที่สามารถดูดซับเสียงได้โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นเส้นใย (fibrous) หรือรูพรุน (porous) ตัวอย่างวัสดุดังกล่าว เช่น เส้นใยแก้ว ใยหิน และวัสดุโฟม เป็นต้น วัสดุดูดซับเสียงทำหน้าที่กั้นคลื่นเสียงและลดพลังงานของคลื่นเสียงโดยการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ทางกลของอนุภาคอากาศให้กลายเป็นความร้อนที่มีพลังงานต่ำ หลักการทำงานนี้มีส่วนช่วยในการป้องกันการสะสมของเสียงในพื้นที่ปิดและลดปริมาณการสะท้อนของเสียงลงด้วย [6]

ตัวแปรที่มีผลต่อการดูดซับเสียงของวัสดุ [6] มีดังนี้

1. *ขนาดของเส้นใย*: ทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย พื้นที่ผิวของเส้นใย และความละเอียดของเส้นใยล้วนมีผลต่อการดูดซับ โดยเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยลดลง หรือมีพื้นที่ผิวเส้นใยมากขึ้น มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเส้นใยที่มีขนาดบางลงมีผลทำให้เส้นใยสามารถดูดซับเสียงได้ดีขึ้น ส่วนความละเอียดของเส้นใย เมื่อเส้นใยมีความละเอียดมากขึ้นมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความต้านทานการเคลื่อนที่ของอากาศเพิ่มสูงขึ้น
2. *ความต้านทานการไหลของอากาศ (airflow resistance)*: เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญมากสำหรับวัสดุดูดซับเสียงที่มีลักษณะเป็นเส้นใย การเชื่อมโยงของเส้นใย (fiber interlocking) ในกรณีเส้นใยที่ไม่ได้ถักทอมีมากขึ้น หรือเส้นใยที่มีความขรุขระมากขึ้น มีผลทำให้ค่าความต้านทานการไหลของอากาศเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้คลื่นเสียงเกิดการเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น

อัตราการไหลจำเพาะ (Specific flow resistance, R) ที่ได้มาจากการวัดตามมาตรฐาน ASTM D-1564-1971 มีสมการการคำนวณ ดังสมการที่ 2

$$R = \frac{P}{vl} \quad (2)$$

โดยที่ P คือ ค่าความแตกต่างของความดันระหว่างพื้นผิวหน้าทั้งสองด้านของชิ้นงานตัวอย่าง หน่วยเป็น

dyne/cm² หรือ 10⁻¹Pa

v คือ อัตราความเร็วของอากาศ หน่วยเป็น cm/s

l คือ ความหนาของชิ้นงานตัวอย่าง หน่วยเป็น cm

โดยปกติค่าความต้านทานการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเพิ่มสูงขึ้น แต่ถ้าค่าความต้านทานการไหลของอากาศ > 1000 จะมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงลดลง เพราะการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงทะลุผ่านได้ยากขึ้น

3. *ความเป็นรูพรุน (porosity)*: สำหรับวัสดุที่ไม่มีการถักทอของเส้นใยจะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเพิ่มขึ้นไปตามแนวการแพร่ของเสียง รูปร่าง ขนาด และจำนวนของรูพรุนล้วนเป็นปัจจัยที่มี

ความสำคัญต่อการกระจายของเสียงเข้าไปภายในวัสดุ **สมการที่ 3** เป็นสมการการคำนวณความเป็นรูพรุน

$$H = \frac{V_a}{V_m} \quad (3)$$

โดยที่ V_o คือ ปริมาตรของอากาศในช่องว่าง

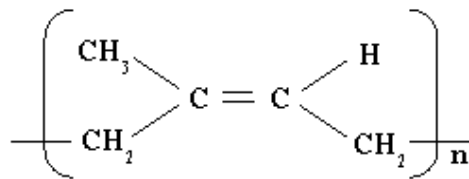
V_m คือ ปริมาตรทั้งหมดของชิ้นงานตัวอย่างวัสดุดูดซับเสียง

4. **ความคดเคี้ยวของรูพรุน (tortuosity):** เป็นการวัดเส้นทางในการเดินทางของเสียงในแนวตามยาวตลอดรูพรุนเปรียบเทียบกับความหนาของชิ้นงานตัวอย่าง ดังนั้นความคดเคี้ยวของรูพรุนจึงถูกใช้ในการอธิบายอิทธิพลของโครงสร้างภายในที่มีสมบัติการดูดซับเสียง ความคดเคี้ยวของรูพรุนมีผลในการกำหนดพฤติกรรมของวัสดุดูดซับเสียงที่มีรูพรุน ณ ความถี่สูง
5. **ความหนาของชิ้นงาน:** ความหนาของชิ้นงานวัสดุที่มีรูพรุนมีผลเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อการดูดซับเสียงช่วงความถี่ต่ำ ในขณะที่ความถี่สูง ความหนาของชิ้นงานไม่มีผลกระทบต่อ การดูดซับเสียง
6. **การกดอัดตัวของเส้นใย (compression):** การกดอัดตัวของเส้นใยในวัสดุดูดซับเสียงที่เป็นแผ่นเส้นใยมีผลทำให้การดูดซับเสียงลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการลดลงของความคดเคี้ยวของรูพรุน และความต้านทานการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ขณะที่รูพรุนและความหนาของชิ้นงานลดลง ซึ่งปัจจัยหลักที่ทำให้การดูดซับเสียงลดลง เมื่อการกดอัดตัวของเส้นใยมากขึ้น เพราะความหนาที่ลดลง
7. **การกั้นขวางของพื้นผิว (surface impedance):** การกั้นขวางเสียงของพื้นผิวมีมากขึ้น เมื่อความต้านทานของผิวมากขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของเสียงสะท้อนที่ผิวมีมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับเสียงลดลง นอกจากนี้การกั้นขวางเสียงยังขึ้นอยู่กับความถี่ด้วย เช่น ถ้าความถี่ของเสียงต่ำลง ความหนาของชิ้นงานผิวเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความต้านทานของผิวลดลง
8. **ตำแหน่งของการวางวัสดุดูดซับเสียง:** ตำแหน่งของการวางวัสดุดูดซับเสียงมีอิทธิพลต่อการดูดซับเสียง เช่น ในห้องสี่เหลี่ยม การวางวัสดุดูดซับเสียงควรวางในตำแหน่งใกล้ๆ มุม และตามขอบของพื้นผิวห้อง จะทำให้วัสดุดูดซับเสียงมีประสิทธิภาพมากที่สุด
9. **ความหนาแน่นของชิ้นงาน:** วัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนาแน่นต่ำสามารถดูดซับเสียงช่วงความถี่ต่ำ (500 Hz) ได้ดี ในขณะที่วัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนาแน่นมากดูดซับเสียงช่วงความถี่สูง (2000 Hz) ได้ดี
10. **การสร้างช่องว่างอากาศ:** การสร้างช่องว่างอากาศด้านหลังวัสดุดูดซับเสียงช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับเสียง โดยเฉพาะ ณ ช่วงความถี่ปานกลางและสูง

2.3 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติจัดเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งซึ่งได้มาจากยางของพืช ยางธรรมชาติมีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น มีสมบัติเชิงกลที่ดี มีความยืดหยุ่นสูง มีความเหนียว และทนต่อการขีดถูได้ดี [13] ยางธรรมชาติที่นำมาใช้งานส่วนใหญ่ได้มาจากยางของต้นยางพารา (*Hevea Brazilliensis*) ซึ่งเป็นพืชที่มีต้น

กำเนิดจากกลุ่มแม่ น้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ ยางธรรมชาติมีสูตรทางเคมีคือ ซิส-1,4- พอลิไอโซพรีน (Cis-1,4- polyisoprene) ดังรูปที่ 1 [14]



รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ [14]

น้ำยางสดที่กรีตได้จากต้นยางพารามีลักษณะเป็นสีขาวคล้ายน้ำมัน ประกอบไปด้วยเนื้อยาง (rubber phase) และส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง (non-rubber) โดยปกติมีเนื้อยางอยู่ประมาณ 25-45% และส่วนที่เป็นสารของแข็งที่ไม่ใช่ยางประมาณ 5% ส่วนที่เหลือส่วนใหญ่เป็นน้ำ สัดส่วนของปริมาณเนื้อยางในน้ำยางขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อายุของต้นยาง พันธุ์ของต้นยาง กรรมวิธีการกรีตยาง ฤดูกาล และพื้นที่ปลูกยาง เป็นต้น [15] น้ำยางที่ได้จากการกรีตยางต้องมีการเติมสารรักษาสภาพน้ำยางเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนก่อนเวลาที่ต้องการ ซึ่งการนำน้ำยางมาแปรรูปเป็นยางดิบ สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ น้ำยางข้น และยางแห้ง [13-14] โดยในที่นี้จะขอกกล่าวถึงเฉพาะน้ำยางข้นเท่านั้น เพราะเป็นวัตถุดิบที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้

น้ำยางข้น [13, 15]

เนื่องจากน้ำยางสดที่กรีตได้จากต้นยางมีปริมาณน้ำค่อนข้างมาก จึงไม่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และยังสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้นจึงต้องมีการนำน้ำยางสดที่ผ่านการเติมสารรักษาสภาพ เช่น แอมโมเนีย หรือแอมโมเนียร่วมกับสารป้องกันการบูดเน่าของน้ำยาง มาผ่านกรรมวิธีเพื่อเพิ่มปริมาณเนื้อยาง ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในทางปฏิบัติมีอยู่ด้วยกัน 4 วิธี ดังนี้ คือ

1. **วิธีการระเหยน้ำ (evaporation)** เป็นวิธีการระเหยน้ำออกจากน้ำยางสด โดยน้ำยางสดที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพและรักษาสภาพน้ำยางแล้ว มาเข้าสู่กระบวนการระเหยน้ำภายใต้สภาวะที่มีความดันต่ำและอุณหภูมิสูง น้ำยางข้นจากกระบวนการระเหยน้ำมีความเสถียรสูง และเหมาะที่จะนำไปใช้งานที่ต้องการความเหนียวติด
2. **วิธีการทำให้เกิดครีม (Creaming)** เป็นกระบวนการที่ทำให้น้ำยางเกิดเป็นครีม โดยการเติมสารที่ทำให้เกิดครีมลงในน้ำยางสดที่ผ่านการรักษาสภาพด้วยการเติมแอมโมเนีย อนุภาคของยางจะเกิดเป็นครีมแยกตัวอยู่ด้านบน และทำการแยกส่วนล่าง ซึ่งเป็นส่วนเจือจางของน้ำยางหรือเรียกว่า ยางสกีม (skim latex) ออกจากน้ำยางข้น
3. **วิธีการใช้กระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifugation)** เป็นวิธีการทำน้ำยางข้นที่เป็นที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรม น้ำยางสดที่ผ่านการเติมแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพน้ำยางถูกนำมาผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยงแล้ว น้ำยางจะแยกชั้นเป็นส่วนของน้ำยางข้นที่มีปริมาณยางแห้งไม่น้อยกว่า

ร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก และส่วนของหางน้ำยางจะถูกนำมาแปรรูปเป็นยางสกิมบล็อกหรือสกิมเครพโดยการลดปริมาณแอมโมเนียและทำให้ยางจับเป็นก้อนด้วยกรด

4. *วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (electrodecentration)* เป็นวิธีการแยกน้ำยางชั้นโดยอาศัยขั้วทางไฟฟ้า

น้ำยางชั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1. น้ำยางชั้นธรรมดาที่ไม่ผ่านการตัดแปรด้วยสารเคมีหรือวิธีการใดๆ เพื่อให้โมเลกุลของยางเปลี่ยนไป
2. น้ำยางชั้นที่ผ่านกระบวนการตัดแปรด้วยสารเคมี หรือการฉายรังสีให้โมเลกุลของยางเปลี่ยนแปลง เรียกว่า “น้ำยางคงรูป” หรือ “น้ำยางพรีวัลคาไนซ์”

สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ [16]

1. *ความยืดหยุ่น (elasticity)* ยางธรรมชาติที่คงรูปแล้ว หรือผ่านการวัลคาไนซ์แล้วจะมีสมบัติความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไป ยางจะกลับคืนสู่รูปร่างเดิมหรือใกล้เคียงเดิมได้อย่างรวดเร็ว
2. *ความเหนียวติดกัน (tack)* ยางธรรมชาติในสภาพที่ยังไม่คงรูปมีสมบัติติดเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกัน ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางล้อรถยนต์ เป็นต้น
3. *ความทนแรงดึงสูงสุด (tensile strength)* เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ยางธรรมชาติสามารถดกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืดดึง ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีความทนต่อแรงดึงสูงสุดมากโดยที่ไม่ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย (ประมาณ 20 MPa หรือสูงกว่านั้น) อย่างไรก็ตามการเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปยิ่งช่วยทำให้ค่าความทนแรงดึงสูงสุดสูงยิ่งขึ้น ซึ่งสมบัตินี้จะแตกต่างจากยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มีค่าความทนแรงดึงสูงสุดต่ำ จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในทางวิศวกรรมได้นอกจากจะมีการเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วยเท่านั้น
4. *ความทนแรงฉีกขาด (tear strength)* เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถดกผลึกได้เมื่อถูกยืดดึง ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีความทนแรงฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยทำให้ค่าความทนแรงฉีกขาดของยางสูงขึ้น
5. *สมบัติเชิงพลวัต (dynamic properties)* ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตที่ดี ยางมีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังมีความต้านทานต่อการล้าตัว (fatigue resistance) ที่สูงมากอีกด้วย เช่นเดียวกับความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion resistance) ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการขัดถูสูง แต่ยังด้อยกว่ายาง SBR (Styrene Butadiene Rubber) เล็กน้อย
6. *ความทนต่อของเหลวและสารเคมี (liquid and chemical resistance)* เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น

เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน เป็นต้น ความสามารถในการละลายนี้จะลดลงถ้าเกิดการคงรูป เนื่องจากการเชื่อมโยงทางเคมีของโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติในยางที่คงรูปแล้วจะไม่ละลาย แต่จะเกิดการบวมตัวในตัวทำละลายเหล่านี้เท่านั้น อย่างไรก็ตาม การบวมตัวดังกล่าวจะทำให้สมบัติเชิงกลของยางด้อยลง ด้วยเหตุนี้ ยางธรรมชาติจึงไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ แต่ยางจะทนต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังทนต่อกรดและด่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรดไนตริกและกรดกำมะถันเข้มข้น

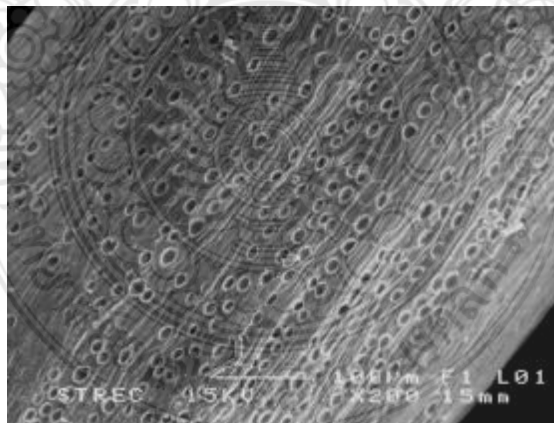
7. *การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดด (aging properties)* เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (oxidation) โดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังไม่ทนต่อโอโซนเพราะเมื่อถูกยึดและได้รับโอโซนนานๆ จะเกิดรอยแตกขนาดเล็กๆ จำนวนมากที่บริเวณพื้นผิวในทิศทางตั้งฉากกับการยึดตัวของยาง ด้วยเหตุนี้ ในระหว่างผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด เช่น สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (antioxidant) ไซ (wax) ลงไปเพื่อยืดอายุการใช้งานของยางธรรมชาติ
8. *การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature flexibility)* ยางธรรมชาติยังคงรักษาสมบัติความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการหักงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำมากๆ ซึ่งยางที่มีสมบัติดีกว่ายางธรรมชาติมีเพียง 2 ชนิดคือ ยางบิวตาไดอีน (Butadiene Rubber: BR) และยางซิลิโคน (Silicone Rubber: Q)
9. *การกลับคืนตัวถาวรหลังได้รับแรงอัด (compression set)* ยางธรรมชาติมีการกลับคืนตัวถาวรหลังได้รับแรงอัดค่อนข้างต่ำทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิปานกลาง อย่างไรก็ตาม การกลับคืนตัวถาวรหลังได้รับแรงอัดที่อุณหภูมิต่ำของยางธรรมชาติจะสูงขึ้นเนื่องจากเกิดการตกผลึกทำให้ความยืดหยุ่นของยางเริ่มสูญเสียไป ในขณะที่ค่าการกลับคืนตัวถาวรหลังได้รับแรงอัด ที่อุณหภูมิสูงของยางธรรมชาติจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากยางธรรมชาติไม่ทนต่อความร้อน ยางจึงเกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งส่งผลทำให้สมบัติการกลับคืนตัวถาวรหลังได้รับแรงอัดด้อยลง
10. *การกระด้างกระดอน (rebound resilience)* ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระด้างกระดอนสูง และในขณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ยางจะสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนน้อย (low hysteresis) ยางธรรมชาติจึงมีความร้อนสะสมต่ำเมื่อถูกใช้งานในเชิงพลวัต ยางชนิดนี้จึงเหมาะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีขนาดใหญ่ เช่น ยางรถบรรทุกหรือยางล้อเครื่องบิน เพราะหากใช้ยางที่มีความร้อนสะสมสูงก็อาจทำให้ยางเกิดการระเบิดได้ง่าย
11. *อุณหภูมิของการใช้งาน (service temperature)* ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -55 องศาเซลเซียส จนถึง 70 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม หากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำนานๆ ยางอาจเกิดการตกผลึกซึ่งจะทำให้ยางแข็งขึ้นและสูญเสียความยืดหยุ่นไป แต่เมื่ออุณหภูมิการใช้งานสูงเกินไป สมบัติเชิงกลต่างๆ ก็จะต้องด้อยลงเนื่องจากความร้อนจะทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ ในบางกรณีที่มีการออกสูตรผสมเคมียางได้อย่างเหมาะสม โดยมีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลงไป ยางธรรมชาติ

อาจสามารถนำไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิตั้งแต่ 90 องศาเซลเซียส จนถึง 100 องศาเซลเซียส (ในกรณีที่ยางได้รับอุณหภูมิสูงเป็นช่วงๆ เท่านั้น)

2.4 เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยปาล์มน้ำมัน (Oil Palm Fiber)

ปาล์มน้ำมันที่ปลูกในประเทศไทย มีชื่อสามัญว่า African Oil Palm เนื่องจากมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา และมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* Jacq. [17-18] เส้นใยปาล์มน้ำมันได้มาจากทะลายปาล์มเปล่า (empty fruit bunch, EFB) เส้นใยปาล์มน้ำมันมีความแข็งและความเหนียวใกล้เคียงกับเส้นใยกากมะพร้าว และบนพื้นผิวของเส้นใยปาล์มน้ำมันมีรูพรุน ดังแสดงในรูปที่ 2 ขนาดของรูพรุนที่ผิวเส้นใยปาล์มมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ $0.07 \mu\text{m}$ รูพรุนที่พื้นผิวของเส้นใยปาล์มนี้ช่วยทำให้เส้นใยปาล์มเกิดการยึดเกาะกับเมทริกซ์ได้ดีขึ้น (mechanical interlocking) ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน ปริมาณเซลลูโลสที่ค่อนข้างสูงจึงทำให้เส้นใยปาล์มน้ำมันมีความเหนียว แต่อย่างไรก็ตาม เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ซึ่งเป็นหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) จึงทำให้เส้นใยปาล์มดูดซับน้ำได้ดีและนั่นทำให้การยึดเกาะระหว่างเฟส (interfacial adhesion) ของเมทริกซ์และเส้นใยปาล์มอ่อนแอลง และนี้อาจทำให้สมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุผสมมีสมบัติที่ไม่ดี เส้นใยปาล์มน้ำมันมีน้ำมันหลงเหลืออยู่ที่ประมาณ 4.5 % ซึ่งการมีน้ำมันหลงเหลือในเส้นใยมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพทำให้เส้นใยปาล์มและพอลิเมอร์เมทริกซ์เข้ากันได้ดีขึ้น เนื่องจากหมู่เอสเทอร์ที่อยู่ในน้ำมันทำหน้าที่เป็นสารคู่ควบ (coupling agent) [18]



รูปที่ 2 ภาพพื้นผิวของเส้นใยปาล์มน้ำมัน [19]

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน [18, 20]

ส่วนประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)
α -เซลลูโลส	36.7
เฮมิเซลลูโลส	35.8
ลิกนิน	18.6
สารสกัด	2.8
ปริมาณเถ้า	1.3

ชานอ้อย (Bagasse Fiber)

ชานอ้อยได้มาจากส่วนของลำต้นอ้อยที่ผ่านการหีบน้ำตาลออกแล้ว ชานอ้อยถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตน้ำตาล และประมาณ 9 % ของชานอ้อยถูกนำมาใช้ในการผลิตเอทานอล นอกจากนี้ชานอ้อยยังถูกนำมาผสมกับวัสดุประเภทอื่นเพื่อขึ้นรูปเป็นวัสดุผสม เนื่องจากชานอ้อยมีสมบัติทางกลที่ดี เช่น ความทนแรงดึง ความทนแรงดัด ค่าความแข็ง และความทนต่อแรงกระแทก ก่อนการนำชานอ้อยมาทำการผสมเป็นวัสดุผสมต้องมีการปรับปรุงชานอ้อยด้วยกระบวนการทางเคมีก่อน จากนั้นสามารถนำชานอ้อยมาผสมขึ้นรูปกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ด้วยกระบวนการอัดความดันสูง หรือกระบวนการฉีดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ [21] สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย เป็นดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน [22]

ส่วนประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)
เซลลูโลส	55.81
โฮโลเซลลูโลส	74.77
α -เซลลูโลส	47.4
ลิกนิน	20.35
สารสกัดที่ละลายในแอลกอฮอล์-อะซิโตน	3.15
ปริมาณเถ้า	1.74

2.5 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Sobral, M. และคณะ (2003) [23] ได้ทำการศึกษาผลของขนาดอนุภาคยางที่มีต่อสมบัติการรับแรงดัด และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง โดยการใส่ตัวประสานประเภทพอลิเมอร์เป็นตัวช่วยยึดเกาะอนุภาคยาง พบว่า ขนาดอนุภาคยางที่เล็กมีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติการรับแรงดัด และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงให้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น

Zhao, J. และคณะ (2010) [24] ได้ทำการศึกษาสมบัติความเป็นฉนวนทางเสียงของการนำอนุภาคไม้ และเศษยางจากล้อยางผสมกันโดยใช้ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (urea formaldehyde, UF) และพอลิเมอร์เมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนต (polymeric methylene diphenyl diisocyanate, PMDI) เป็นกาวหรือตัวประสาน เปรียบเทียบกับแผ่นไม้ปาร์ติเกิลบอร์ดทางการค้า จากการศึกษาพบว่า ค่าการสูญเสียของการถ่ายเทเสียง (transmission loss, TL) ของชิ้นงานวัสดุผสมมีค่าสูงกว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลบอร์ดทางการค้า ทั้งนี้เพราะอนุภาคไม้ในแผ่นไม้ปาร์ติเกิลบอร์ดยังคงมีรูพรุนจากเซลล์ท่อลำเลียงอยู่ทำให้สมบัติความเป็นฉนวนทางเสียงไม่เทียบเท่ากับการมีตัวประสาน หรือกาวซึ่งเข้าไปเติมเต็มช่องว่างภายในเซลล์และระหว่างเซลล์ ส่วนผลของการเติมเศษยางจากล้อยางมีผลทำให้สมบัติความเป็นฉนวนทางเสียงเพิ่มขึ้น ส่วน UF และ PMDI มีส่วนช่วยในการทำให้รอยต่อระหว่างเฟสของอนุภาคไม้ และยางมีความต่อเนื่องมากยิ่งขึ้นส่งผลทำให้สมบัติความเป็นฉนวนทางเสียงเพิ่มมากขึ้น

Najib, N.N. และคณะ (2011) [25] ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิการเกิดโฟมที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในยางโฟมธรรมชาติ โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) เป็นสารเพิ่มฟอง และทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิการเกิดโฟมที่ 140-160 องศาเซลเซียส พบว่า การใช้อุณหภูมิการเกิดโฟมที่ 140 องศาเซลเซียส หรือ ณ อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่สูงกว่าที่อุณหภูมิการเกิดโฟมสูง (150 และ 160 องศาเซลเซียส) เนื่องจาก ณ อุณหภูมิการเกิดโฟมต่ำ ขนาดเซลล์ของโฟมที่มีขนาดเล็กมีส่วนช่วยเสริมการดูดซับเสียงเพราะขนาดรูที่เล็กช่วยกระจายเสียงได้ดีกว่ารูที่มีขนาดใหญ่ และอุณหภูมิการเกิดโฟมต่ำมีผลทำให้เนื้อยางบริเวณผนังของเซลล์โฟมมีความหนาแน่นมากขึ้นซึ่งมีผลทำให้วัสดุมีความเป็นออสติติกมากขึ้นช่วยทำให้การดูดซับเสียงได้มากขึ้น

AL-Rahman, L.A. และคณะ (2012) [7] ได้ทำการศึกษาผลของความหนาแน่นของชิ้นงานวัสดุดูดซับเสียงที่มีผลต่อการดูดซับเสียง พบว่า ความหนาแน่นที่เพิ่มมากขึ้นของชิ้นงานเส้นใยอินทผาลัมที่ถูกอัดเป็นแผ่นด้วยยางลาเท็กซ์ และทำการควบคุมน้ำหนักของเส้นใยให้คงที่ มีผลทำให้สมบัติการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะความหนาแน่นของชิ้นงานที่เพิ่มมากขึ้น ยิ่งทำให้เกิดรูพรุนเพิ่มมากขึ้น และการมีอยู่ของยางลาเท็กซ์ช่วยทำให้การกระจายตัวของเสียงเกิดได้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้สามารถแบ่งงานวิจัยออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ คือ ส่วนแรกเป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลของชนิดและปริมาณเส้นใยที่มีต่อสมบัติการดูดซับเสียงของวัสดุผสมยางและเส้นใยธรรมชาติ โดยสภาวะการปรับปรุงผิวเส้นใยที่เหมาะสมที่ได้จากงานวิจัยส่วนที่หนึ่งถูกเลือกมาเพื่อใช้ในการปรับปรุงผิวงานวิจัยส่วนที่สอง

3.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 น้ำยางธรรมชาติและสารเติมแต่ง

- น้ำยางธรรมชาติและสารเติมแต่งที่ใช้ในงานวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 4 มีรายละเอียดดังนี้
- น้ำยางธรรมชาติเป็นน้ำยางลาเท็กซ์ชั้นที่มีปริมาณแอมโมเนียสูง และมีปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC) 60 % แอมโมเนียทำหน้าที่ช่วยรักษาสภาพยางให้อยู่ในรูปของน้ำยาง
 - กำมะถัน (Sulphur dispersion) ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมโยง หรือสารทำให้ยางคงรูป (crosslinking agent)
 - ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc diethyldithiocarbamate dispersion, ZDEC) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาปฐมภูมิ (primary accelerator)
 - ซิงค์เมอร์แคปโตเบนโซไทอาโซล (Zinc mercaptobenzothiazole dispersion, ZMBT) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยา
 - สารต่อต้านการเกิดออกซิเดชันวินด์สแตย์ แอล (Wingstay® L antioxidant dispersion) ทำหน้าที่ป้องกันการเสื่อมสภาพของยางธรรมชาติ
 - ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide dispersion, ZnO) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยา (activator) ในการทำปฏิกิริยาคัลคาไนซ์เซชัน
 - ไดฟีนิลกวานิดีน (Diphenylguanidine dispersion, DPG) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยา
 - โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Sodium silicofluoride dispersion, SSF) ทำหน้าที่เป็นสารช่วยทำให้เกิดฟอง

3.1.2 เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ชานอ้อย (Bagasse fiber, BF) และเส้นใยปาล์มน้ำมัน (Oil palm fiber, OPF) ซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ในทางการเกษตร มีลักษณะเส้นใยเป็นดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ เส้นใยชานอ้อย และเส้นใยปาล์มน้ำมันถูกนำมาปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเวลาในการปรับปรุงผิว จากนั้นเลือกหาส

ภาวะการปรับปรุงผิวที่ดีที่สุด เพื่อนำมาใช้ในการเตรียมเส้นใยธรรมชาติที่นำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นงานวัสดุดูดซับเสียงจากวัสดุผสมระหว่างยางโฟมธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติ

ตารางที่ 4 สูตรของวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัย

Ingredients	TSC (%)	Concentration (phr)
High ammonia-concentrated NR latex	60.0	100.0
Sulphur dispersion	50.0	2.0
Zinc diethyldithiocarbamate dispersion, ZDEC	50.0	1.0
Zinc mercaptobenzothiazole dispersion, ZMBT	50.0	1.0
Wingstay® L antioxidant dispersion	50.0	1.0
Zinc oxide dispersion, ZnO	50.0	5.0
Diphenylguanidine dispersion, DPG	33.0	0.66
Sodium silicofluoride dispersion, SSF	12.5	1.0
Potassium oleate, K-oleate	20.0	2.0
Treated natural fibers by NaOH		
➤ Bagasse fiber (BF)		Varied (0.0, 2.5, 5.0, 10.0 %wt.)
➤ Oil palm fiber (OPF)		Varied (0.0, 2.5, 5.0, 10.0 %wt.)

หมายเหตุ TSC คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content)



รูปที่ 3 ลักษณะของเส้นใยชานอ้อยที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 4 ลักษณะของเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์

โซเดียมไฮดรอกไซด์ถูกใช้ในการปรับปรุงผิวเส้นใยชานอ้อยและปาล์มน้ำมัน โดยการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีผลทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยลดลง เพิ่มความขรุขระที่พื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ และช่วยปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างเฟสของยางธรรมชาติแลเส้นใยธรรมชาติ

3.1.4 สารเพิ่มฟอง

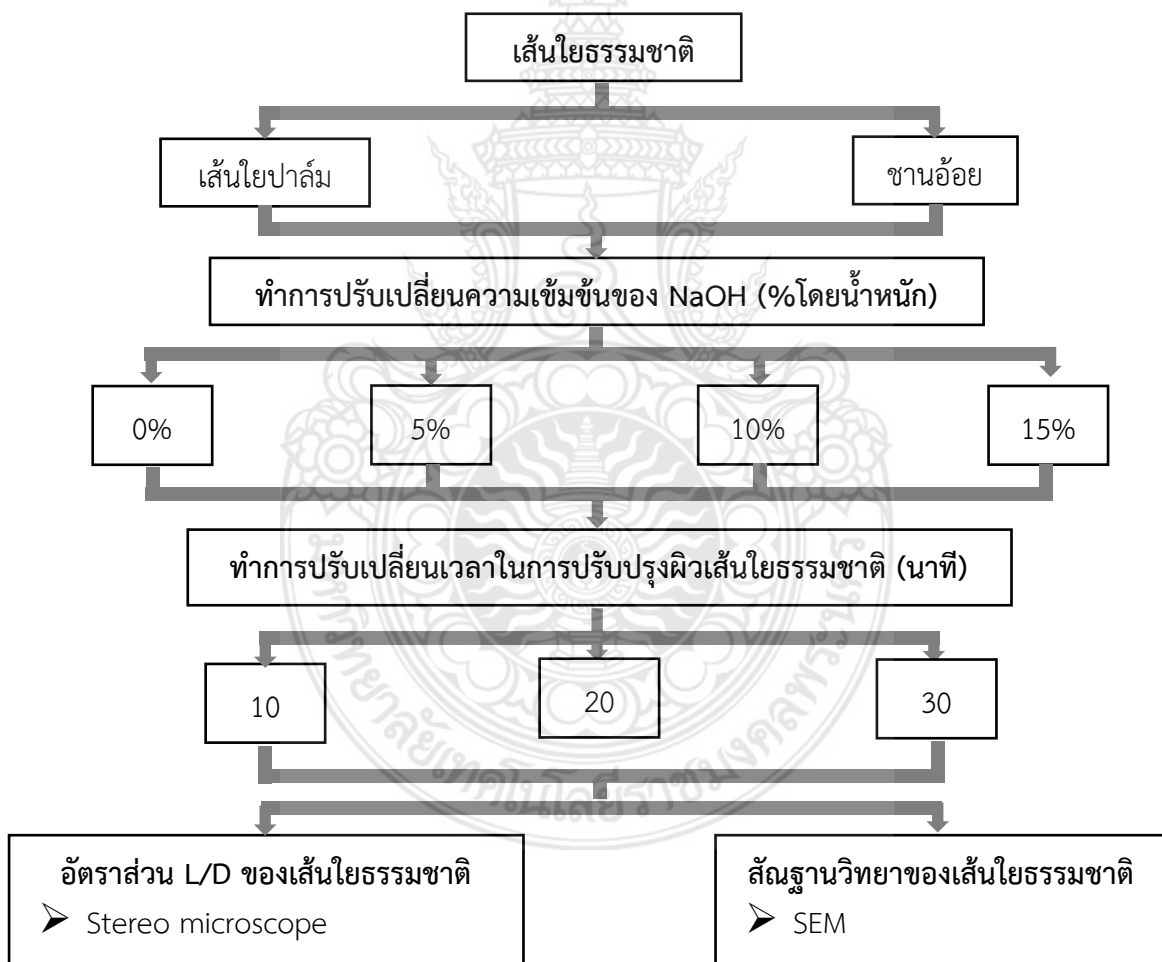
สารเพิ่มฟองในงานวิจัยนี้เลือกใช้โพแทสเซียมโอเลต (Potassium oleate, K-oleate) ซึ่งเป็นสารเพิ่มฟองที่สร้างโฟมชนิดเซลล์เปิด ซึ่งเป็นลักษณะของเซลล์โฟมที่มีประสิทธิภาพการดูดซับเสียงได้ดี

3.2 แผนการดำเนินการวิจัย

แผนการดำเนินการวิจัย แบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.2.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

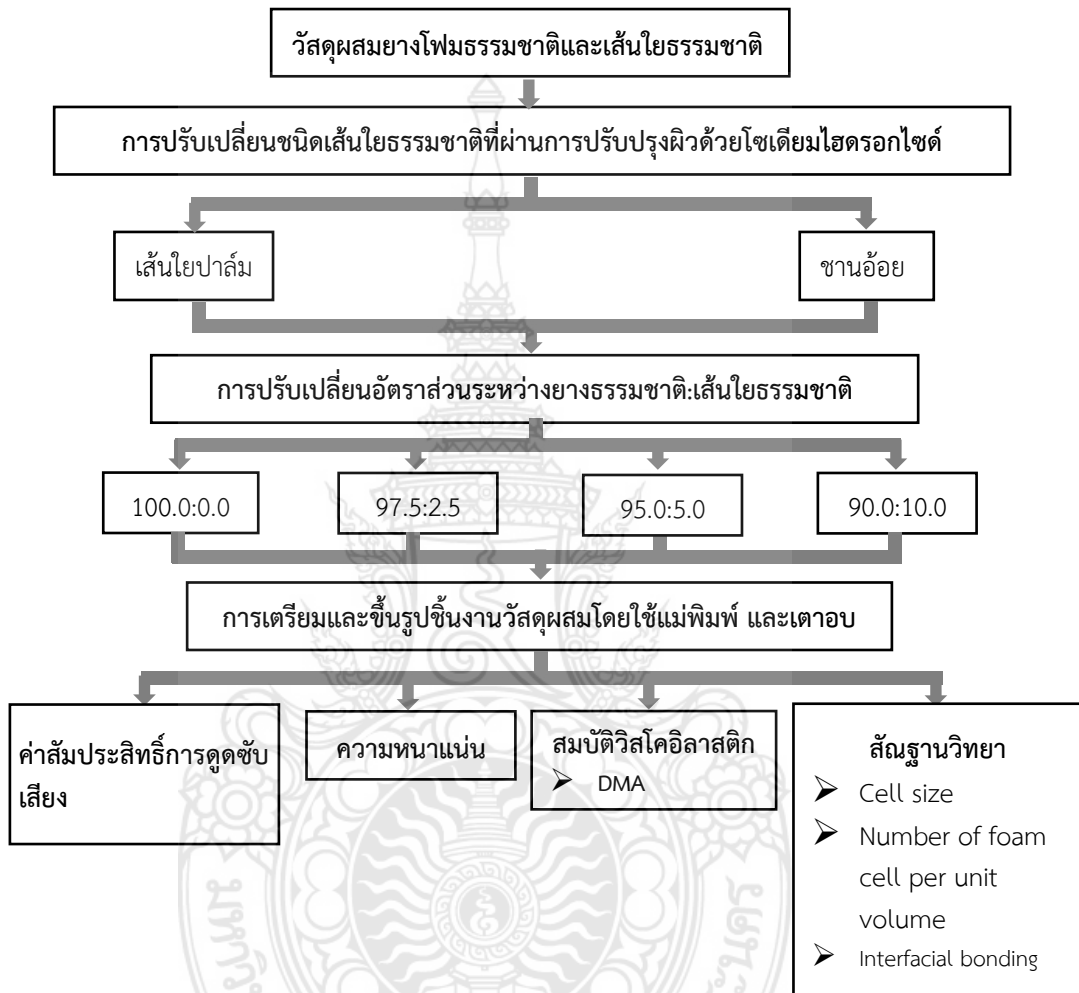
ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติ โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเวลาในการปรับปรุงผิว ดังรายละเอียดในรูปที่ 5 และทำการประเมินหาสภาวะที่เหมาะสมโดยการพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยธรรมชาติ (L/D) และทำการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ



รูปที่ 5 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.2.2 การศึกษาผลของชนิดเส้นใยธรรมชาติและอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติการดูดซับเสียง

ทำการศึกษาผลของชนิดเส้นใยธรรมชาติ และอัตราส่วนระหว่างยางโฟมธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติการดูดซับเสียง ดังรายละเอียดในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการการศึกษาผลของชนิดเส้นใยธรรมชาติและอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติการดูดซับเสียง

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 วิธีการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ขั้นตอนการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติ มีรายละเอียดดังนี้

1. ทำการอบไล่ความชื้นที่มีอยู่ในเส้นใยชานอ้อย และปาล์มน้ำมัน โดยการนำเส้นใยไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. นำเส้นใยชานอ้อย และปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้วมาใส่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 7 ทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตั้งแต่ 0, 5, 10 และ 15 %โดยน้ำหนักของเส้นใยธรรมชาติ และทำการปรับเปลี่ยนเวลาในการแช่เส้นใยธรรมชาติ จาก 0, 10, 20 และ 30 นาที ทำความผสมเส้นใยธรรมชาติกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ตลอดเวลา
3. ทำการกำจัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในเส้นใยธรรมชาติเมื่อครบกำหนดเวลาการปรับปรุงผิว โดยการล้างด้วยน้ำดีไอออไนเซชัน (deionization, DI) จนกระทั่งน้ำที่ล้างมีค่า pH เท่ากับ 7 หรือมีค่ากรด-เบสที่เป็นกลาง
4. ทำการอบไล่ความชื้นเส้นใยธรรมชาติ โดยการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ลักษณะเส้นใยธรรมชาติภายหลังการอบเป็นดังแสดงในรูปที่ 8
5. ทำการหาอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยธรรมชาติ โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Stereo microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ 745T ดังรูปที่ 9 เพื่อถ่ายภาพเส้นใยธรรมชาติ จากนั้นนำภาพมากำหนดหาค่าความยาว และเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยธรรมชาติ โดยใช้โปรแกรม Image-J จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า L/D
6. ทำการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติก่อนและหลังการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ Philip รุ่น Philip XL30 ดังรูปที่ 10 ที่ศักย์ไฟฟ้า 13 kv เส้นใยธรรมชาติก่อนการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วย SEM ต้องทำการเคลือบทองด้วยวิธีการสปัตเตอริง (sputtering)
7. ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติ และนำสภาวะการปรับปรุงผิวที่เหมาะสมมาใช้ในการเตรียมวัสดุผสมระหว่างยางพาราธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติในหัวข้อที่ 3.3.2



รูปที่ 7 การแช่เส้นใยธรรมชาติในสารละลายโซเดียมคลอไรด์



รูปที่ 8 ลักษณะของเส้นใยธรรมชาติภายหลังการปรับปรุงผิวและผ่านการอบไล่ความชื้น



รูปที่ 9 กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ 745T



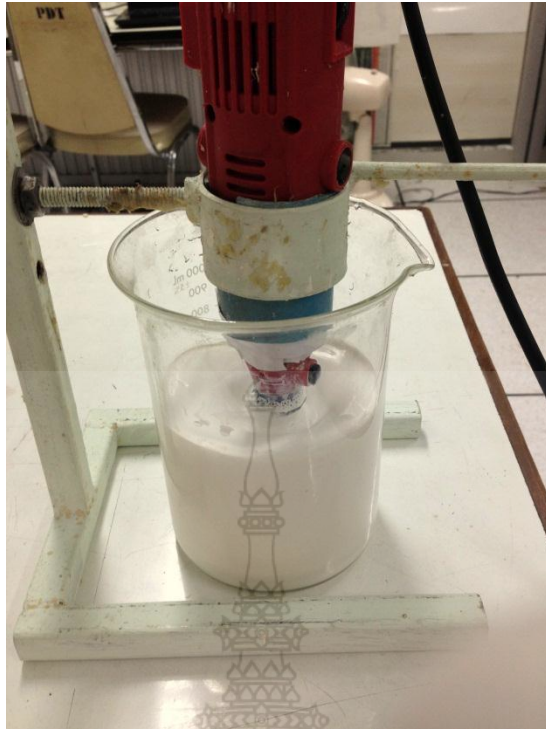
รูปที่ 10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ Philip รุ่น Philip XL30

3.3.2 วิธีการศึกษาผลของชนิดเส้นใยธรรมชาติและอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติการดูดซับเสียง

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติ และการตรวจสอบผลของชนิดและปริมาณเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติการดูดซับเสียง มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติ

1. เริ่มต้นด้วยการคนน้ำยางธรรมชาติด้วยเครื่องกวนสาร ดังแสดงในรูปที่ 11 เป็นเวลา 1 นาที เพื่อกำจัดแอมโมเนียที่อยู่ในน้ำยางข้น
2. เติมสารเพิ่มฟอง K-oleate ลงในน้ำยาง ปริมาณ 2 phr ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตเซลล์โฟมที่มีขนาดเล็ก และมีจำนวนเซลล์โฟมมาก [26] จากนั้นทำการคนน้ำยางอย่างต่อเนื่อง
3. เมื่อทำการคนน้ำยางจนกระทั่งน้ำยางมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ทำการเติมกำมะถัน, ZDEC, ZMBT และ Wingstay ® L จากนั้นทำการคนต่อเป็นเวลา 1 นาที
4. จากนั้นทำการเติม ZnO และDPG ลงในน้ำยาง และทำการคนน้ำยางต่ออีกเป็นเวลา 1 นาที
5. สารช่วยทำให้เกิดฟอง SSF และเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงผิวแล้วถูกเติมลงในน้ำยางธรรมชาติเป็นขั้นตอนสุดท้าย และทำการคนน้ำยางธรรมชาติกับเส้นใยธรรมชาติจนกระทั่งผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เส้นใยชานอ้อย และปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวแล้วถูกปรับเปลี่ยนปริมาณ 0, 2.5, 5.0 และ 10.0 %โดยน้ำหนัก
6. จากนั้นนำน้ำยางธรรมชาติที่มีการเติมสารเติมแต่งและเส้นใยธรรมชาติแล้วมาทำการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ และทำการให้ความร้อนด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง การให้ความร้อนเพื่อทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ และทำให้เกิดโฟม แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานมีลักษณะเป็นแบบแผ่นดิสก์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 29 และ 100 มิลลิเมตร และมีความหนาเท่ากันคือ 25 มิลลิเมตร ลักษณะของชิ้นงานที่เตรียมได้มีลักษณะดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 น้ํายางธรรมชาติที่ถูกกวนด้วยเครื่องกวนสาร

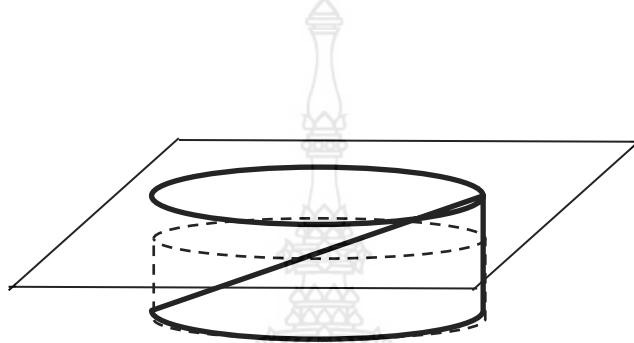


รูปที่ 12 ลักษณะของชิ้นงานยางโฟมที่เตรียมได้

ขั้นตอนการตรวจสอบสมบัติ

➤ รูปร่างและขนาดของเซลล์โฟม

รูปร่างเซลล์โฟมของยางโฟม และวัสดุผสมยางโฟมถูกตรวจสอบโดยการถ่ายภาพด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Stereo microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ 745T ซึ่งก่อนการถ่ายภาพชิ้นงานตัวอย่าง ชิ้นงานต้องถูกเตรียมผิวหน้าโดยการตัดชิ้นงานในแนวตั้งฉากกับการโตของเซลล์โฟม ดังแสดงในรูปที่ 13 เพื่อเปิดผิวหน้าให้เห็นลักษณะของเซลล์โฟมด้านใน และทำการวัดขนาดของเซลล์โฟมโดยใช้โปรแกรม Image J ค่าเฉลี่ยของขนาดเซลล์โฟมได้มาจากการวัดขนาดเซลล์โฟม จำนวนทั้งสิ้น 100 เซลล์



รูปที่ 13 แนวการตัดชิ้นงานตัวอย่างเพื่อตรวจสอบขนาดเซลล์โฟม

➤ จำนวนของเซลล์โฟมต่อหน่วยปริมาตร

จำนวนของเซลล์โฟมต่อหน่วยปริมาตรของชิ้นงานยางโฟม และวัสดุผสมยางโฟมและเส้นใยธรรมชาติได้มาจากการคำนวณดังสมการที่ 1 [25, 27]

$$N = \frac{6}{\pi d^3} \left(\frac{\rho_{rubber}}{\rho_{foam}} - 1 \right) \quad (1)$$

โดยที่ N คือ จำนวนของเซลล์โฟมต่อหน่วยปริมาตร หน่วยเป็น cm^{-3}
d คือ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์โฟม หน่วยเป็น cm
 ρ_{rubber} คือ ค่าความหนาแน่นของยางแข็ง หน่วยเป็น g/cm^3
 ρ_{foam} คือ ค่าความหนาแน่นของยางโฟม หน่วยเป็น g/cm^3

➤ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient)

การวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสามารถวัดโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E1050 (2012) โดยทำการวัดด้วยเครื่อง two-fixed microphone impedance tube ยี่ห้อ Scien รุ่น SC9301 ดังแสดงในรูปที่ 14 ช่วงความถี่ที่ใช้ในการทดสอบ อยู่ระหว่าง 100 ถึง 6400 Hz ในเครื่อง two-fixed microphone impedance tube แหล่งกำเนิดเสียงจะอยู่ที่ปลายท่อด้านหนึ่ง ในขณะที่ชิ้นงานทดสอบจะถูกติดตั้งอยู่ที่ปลายอีกด้านหนึ่งของท่อ ชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ถูกใช้ในการทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงในช่วงความถี่ 100-1600 Hz ขณะที่ชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 29 มิลลิเมตร ถูกใช้ในการทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงในช่วงความถี่ and 500-6400 Hz การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง เป็นดังสมการที่ 2



Duct for low frequency



Duct for high frequency

รูปที่ 14 เครื่อง two-fixed microphone impedance tube ยี่ห้อ Scien รุ่น SC9301

$$\text{Sound Absorption Coefficient} = \frac{\text{พลังงานเสียงที่ถูกดูดซับ}}{\text{พลังงานเสียงที่ตกกระทบวัสดุดูดซับเสียง}} \quad (2)$$

➤ ค่าความหนาแน่น

การหาค่าความหนาแน่นของชิ้นงานยางโฟม และวัสดุผสมยางโฟมและเส้นใยธรรมชาติดำเนินการโดยการตัดชิ้นงานให้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ จากนั้นนำชิ้นงานรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มาทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 15 และทำการวัดขนาดของชิ้นงานตัวอย่างด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ จากนั้นทำการคำนวณหาค่าความหนาแน่น ดังสมการที่ 3



รูปที่ 15 เครื่องชั่งแบบดิจิทัล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (3)$$

- โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของชิ้นงานทดสอบ หน่วยเป็น g/cm^3
 M คือ น้ำหนักของชิ้นงานทดสอบ หน่วยเป็น g
 V คือ ปริมาตรของชิ้นงานทดสอบ หน่วยเป็น cm^3

➤ การวิเคราะห์สมบัติทางกลเชิงไดนามิก (Dynamic Mechanical Analysis)

พฤติกรรมวิสโคอีลาสติก (Viscoelastic behavior) ของชิ้นงานยางโฟม และวัสดุผสมยางโฟมและเส้นใยธรรมชาติถูกตรวจสอบโดยการใช้เครื่อง dynamic mechanical analyzer ยี่ห้อ GABO Qualimeter รุ่น EPLEXOR QC 25 ดังแสดงในรูปที่ 16 ชิ้นงานทดสอบถูกเตรียมในลักษณะทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร และมีความหนา 8 มิลลิเมตร ทดสอบโดยใช้โหมด compression ช่วงอุณหภูมิการทดสอบ คือ -80 ถึง 80 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อน 2 องศาเซลเซียส/นาที ความถี่ของการทดสอบ คือ 10 Hz และทำการรายงานผลในรูปของค่า storage modulus และ $\text{Tan } \delta$



รูปที่ 16 เครื่อง dynamic mechanical analyzer ยี่ห้อ GABO Qualimeter รุ่น EPLEXOR QC 25

➤ การตรวจสอบการยึดเกาะระหว่างเฟส

การตรวจสอบการยึดเกาะระหว่างเฟสของยางโฟม และเส้นใยธรรมชาติถูกตรวจสอบโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) การเตรียมชิ้นงานก่อนการทดสอบต้องนำชิ้นงานไปจุ่มในไนโตรเจนเหลว เป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นทำการหักชิ้นงานในแนวตั้งฉากกับการโตของโฟม และเมื่อทำการหักชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว นำชิ้นงานไปเคลือบทองด้วยวิธีการ sputtering และทำการตรวจสอบการยึดเกาะระหว่างเฟสด้วยกล้อง SEM ยี่ห้อ Philip รุ่น Philip XL30 ดังแสดงในรูปที่ 17 ความต่างศักย์ไฟฟ้า 13 kV



รูปที่ 17 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ Philip รุ่น Philip XL30

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

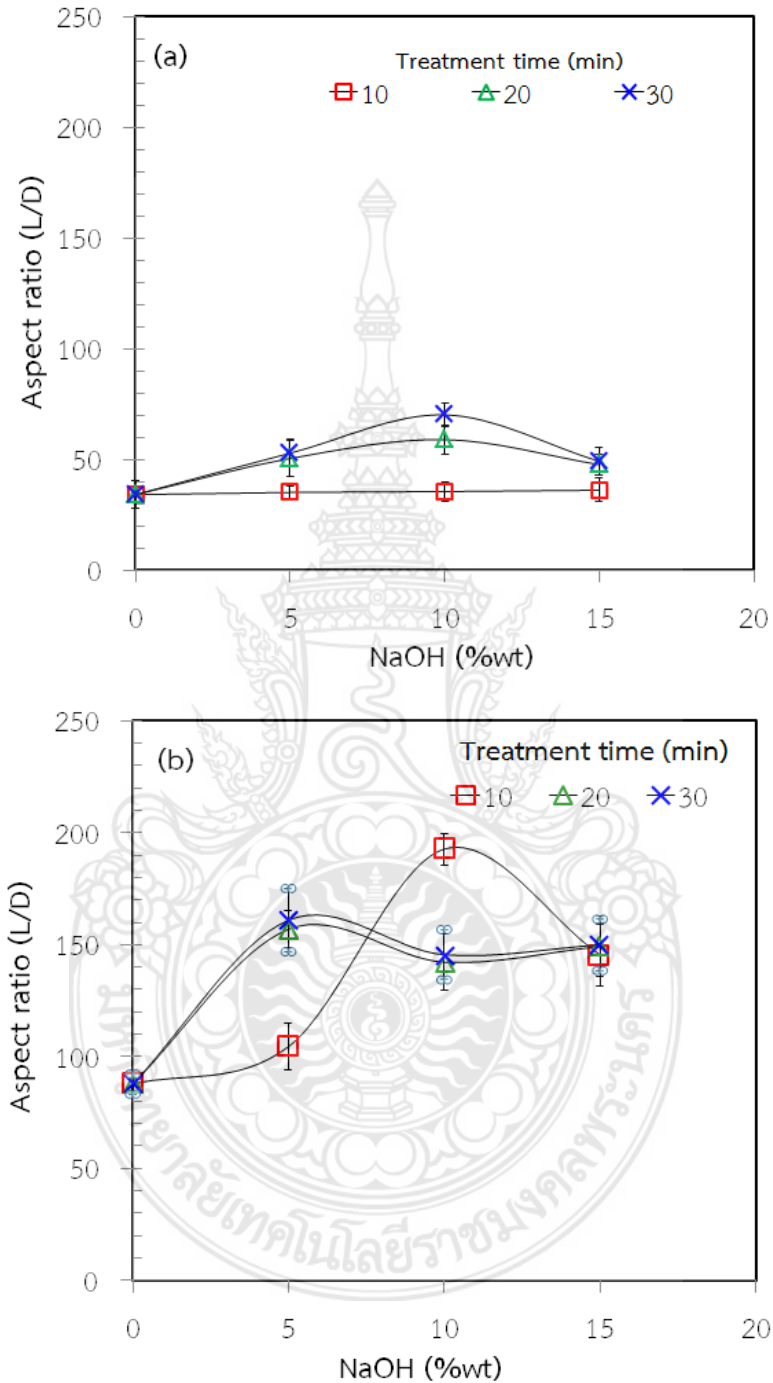
ผลการทดลองถูกรายงานผล แบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน โดยงานส่วนที่ 1 เป็นการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยชานอ้อย และปาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยทำการประเมินผลจากค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D) ของเส้นใยธรรมชาติ และลักษณะพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติก่อนและหลังการปรับปรุงผิว ส่วนงานในส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของเส้นใยธรรมชาติที่มีผลต่อสมบัติการดูดซับเสียง

4.1 ผลของการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยชานอ้อย และเส้นใยปาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ดำเนินการโดยการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตั้งแต่ 5, 10 และ 15 % โดยน้ำหนักของเส้นใยธรรมชาติ และทำการปรับเปลี่ยนเวลาในการปรับปรุงผิวเส้นใย ตั้งแต่ 10, 20 และ 30 นาที ผลของการเปลี่ยนแปลง L/D ของเส้นใยธรรมชาติ ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติก่อนและหลังการปรับปรุงผิว รวมถึงรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไปของเส้นใยธรรมชาติ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

รูปที่ 18(a) และ 18(b) แสดงผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อค่า L/D ของเส้นใยชานอ้อย และเส้นใยปาล์มน้ำมัน ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์มีผลทำให้มีค่า L/D ที่เพิ่มสูงขึ้นทั้งกรณีชานอ้อย และเส้นใยปาล์มน้ำมัน ยกเว้นสำหรับกรณีชานอ้อยที่เวลาในการปรับปรุงผิวที่ 10 นาที ที่มีแนวโน้ม L/D ไม่เปลี่ยนแปลง และที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 % โดยน้ำหนักของเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งส่วนใหญ่มีแนวโน้ม L/D ลดลง การเพิ่มขึ้นของ L/D เป็นผลมาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปลดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยธรรมชาติลงด้วยการกำจัดเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารปนเปื้อนอื่นๆ ออกจากผิวหน้าของเส้นใยธรรมชาติ [29-30] ส่วนเวลาการปรับปรุงผิวที่ 10 นาที ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของ L/D อาจเนื่องมาจากเวลาที่ใช้น้อยเกินไป และที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 % โดยน้ำหนักของเส้นใยธรรมชาติ มีผลทำให้ L/D ลดลง อาจเนื่องมาจากปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไปนำสู่การขาดของเส้นใยธรรมชาติมีผลทำให้ความยาวเส้นใยธรรมชาติสั้นลง และเมื่อเปรียบเทียบผลของเวลาในการปรับปรุงผิว พบว่า เมื่อเวลาในการปรับปรุงผิวเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า L/D เพิ่มขึ้น ยกเว้นกรณีเส้นใยปาล์มน้ำมันที่เวลาในการปรับปรุงผิวที่ 20 และ 30 นาที ณ ความเข้มข้น 10 และ 15 % โดยน้ำหนักของเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งพบว่าค่า L/D ต่ำกว่า เวลาในการปรับปรุงผิวที่ 10 นาที ณ ความเข้มข้นเดียวกัน การลดลงของ L/D เป็นผลมาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปทำลายเส้นใยของเส้นใยปาล์มน้ำมัน จึงทำให้เกิดการขาดของเส้นใย สำหรับผลของชนิดเส้นใยที่มีต่อการปรับปรุงผิว พบว่า ค่า L/D ของกรณีชานอ้อยมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าเส้นใยปาล์มน้ำมัน ด้วยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเวลาในการปรับปรุงผิว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชานอ้อยเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีสัดส่วนของเซลลูโลสมากเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยปาล์มน้ำมัน

[20, 22] และเซลลูโลสเป็นสารที่มีความเป็นผลึกสูง [31] ดังนั้นเซลลูโลสจึงถูกกำจัดออกจากเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ยากกว่าเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน การลดลงของเส้นผ่านศูนย์กลางของชานอ้อยจึงเกิดได้ยากกว่าเส้นใยปาล์มน้ำมัน



รูปที่ 18 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยธรรมชาติ ณ เวลาในการปรับปรุงผิวต่างๆ กัน

- (a) ชานอ้อย
- (b) ปาล์มน้ำมัน



รูปที่ 19 ภาพถ่ายลักษณะของเส้นใยชานอ้อยก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

(a) ก่อนการปรับปรุงผิว

(b) หลังการปรับปรุงผิว

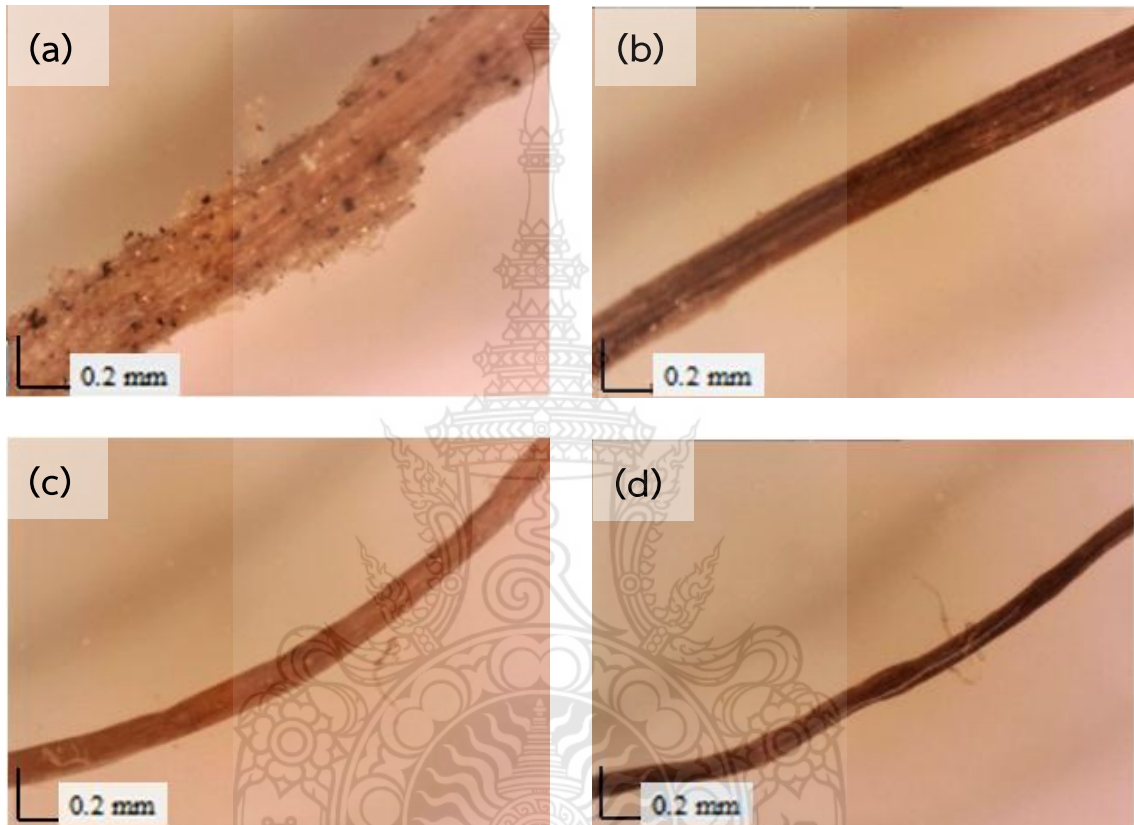


รูปที่ 20 ภาพถ่ายลักษณะของเส้นใยปาล์มน้ำมันก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

(a) ก่อนการปรับปรุงผิว

(b) หลังการปรับปรุงผิว

จากรูปที่ 19 และ 20 เป็นภาพแสดงลักษณะของเส้นใยชานอ้อยและเส้นใยปาล์มน้ำมันก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ จากรูปทั้งสองสามารถสังเกตเห็นว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์มีส่วนช่วยให้เส้นใยที่เกาะกลุ่ม (fiber bundle) เกิดการแยกออกจากกัน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีขนาดเล็กลง และสังเกตเห็นว่าเส้นใยธรรมชาติมีสีที่ค่อนข้างเข้มมากขึ้น



รูปที่ 21 ภาพถ่ายลักษณะของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยชานอ้อยที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการผ่านกรปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ณ ความเข้มข้นต่างๆ กัน

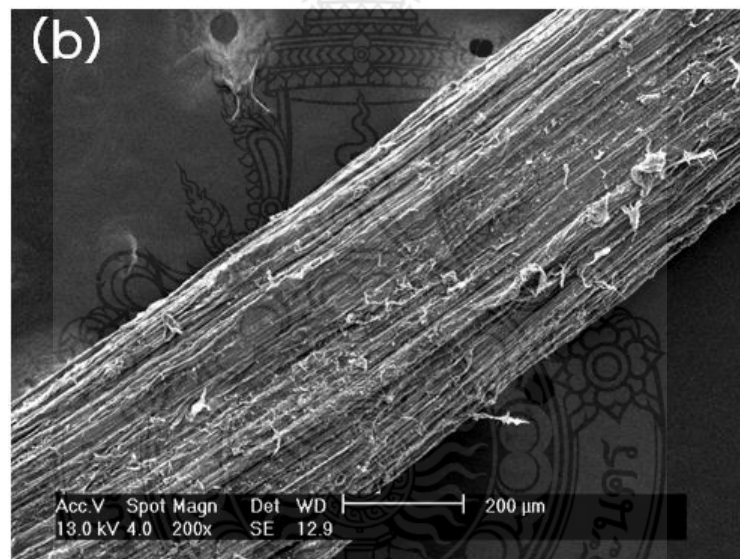
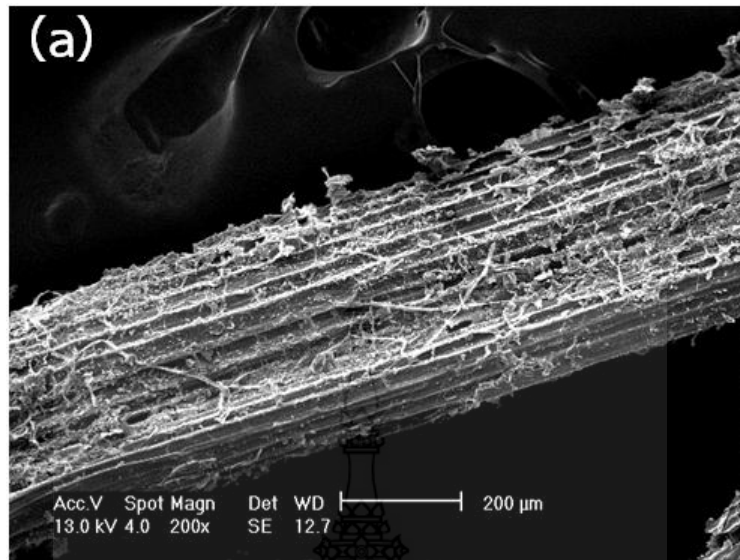
- (a) ก่อนการปรับปรุงผิว
- (b) 5 %โดยน้ำหนัก
- (c) 10 %โดยน้ำหนัก
- (d) 15 %โดยน้ำหนัก



รูปที่ 22 ภาพถ่ายลักษณะของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยปาล์มน้ำมันที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ณ ความเข้มข้นต่างๆ กัน

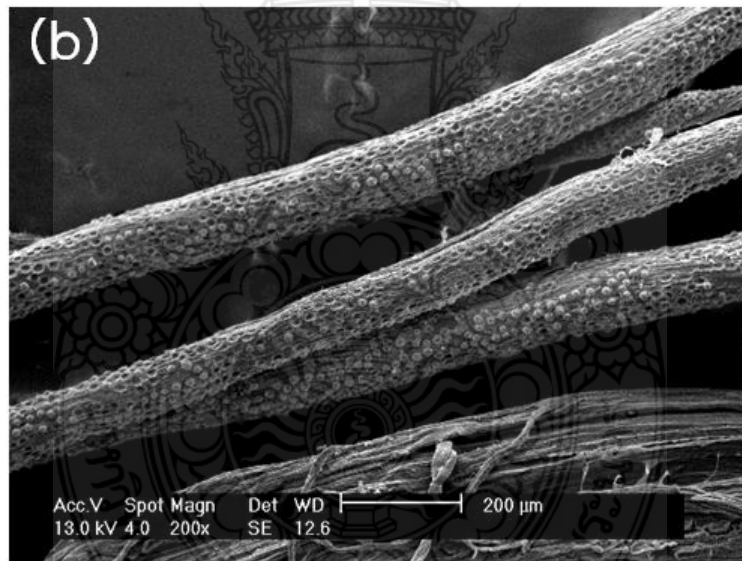
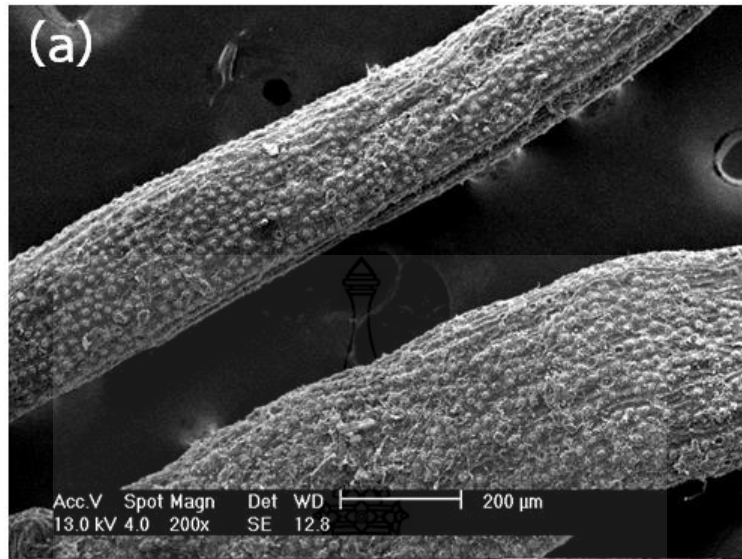
- (a) ก่อนการปรับปรุงผิว
- (b) 5 %โดยน้ำหนัก
- (c) 10 %โดยน้ำหนัก
- (d) 15 %โดยน้ำหนัก

รูปที่ 21 และ 22 แสดงลักษณะของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยชานอ้อย และเส้นใยปาล์มน้ำมันที่เปลี่ยนแปลงไป ณ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณต่างๆ กัน ตามลำดับ ภาพถ่ายดังกล่าวถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป จากภาพสังเกตพบว่า ทั้งเส้นชานอ้อย และปาล์มน้ำมันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยลดลง เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับคำอธิบายของผลค่า L/D และจากภาพยังสามารถสังเกตเห็นว่าสีของเส้นใยมีลักษณะเข้มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 23 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อยก่อนและหลังการผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ถ่ายด้วยกล้อง SEM

- (a) ก่อนการปรับปรุงผิว
- (b) หลังการปรับปรุงผิว



รูปที่ 24 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของเส้นใยปาล์มน้ำมันก่อนและหลังการผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ถ่ายด้วยกล้อง SEM

- (a) ก่อนการปรับปรุงผิว
- (b) หลังการปรับปรุงผิว

ภาพถ่ายพื้นผิวของเส้นใยชานอ้อย และเส้นใยปาล์มน้ำมันก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นดังแสดงในรูปที่ 23 และ 24 ตามลำดับ จากภาพพบว่า พื้นผิวของเส้นใยชานอ้อย และปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวมีลักษณะพื้นผิวที่มีความขรุขระมากขึ้น และโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้กำจัดเฮมิเซลลูโลสที่ผิวของเส้นใย จากรูปที่ 23 ชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิวมีลักษณะเป็นร่องลึกที่ผิวของเส้นใย เศษสิ่งสกปรกบนพื้นผิวถูกกำจัดออกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ขณะที่เส้นใยปาล์มน้ำมันรูปที่ 24 พบว่า พื้นผิวของเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวถูกพบรูขนาดเล็กจำนวนมากที่ผิวของเส้นใย นี้เกิดขึ้นจากลิกนินที่ผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันถูกละลายออกจากผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

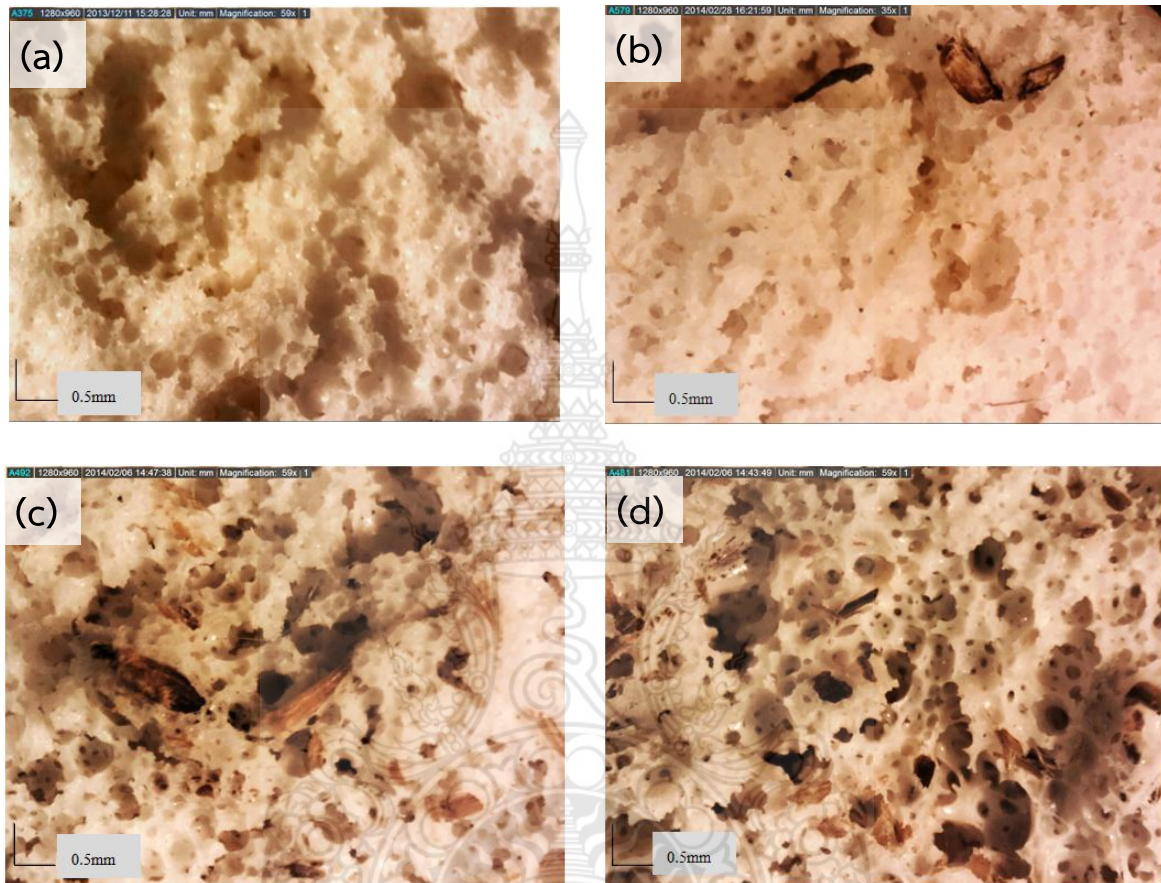
จากการพิจารณาผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยชานอ้อย และเส้นใยปาล์มน้ำมัน พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงผิวชานอ้อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 %โดยน้ำหนัก และใช้เวลาในการปรับปรุงผิว 30 นาที ส่วนกรณีของปาล์มน้ำมัน คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 %โดยน้ำหนัก และใช้เวลาในการปรับปรุงผิว 10 นาที ดังนั้นในส่วนของการขึ้นรูปชิ้นงานวัสดุดูดซับเสียงจากวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนกับเส้นใยธรรมชาติ ทางคณะวิจัยฯ จึงได้เลือกสภาวะการปรับปรุงผิวเส้นใยที่ดีที่สุดนี้มาทำการเตรียมเส้นใยชานอ้อย และเส้นใยปาล์มน้ำมันก่อนมาผสมกับยางธรรมชาติ

4.2 ผลของชนิดเส้นใยธรรมชาติและอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติการดูดซับเสียง

ในส่วนนี้ของงานวิจัยเป็นการรายงานผลการทดสอบของชิ้นงานดูดซับเสียงจากวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนธรรมชาติและชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว และวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนธรรมชาติและปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิว โดยทำการรายงานเกี่ยวกับสมบัติที่เกี่ยวข้องกับสมบัติการดูดซับเสียง โดยเริ่มต้นจากรายงานผลของรูปร่างเซลล์โพลีเอทิลีนภายในวัสดุผสม การกระจายตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์โพลีเอทิลีน เฉลี่ย จำนวนของเซลล์ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานวัสดุผสม ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง สมบัติความเป็นวิสโคอิลาสติก และการยึดเกาะระหว่างเฟส

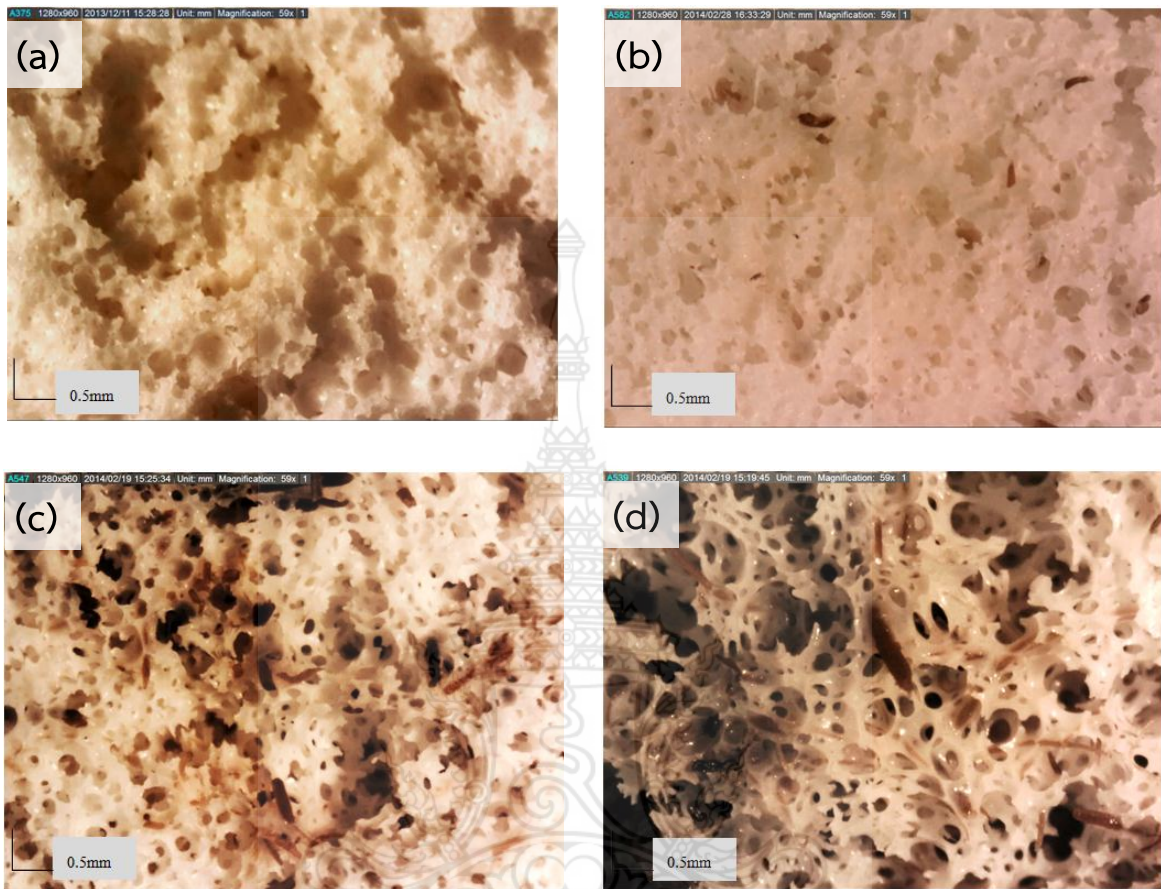
รูปที่ 25 และ 26 แสดงภาพตัดขวางของชิ้นงานวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนธรรมชาติและชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 %โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที และชิ้นงานวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนธรรมชาติและปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 %โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 10 นาที ตามลำดับ สำหรับกรณีของชานอ้อย ดังแสดงในรูปที่ 25 พบว่า เซลล์โพลีเอทิลีนทั้งกรณีการเติมและไม่เติมชานอ้อยมีลักษณะเป็นเซลล์เปิดจึงมีความเหมาะสมสำหรับการดูดซับเสียง กรณีการเติมชานอ้อย ตั้งแต่ 0.0 – 2.5 %โดยน้ำหนัก แนวโน้มของขนาดเซลล์โพลีเอทิลีนส่วนใหญ่มีขนาดเล็กลง เมื่อปริมาณชานอ้อยเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะการมีอยู่ของเส้นใยชานอ้อยอาจไปขัดขวางการโตของเซลล์โพลีเอทิลีน แต่สำหรับกรณีปริมาณชานอ้อยที่มากขึ้น (5.0-10.0 %โดยน้ำหนัก) เมื่อปริมาณชานอ้อยที่เพิ่มมากขึ้นกลับมีแนวโน้มทำให้ขนาดของเซลล์โพลีเอทิลีนใหญ่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเซลล์โพลีเอทิลีนเกิดการรวมตัวกัน สำหรับกรณีปาล์มน้ำมัน ดัง

แสดงในรูปที่ 26 พบว่า ผลของการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีต่อขนาดเซลล์โฟมมีแนวโน้มใกล้เคียงกับกรณีของการเติมขานอ้อย



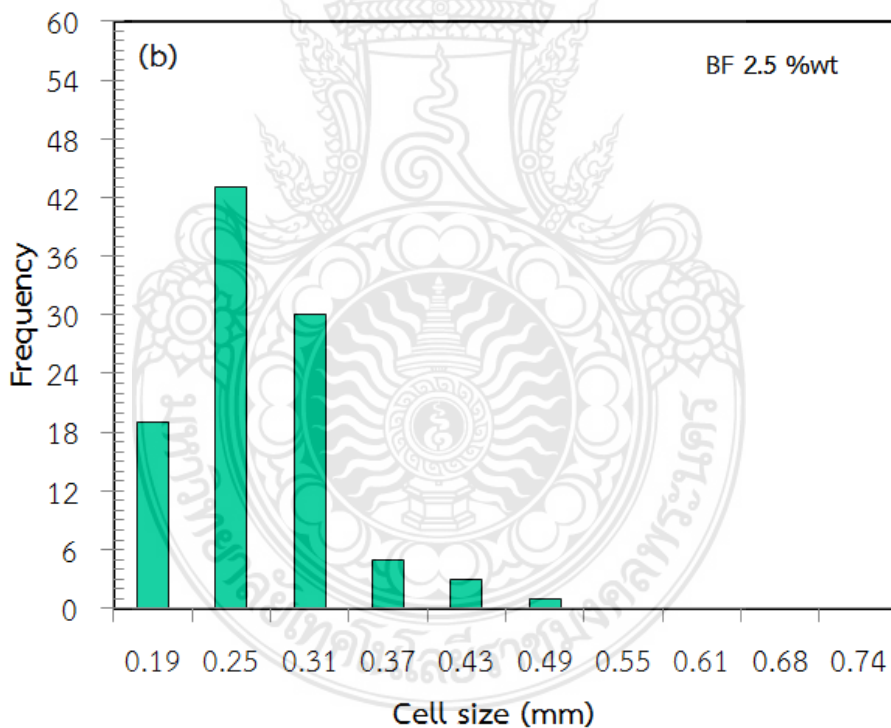
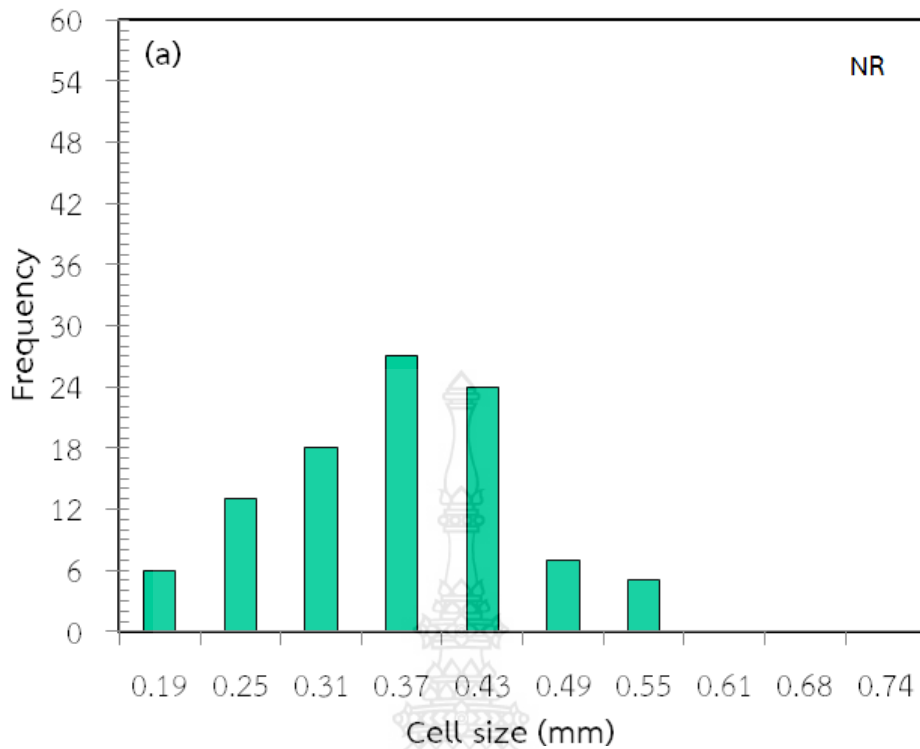
รูปที่ 25 ภาพถ่ายหน้าตัดขวางของชิ้นงานวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและขานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที ณ ปริมาณขานอ้อยต่างๆ กัน

- (a) 0.0 % โดยน้ำหนัก
- (b) 2.5 % โดยน้ำหนัก
- (c) 5.0 % โดยน้ำหนัก
- (d) 10.0 % โดยน้ำหนัก



รูปที่ 26 ภาพถ่ายหน้าตัดขวางของชิ้นงานวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและพอลิเมอร์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยไซเตียมไฮดรอกไซด์ 10 % โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 10 นาที ณ ปริมาณพอลิเมอร์น้ำมันต่างๆ กัน

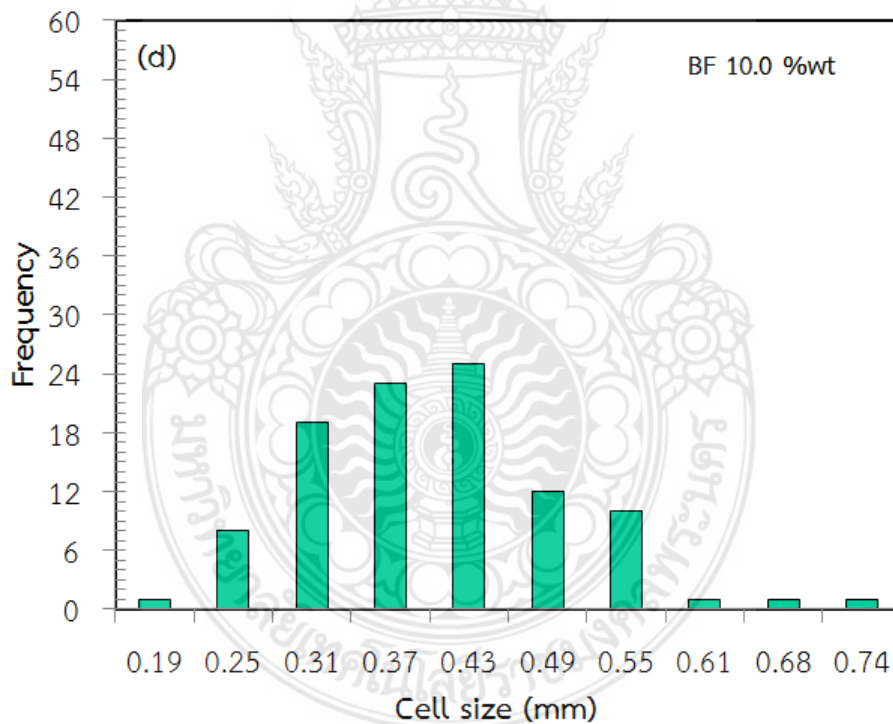
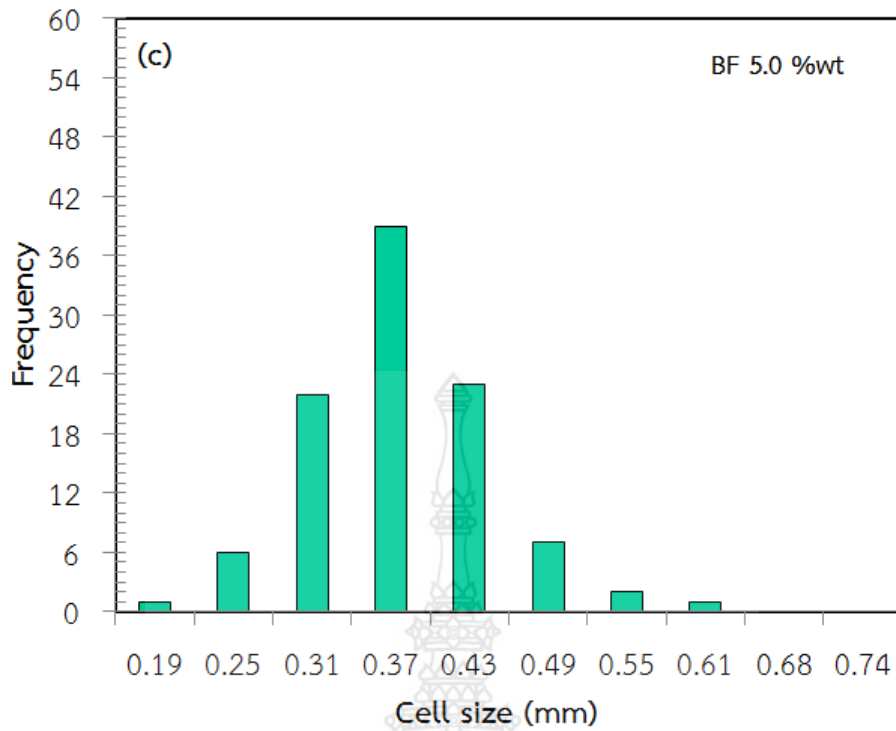
- (a) 0.0 % โดยน้ำหนัก
- (b) 2.5 % โดยน้ำหนัก
- (c) 5.0 % โดยน้ำหนัก
- (d) 10.0 % โดยน้ำหนัก



รูปที่ 27 การแจกแจงขนาดของเซลล์โพรโมในวัสดุผสมยางโพรโมธรรมชาติและชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที ณ ปริมาณชานอ้อยต่างๆ กัน

(a) 0.0 % โดยน้ำหนัก

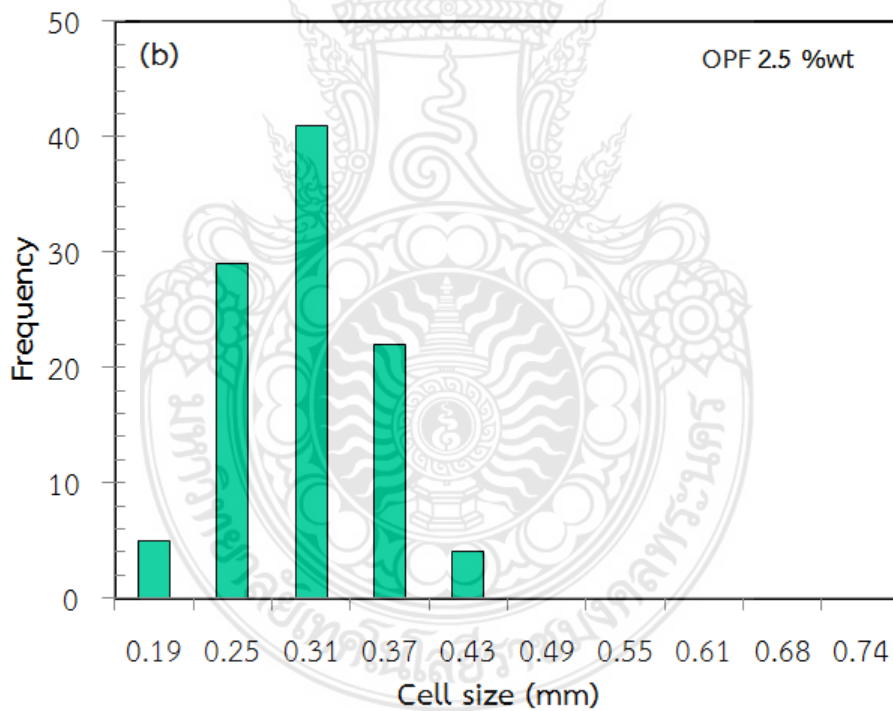
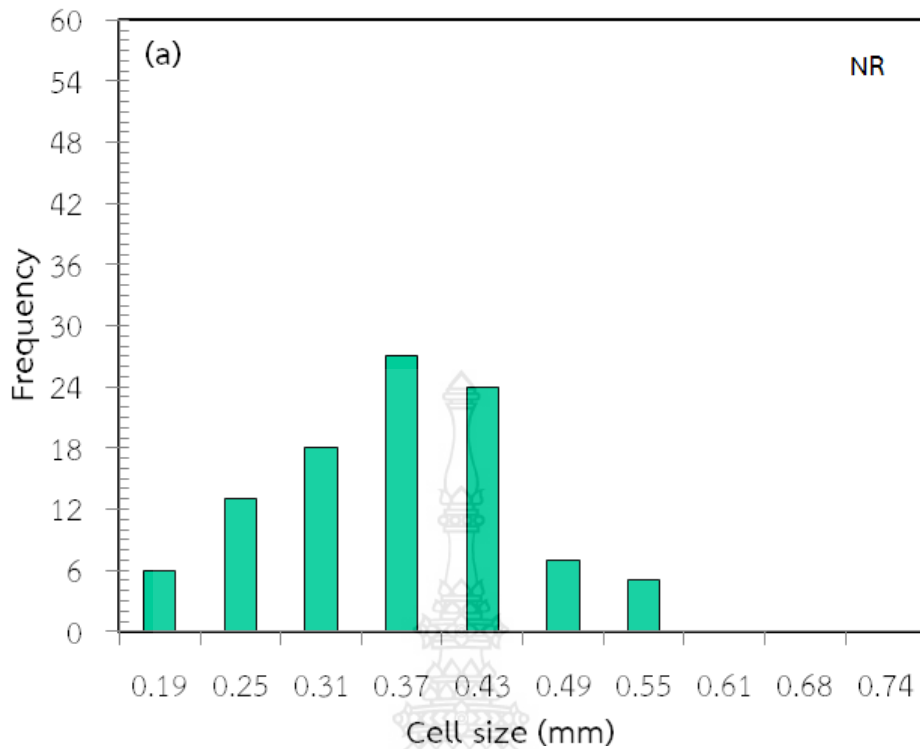
(b) 2.5 % โดยน้ำหนัก



รูปที่ 27 การแจกแจงขนาดของเซลล์โพรในวัสดุผสมยางโพรธรรมชาติและชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 %โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที ณ ปริมาณชานอ้อยต่างๆ กัน (ต่อ)

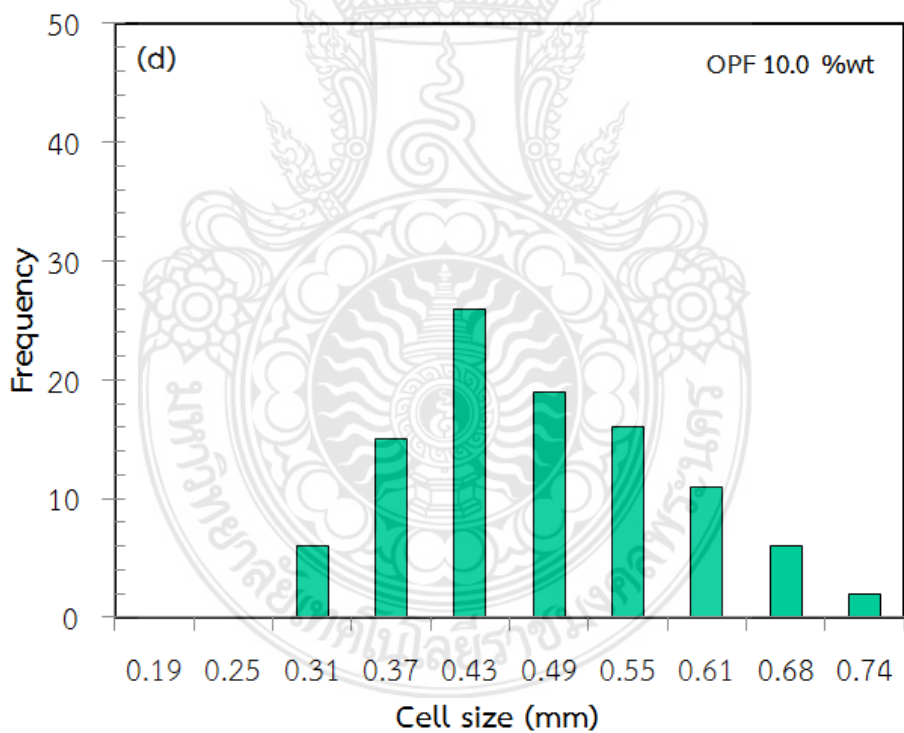
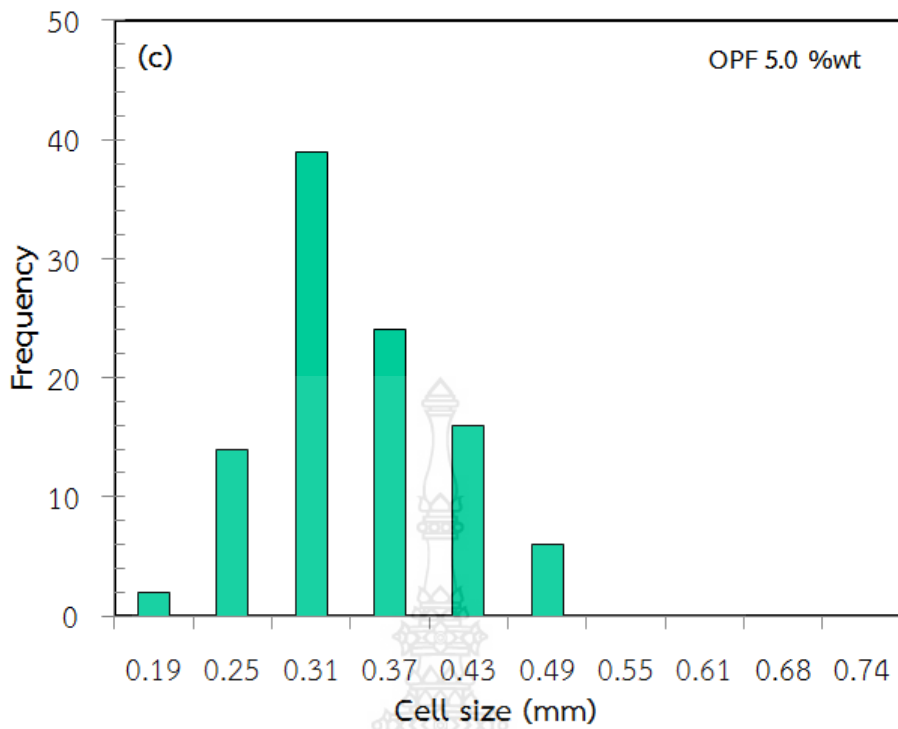
(c) 5.0 % โดยน้ำหนัก

(d) 10.0 % โดยน้ำหนัก



รูปที่ 28 การแจกแจงขนาดของเซลล์โพลิเมอร์ในวัสดุผสมยางโพลิธรรมชาติและพอลิเมอร์น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 10 นาที ณ ปริมาณพอลิเมอร์น้ำมันต่างๆ กัน

- (a) 0.0 % โดยน้ำหนัก
- (b) 2.5 % โดยน้ำหนัก

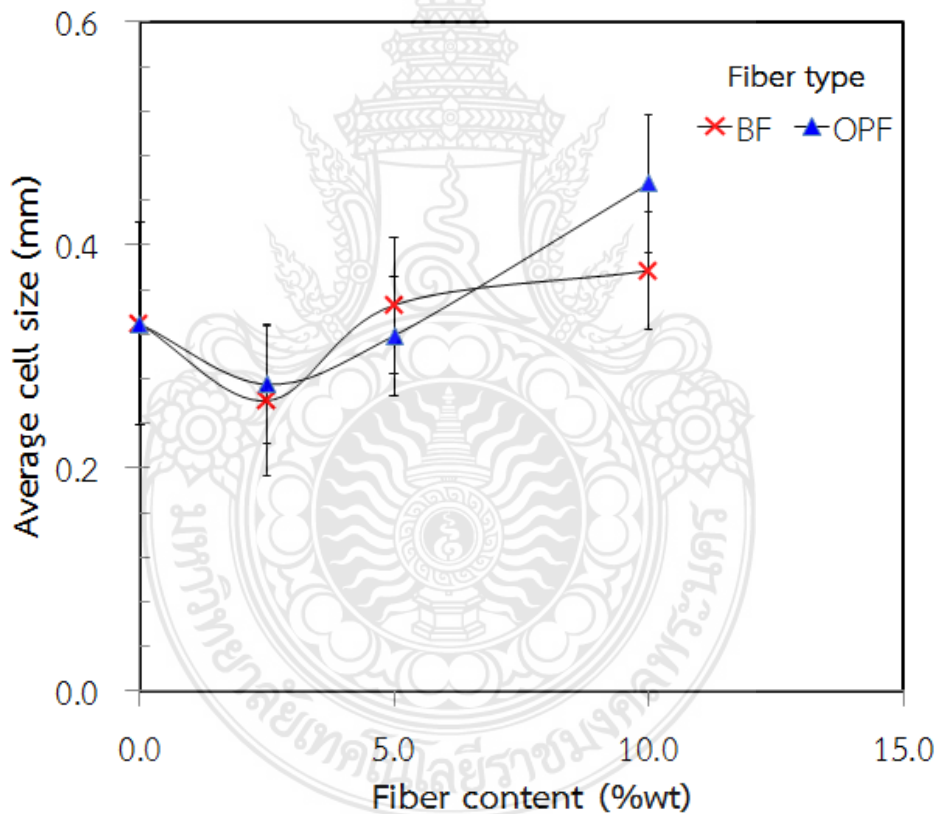


รูปที่ 28 การแจกแจงขนาดของเซลล์โฟมในวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนและพอลิเมอร์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยไฮดรอกซีไดออกไซด์ 10 % โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 10 นาที ณ ปริมาณพอลิเมอร์ต่างๆ กัน (ต่อ)

(c) 5.0 % โดยน้ำหนัก

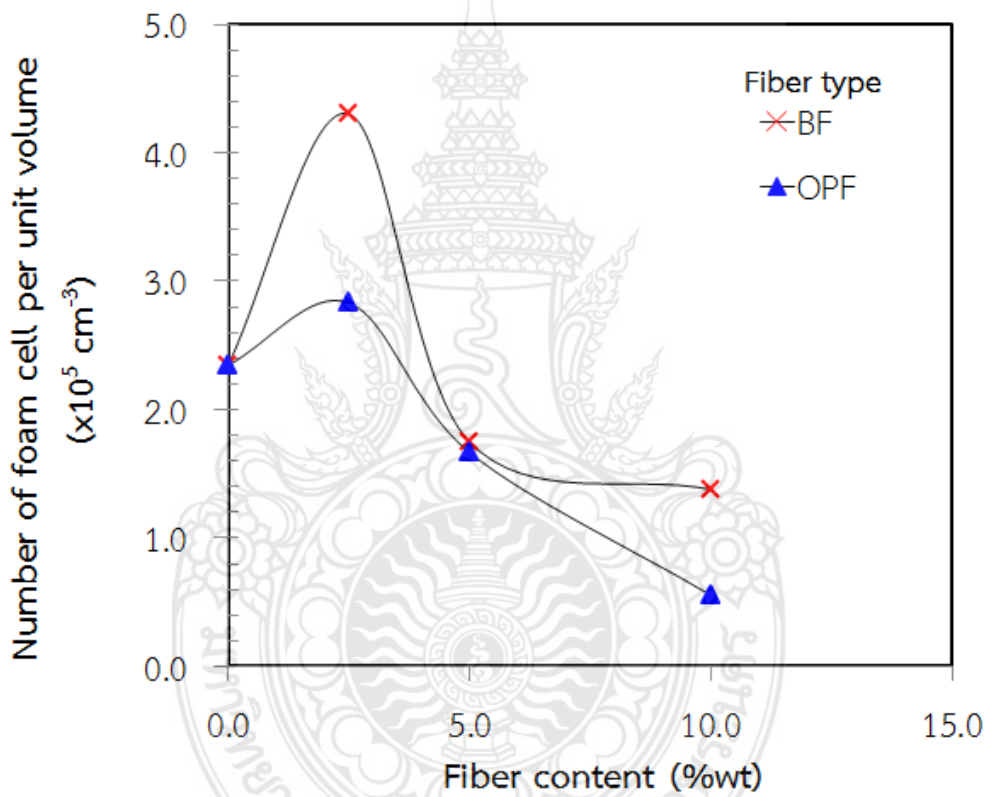
(d) 10.0 % โดยน้ำหนัก

รูปที่ 27 แสดงการแจกแจงขนาดของเซลล์โพลีเมอร์ของวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนที่มีการเติมขานอ้อย (BF) ที่ผ่านการปรับปรุงผิว ซึ่งการแจกแจงขนาดเซลล์นี้เกิดขึ้นจากการวัดขนาดเซลล์โพลีเมอร์จากจำนวนเซลล์ทั้งหมด 100 เซลล์ จากกราฟพบว่า กรณียางโพลีเอทิลีน ขนาดของเซลล์โพลีเมอร์ที่มีจำนวนมากที่สุด คือ 0.37 มิลลิเมตร ส่วนกรณีการเติมขานอ้อย ขนาดของเซลล์โพลีเมอร์ที่มีจำนวนมากที่สุด สำหรับกรณีการเติมขานอ้อย 2.5, 5.0 และ 10.0 %โดยน้ำหนัก คือ 0.25, 0.37 และ 0.43 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนการแจกแจงของขนาดเซลล์โพลีเมอร์สำหรับวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนที่มีการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมัน (OPF) ที่ผ่านการปรับปรุงผิว ดังแสดงในรูปที่ 28 พบว่า การเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันมีผลทำให้ขนาดเซลล์โพลีเมอร์ส่วนใหญ่มีขนาดเท่ากับ 0.31, 0.31 และ 0.43 มิลลิเมตร สำหรับกรณีการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 2.5, 5.0 และ 10.0 %โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ผลของการแจกแจงขนาดเซลล์โพลีเมอร์สำหรับวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนและขานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว และวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนและเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวมีผลที่สอดคล้องกับภาพหน้าตัดขวางของชิ้นงานวัสดุผสมในรูปที่ 25 และ 26



รูปที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของขนาดเซลล์โพลีเมอร์และปริมาณของเส้นใยธรรมชาติจากชิ้นงานวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนธรรมชาติและขานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว และชิ้นงานวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนธรรมชาติและปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิว

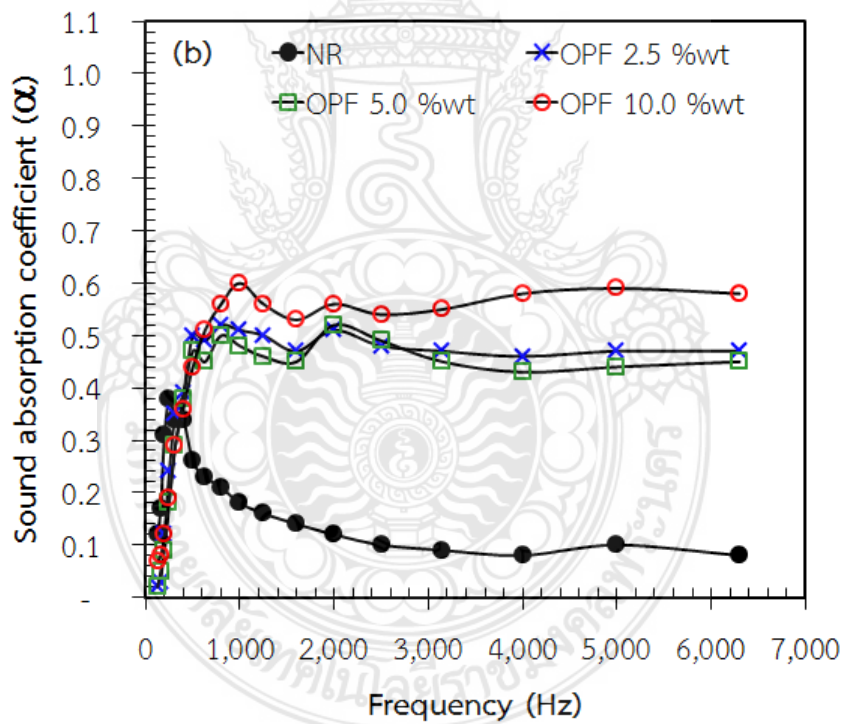
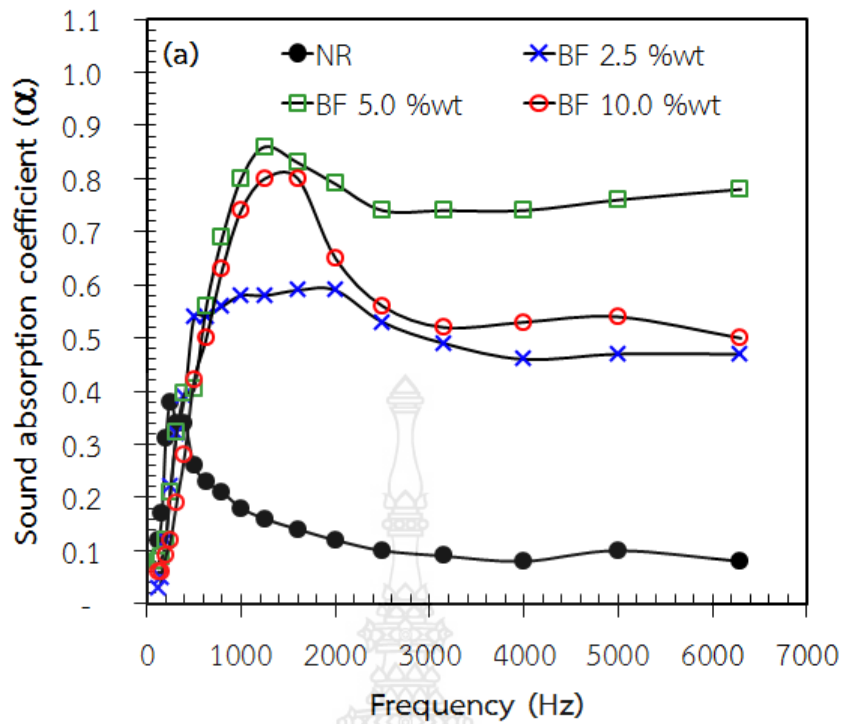
รูปที่ 29 แสดงค่าเฉลี่ยของขนาดเซลล์โฟมของวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว และวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและพาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวที่มีปริมาณเส้นใยธรรมชาติต่างๆ กัน จากผลการทดลองพบว่า การเติมชานอ้อย และเส้นใยพาล์มน้ำมันในช่วงปริมาณเริ่มต้น (2.5 %โดยน้ำหนัก) มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของขนาดเซลล์โฟมมีขนาดเล็กลง ในขณะที่เมื่อปริมาณชานอ้อย และเส้นใยพาล์มน้ำมันเพิ่มปริมาณมากขึ้นผลที่ได้กลับเกิดในทิศทางตรงกันข้าม คือ เมื่อปริมาณชานอ้อย และเส้นใยพาล์มน้ำมันเพิ่มปริมาณมากขึ้นมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของขนาดเซลล์โฟมของวัสดุผสมมีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้สาเหตุที่เกิดขึ้นมีเหตุผลเช่นเดียวกับที่ให้คำอธิบายไว้ในรูปที่ 25 และ 26 ซึ่งภาพถ่ายหน้าตัดขวางของชิ้นงานวัสดุผสมยางโฟม



รูปที่ 30 ผลของปริมาณเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อจำนวนเซลล์โฟมต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของชิ้นงานวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว และชิ้นงานวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและพาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิว

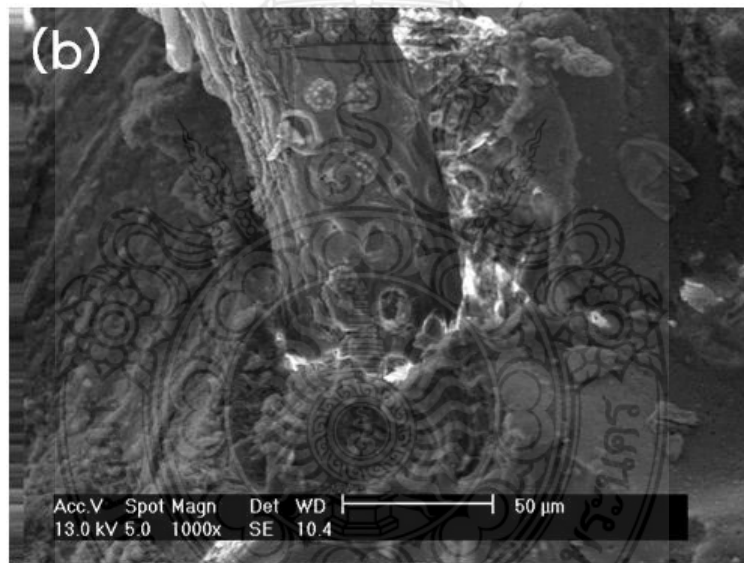
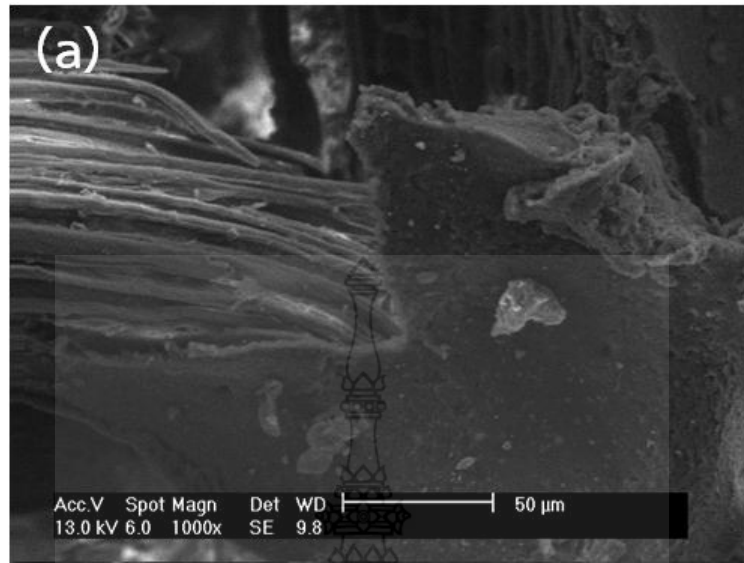
รูปที่ 30 แสดงผลของปริมาณเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อจำนวนเซลล์โพรตอหนึ่งหน่วยปริมาตรในชิ้นงานวัสดุผสมยางโพรตอธรรมชาติและชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว และชิ้นงานวัสดุผสมยางโพรตอธรรมชาติและพาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิว จากผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงของจำนวนเซลล์โพรตอหนึ่งหน่วยปริมาตร เมื่อปริมาณเส้นใยธรรมชาติเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลของค่าเฉลี่ยของขนาดเซลล์โพรตอ ดังนี้ คือ เมื่อปริมาณชานอ้อย และเส้นใยพาล์มน้ำมันเพิ่มปริมาณมากขึ้นในช่วงเริ่มต้นมีผลทำให้จำนวนของเซลล์โพรตอหนึ่งหน่วยปริมาตรเพิ่มปริมาณมากขึ้น เนื่องจากการมีอยู่ของเส้นใยขัดขวางการโตของเซลล์โพรตอ จึงลดโอกาสที่เซลล์โพรตอจะโตจนกระทั่งเซลล์โพรตอเกิดการรวมตัวกัน ส่วนกรณีปริมาณเส้นใยธรรมชาติมากกว่า 2.5 %โดยน้ำหนัก พบว่า จำนวนของเซลล์โพรตอหนึ่งหน่วยปริมาตรมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณเส้นใยธรรมชาติที่มากขึ้นมีผลทำให้เนื้อเยื่อลดลง จึงเพิ่มโอกาสที่เซลล์โพรตอจะเกิดการโตมารวมกัน

รูปที่ 31 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของชิ้นงานวัสดุผสมยางโพรตอธรรมชาติและชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว และชิ้นงานวัสดุผสมยางโพรตอธรรมชาติและพาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิว ณ ปริมาณเส้นใยธรรมชาติต่างๆ กัน จากผลการทดลองพบว่า การเติมเส้นใยธรรมชาติลงในยางโพรตอช่วยให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงช่วงความถี่ปานกลาง และความถี่สูงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงอยู่ที่ประมาณ 0.5 - 0.9 ทั้งนี้เป็นมาจากการเส้นใยธรรมชาติมีสมบัติการดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่ปานกลางและสูง และการยึดเกาะระหว่างเฟสที่ตีระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติ ดังแสดงใน**รูปที่ 32** จึงมีผลทำให้การส่งของคลื่นเสียงจากเมทริกซ์สู่เส้นใยธรรมชาติเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ การยึดเกาะระหว่างเฟสที่ดีเป็นผลมาจากการที่เส้นใยชานอ้อย และพาล์มน้ำมันผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จาก**รูปที่ 32(a)** และ **32(b)** แสดงให้เห็นถึงการที่ยางธรรมชาติสามารถเปียกผิวของเส้นใยธรรมชาติทั้งสองชนิดได้เป็นอย่างดี สำหรับกรณีการเติมเส้นใยชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิวเป็นดังแสดงใน**รูปที่ 31(a)** ซึ่งพบว่า การเพิ่มปริมาณชานอ้อยมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเพิ่มสูงขึ้น ยกเว้นกรณีการเติมชานอ้อย 10.0 %โดยน้ำหนัก ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงต่ำกว่ากรณีการเติมชานอ้อย 5.0 %โดยน้ำหนัก และสังเกตพบการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงอย่างชัดเจนที่ช่วงความถี่สูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณชานอ้อยที่เพิ่มมากขึ้นทำให้การกระจายตัวของเส้นใยเกิดขึ้นได้ไม่ดีและเกิดการรวมตัวกันของชานอ้อย ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการส่งผ่านของเสียงจากยางธรรมชาติไปยังชานอ้อยมีประสิทธิภาพลดลง สำหรับกรณีการเติมพาล์มน้ำมัน เป็นดังแสดงใน**รูปที่ 31(b)** ซึ่งพบว่า เมื่อปริมาณพาล์มน้ำมันมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมีแนวโน้มเพิ่มสูง แต่ ณ ปริมาณชานอ้อยเริ่ม (2.5-5.0 %โดยน้ำหนัก) อาจไม่สังเกตเห็นผลของปริมาณพาล์มน้ำมันชัดเจนมากนัก และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลของปริมาณเส้นใยธรรมชาติ พบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยของกรณีพาล์มน้ำมันมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่น้อยกรณีของชานอ้อย และจากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การเติมชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงได้ดีกว่าเส้นใยพาล์มน้ำมัน โดยสูตรที่มีประสิทธิภาพการดูดซับเสียงที่ดีที่สุด คือ วัสดุผสมยางโพรตอธรรมชาติที่มีการเติมชานอ้อย ปริมาณ 5.0 %โดยน้ำหนัก



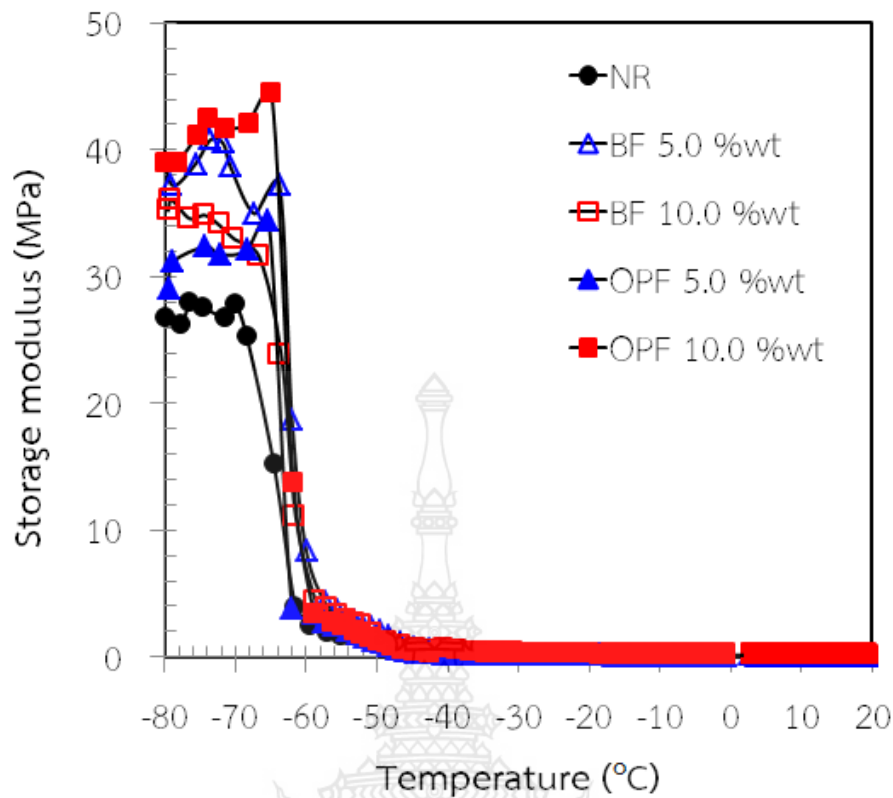
รูปที่ 31 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของชิ้นงานวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและขานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว และชิ้นงานวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิว ณ ปริมาณเส้นใยธรรมชาติต่างๆ กัน

- (a) วัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและขานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว
- (b) วัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิว



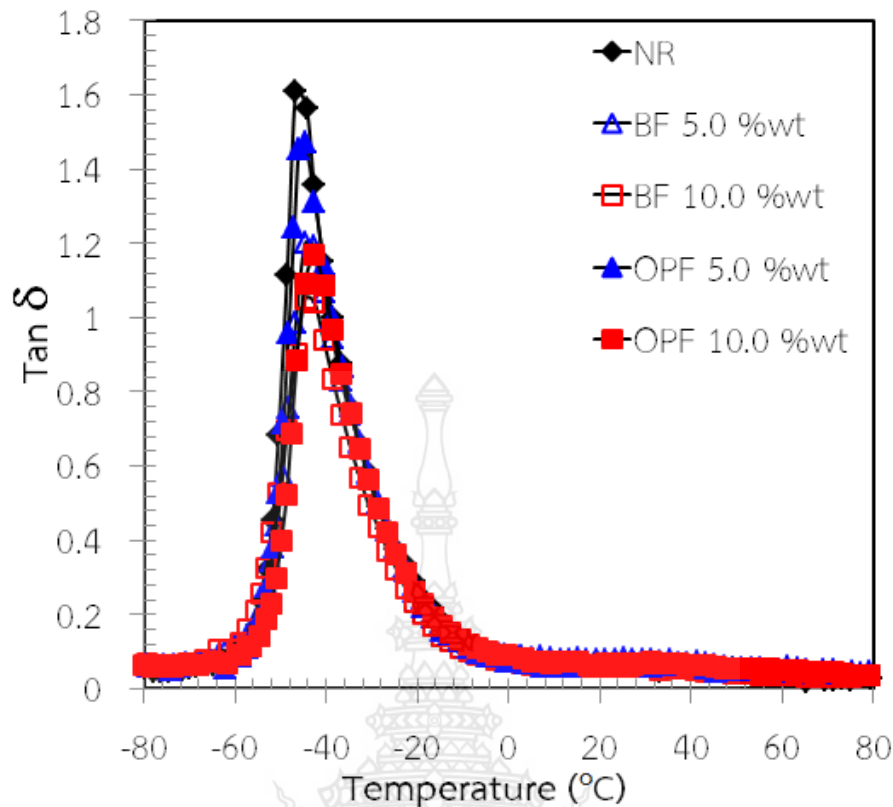
รูปที่ 32 ภาพโครงสร้างจุลภาพบริเวณรอยต่อระหว่างเฟสของยางพาราธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

- (a) รอยต่อระหว่างเฟสของยางพาราธรรมชาติและแกนอ้อย
- (b) รอยต่อระหว่างเฟสของยางพาราธรรมชาติและปาล์มน้ำมัน



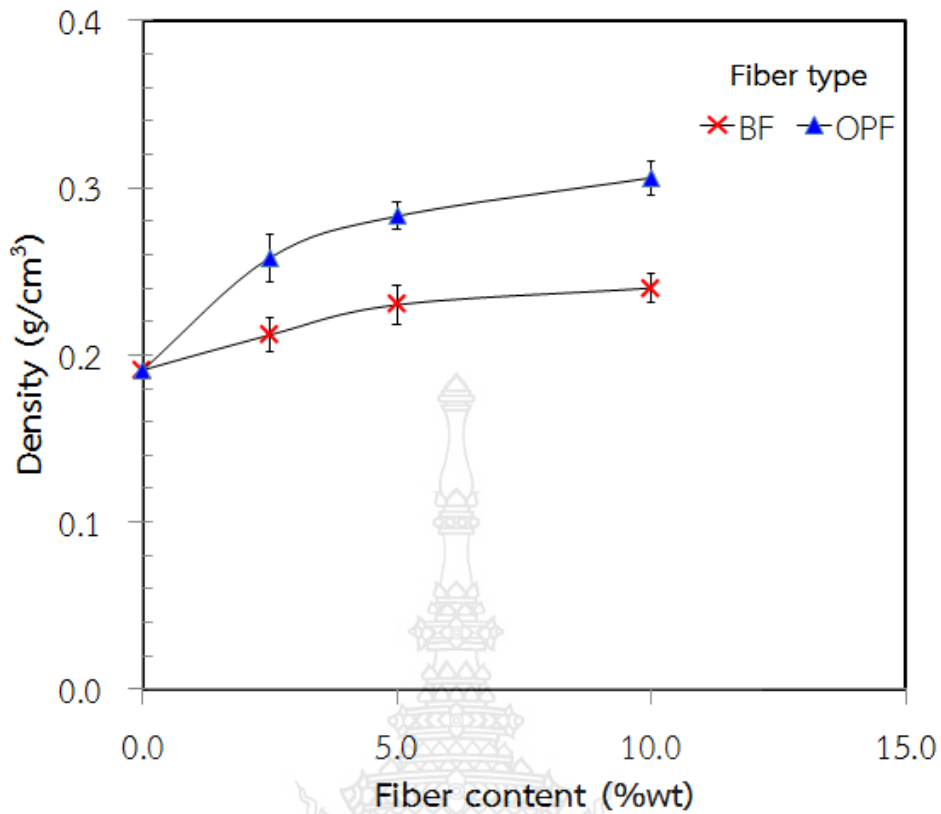
รูปที่ 33 ค่า Storage Modulus ของชิ้นงานวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนที่มีกรเติมขานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว หรือปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรุงปรุงผิว ณ ปริมาณเส้นใยธรรมชาติต่างๆ กัน

รูปที่ 33 แสดงค่า Storage Modulus ของชิ้นงานวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนที่มีกรเติมขานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว หรือปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรุงปรุงผิว จากผลการทดลองพบว่า การเติมเส้นใยธรรมชาติทั้งกรณีขานอ้อย และปาล์มน้ำมันมีผลทำให้ค่า Storage Modulus เพิ่มสูงขึ้น กรณีขานอ้อยพบว่า เมื่อปริมาณขานอ้อยเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า Storage Modulus มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณขานอ้อยที่เพิ่มมากขึ้นทำให้การกระจายตัวของเส้นใยมีลดลง หรืออาจเกี่ยวข้องกับขนาดของเซลล์โพลีเอทิลีนที่โตมากขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มมากขึ้น ส่วนกรณีของปาล์มน้ำมัน พบว่า เมื่อปริมาณของเส้นใยปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ค่า Storage Modulus มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแตกต่างจากผลของขานอ้อย ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับปาล์มน้ำมันอาจมีน้ำมันหลงเหลืออยู่ในภายในเส้นใยจึงมีส่วนช่วยทำให้สามารถเข้ากันได้กับเมทริกซ์ของยางเพิ่มมากขึ้น และผลของค่า Storage Modulus สามารถช่วยเสริมการอธิบายผลของค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับเสียงได้เป็นอย่างดี เพราะ Storage Modulus หรือความเป็นอีลาสติกเพิ่มมากขึ้นมีส่วนช่วยทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเสียงดีขึ้น



รูปที่ 34 ค่า Tan δ ของชิ้นงานวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนที่มีกรเติมขานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว หรือ ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรุงปรุงผิว ณ ปริมาณเส้นใยธรรมชาติต่างๆ กัน

รูปที่ 34 แสดงค่า Tan δ ของชิ้นงานวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนที่มีกรเติมขานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผิว หรือปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรุงปรุงผิว ค่า Tan δ เป็นค่าสัดส่วนระหว่าง Loss Modulus และ Storage Modulus จากผลการทดลองพบว่า ค่า Tan δ กรณีการเติมเส้นใยธรรมชาติมีค่าต่ำกว่ากรณีที่ไม่เติมเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งแสดงว่าสัดส่วนของความเป็นอีลาสติก (Elastic) เพิ่มมากขึ้นเมื่อเติมเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง และกรณีผลของชนิดและปริมาณเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อค่า Tan δ พบว่า มีเพียงค่า Tan δ ของชิ้นงานวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนที่มีกรเติมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 5.0 %โดยน้ำหนัก ที่มีค่าสูงแตกต่างจากค่า Tan δ ของชิ้นงานวัสดุผสมสูตรอื่นๆ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าชิ้นงานวัสดุผสมที่มีกรเติมปาล์มน้ำมัน 5.0 %โดยน้ำหนัก มีสัดส่วนความเป็นวิสคัล (Viscous) มากกว่ากรณีการเติมปาล์มน้ำมัน 10.0 %โดยน้ำหนัก และกรณีการเติมขานอ้อยที่ 5.0 และ 10.0 %โดยน้ำหนัก ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดสอบการดูดซับเสียงที่กรเติมปาล์มน้ำมัน 5.0 %โดยน้ำหนัก มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงแนวโน้มที่ต่ำกว่ากรณีอื่นๆ



รูปที่ 35 ผลของชนิดและปริมาณเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อค่าความหนาแน่นชิ้นงานวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนธรรมชาติ

ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานวัสดุผสมยางโพลีเอทิลีนธรรมชาติที่มีการเติมขานอ้อย หรือปาล์มน้ำมัน ณ ปริมาณเส้นใยธรรมชาติต่างๆ กัน เป็นดังแสดงในรูปที่ 35 จากผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณเส้นใยธรรมชาติเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น และส่วนผลของชนิดเส้นใยธรรมชาติ พบว่า การเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นสูงกว่ากรณีขานอ้อย และอัตราการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นกรณีเส้นใยปาล์มน้ำมันมีค่ามากกว่ากรณีขานอ้อย

บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผล

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งงานวิจัยเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยชานอ้อยและเส้นใยปาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลของชนิดและปริมาณเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติการดูดซับเสียงของวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติ จากผลการทดสอบสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 ผลของการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

- เมื่อปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า L/D มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ยกเว้นกรณีความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 15 % โดยน้ำหนัก ที่มีค่า L/D มีแนวโน้มลดลง
- สำหรับผลของเวลาการปรับปรุงผิวที่มีต่อค่า L/D พบว่า ค่า L/D มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเวลาในการปรับปรุงผิวเพิ่มมากขึ้น ยกเว้นกรณีเส้นใยปาล์มที่มีการปรับปรุงผิวที่เวลา 20 และ 30 นาที
- ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยธรรมชาติมีขนาดลดลง
- ผลของการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีผลต่อค่า L/D ของเส้นใยปาล์มน้ำมันมากกว่าเส้นใยชานอ้อย
- สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติมากที่สุด คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % โดยน้ำหนัก และเวลาในการปรับปรุงผิว 30 นาที สำหรับชานอ้อย และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % โดยน้ำหนัก และเวลาในการปรับปรุงผิว 10 นาที สำหรับเส้นใยปาล์มน้ำมัน

5.2 ผลของชนิดเส้นใยธรรมชาติและอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติการดูดซับเสียง

- ขนาดของเซลล์โฟมของวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติมีขนาดลดลงด้วยการเติมชานอ้อย หรือเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ปริมาณต่ำ (2.5 % โดยน้ำหนัก) แต่เริ่มมีขนาดเซลล์โฟมโตขึ้น เมื่อเติมชานอ้อย หรือเส้นใยปาล์มน้ำมันปริมาณที่มากกว่า 2.5 % โดยน้ำหนัก
- จำนวนของเซลล์โฟมต่อหน่วยปริมาตรของชิ้นงานวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ณ ปริมาณเส้นใยธรรมชาติต่ำ แต่เมื่อปริมาณเส้นใยธรรมชาติเพิ่มมากกว่า 2.5 % โดยน้ำหนัก พบว่าจำนวนของเซลล์โฟมต่อหน่วยปริมาตรเริ่มมีแนวโน้มลดลง เป็นผลมาจากการรวมตัวกันของเซลล์โฟม
- ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติ ณ ช่วงความถี่ปานกลางและสูงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นด้วยการเติมเส้นใยชานอ้อย และเส้นใยปาล์มน้ำมัน โดยกรณีของการเติมชาน

อ้อยมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงได้ดีกว่ากรณีการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมัน และสูตรที่เหมาะสมในการผลิตเป็นวัสดุดูดซับเสียงมากที่สุด คือ วัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติที่มีการเติมขานอ้อย 5.0 % โดยน้ำหนัก

- การปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีส่วนช่วยเสริมการยึดเกาะระหว่างเฟสของยางธรรมชาติและเส้นใยขานอ้อย หรือเส้นใยปาล์มน้ำมัน และมีส่วนช่วยเสริมการดูดซับเสียง
- สมบัติความเป็นวัสดุโกลาสติกของวัสดุผสม พบว่า การเติมเส้นใยขานอ้อย หรือเส้นใยปาล์มน้ำมัน มีผลทำให้ความเป็นโกลาสติกเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งมีส่วนช่วยเสริมการดูดซับเสียงให้กับวัสดุผสม
- ค่าความหนาแน่นของวัสดุผสมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อเติมเส้นใยธรรมชาติ โดยการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้นมากกว่ากรณีการเติมเส้นใยขานอ้อย

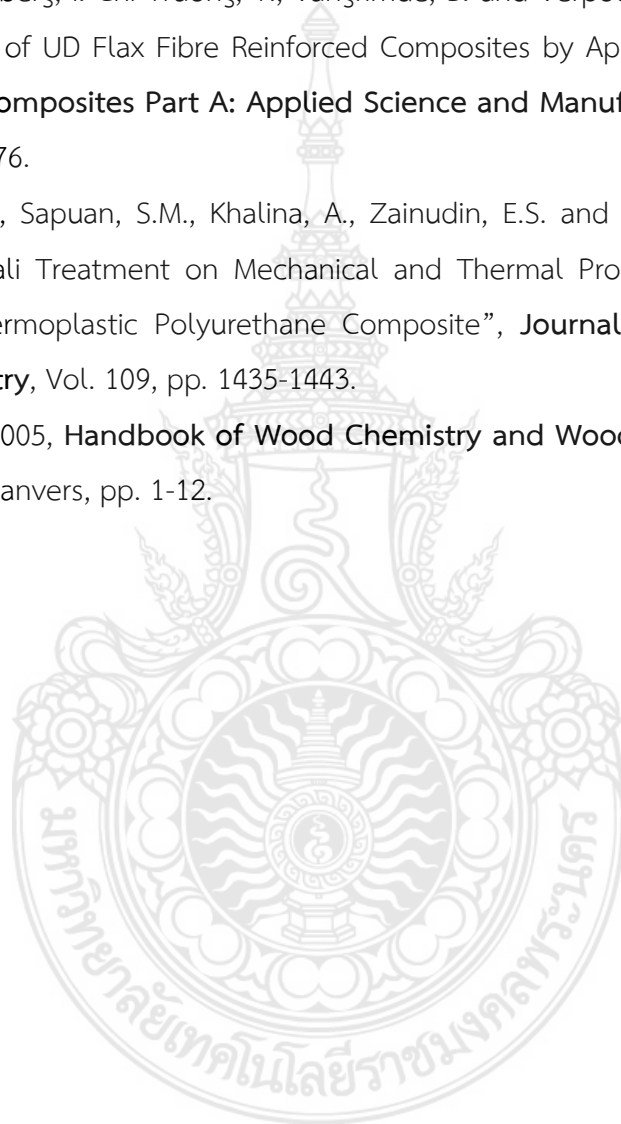


เอกสารอ้างอิง

1. Asdrubali, F, 2006, “Survey on the Acoustical Properties of New Sustainable Materials for Noise Control”, **The 6th European Conference on Noise Control**, 30 May – 1 June 2006, Tampere, Finland. (EURONOISE): ADVANCED SOLUTIONS FOR NOISE CONTROL, 30 May-1 June 2006, Tampere, Finland.
2. Zulkifli, R., Mohd Nor, M.J., Ismail, A.R., Nuawi, M.Z., Abdullah, S., Mat Tahir, M.F. and Ab. Rahman, M.N., “Comparison of Acoustic Properties between Coir Fibre and Oil Palm Fibre”, **European Journal of Scientific Research**, Vol. 33, No. 1, pp. 144-152.
3. การผลิต ยางธรรมชาติของประเทศต่างๆ
http://www.rubberthai.com/statistic/stat_index.htm
4. Glé, P., Gourdon, E. and Arnaud, L., 2011, “Acoustic Properties of Materials Made of Vegetable Particles with Several Scales of Porosity”, **Applied Acoustics**, Vol. 72, pp. 249-259.
5. Agoudjil, B., Benchabane, A., Boudenne, A., Ibos, Laurent and Fois, M., 2011, “Renewable Materials to Reduce Building Heat Loss: Characterization of Date Palm Wood”, **Energy and Buildings**, Vol. 43, pp. 491-497.
6. Seddeq, H.S., 2009, “Factor Influencing Acoustic Performance of Sound Absorptive Materials”, **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Vol. 3, pp. 4610-4617.
7. Al-Rahman, L.A., Raja, R.I., Rahman, A. and Ibrahim, Z., 2012, “Acoustic Properties of Innovative Material from Date Fibre”, **American Journal of Applied Science**, Vol. 9, pp. 1390-1395.
8. McKeever, S., 1993, **The Random House Children’s Science Encyclopedia**, Random House of Canada, Toronto.
9. ฝ่ายพัฒนาความปลอดภัย สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, แนวปฏิบัติตามกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549-การตรวจวัดเสียงดัง (Noise Measurement)
10. Goelzer, B., Hansen, C.H., Sehrndt, G.A., 2001, **Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control**, World Health Organization, Geneva.
11. Haimej, Z., 2011, **Building Materials in Civil Engineering**, Woodhead Publishing, Philadelphia, pp. 306-316.

12. Olivo, C.T. and Olivo, T.P., 1978, **Fundamentals of Applied Physics**, Delmar Publishers, New York.
13. วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2549, **ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน**, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
14. วิภาวี พัฒนกุล, 2554, **ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์**, กลุ่มอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง, งานนิทรรศการพืชสวน, เชียงใหม่, ตุลาคม 2554.
15. วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2555, **เทคโนโลยีน้ำยาง**, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
16. พงษ์ธร แซ่อูย, 2548, **ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน**, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค), พิมพ์ครั้งที่ 2
17. <http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/botany.html>
18. Shinoj, S., Visvanathan, R., Panigrahi, S. and Kochubabu, M., 2011, "Oil Palm Fiber (OPF) and Its Composites: A Review", **Industrial Crops and Product**, Vol. 33, pp. 7-22.
19. อรรณณ รัตนวงษ์, 2543, **การปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นใยจากทะเลลายปาล์มเปล่าเพื่อเพิ่มการดูดซับสารไม่มีขี้**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
20. Ching, Y.C. and Ng, T.S., 2014, "Effect of Preparation Conditions on Cellulose from Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber", **BioResources**, Vol. 9, No. 4, pp. 6373-6385.
21. Fernandes Pereira, P.H., Jacobus Voorwald, H.C., Cioffi, M.O.H., Mulinari, D.R., Da Luz, S.M., and Pinto Da Silva, M.L.C., 2011, "Sugarcane Bagasse Pulping and Bleaching: Thermal and Chemical Characterization", **BioResources**, Vol. 6, No. 3, pp. 2471-2482.
22. Samariha, A. and Khakifirooz, A., 2011, "Application of NSSC Pulping to Sugarcane Bagasse", **BioResources**, Vol.6, No. 3, pp. 3313-3323.
23. Sobral, M., Samagaio, A.J.B., Ferreira, J.M.F., Labrincha, J.A., 2003, "Mechanical and Acoustical Characteristics of Bound Rubber Granulate", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 142, pp. 427-433.
24. Zhao, J., Wang, X.M., Chang, J.M., Yao, Y., Cui, Q., 2010, "Sound Insulation Property of Wood-Waste Tire Rubber Composite", **Composite Science and Technology**, Vol. 70, pp. 2033-2038.
25. Najib, N.N., Ariff, Z.M., Bakar, A.A. and Sipaut, C.S., 2011, "Correlation between the Acoustic and Dynamic Mechanical Properties of Natural Rubber Foam: Effect of Foaming Temperature", **Materials and Design**, Vol. 32, pp. 505-511.

26. Harnnarongchai, W. and Chaochanchaikul, K., 2015, “Effect of Blowing Agent on Cell Morphology and Acoustic Absorption of Natural Rubber Foam”, **Applied Mechanics and Materials**, Vol. 804, pp. 25-29.
27. Roslim, R., Amir Hashim and Augurio, P.T., 2012, “Natural Latex Foam”, **Journal of Engineering Science**, Vol. 8, pp. 15-27.
28. http://www.sonustc.com/en_us/download/Acoustic_Duct_en.pdf
29. Van de Weyenberg, I. Chi Truong, T., Vangrimde, B. and Verpoest, I., 2006, “Improving the Properties of UD Flax Fibre Reinforced Composites by Applying as Alkaline Fibre Treatment”, **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Vol. 37, Issue 9, pp. 1368-1376.
30. El-Shekeil, Y.A., Sapuan, S.M., Khalina, A., Zainudin, E.S. and Al-Shuja'a, O.M., 2012, “Effect of Alkali Treatment on Mechanical and Thermal Properties of Kenaf Fiber-reinforced Thermoplastic Polyurethane Composite”, **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Vol. 109, pp. 1435-1443.
31. Rowell, R.M., 2005, **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**, Chapter 3, CRC Press, Danvers, pp. 1-12.



ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ - นามสกุล

(ภาษาไทย) ดร.กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล
(ภาษาอังกฤษ) Dr.Kantima Chaochanchaikul

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์ 02 836 3000
E-mail : kantima.c@rmutp.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

วท.บ.(วัสดุศาสตร์)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วศ.ม. (เทคโนโลยีวัสดุ)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปร.ด. (เทคโนโลยีวัสดุ)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Polymer Composites
Wood/Natural Fiber Plastic Composites
Polymer Degradation

6. ประสบการณ์งานวิจัย

1. Chaochanchaikul, K., Rosarpitak, V. and Sombatsompop, N., 2013, "Photodegradation and UV Penetration Profiles of PVC Compound and Wood/PVC Composites under UV Weathering", **Express Polymer Letters**, Vol. 7, No. 2, pp. 146-160.
2. Chaochanchaikul, K., Jayaraman, K., Rosarpitak, V. and Sombatsompop, N., 2012, "Influence of Lignin Content on Photodegradation in Wood/HDPE Composites under UV Weathering", **BioResources**, Vol. 7, No. 1, pp. 38-55.

3. Chaochanchaikul, K., Rosarpitak, V. and Sombatsompop, N., 2011, “Structural and Thermal Stabilizations of PVC and Wood/PVC Composites by Metal Sterates and Organotin”, **BioResources**, Vol. 6, No. 3, pp. 3115-3131.
4. Chaochanchaikul, K. and Sombatsompop, N., 2011, “Stabilizations of Molecular Structures and Mechanical Properties of PVC and Wood/PVC Composites by Tinuvin and TiO₂ Stabilizers”, **Polymer Engineering and Science**, Vol. 51, No. 6, pp. 1354-1365.
5. Pattamasattayasonti, N., Chaochanchaikul, K., Rosarpitak, V. and Sombatsompop, N., 2010, “Effects of UV-Weathering Aging and CeO₂ Based Coating Layer on Mechanical and Structural Changes in Wood/PVC Composites”, **Journal of Vinyl & Additive Technology**, Vol. 17, No. 1, pp. 9-16.
6. Chaochanchaikul, K., Kositchaiyong, A., and Sombatsompop, N., 2009, “Blending Techniques Affecting Mechanical and Morphological Properties of Fly Ash/LDPE and CaCO₃/LDPE Composites”, **Polymers & Polymer Composites**, Vol. 17, No. 5, pp. 281-290.
7. Tungjitpornkull, S., Chaochanchaikul, K. and Sombatsompop, N., 2007, “Mechanical Characterization of E-Chopped Strand Glass Fiber Reinforced Wood/PVC Composites”, **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, Vol. 20, No. 6, pp. 535-550.
8. Sombatsompop, N. and Chaochanchaikul, K., 2005, “Average Mixing Torque, Tensile and Impact Properties and Thermal Stability of PVC/Sawdust Composites with Different Silane Coupling Agents”, **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 96, No. 1, pp. 213-221.
9. Sombatsompop, N. and Chaochanchaikul, K., 2004, “Effect of Moisture Content on Mechanical Properties, Thermal and Structural Stability, and Extrudate Texture of PVC/Wood Sawdust Composites”, **Polymer International**, Vol. 53, No. 9, pp. 1210-1218.
10. Sombatsompop, N., Chaochanchaikul, K., Phromchirasuk, C. and Thongsang, S., 2003, “Effect of Wood Sawdust Content on Rheological and Structural Changes, and Thermo-Mechanical Properties of PVC/Sawdust Composites”, **Polymer International**, Vol. 52, No. 12, pp. 1847-1855.

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล

(ภาษาไทย) ดร.วัลลภ หาญณรงค์ชัย
(ภาษาอังกฤษ) Dr.Wanlop Harnnarongchai

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและเทคโนโลยีการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์ 02 5874335
E-mail : wanloph@kmutnb.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

วศ.บ.(วิศวกรรมวัสดุ)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วศ.ม. (เทคโนโลยีวัสดุ)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปร.ด. (เทคโนโลยีวัสดุ)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Polymer Composites
Polymer Processing and Rheology

6. ประสบการณ์งานวิจัย

1. Harnnarongchai, W., Kaschta, J., Schubert, D., and Sombatsompop, N., 2012, "Shear and Elongational Flow Properties of Peroxide Modified Wood/LDPE Composite Melts", **Polymer Composites**, Vol. 33, No. 11, pp. 2084-2094.
2. Kraiyaded, W., Wimolmala, E., Harnnarongchai, W., Sitticharoen, W., Intawong, N-T and Sombatsompop, N., 2012, "Die Rotating Technique for Sharkskin Minimization in Highly Viscous Wood/PP Composites Melt in Extrusion Die", **Polymer Testing**, Vol. 125, No. 3, pp. 2312-2321.
3. Sitticharoen, W., Harnnarongchai, W., Intawong, N-T and Sombatsompop, N., 2012, "Melt Strength, Local Velocity and Elongational Viscosity Profiles of LDPE Filament

Affected by Die Design and Process Conditions”, **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 124, No. 5, pp. 3751-3764.

4. Harnnarongchai, W., Sitticharoen, W., Intawong, N-T and Sombatsompop, N., 2011, “Mechanical Strength of Molten and Solidified LLDPE/LDPE Blend and Wood/LDPE Composite under Tensile Deformations”, **Journal of Vinyl & Additive Technology**, Vol. 17, No. 3, pp. 164-176.
5. Harnnarongchai, W., Intawong, N-T and Sombatsompop, N., 2011, “Effect of Roller Speed, Die Temperature, Volumetric Flow Rate and Multiple Extrusions on Mechanical Strength of Molten and Solidified LDPE under Tensile Deformation”, **Journal of Macromolecular Science Part B : Physic.**, Vol. 50, No. 6, pp. 1074-1086.

