



การดูดซับเสียงของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล
Sound Absorption of Natural Rubber Filled with Fibers from the Trunk
of Betel Palm and Sugar Palm

นุรีดา กะลุแป
Nureeda kalupae

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Applied Physics

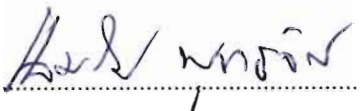
Prince of Songkla University

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

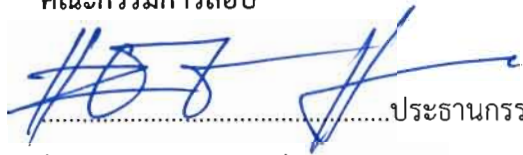
ชื่อวิทยานิพนธ์ การดูดซับเสียงของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล
 ผู้เขียน นางสาวนุรีดา กะลุแป
 สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

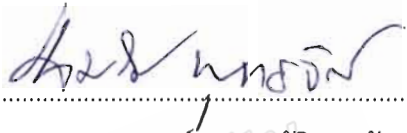
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก




 (รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ พุทธจักร)

คณะกรรมการสอบ

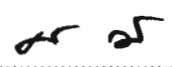

ประธานกรรมการ
 (ดร.แวอาแซ แวหามะ)


กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติพุทธจักร)


กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พวงทิพย์แก้วทับทิม)


กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พลพัฒน์ รวมเจริญ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์



 (ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งแสง)
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ พุทธจักร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวนุรีดา กะลุแป)

นักศึกษา

Prince of Songkla University
Pattani Campus

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวนุรีดา กะลุแป)

นักศึกษา

Prince of Songkla University
Pattani Campus

ชื่อวิทยานิพนธ์ การดูดซับเสียงของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล
 ผู้เขียน นางสาวนุรีดา กะลุแป
 สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
 ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัย คือ ศึกษาการดูดซับเสียงของแผ่นยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมาก (ที่ผ่านการบด ชนิดละเอียดและหยาบ ปริมาณ 0-12 phr) และเส้นใยลูกตาลที่ปริมาณ 0, 10 และ 20 phr ขึ้นรูปขึ้นทดสอบหนา 1 และ 3 mm ทดสอบการดูดซับเสียงด้วยชุดท่อคลื่นนิ่ง (Kundt's tube) พบว่ากราฟของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง $\alpha(f)$ กับความถี่ แสดงความถี่พ้องการดูดซับเสียงสามตำแหน่งคือ ที่ 250 Hz , 1,500 Hz และ 3,000 Hz เป็นของยาง ของเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล ตามลำดับ ขึ้นทดสอบหนา 3 mm ดูดซับเสียงได้ดีที่สุดเมื่อผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr มี $\alpha_{\max}(f) = 0.9916$ และเมื่อผสมเส้นใยชนิดหยาบมี $\alpha_{\max}(f) = 0.9882$ ที่ความถี่ 3,000 Hz นำแผ่นยางดูดซับเสียงส่วนหนึ่งไปทดสอบความหนาแน่น สมบัติการสูญเสียพลังงานภายในเนื้อวัสดุ ($\tan \delta$) โดยชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการบิด ลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างภายในของเส้นใย โดยกล้อง SEM และทดสอบสมบัติเชิงกล โดยชุดดั่งอย่างที่ความเร็วคงที่ต่างๆ พบว่าแผ่นยางดูดซับเสียงความหนา 1 mm ความหนาแน่นมากกว่ากว่าแผ่นยางที่หนา 3 mm จึงทำให้แผ่นยางหนา 1 mm ดูดซับเสียงได้น้อยกว่าแผ่นยางหนา 3 mm และค่าแฟกเตอร์ของการสูญเสีย ($\tan \delta$) จากการบิดของยางในแต่ละรอบของแผ่นยางหนา 3 mm จะมีค่ามากกว่าของแผ่นยางหนา 1 mm เนื่องจากโครงสร้างภายในสามารถกระจายพลังงานได้ดีกว่า ทั้งสารตัวเติมชนิดละเอียดและชนิดหยาบ และความเป็นรูพรุนของแผ่นยางดูดซับเสียงมีรูพรุนที่กว้าง มีรูปร่างเป็นโพรงที่ชัดเจนมีส่วนช่วยในการดูดซับเสียงทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญกับสมบัติดูดซับเสียง และยังพบว่า ค่าความทนต่อแรงดึงและร้อยละการยืดจากสมบัติเชิงกลของแผ่นดูดซับเสียงคือ เมื่อดึงด้วยความเร็วสูง ๆ โഴ้ของยางไม่มีเวลาในรีแล็กซ์ มีความเค้นตกค้าง จึงทำให้ยางแข็งแรง มอดูลัสจึงมีค่าสูง และเมื่อดึงด้วยความเร็วช้าๆ โซ้ของยางมีเวลาในการผ่อนคลาย ทำให้ความเค้นส่วนหนึ่งหายไป มอดูลัสจึงมีค่าต่ำ

| | |
|----------------------|---|
| Thesis Title | Sound Absorption of Natural Rubber Filled with Fibers from the Trunk of Betel Palm and Sugar Palm |
| Author | Miss Nureeda Kalupae |
| Major Program | Applied Physics |
| Academic Year | 2018 |

ABSTRACT

The aim of this research was to study sound absorption properties of rubber sheet made from natural rubber filled with broken fibers with fine and coarse size from the Trunk of Betel Palm at different loading of 0 – 12 phr and sugar palm fibers at 0, 10 and 20 phr. The samples were tested by using a standing wave tube (Kundt's tube). The plot of absorption coefficient and frequency $\alpha(f)$, showed the resonance frequency of absorption at 250 Hz, 1,500 Hz and 3,000 Hz corresponding to that of rubber, Betel palm trunk fibers and sugar palm fibers respectively. The results also showed that at the thickness of 3 mm, the resonance frequency of natural rubber filled with palm fibers of fine size and coarse size gave $\alpha_{\max}(f)$ of 0.9916 and 0.9882 at a frequency of 3,000 Hz, respectively. The test rubber sheet was also used to study the density and internal energy loss properties of materials by the dynamic property test of torque. The physical properties of the internal structure of fibers were studied by SEM and tensile tester at different constant speeds. It was found that the rubber sheet with 1 mm thickness, had density more than that of 3 mm that made 1 mm test sheet absorb sound less than 3 mm. The loss factor value ($\tan \delta$) of 3 mm was higher than that of 1 mm. There were due to the internal structure of 3 mm could disperse energy better for both fine and coarse fillers. As for the porosity of the rubber sheet, wider pores contributed to a better sound absorption properties. Tensile strength and percent elongation of sound absorption sheet showed that when it was pulling at high speed, rubber chain had no time to relax which cause rubber sheet strong and having high modulus.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณบุคคลต่าง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี บุคคลดังกล่าวคือ รองศาสตราจารย์ ดร. สมบัติ พุทธจักร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำต่าง ๆ ตลอดจนการกระตุ้นและผลักดันให้ผู้วิจัยได้รับแนวคิดที่จะศึกษาหาความรู้อย่างแท้จริง รู้จักค้นคว้า รู้จักวิเคราะห์ สังเคราะห์ข้อมูลและรู้จักแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการศึกษาวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาที่มีให้ จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ คุณมนูญ อ่องทวีสุข แผนกวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมือในการทดสอบต่าง ๆ ตลอดการทำวิจัย

ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีการยางและพอลิเมอร์ในการใช้เครื่องมือการทดสอบและขึ้นรูปยาง

ขอขอบคุณแหล่งทุนสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้ ทุนยกเว้นค่าธรรมเนียมการศึกษาจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ขอขอบพระคุณบุคลากร รวมทั้งนักศึกษา สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยเหลืองานวิจัยและอำนวยความสะดวกในการทำงานตลอดมา อีกทั้งขอขอบคุณกำลังใจที่สำคัญจากครอบครัวและเพื่อน ๆ ทุกคน ทำนุนี้ขอขอบคุณทุกท่านที่ได้มีส่วนช่วยเหลือของการทำวิจัยครั้งนี้

นุรีดา กะลุแป

สารบัญ

| เรื่อง | หน้า |
|--|----------|
| บทคัดย่อ | (5) |
| ABSTRACT | (6) |
| กิตติกรรมประกาศ | (7) |
| สารบัญ | (8) |
| สารบัญตาราง | (13) |
| สารบัญภาพ | (14) |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา | 1 |
| 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 2 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ | 5 |
| บทที่ 2 ทฤษฎี | 6 |
| 2.1 ธรรมชาติของเสียงและสมบัติของเสียง | 6 |
| 2.1.1 อัตราเร็วเสียง | 6 |
| 2.1.2 ความเข้มเสียง | 7 |
| 2.2 สมบัติเชิงเสียงของพอลิเมอร์ | 9 |
| 2.2.1 การสะท้อนเสียง | 9 |
| 2.2.2 การดูดกลืนเสียง | 10 |
| 2.3 การดูดซับเสียง | 11 |
| 2.3.1 วัสดุดูดซับเสียง | 11 |
| 2.3.2 วิธีการวัดการดูดซับเสียงโดยใช้ท่อคลื่นนิ่ง | 13 |
| 2.4 สมบัติเชิงกลแบบพลวัตของการบิด | 15 |
| 2.5 ยางธรรมชาติ | 19 |
| 2.6 ยางเคมีสำหรับยาง | 20 |
| 2.6.1 สารกระตุ้นเร่งปฏิกิริยายางคงรูป | 20 |
| 2.6.2 สารแอนติออกซิแดนท์ | 21 |
| 2.6.3 สารตัวเติม | 21 |
| 2.7 เส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติ | 22 |
| 2.7.1 เส้นใยจากลำต้นหมาก | 22 |
| 2.7.2 การนำไปใช้ | 23 |
| 2.7.3 เส้นใยจากลูกตาลโตนด | 24 |
| 2.7.4 การนำไปใช้ | 25 |
| 2.7.5 ความแตกต่างของเส้นใยทั้งสองชนิด | 25 |

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|---|------|
| 2. 8 การวัลคาไนซ์โดยกำมะถัน | 26 |
| 2.9 ความหนาแน่น | 26 |
| 2.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด | 27 |
| 2.11 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ | 28 |
| 2.11.1 ความเครียด (Strain) | 28 |
| 2.11.2 ความเค้น (Stress) | 29 |
| 2.11.3 คามอดูลัสของยัง (Young's modulus) | 30 |
| บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย | 31 |
| 3.1 วัสดุและสารเคมี | 31 |
| 3.1.1 ยางแท่ง | 31 |
| 3.1.2 สารเคมี | 31 |
| 3.1.3 สารตัวเติม | 31 |
| 3.1.3.1 เส้นใยภายในต้นหมาก | 31 |
| 3.1.3.2 เส้นใยลูกตาล | 31 |
| 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง | 32 |
| 3.2.1 กล้องจุลทรรศน์ Olympus รุ่น Motic Live Imaging Moduld | 32 |
| 3.2.2 เครื่องชั่งไฟฟ้า (Electronic balance) | 32 |
| 3.2.3 ตู้อบแห้ง (Hot Air Oven) | 32 |
| 3.2.4 เครื่องบดตัวอย่าง (Sample Grinder) | 32 |
| 3.2.5 เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll Mill) | 32 |
| 3.2.6 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบหมุน (Oscillating Disc Rheometer, ODR) | 33 |
| 3.2.7 เครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด (Compression Moulding) | 34 |
| 3.2.7.1 การเตรียม Rubber Compound | 34 |
| 3.2.7.2 การเตรียมแม่พิมพ์เพื่ออัดยาง | 34 |
| 3.2.7.3 การอัดยาง | 35 |
| 3.2.7.4 การกำหนดอุณหภูมิและเวลาในการอัดยาง | 35 |
| 3.2.8 ชุดทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงแบบคลื่นนิ่ง | 35 |
| 3.2.8.1 การเตรียมตัวอย่าง | 35 |

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|--|-----------|
| 3.2.9 ชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการบิด | 36 |
| 3.2.9.1 การเตรียมตัวอย่าง | 36 |
| 3.2.9.2 การทดสอบ | 36 |
| 3.2.10 เครื่องทดสอบสมบัติการดึง (Tensile Meter) รุ่น H10KS | 37 |
| 3.2.10.1 การเตรียมตัวอย่าง | 37 |
| 3.2.10.2 การทดสอบ | 37 |
| 3.2.11 เครื่องวัดความหนาแน่น Electric Densimeter รุ่น MD-300S และ Minimum density resolution: 0.001 | 38 |
| 3.2.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น Quanta 400 โดยมีกำลังขยายสูงสุดถึง 300,000 เท่า | 38 |
| 3.3 วิธีดำเนินการวิจัย | 39 |
| 3.3.1 การเตรียมสารตัวเติม | 39 |
| 3.3.1.1 เส้นใยจากลำต้นหมาก | 39 |
| 3.3.1.2 เส้นใยจากลูกตาลโตนดที่สุด | 40 |
| 3.3.2 ออกแบบสูตรยาง | 40 |
| 3.3.3 การผสมยาง | 41 |
| 3.3.4 การหาเวลาสุกของยาง | 41 |
| 3.3.5 การอัดเบ้า | 41 |
| 3.3.6 การทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจาก ลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล | 41 |
| 3.3.6.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) | 41 |
| 3.3.7 การทดสอบความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ | 42 |
| 3.3.8 การทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการบิด | 42 |
| 3.3.9 การทดสอบสมบัติเชิงกล | 44 |
| 3.3.10 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของโครงสร้างภายในและการเป็น รูพรุนของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใย ลูกตาล | 45 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัย และอภิปรายผลการวิจัย | 46 |
| 4.1 ผลการศึกษาสมบัติการดูดซับเสียง (สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง; α) | 46 |
| 4.1.1 แผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่าง ๆ และเส้นใย ลูกตาลปริมาณ 0 phr (ชนิดละเอียดและชนิดยาบ) ความหนา 1 mm และความหนา 3 mm | 46 |

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|--|-----------|
| 4.1.2 แผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่าง ๆ และเส้นใย ลูกตาลปริมาณ 10 และ 20 phr (ชนิดละเอียดและชนิดยาบ) ความหนา 1 mm และความหนา 3 mm | 48 |
| 4.2 ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมาก และเส้นใยลูกตาล | 51 |
| 4.3 ผลการศึกษาสมบัติเชิงพลวัตการบิดโดยค่าแฟกเตอร์ของการสูญเสีย ($\tan \delta$) ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล | 53 |
| 4.4 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นดูดซับเสียง | 55 |
| 4.4.1 ความทนต่อแรงดึงและค่ามอดุลัส | 55 |
| 4.4.1.1 ผลของเส้นใยลูกตาลที่ 0 phr และเส้นใยลูกตาลจากลำต้น หมากปริมาณต่างๆ ต่อความความทนต่อแรงดึงและค่ามอดุลัส | 56 |
| 4.4.1.2 ผลของเส้นใยลูกตาลที่ 10 phr และเส้นใยลูกตาลจากลำต้น หมากปริมาณต่างๆ ต่อความความทนต่อแรงดึงและค่ามอดุลัส | 59 |
| 4.4.1.3 ผลของเส้นใยลูกตาลที่ 20 phr และเส้นใยลูกตาลจากลำต้น หมากปริมาณต่างๆ ต่อความความทนต่อแรงดึงและค่ามอดุลัส | 61 |
| 4.5 ผลการศึกษาโครงสร้างภายในโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope | 63 |
| 4.5.1 อิทธิพลของเส้นใยจากลำต้นหมากต่อโครงสร้างภายในของแผ่น ตัวอย่าง | 64 |
| 4.5.2 อิทธิพลของเส้นใยจากลูกตาลที่ปริมาณ 10 phr และเส้นใยจากลำต้น หมากปริมาณ ต่างๆ ต่อโครงสร้างภายในของแผ่นตัวอย่าง | 65 |
| 4.5.3 อิทธิพลของเส้นใยจากลูกตาลที่ปริมาณ 20 phr และเส้นใยจากลำต้น หมากปริมาณ ต่างๆ ต่อโครงสร้างภายในของแผ่นตัวอย่าง | 66 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 69 |
| 5.1 สมบัติการดูดซับเสียงของแผ่นดูดซับเสียงตัวอย่างจากยางธรรมชาติผสมเส้นใย จากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล | 69 |
| 5.2 ความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเสียงตัวอย่างจากยางธรรมชาติเส้นใยจาก ลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล | 70 |
| 5.3 สมบัติรีโวลูยีเชิงพลวัตของการบิดโดยค่าแฟกเตอร์ของการสูญเสีย ($\tan \delta$) ที่ มีผลต่อการดูดซับเสียงของแผ่นดูดซับเสียงตัวอย่างจากยางธรรมชาติผสม เส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล | 70 |

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|---|------|
| 5.4 สมบัติเชิงกลของแผ่นดูดซับเสียงตัวอย่างจากยางธรรมชาติเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล | 70 |
| 5.5 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลมาสร้างแผ่นดูดซับเสียง | 71 |
| 5.6 ข้อเสนอแนะ | 71 |
| บรรณานุกรม | 72 |
| ภาคผนวก | 75 |
| ประวัติผู้เขียน | 100 |

Prince of Songkla University
Pattani Campus

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 อัตราเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ 25 °C | 7 |
| 2.2 ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ | 8 |
| 3.1 สูตรยางผสมและสารเคมีต่างๆในรูปจำนวน phr (part per hundred of rubber) | 40 |
| 4.1 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลที่ 0 phr | 46 |

Prince of Songkla University
Pattani Campus

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างต่างกันมีสมบัติในการดูดซับเสียงก็ต่างกัน | 2 |
| 2.1 แสดงการสะท้อนเสียงของพอลิเมอร์นั้นเป็นสมบัติคู่ของตัวกลาง | 9 |
| 2.2 ปรากฏการณ์สะท้อน ดูดกลืน และส่งผ่านเสียงของวัตถุ | 11 |
| 2.3 การดูดซับเสียงของวัสดุที่มีกลไกการดูดซับเสียงแบบต่าง ๆ | 12 |
| 2.4 แสดงกลไกการสลายพลังงานเสียงเนื่องจากความหนืด | 13 |
| 2.5 ลักษณะของท่อคลื่นนิ่งและวิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่เกิดการตกกระทบตั้งฉากกับผิวชั้นทดสอบ | 13 |
| 2.6 ลักษณะคลื่นเสียงที่ตกกระทบวัสดุดูดซับเสียง | 14 |
| 2.7 การบิดไปมาด้วยมุม θ น้อยๆ (ชั้นทดสอบเป็นแท่งกลม) | 15 |
| 2.8 การบิดไปมาด้วยมุม θ น้อยๆ (ชั้นทดสอบเป็นแท่งกลม) | 15 |
| 2.9 แอมพลิจูดของการแกว่งที่ลดลงตามเวลา | 16 |
| 2.10 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ | 20 |
| 2.11 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส | 22 |
| 2.12 โครงสร้างของเส้นใยภายในต้นหมากถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า มีหลายองค์ประกอบคือ เนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) โพลเอ็ม (phloem) พาเรงคิมา (parenchyma) และช่องว่างมีอากาศอยู่ภายใน | 24 |
| 2.13 โครงสร้างของเส้นใยลูกตาลถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า มีหลายองค์ประกอบคือ เนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) โพลเอ็ม (phloem) พาเรงคิมา (parenchyma) และช่องว่างมีอากาศอยู่ภายใน | 25 |
| 2.15 การเชื่อมต่อโมเลกุลของยางด้วยกำมะถัน | 26 |
| 2.14 แสดงหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด | 28 |
| 2.15 รูปทรงของชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึง | 29 |
| 2.16 กราฟความเค้นและความเครียด | 30 |
| 3.1 ตัวอย่างชนิดของเส้นใย a.) เส้นใยต้นหมาก b.) เส้นใยลูกตาล | 31 |
| 3.2 เครื่องบดตัวอย่าง (Sample Grinder) | 32 |
| 3.3 เครื่องบดยาสองลูกกลิ้ง (two roll mill) | 32 |
| 3.4 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบหมุน (Oscillating Disc Rheometer, ODR) | 33 |
| 3.5 เครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด (Compression Moulding) | 35 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.6 ชุดทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงที่สร้างขึ้น โดยใช้เครื่องกำเนิดเสียง รุ่น LAG-120B AUDIO GENERATOR.Japan | 35 |
| 3.7 ชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการบิด A. แผนภาพ B. ภาพถ่าย C. แพล่งกำเนิด เลเซอร์ D. เลเซอร์ที่ติดตั้งกระทบกระจกเงาแล้วสะท้อนกลับมายังฉากรับที่มีสเกล สำหรับการวัดแอมพลิจูดของการแกว่ง E. ภาพวาดแอมพลิจูดที่ลดลงต่อเนื่องของแต่ละรอบการบิด | 36 |
| 3.8 เครื่องทดสอบสมบัติการดึง (Tensile Meter) | 37 |
| 3.9 เครื่องวัดความหนาแน่น | 38 |
| 3.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น Quanta 400 | 39 |
| 3.11 A เส้นใยจากต้นหมากที่อบแห้งก่อนการบิด B ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์เส้นใย จากต้นหมากที่อบแห้งก่อนการบิด C หลังการบิดชนิดละเอียด (0.25 mm) และ ชนิดหยาบ (2 mm) | 39 |
| 3.12 A. เส้นใยจากลูกตาลโตนดสุกที่อบแห้งก่อนการบิด B. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ เส้นใยจากลูกตาลโตนดที่สุก C เส้นใยจากลูกตาลโตนดสุกที่อบแห้ง | 40 |
| 3.13 แสดงลักษณะความดันสูงสุดและความดันต่ำสุด | 42 |
| 4.1 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล ปริมาณ 0 phr ชนิดละเอียด A ความหนา 1 mm และ B ความหนา 3 mm | 47 |
| 4.2 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล ปริมาณ 0 phr ชนิดหยาบ A ความหนา 1 mm และ B ความหนา 3 mm | 48 |
| 4.3 โครงสร้างของเส้นใยภายในต้นหมากถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า มีหลาย องค์ประกอบคือ เนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) เนื้อเยื่อโฟลเอ็ม (phloem) พาเรงคิมา (parenchyma) และช่องว่างอากาศมีอากาศอยู่ภายใน | 48 |
| 4.4 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล ปริมาณ 10 phr ชนิดละเอียด A ความหนา 1 mm และ B ความหนา 3 mm | 49 |
| 4.5 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล ปริมาณ 10 phr ชนิดหยาบ A ความหนา 1 mm และ B ความหนา 3 mm | 50 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.6 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล ปริมาณ 20 phr ชนิดละเอียด A ความหนา 1 mm และ B ความหนา 3 mm | 50 |
| 4.7 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล ปริมาณ 20 phr ชนิดหยาบ A ความหนา 1 mm และ B ความหนา 3 mm | 51 |
| 4.8 โครงสร้างของเส้นใยภายในต้นหมากถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า มีหลายองค์ประกอบคือ เนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) เนื้อเยื่อโฟลเอ็ม (phloem) พาเรงคิมา (parenchyma) และช่องว่างอากาศมีอากาศอยู่ภายใน | 51 |
| 4.9 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใย จากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 0 phr A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ | 52 |
| 4.10 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใย จากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ | 52 |
| 4.11 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใย จากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ | 53 |
| 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\tan \delta$ กับปริมาณสารตัวเติม (phr) ของแผ่นดูดซับเสียงความ หนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 0 phr A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ | 54 |
| 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\tan \delta$ กับปริมาณสารตัวเติม (phr) ของแผ่นดูดซับเสียงความ หนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ | 54 |
| 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\tan \delta$ กับปริมาณสารตัวเติม (phr) ของแผ่นดูดซับเสียงความ หนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ | 55 |
| 4.15 A แสดงค่าความทนต่อแรงดึง B แสดงค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจาก ลำต้นหมากปริมาณ 3 phr และเส้นใยลูกตาล 0 phr ที่ความเร็วต่าง ๆ | 56 |
| 4.16 A แสดงค่าความทนต่อแรงดึง B แสดงค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจาก ลำต้นหมากปริมาณต่างๆ และเส้นใยลูกตาล 0 phr ที่ความเร็ว 10 mm/min | 57 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.32 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S3 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ | 66 |
| 4.33 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S4 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ | 66 |
| 4.34 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S5 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ | 66 |
| 4.35 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S1 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ | 67 |
| 4.36 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S2 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ | 67 |
| 4.37 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S3 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ | 67 |
| 4.38 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S4 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ | 68 |
| 4.39 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S5 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ | 68 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

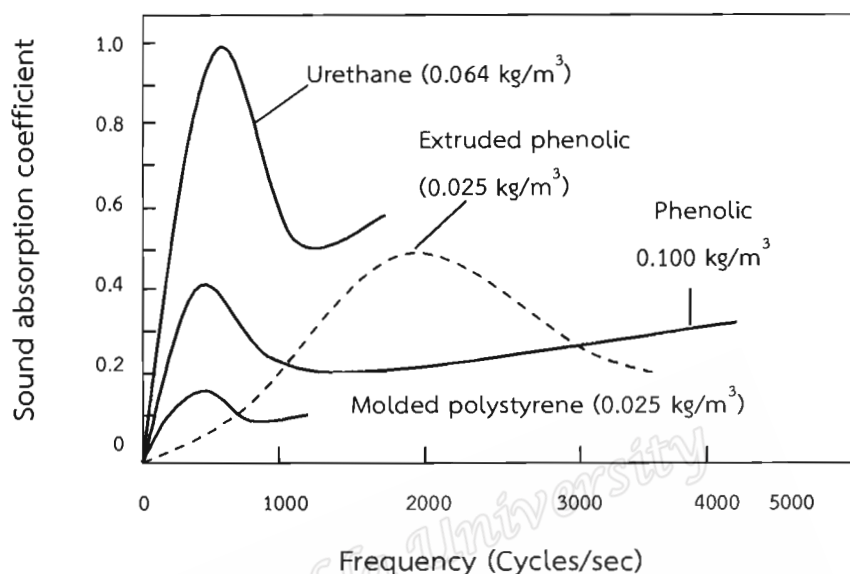
เสียงรบกวนเป็นปัญหาสภาพแวดล้อมที่สำคัญในปัจจุบัน โดยเฉพาะในสังคมเมืองใหญ่มีสภาพแวดล้อม มลพิษทางเสียงที่ไม่ปรารถนาเกิดขึ้นมาก ดังนั้นมนุษย์มีความตระหนักเกี่ยวกับความสะดวกสบายและความปลอดภัยในการดำเนินชีวิต ซึ่งเป็นเหตุผลหลักในการควบคุมเสียงรบกวนที่ไม่ปรารถนา เมื่อมีเสียงที่ไม่ปรารถนาเกิดขึ้น ทำให้เกิดมลพิษทางเสียง จึงเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อความเจริญทางด้านเศรษฐกิจและสังคม โดยเฉพาะระดับเสียงริมเส้นทางจราจรในเขตเมืองใหญ่จากโรงงานอุตสาหกรรม จากสนามบิน จากอู่ซ่อมรถและสถานบันเทิงเป็นต้น ปัญหาเหล่านี้ทำให้เกิดความรำคาญและเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง (Antonio, 2011) ในการลดและควบคุมป้องกันการเกิดมลพิษทางเสียงมีหลายรูปแบบ เช่น ใช้วัสดุดูดซับเสียงโดยพัฒนาวัสดุผสมที่มีหลายกลไกของการดูดซับ เช่น พลาสติก หรือยาที่ผ่านการใช้งานแล้ว หรือใช้วัสดุจากพืช (Youneng, 2003)

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะหาวัสดุผสมมาใช้คือ ใยธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล เพื่อให้ได้วัสดุดูดซับเสียงที่ดี เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมแล้วช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว อีกทั้งเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้ยาธรรมชาติภายในประเทศ และเป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจให้แก่ชาวสวนยางอีกด้วย รวมถึงความปลอดภัยของบุคคลที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดเสียงโดยใช้วัสดุประเภทฉนวนดูดซับเสียงเป็นตัวช่วยลดเสียงจากแหล่งกำเนิด กลไกของการควบคุมการลดระดับเสียงเรียกว่า “การดูดซับเสียง”

การดูดซับเสียง เป็นสมบัติเฉพาะทางของวัสดุที่ขึ้นอยู่กับชนิดพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน มีสมบัติในการดูดซับเสียงก็ต่างกัน ดังภาพที่ 1.1 นอกจากนี้ยังขึ้นกับสัดส่วนองค์ประกอบของวัสดุผสมหลายชนิด ซึ่งเกิดขึ้นเพราะพลังงานเสียงถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนภายในเนื้อวัสดุหรืออาจจะใช้กลไกอื่น ๆ ในการเปลี่ยนพลังงานเสียง เช่น การขยับตัวของโมเลกุลของตัวกลางนั้นๆ การขยับตัวของอนุภาคสารตัวเติม และการขยับตัวของโมเลกุลอากาศในรูพรุนภายในของเส้นใย (ดารีกา, 2552)

การปรับการดูดซับเสียงยังสามารถทำได้โดยการใช้วัสดุที่โมเลกุลสามารถขยับได้ง่ายขณะเกิดการตกกระทบ วิธีการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่นิยมใช้กันอยู่มีสองวิธี คือ การใช้ห้องสะท้อนเสียง (Reverberation room) และใช้ไมโครโฟนสองตัว แต่วิธีที่กล่าวมานั้นจะมี

ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้นวิธีทดสอบโดยใช้ท่อนิ่ง (Standing wave) เป็นทางเลือกหนึ่งซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากและสร้างอุปกรณ์โดยใช้ต้นทุนไม่มากนัก



ภาพที่ 1.1 โพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างต่างกัน มีสมบัติในการดูดซับเสียงที่ต่างกัน (Osswald and Menges, 2012)

งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการศึกษาการดูดซับเสียงของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล เพื่อให้ได้วัสดุดูดซับเสียงที่มีช่วงความถี่กว้าง และเพื่อเพิ่มปริมาณการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศ นอกจากนี้เส้นใยลูกตาล มีปริมาณเซลลูโลสสูง ทำให้เป็นตัวเพิ่มการดูดซับเสียงและความแข็งแรงให้แก่แผ่นยางผสม ส่วนเส้นใยจากลำต้นหมากเป็นเส้นใยมีลักษณะคล้ายฟองน้ำธรรมชาติ ทำให้มีสมบัติในการดูดซับเสียงที่ความถี่ธรรมชาติเฉพาะอีกค่าหนึ่ง เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นแผ่นดูดซับเสียงของวัสดุผสม เพื่อให้เกิดการดูดซับเสียงในแถบความถี่กว้างขึ้น เป็นการใช้วัตถุดิบในธรรมชาติ เป็นมิตรแก่สิ่งแวดล้อม หาง่าย เหมาะแก่การนำมาพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับเสียง

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Youneng and Changwhan (2003) ศึกษาสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของพอลิเอสเทอร์รีไซเคิลชนิดไม่ถักทอ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้แทนวัสดุที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ได้แก่ โยแก้วและใยหิน พอลิเอสเทอร์รีไซเคิลชนิดไม่ถักทอ มีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับเสียงโดยทั่วไป คือ เป็นการลดต้นทุนการผลิตสามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้ง่ายกว่า และสามารถช่วยปกป้อง

สิ่งแวดล้อม การวัดสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของพอลิเอสเตอร์รีไซเคิลไม่ถักทอจะทำได้โดยใช้ท่อวัดความต้านทานเสียงชนิด 2 ไมโครโฟนคือวัดอัตราพลังงานเสียงที่ถูกดูดซับของวัสดุต่อพลังงานเสียงทั้งหมดที่ตกกระทบซึ่งพบว่า การนำพอลิเอสเตอร์รีไซเคิลชนิดไม่ถักทอฉาบผิววัสดุ พบว่าสามารถดูดซับเสียงในช่วงความถี่ต่ำและกลางได้ดีขึ้น

Sobral et al. (2003) การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเสียงของอนุภาคยาง (ยางที่ผ่านการใช้งานแล้วนำมาบดให้เป็นอนุภาค) นำมาอัดรวมกันโดยใช้สารยึดติด พบว่าทั้งชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้สารยึดติด และขนาดอนุภาค (ตามขนาดตะแกรงกรอง) มีอิทธิพลที่สำคัญกว่าสมบัติอื่น ๆ เช่น การต้านการหักงอ และการดูดซับเสียง พบว่า เมื่อใช้สัดส่วน 20 wt% ของสารยึดติด (ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ *Vert Oxyde resin* และ *Buche-pore* ผสมกันในสัดส่วน 70:30 w/w) จะมีการต้านการหักงอได้สูงสุด และเมื่อใช้อนุภาคที่มีความละเอียด 0.5-1.5 mm และการดูดซับเสียงของเศษยางอัดก้อนดีกว่าวัสดุที่ทำจากคอนกรีตมวลเบา และเศษยางที่ผสม *Leca*® (อนุภาคดินเหนียวมวลเบา) ซึ่งการผสม *Leca*® กับอนุภาคยางไม่ได้ช่วยปรับปรุงสมบัติทางด้านเสียงให้ดีขึ้น จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าเศษยางอัดก้อนเป็นวัสดุอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ในการใช้เป็นวัสดุฉาบผิวสำหรับเป็นผนังกันเสียง เหมือนวัสดุที่มีรูพรุนอื่น ๆ และยังสามารถปรับสถานะของวัสดุให้มีสถานะเป็นของแข็งและมีความสามารถในการต้านการหักงอตามต้องการได้โดยการเปลี่ยนขนาดอนุภาคหรือใช้ปริมาณสารยึดติดในเปอร์เซ็นต์ ที่แตกต่างกันออกไป

Hong et al. (2007) การศึกษาเกี่ยวกับการนำอนุภาคยางรีไซเคิลมาเป็นวัสดุดูดซับเสียง ซึ่งได้ข้อสรุปว่า อนุภาคยางรีไซเคิลนั้นสามารถดูดซับเสียงในช่วงความถี่ต่ำ ยังพบว่ายางรีไซเคิลสามารถเป็นวัสดุดูดซับเสียงที่ดีได้ถ้ามีการออกแบบโครงสร้างที่ให้ค่าอิมพีแดนซ์ของยางใกล้เคียงอิมพีแดนซ์ของอากาศ และเมื่อประกอบแผ่นดูดซับเสียงเป็นชั้น ๆ (โดยชั้นล่างเป็นแผ่นรูพรุนถัดมาเป็นแผ่นอนุภาคยางและปะหน้าด้วยแผ่นโฟม) สามารถดูดซับเสียงได้ดีกว่าวัสดุดูดซับเสียงที่ประกอบเพียงชั้นเดียว

สมบัติ และคณะ (2551) การศึกษาการดูดซับเสียงของยางธรรมชาติผสมดินขาวชนิดเบนโทไนต์และชนิดคาโอไลน์ ซึ่งแสดงสมบัติการดูดซับเสียงที่ขึ้นกับชนิดปริมาณของดินขาว และความหนาของชั้นทดสอบคือ 1.5 และ 5 mm พบว่า ยางธรรมชาติผสมดินขาวชนิดเบนโทไนต์ที่ความหนา 1.5 mm จะมีค่า $\alpha = 0.2$ ที่ $f = 2000$ Hz แต่ยางธรรมชาติผสมดินขาวชนิดคาโอไลน์ จะมีค่า $\alpha = 0.07$ เท่านั้น ส่วนที่มีความหนา 5 mm ทั้งที่เป็นดินขาวชนิดเบนโทไนต์และผสมดินขาวชนิดคาโอไลน์ ความถี่พ้องจะมากกว่า 4000 Hz ซึ่งจะมีค่า $\alpha = 0.5$ และ $\alpha = 0.96$ ตามลำดับ ดังนั้นยางธรรมชาติผสมดินขาวชนิดเบนโทไนต์ที่มีความหนาน้อยเหมาะสำหรับใช้ดูดซับเสียงความถี่ประมาณ 2,000 Hz ส่วนยางธรรมชาติผสมดินขาวชนิดคาโอไลน์ที่มีความหนามากเหมาะสำหรับใช้ดูดซับเสียงความถี่สูงตั้งแต่ 3,000Hz ขึ้นไป

Zulkifli et al. (2009) การศึกษาสมบัติการสะท้อนเสียงจากวัสดุใยมะพร้าวและใยปาล์มน้ำมัน โดยเตรียมวัสดุเป็นแผ่นที่มีความหนาแน่น 74 kg/m^3 และ 130 kg/m^3 ตามลำดับ พบว่า ใยมะพร้าวมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเฉลี่ยเท่ากับ 0.50 ส่วนใยปาล์มน้ำมันให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเฉลี่ยเท่ากับ 0.64 ซึ่งจะเห็นว่าใยปาล์มน้ำมันจะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงกว่า และมีความหนาแน่นสูงกว่าเช่นกันและเส้นใยทั้งสองมีศักยภาพไฟฟ้าสูงจึงสามารถใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียงได้

นุรีดา และคณะ (2559) ศึกษาการดูดซับเสียงของยาง SBR ผสมเส้นใยภายในลำต้นหมาก มีวัตถุประสงค์การวิจัยคือ ศึกษาการดูดซับเสียงของแผ่นยางสังเคราะห์ (SBR) ผสมเส้นใยภายในต้นหมากที่ผ่านการบด ชนิดละเอียดและหยาบ ปริมาณ 0-12 phr ขึ้นรูปขึ้นทดสอบหนา 3 mm และ 6 mm ทดสอบการดูดซับเสียงด้วยชุดท่อคลื่นนิ่ง (Kundt's tube) พบว่ากราฟของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ $\alpha(f)$ แสดงความถี่พ้องการดูดซับเสียงสองตำแหน่งคือที่ 250 Hz และ 2,000 Hz เป็นของยางและของเส้นใยตามลำดับ ขึ้นทดสอบหนา 6 mm ดูดซับเสียงได้ดีที่สุดเมื่อผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดมี $\alpha_{\max}(f) = 0.9889$ และเมื่อผสมเส้นใยชนิดหยาบมี $\alpha_{\max}(f) = 0.9796$ ที่ความถี่ 2,000 Hz

Ismail et al. (2010) การศึกษาการดูดซับเสียงจากเส้นใยธรรมชาติของต้นดาว วัตถุประสงค์การวิจัยคือ ศึกษาสมบัติการดูดซับเสียงของเส้นใยต้นดาวที่บริสุทธิ์และตรวจสอบศักยภาพของการใช้เส้นใยต้นดาวเป็นวัสดุดิบของวัสดุดูดซับเสียง จากการศึกษาพบว่า ความหนาที่ 0.75-0.90 mm จะเหมาะสำหรับการดูดซับเสียงที่ความถี่สูง เมื่อความหนามากขึ้น การดูดซับเสียงจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ดี ที่ความถี่ 2000- 5000 Hz และยังมีแนวโน้มที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุดิบในการผลิตวัสดุดูดซับเสียงเนื่องจากมีต้นทุนต่ำ น้ำหนักเบาและย่อยสลายได้ง่าย

Benkreira et al. (2011) การศึกษาและพัฒนาสมบัติการดูดซับเสียงและสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุเหลือใช้คือ ยางรถยนต์ พลาสติกต่าง ๆ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เป็นเส้นใย โดยการศึกษาจะศึกษาโครงสร้างของวัสดุตั้งกล่าวว่าเป็นโครงสร้างภายในนั้นเป็นเซลล์เปิดหรือว่าเซลล์ปิด และจากการศึกษาพบว่าเซลล์ที่มีลักษณะเป็นเซลล์ปิดจะทำให้สมบัติการดูดซับเสียงและสมบัติเชิงความร้อนนั้นดีขึ้น

Jayamani et al. (2014) การศึกษาสมบัติเชิงกล, สมบัติการดูดซับเสียง และสมบัติเชิงความร้อนของเส้นใยจากผลหมากผสมโพลีเอสเตอร์ไม่อิมตัว มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุผสมชนิดใหม่โดยใช้เส้นใยจากผลหมากผสมโพลีเอสเตอร์ไม่อิมตัว จากผลการวิจัยพบว่าสมบัติเชิงเสียง สมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงความร้อนขึ้นอยู่กับ การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย (การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 5%) แสดงให้เห็นว่าวัสดุผสมนี้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอันเป็นผลมา

จากการยืดเกาะที่ดีขึ้น และมีการกระจายตัวที่ดี และจากความเป็นรูปทรงของเส้นใยช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ดีขึ้น แต่จะมีความเสถียรทางความร้อนจะต่ำลง

Algaily and puttajukr (2014) การศึกษาสมบัติดูดซับเสียงและสมบัติเชิงกลของยาง Styrene Butadiene Rubber (SBR) ผสมยาง Reclaimed Rubber (RR) และ สารที่ทำให้เกิดฟอง (โซเดียมไบคาร์บอเนต) มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับเสียง (α) ในการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่างทั้งหมดสามารถดูดซับเสียงได้ดีในช่วงที่ความถี่กว้าง วัสดุนี้เป็นวัสดุขึ้นใหม่ที่ดูดซับเสียงได้หลากหลายและสามารถนำไปใช้งานดูดซับเสียงที่ความถี่ต่างๆได้จริง ดังนั้นจึงช่วยลดมลพิษของเสียงได้

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อวิเคราะห์สมบัติการดูดซับเสียง (Acoustic Absorption Coefficient : α) สมบัติเชิงกล และสมบัติรีโอโลยีเชิงพลวัตของการบดที่มีผลต่อการดูดซับเสียง ของแผ่นดูดซับเสียงตัวอย่างจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล

1.3.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลมาสร้างแผ่นดูดซับเสียง เพื่อใช้ในการป้องกันหรือลดเสียงรบกวนต่างๆ

1.3.3 เพื่อเพิ่มแนวทางและการพัฒนาสูตรผสมสำหรับวัสดุดูดซับเสียง

บทที่ 2

ทฤษฎี

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องตามลำดับดังนี้ ธรรมชาติของเสียง และสมบัติของเสียง สมบัติเชิงเสียงของพอลิเมอร์ การดูดซับเสียง สมบัติเชิงพลวัตของการบิด ยาง ธรรมชาติ สารเคมีสำหรับยาง เส้นใยเซลลูโลสจากธรรมชาติ เส้นใยจากลำต้นหมาก เส้นใยลูกตาล การวัดความหนาแน่นของพอลิเมอร์ สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ตามลำดับดังต่อไปนี้

2.1 ธรรมชาติของเสียงและสมบัติของเสียง (Nature of sound and sound properties)

คลื่นเสียง เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุผ่านตัวกลาง เช่น อากาศเกิดการอัดตัว และขยายตัวของโมเลกุลอากาศและเกิดเป็นคลื่นเสียง ทำให้มนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่เกิดจากสั่นของวัตถุ นอกจากอากาศนั้นแล้วยังมีสารอื่น ๆ ที่อยู่ในสถานะก๊าซ ของเหลว และของแข็ง สามารถเป็นตัวกลางให้เสียงเดินทางได้ แต่เสียงไม่สามารถเดินทางผ่านสุญญากาศได้ (กรมสวัสดิการ และแรงงาน, 2549)

2.1.1 อัตราเร็วของเสียง

อัตราเร็วเสียงขึ้นอยู่กับสมบัติของตัวกลางที่เสียงเคลื่อนที่ผ่าน ได้แก่ ความหนาแน่น ความยืดหยุ่นและโครงสร้างทางเคมีของวัสดุประกอบด้วยอุณหภูมิเป็นต้น โดยปกติเสียงเดินทางในของแข็งได้ดีที่สุด รองลงมาคือของเหลว และก๊าซตามลำดับ นอกจากนี้อัตราเร็วเสียงยังขึ้นกับอุณหภูมิของตัวกลางที่เสียงเคลื่อนที่ผ่าน โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราเร็วเสียงจะมีค่ามากขึ้น สำหรับตัวกลางที่เป็นอากาศ อัตราเร็วเสียงที่อุณหภูมิใดๆ หาได้จาก

$$V_T = 331 + 0.6T \quad (2.1)$$

โดยที่ V_T คือ อัตราเร็วของเสียงที่อุณหภูมิเป็นเซลเซียส
 T คือ อุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส

อัตราเร็วเสียงที่อุณหภูมิคงที่ สัมพันธ์กับความยาวของคลื่นและความถี่ของคลื่น คือ

$$v = f\lambda \quad (2.2)$$

โดยที่ f คือ ความถี่
 λ คือ ความยาวคลื่น

ตารางที่ 2.1 อัตราเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ 25 °C

| ตัวกลาง | อัตราเร็ว (m/s) |
|-----------------------------|-----------------|
| ก๊าซ | |
| แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (0 °C) | 258 |
| อากาศ (15 °C) | 346 |
| แก๊สไฮโดรเจน | 1,339 |
| ของเหลว | |
| น้ำ | 1,498 |
| น้ำทะเล | 1,531 |
| ของแข็ง | |
| แก้ว | 4,540 |
| อะลูมิเนียม | 5,000 |
| แก้วเหล็ก | 5,200 |

ที่มา: (Osswald, 1996)

2.1.2 ความเข้มเสียง

ความเข้มเสียงนิยามจากพลังงานที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดต่อเวลาที่เรียกว่ากำลัง (P , Watt) ต่อพื้นที่ทรงกลมที่แหล่งกำเนิดเสียงอยู่ตรงกลาง ($4\pi R$) คือ

$$I = \frac{P}{4\pi R^2} \quad (2.3)$$

โดยที่ I คือ ความเข้มเสียง มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
 P คือ กำลังของแหล่งกำเนิดเสียง มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)
 A คือ พื้นที่ที่เสียงตกกระทบ มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

หรือ

$$I \propto \frac{1}{R^2} \quad (2.4)$$

ระดับความเข้มเสียง (β) (เดซิเบล, dB) นิยามจากความเข้มเสียงสัมพันธ์ของความเข้มเสียงของมนุษย์เริ่มได้ยิน I_0 คือ

$$\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (2.5)$$

ตารางที่ 2.2 ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ

| แหล่งกำเนิดเสียง | ระดับเสียง (เดซิเบล, dB) | ผลการรับฟัง |
|---------------------------------------|--------------------------|----------------|
| การหายใจปกติ | 10 | แทบจะไม่ได้ยิน |
| การกระซิบแผ่วเบา | 30 | เจ็บบมาก |
| สำนักงานที่เจ็บบ | 50 | เจ็บบ |
| การพูดคุยธรรมดา | 60 | ปานกลาง |
| เครื่องดูดฝุ่น | 75 | ดัง |
| โรงงานทั่วไป, ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น | 80 | ดัง |
| เครื่องเสียงสเตอริโอในห้อง | 90 | ดัง |
| เครื่องเจาะถนนแบบอัดลม | 90 | ดัง |
| เครื่องตัดหญ้า | 100 | ดัง |
| ดิสโก้, การแสดงดนตรีประเภทร็อก | 120 | ไม่สบายหู |
| ฟ้าผ่าระยะใกล้ | 130 | ไม่สบายหู |
| เครื่องดูบินไอพ่นกำลังขึ้นที่ระยะใกล้ | 150 | เจ็บปวดในหู |
| จรวดขนาดใหญ่ที่กำลังขึ้นระยะใกล้ | 180 | เจ็บปวดในหู |

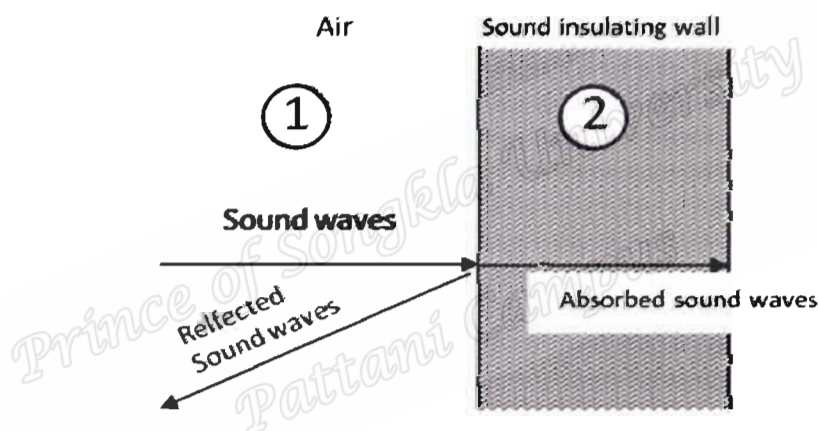
ที่มา: (Osswald, 1996)

2.2 สมบัติเชิงเสียงของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีลักษณะเป็นสายโซ่ยาว มีมวลโมเลกุลสูง ประกอบด้วยหน่วยย่อย (Monomer) ที่เชื่อมกันด้วยพันธะโควาเลนต์ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) โดยมีโครงสร้างหลากหลาย เช่น พอลิเมอร์แบบเส้นพอลิเมอร์แบบกิ่ง และพอลิเมอร์แบบร่างแห ซึ่งส่งผลให้พอลิเมอร์แต่ละชนิดมีสมบัติที่ต่างกัน พอลิเมอร์จัดเป็นฉนวนกันเสียงที่ดี จึงได้มีการนำพอลิเมอร์มาใช้เป็นฉนวนกันเสียงในรูปแบบต่าง ๆ

2.2.1 การสะท้อนเสียง

การสะท้อนเสียงของพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันนั้น มีความสามารถสะท้อนเสียงได้ไม่เท่ากัน การสะท้อนเสียงของพอลิเมอร์นั้นเป็นสมบัติคู่ของตัวกลางที่ 1 และ 2 ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงการสะท้อนเสียงของพอลิเมอร์นั้นเป็นสมบัติคู่ของตัวกลาง (Osswald, 1996)

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (2.6)$$

$$R = \rho C_w \quad (2.7)$$

- เมื่อ
- R คือ สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง
 - Z คือ ค่าอิมพีแดนซ์ หรือสมบัติต้านทานเสียง
 - ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุ
 - C_w คือ ความเร็วของเสียงในอากาศ

การสะท้อนเสียงของผนังนั้นสามารถแสดงได้ในเทอมของมวลผนัง M ความถี่ f และ Z_0 คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของอากาศ

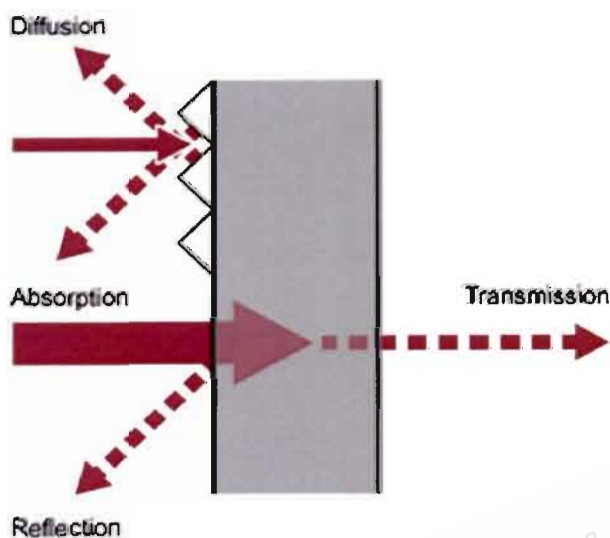
$$R = 20 \log \left[\frac{\pi f M}{Z_0} \right] \quad (2.8)$$

เมื่อการสะท้อนเสียงมีค่าน้อย นั่นคือมีการส่งผ่านหรือการดูดกลืนมากขึ้น การสะท้อนเสียงมีค่าน้อย นั่นคือ เมื่อ $Z_1 \approx Z_2$ หรือการลด Z_2 โดยหลักการทางฟิสิกส์ของพอลิเมอร์ (จากสมการที่ 2.8)

2.2.2 การดูดกลืนเสียง

การสะท้อนเสียงมีค่าน้อย เมื่อ $Z_1 \approx Z_2$ หรือการลด Z_2 โดยหลักการทางฟิสิกส์ของพอลิเมอร์ การดูดกลืนหมายถึงพลังงานที่ผ่านเข้าไปในผิวแรกมีการลดลงไปเมื่อผ่านออกที่ผิวสองนั่นเอง ซึ่งสามารถวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนได้ โดยนิยามสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง α (α อัตราส่วนพลังงานที่ผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ ต่อพลังงานที่ตกกระทบ) ดังแสดงในภาพที่ 1.1

ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการดูดกลืนเสียง คือ ความสามารถของวัสดุในการดูดกลืนพลังงานเสียงและเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่นๆ โดยวัสดุที่สามารถดูดซับเสียงได้ดีจะเป็นวัสดุจำพวกเส้นใย (Fibrous) และวัสดุพรุน (Porous) เมื่อเสียงกระทบวัสดุใด ๆ เสียงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและส่งผ่านเข้าไปในวัสดุนั้นทั้งนี้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและคุณลักษณะของวัสดุนั้นเป็นสำคัญ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 (SciMath, 2560) ดัชนีที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงของวัสดุแต่ละชนิด คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Acoustic Absorption Coefficient, α) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของปริมาณพลังงานสะท้อนต่อปริมาณของพลังงานเสียงตกกระทบบนวัสดุนั้น ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 (มิ่ง และพงษ์ศักดิ์, 2549)



ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาการสะท้อน ดูดกลืน และส่งผ่านเสียงของวัตถุ (SciMath, 2560)

2.3 การดูดซับเสียง (Sound Absorption)

การดูดซับเสียง หมายถึง ความสามารถของวัสดุในการดูดกลืนพลังงานเสียงและเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่นๆ โดยวัสดุที่สามารถดูดซับเสียงได้ดีจะเป็นวัสดุจำพวกเส้นใย (Fibrous) และวัสดุพรุน (Porous) เมื่อเสียงกระทบวัสดุใด ๆ เสียงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและส่งผ่านเข้าไปในวัสดุนั้นทั้งนี้จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสัดส่วนองค์ประกอบของวัสดุผสมนั้นเป็นสำคัญ

2.3.1 วัสดุดูดซับเสียง (Sound Absorber)

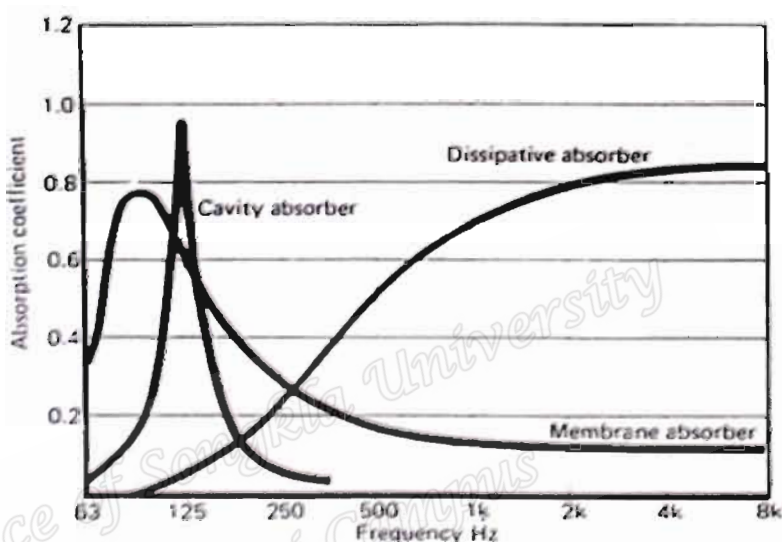
วัสดุดูดซับเสียง คือวัสดุที่ทำหน้าที่ดูดซับเสียง โดยเมื่อเสียงมาตกกระทบ จะมีการดูดซับเสียง ทำให้ไม่เกิดเสียงสะท้อนกลับ ซึ่งใช้แก้ปัญหาเสียงก้อง ลดเสียงสะท้อน ภายในอาคาร สำนักงาน ห้องประชุม ห้องอัดเสียงรวมถึงในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น ในระบบ HVAC และในระบบ automotive โดยวัสดุดูดซับเสียงสามารถจำแนกประเภทออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

2.3.1.1 วัสดุดูดซับเสียงประเภทไม่มีรูพรุน (Non-Porous Absorber) เป็นวัสดุที่ไม่มีรูพรุน โดยสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 ประเภทดังนี้

2.3.1.1.1 วัสดุดูดซับเสียงประเภทโพรงหรือช่อง (Resonator of Cavity Absorber) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีลักษณะโพรง หรือช่องที่ขนาดแตกต่างกันในผนัง หรือโครงสร้างของวัสดุ ซึ่งแต่ละช่องเรียกว่า Sound box การดูดซับเสียงจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Sound box โดยประสิทธิภาพของการดูดซับเสียงของวัสดุชนิดนี้อยู่ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1,000 Hz และ

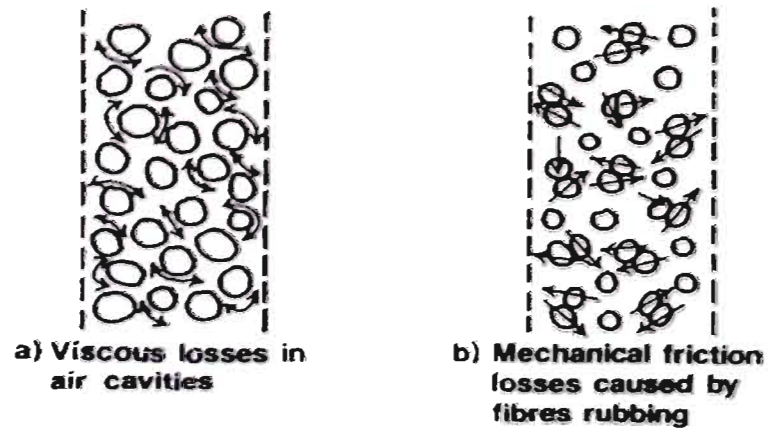
สามารถดูดซับเสียงได้ดีที่สุดในช่วงความถี่ 100-300 Hz และประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.3 แต่หากมีการผสมวัสดุดูดซับเสียงชนิดอื่น เช่น โยแก้วหรือใยหินลงไปในห้องว่างภายใน sound box จำทำให้ความสามารถในการดูดซับเสียงมีช่วงความถี่ที่กว้างขึ้น

2.3.1.1.2 วัสดุดูดซับเสียงประเภทเมมเบรน (Membrane Absorber) เป็นวัสดุที่มีผิวหน้าเป็นเมมเบรน เช่น ยิปซัมบอร์ด โดยวัสดุชนิดนี้จะสามารถดูดซับเสียงได้น้อยมาก และมีเสียงสะท้อนค่อนข้างสูง จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงได้ดีที่ความถี่ต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การดูดซับเสียงของวัสดุที่มีกลไกการดูดซับเสียงแบบต่าง ๆ (Sound Research Laboratories Ltd., 1991)

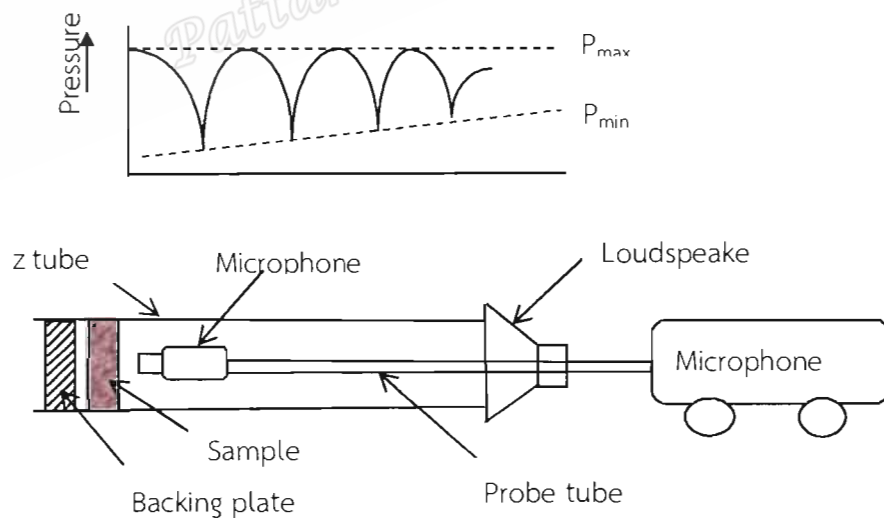
2.3.1.2 วัสดุดูดซับเสียงประเภทเส้นใย (Fiber) หรือวัสดุที่มีรูพรุน (Porous Dissipative Absorber) เป็นวัสดุดูดซับเสียงที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน โดยวัสดุเหล่านี้จะมีช่องว่างภายในซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1 mm ซึ่งต่ำกว่าขนาดความยาวของเสียงมาก ดังนั้นวัสดุชนิดนี้จึงเป็นตัวกลางทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานได้เป็นอย่างดีโดยกลไกการเปลี่ยนแปลงพลังงานของวัสดุพรุน คือเมื่อเสียงตกกระทบบนวัสดุเหล่านี้โมเลกุลของอากาศจะเกิดการสั่นตัวภายในช่องว่างของวัสดุพรุน โดยมีความถี่ของการสั่นเท่ากับความถี่ของเสียงตกกระทบบน ซึ่งการสั่นตัวของโมเลกุลอากาศนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเสียงเนื่องจากการเสียดทานและความหนืด (Frictional and Viscous Loss) โดยมีการสูญเสียพลังงานแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงกลไกการสลายพลังงานเสียงเนื่องจากความหนืด (a) และแรงเสียดทาน (b)
(Malcolm, 1982)

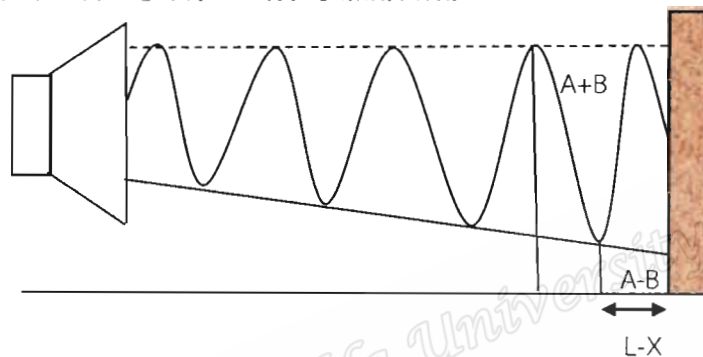
2.3.2 วิธีการวัดการดูดซับเสียงโดยใช้ท่อคลื่นนิ่ง (Impedance Tube Method)

ท่อคลื่นนิ่งประยุกต์ใช้สำหรับวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้งานง่ายและวัดได้อย่างแม่นยำ ข้อดีของเครื่องมือนี้คือมีขนาดเล็ก สร้างง่ายและทดสอบที่ใช้มีขนาดเล็ก ลักษณะของเครื่องมือและวิธีการวัดแสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ลักษณะของท่อคลื่นนิ่งและวิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่เกิดการตกกระทบตั้งฉากกับผิวขึ้นทดสอบ (Everest, 2006)

เสียงถูกส่งจากลำโพงซึ่งอยู่ที่ปลายท่อด้านหนึ่ง ส่วนปลายท่อด้านหนึ่งจะวางขึ้น ทดสอบไว้ สัญญาณของคลื่นนิ่งภายในท่อสามารถตรวจวัดได้จาก Microphone probe เมื่อปลาย ท่อข้างหนึ่งติดตั้งวัสดุดูดซับเสียง พลังงานงานเสียงที่ตกกระทบบางส่วนจะถูกดูดซับโดยวัสดุ นั้น ดัง แสดงในภาพที่ 2.6 ดังนั้นแอมพลิจูดของคลื่นสะท้อนจะมีขนาดไม่เท่ากับขนาดของแอมพลิจูดเดิม ใน ทำนองเดียวกัน วัสดุดูดซับเสียงนั้นจะทำให้เฟสของคลื่นสะท้อนเลื่อนไปด้วย แอมพลิจูดที่ความดัน สูงสุดหรือตำแหน่งปฏิบัพของความดัน มีค่าเป็น $A + B$ และแอมพลิจูดที่ความดันต่ำสุดหรือ ตำแหน่งบัพของความดัน มีค่าเป็น $A - B$ การวัดค่า A และ B โดยตรงนั้นทำได้ยาก แต่เราสามารถ วัดค่า $A + B$ และ $A - B$ ได้จากการใช้ท่อคลื่นนิ่ง ดังนี้



ภาพที่ 2.6 ลักษณะคลื่นเสียงที่ตกกระทบวัสดุดูดซับเสียง (ตาริกา, 2552)

นิยามอัตราส่วนของความดันสูงสุดต่อความดันต่ำสุดเป็น Standing wave ratio ; SWR

$$SWR = \frac{A + B}{A - B} \quad (2.9)$$

ซึ่งสามารถจัดสมการอยู่ในรูปสัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียง (Sound power reflection coefficient; R) ได้ดังนี้

$$R = \frac{B}{A} = \frac{SWR - 1}{SWR + 1} \quad (2.10)$$

โดยที่

A คือ แอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบ

B คือ แอมพลิจูดของคลื่นสะท้อน

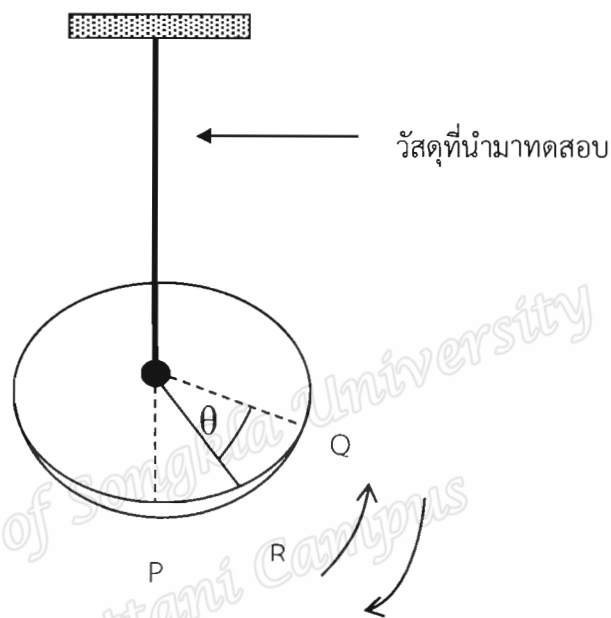
ดังนั้นสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในการทดสอบเป็นดังสมการ

$$\alpha = 1 - R^2 = 1 - \frac{(SWR - 1)^2}{(SWR + 1)^2} \quad (2.11)$$

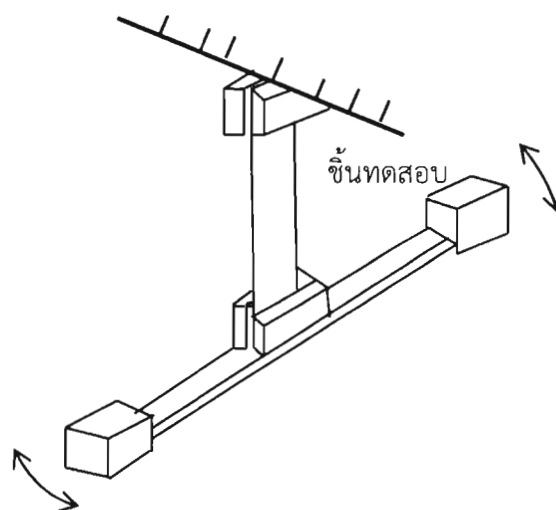
2.4 สมบัติเชิงกลแบบพลวัตของการบิด (Dynamic Mechanical Testing: Torsion)

สมบัติเชิงพลวัตของการบิด หมายถึง การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic test) กระทำได้โดยการเปลี่ยนรูปหรือให้แรงกระทำแก่ระบบที่มีค่าแปรตามเวลาหรือความถี่หรือคาบ

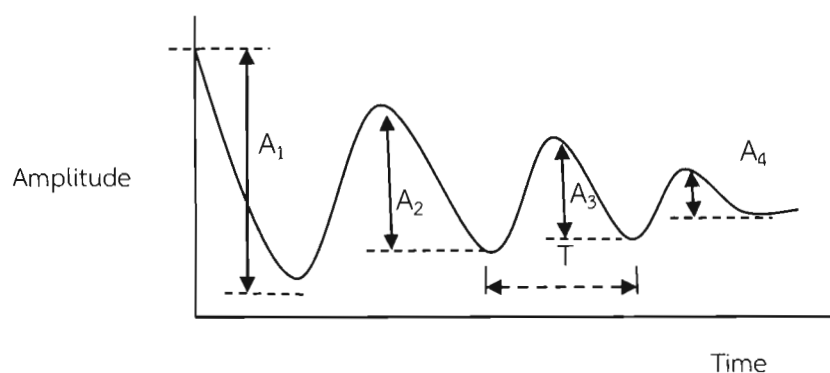
สำหรับการบิดไปมาอย่างอิสระของลูกตุ้มซึ่งติดกับวัสดุที่นำมาทดสอบ จะทำให้แอมพลิจูดของการบิดลดลงตามเวลา เนื่องจากวัสดุที่นำมาทดสอบจะเกิดการสูญเสียพลังงานจากการบิด ที่แสดงถึงสมบัติที่สัมพันธ์กับโครงสร้างของวัสดุที่นำมาทดสอบนั้น



ภาพที่ 2.7 การบิดไปมาด้วยมุม θ น้อยๆ (ชิ้นทดสอบเป็นแท่งกลม) (สมบัติ, 2551)



ภาพที่ 2.8 การบิดไปมาด้วยมุม θ น้อยๆ (ชิ้นทดสอบเป็นแท่งกลม) (สมบัติ, 2551)



ภาพที่ 2.9 แอมพลิจูดของการแกว่งที่ลดลงตามเวลา (สมบัติ, 2551)

เมื่อมุมบิดที่มีค่าน้อยจะได้ว่า

$$\tau = -\kappa\theta \quad (2.12)$$

กำหนดให้

τ คือ ค่าทอร์ก

θ คือ มุมบิดไปมาที่มีค่าน้อย

κ คือ ค่าคงที่ Torsion Constant ที่แสดงถึงสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุที่นำมาบิด (ซึ่งอาจเป็นวัสดุแท่งกลมหรือเป็นแถบแบน)

หรือ

$$\tau = I\alpha \quad (2.13)$$

กำหนดให้

I คือ ค่าความเฉื่อย

$$\tau = I \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

หรือ

$$\tau = I \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$-\kappa\theta = I \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

หรือ

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + \kappa\theta = 0 \quad (2.14)$$

หรือ

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{\kappa}{I}\theta = 0 \quad (2.15)$$

ก็คือสมการ Simple Harmonic Motion โดย

$$\omega = \sqrt{\frac{\kappa}{I}} \text{ (ความถี่เชิงมุม)} \quad (2.16)$$

และคาบเวลา

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{\kappa}} \quad (2.17)$$

หรือ

$$T^2 = (2\pi)^2 \sqrt{\frac{I}{\kappa}} \quad (2.18)$$

เมื่อ

$$I = I_0 + 2mx^2$$

$$T^2 = \frac{(2\pi)^2}{\kappa} (I_0 + 2mx^2) \quad (2.19)$$

การทดลองจะต้องหา I_0 ก่อนเสมอ จากนั้นสามารถเลือกตำแหน่ง x ที่พอเหมาะเพื่อให้การแกว่งที่เกิดขึ้นสามารถวัดค่ามุม θ ได้สำหรับการทดลองสูตรยางต่าง ๆ ที่ต้องการ จากสมการ (2.22) สามารถเขียนได้ในรูปสมการเชิงซ้อนได้คือ

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + \kappa(G' + iG'')\theta = 0 \quad (2.20)$$

กำหนดให้ K คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นกับรูปร่างของวัสดุที่นำมาทดสอบ ($K \approx \kappa G^*$)

$$\begin{aligned}\theta &= \theta_0 e^{-\varepsilon t} \times e^{i\omega t} \\ &= \theta_0 e^{(i\omega - \varepsilon)t}\end{aligned}\quad (2.21)$$

ε คือ ค่าแสดงสมบัติการแกว่งของวัสดุที่ทดสอบ (attenuation factor)

θ_0 คือ มุมแกว่งสูงสุดของการแกว่งครั้งแรกของการเริ่มนับ

$e^{i\varepsilon t}$ คือ เทอมแสดงสมบัติการแกว่งจากการทดลอง

เมื่อแทนค่าสมการ (2.21) ในสมการ (2.20) แล้วจะได้

$$I(\varepsilon^2 - \omega^2 - 2i\omega\varepsilon) + kG' + iG'' = 0 \quad (2.22)$$

เมื่อแยกจำนวนจริงและจินตภาพจะได้ว่า

$$G' = \frac{I}{k}(\omega^2 - \varepsilon^2) \quad (2.23)$$

$$G'' = \frac{2\varepsilon I\omega}{k} \quad (2.24)$$

การสั่นจะกลับมาสู่ตำแหน่งเดิมทุกเวลาที่เพิ่มขึ้นเป็นคาบ T คือ

$$e^{i\omega t} = e^{i\omega(t+T)} \quad (2.25)$$

นิยาม Logarithmic Decrement , Δ

$$\begin{aligned}\Delta &= \ln\left[\frac{\theta_1}{\theta_2}\right] = \ln\left[\frac{\theta_0 e^{-\varepsilon t} \times e^{i\omega t}}{\theta_0 e^{-\varepsilon(t+T)} \times e^{i\omega(t+T)}}\right] = \varepsilon T \ll 1 \\ &= \ln\left[\frac{\theta_n}{\theta_{n+1}}\right]\end{aligned}\quad (2.26)$$

และ

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.27)$$

แทนค่า (2.27) (2.26) และ (2.24)

$$G' = \frac{I}{kT^2} (4\pi^2 - \Delta^2) \quad (2.28)$$

$$G'' = \frac{I}{kT^2} \Delta 4\pi \quad (2.29)$$

จากสมการที่ (2.20) และ (2.21) จะได้ว่า

$$\frac{G''}{G'} = \frac{4\pi\Delta}{4\pi^2 - \Delta^2} \quad (2.30)$$

$\frac{G''}{G'} = \tan\delta$ ซึ่งแสดงสัดส่วนการเกิดปริมาณความร้อน หรือการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้น

ขณะการแกว่ง นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta = \pi \tan\delta$

โดย K คือ shape factor หาได้โดย

$$k = \frac{l}{3bh^2(1-0.63h/b)} \quad \text{สำหรับวัตถุสี่เหลี่ยม} \quad (2.31)$$

$$\frac{h}{b} < 0.5$$

b คือ ความกว้างของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

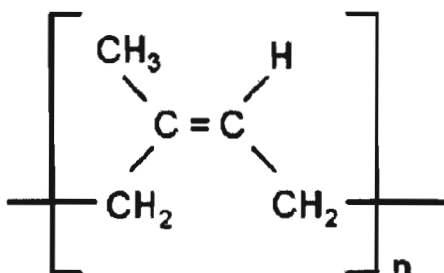
h คือ ความหนาของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

l คือ ระยะระหว่างการยึดของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

2.5 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber; NR)

ยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้จากต้นพืชรubber Hevea brasiliensis ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกลุ่มน้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (M_n) สูง ประมาณสองแสนถึงห้าแสน และมีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลกว้าง ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 0.934 g/cm^3 โครงสร้างของยางธรรมชาติประกอบด้วยหน่วยซ้ำคือ ไอโซพรีน (C_5H_8) (Isoprene) โดยมีน้ำหนักตั้งแต่ $50,000 - 3,000,000 \text{ g/mol}$ การจัดเรียงตัวโมเลกุลของยาง

ธรรมชาติมีลักษณะเป็นไอโซเมอร์ชนิด cis-isomer มากกว่า 99.99% และมี trans- isomer ปริมาณน้อยมาก ดังนั้นจึงเรียกยางธรรมชาติว่า cis 1,4-polyisoprene



ภาพที่ 2.10 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

สมบัติของยางธรรมชาติมีอิทธิพลจากสูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ กล่าวคือยางธรรมชาติมีโครงสร้างของสายโซ่โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนล้วน ทำให้ยางมีสมบัติไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมและน้ำมันพืช แต่เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี อีกทั้งสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติต่อกันเป็นสายยาวแบบเส้นตรงทำให้สายโซ่โมเลกุลเลื่อนไหวหักงอไปมาได้ง่าย ส่งผลให้ยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดี สามารถใช้งานได้ดี ที่อุณหภูมิต่ำ มีค่า $T_g = -72^\circ\text{C}$ ซึ่งต่ำกว่ายางสังเคราะห์อื่น ๆ ยกเว้นเฉพาะยางบิวทาไดอีนและยางซิลิโคนเท่านั้น

2.6 สารเคมีสำหรับยาง

สารเคมีสำหรับยาง หมายถึง สารเคมีต่าง ๆ ที่ผสมลงไปในยาง เพื่อต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์จากยางที่มีสมบัติตามที่ต้องการ เพื่อแก้ปัญหาข้อเสียต่าง ๆ ของยาง โดยยางสามารถทำปฏิกิริยากับสารเคมีได้ด้วยความร้อนยางที่เกิดปฏิกิริยากับสารเคมีแล้ว เรียกว่า Cured compound หรือ Cured rubber หรือ Vulcanized rubber

โดยสารเคมีที่นำมาผสมในยาง ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก กำมะถัน สารตัวเร่ง สารแอนติออกซิแดนท์ สารตัวเติม เป็นต้น

2.6.1 สารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป (Accelerator activators)

เป็นสารที่ช่วยเร่งอัตราการวัลคาไนซ์ยางให้เร็วขึ้น โดยการทำให้สารเร่งมีความว่องไวต่อปฏิกิริยา เพื่อจะได้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น จะไปเร่งอัตราการวัลคาไนซ์ยางให้เร็วขึ้น และปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น โดยทำให้ยางมีมอดูลัส (Modulus) สูงขึ้น โดยสารกระตุ้นมี 2 ประเภท คือพวกอนินทรีย์ ส่วนใหญ่เป็นพวกโลหะออกไซด์ ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide,

ZnO) แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide, MgO) และพวกอินทรีย์ที่สำคัญคือ กรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก (Stearic acid) กรดลอริก (Lauric acid) เป็นต้น

2.6.2 สารแอนติออกซิแดนซ์ (Antioxidant)

ยางเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถเสื่อมสลายได้เมื่อตั้งทิ้งไว้ หรือขณะใช้งาน การเสื่อมสลายในลักษณะนี้เรียกว่า Degradation โดยกระบวนการเสื่อมสลายของยางแบ่งออกเป็นได้ 6 ประเภท คือ เสื่อมสลายเนื่องจากทิ้งไว้นาน ถูกออกซิไดซ์เนื่องจากการกระตุ้นของโลหะคะตาไลต์ เสื่อมสลายเนื่องจากความร้อน เสื่อมสลายเนื่องจากแสง เสื่อมสลายเนื่องจากการหักงอไปมา และเกิดรอยแตกเนื่องจากบรรยากาศ (เนรัฐชรา, 2561)

อย่างไรก็ตาม ออกซิเจนและโอโซนเป็นตัวการสำคัญในการเสื่อมสลายของยางโดยจะมีโลหะหนัก ความร้อน แสง และความเครียดของยางเป็นตัวเร่งทำให้ยางเสื่อมสลายได้เร็วขึ้นซึ่งสารเคมีที่จะช่วยป้องกันไม่ใหยางเสื่อมสลาย เรียกว่า สารแอนติออกซิแดนซ์ (พรพรรณ, 2528)

2.6.3 สารตัวเติม

สารตัวเติม หมายถึง สารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยาง ใส่ลงไปนยาง ตัวอย่างเช่น เขม่าดำ ดินเหนียว แคลเซียมคาร์บอเนต ซิลิกา และเส้นใยจากธรรมชาติ เป็นต้น สารเหล่านี้ใส่เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ กันดังนี้

2.6.3.1 เพื่อลดต้นทุน โดยทั่วไปสารตัวเติมจะมีราคาถูกกว่ายาง เมื่อใส่สารตัวเติมแล้วสมบัติของยางสามารถใช้งานได้ดียิ่ง ก็จะเป็นการลดต้นทุน

2.6.3.2 เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง โดยทั่วไปแล้วการใส่สารตัวเติมเข้าไปนยางจะทำให้ความแข็งของยางและสารตัวเติมและมอดูลัสของยางสูงขึ้นด้วย ส่วนสมบัติอื่น ๆ เช่น ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการสึกหรอ อาจเพิ่มหรือลดลงขึ้นกับชนิดของยางและสารตัวเติม เช่น ถ้ายางธรรมชาติใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติม จะให้ยางที่มีความต้านทานต่อแรงดึงสูง ความต้านทานต่อการสึกหรอสูงเช่นกัน แต่ถ้าใส่เขม่าดำมากเกินไปค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความต้านทานการสึกหรอ อาจลดลงได้เช่นกัน

2.6.3.3 เพื่อช่วยในกระบวนการผลิต ในกระบวนการผลิตของยางถ้าไม่มีสารตัวเติม อาจทำให้กระบวนการผลิตยุ่งยาก เช่น Calendering, Extrusion เป็นต้น ถ้ายางล้วน ๆ หรือมีสารตัวเติมน้อย การ Extrusion จะได้ผิวที่ไม่เรียบ หรือการ Calendering จะมีปัญหาเรื่องยางหนาหรือบาง โดยไม่สามารถควบคุมได้ การใส่สารตัวเติมจะช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ได้

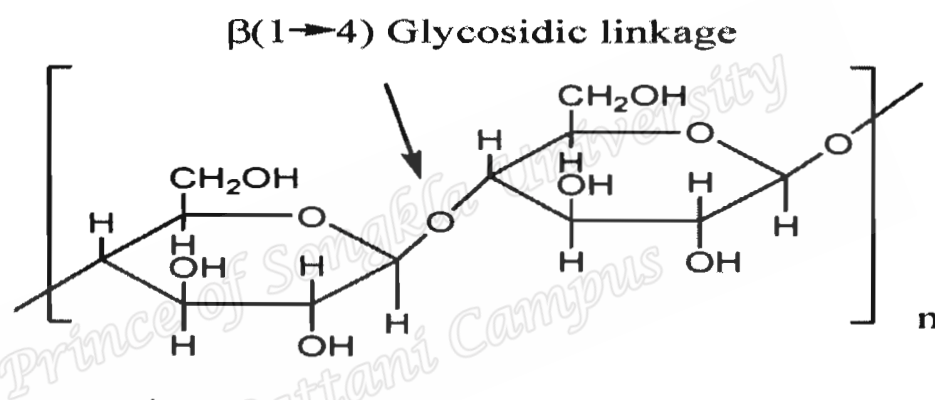
2.6.3.4 ลดการพองตัวของยางในน้ำมัน ยางจะพองตัวได้ดีในน้ำมันแต่เมื่อใส่สารตัวเติมเข้าไปนยางจะทำให้การพองตัวของยางในน้ำมันลดลง

0
1682
2562

2.6.3.5 เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของยาง ปกติยางจะสลายตัวได้ง่ายถ้าแสงแดดซึ่งมีแสงอุลตราไวโอเล็ตอยู่ ถ้าใส่สารที่กันไม่ให้แสงส่องผ่านเข้าไปในเนื้อยางได้ เช่น เขม่าดำก็จะช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของยาง

2.7 เส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติ (Natural cellulose fibers)

เซลลูโลส เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติพบมากที่สุดในโลกตามผนังเซลล์พืชและแบคทีเรียทั่วไป เซลลูโลสที่พบในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น เส้นใยจากฝ้าย หนุ่น ป่าน ปอ ไยมะพร้าว ลิ้นจี่ ใยสับปะรด เส้นใยเหล่านี้มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นส่วนประกอบอยู่มาก ดังโครงสร้างแสดงในภาพที่ 2.11 ดังนั้นเส้นใยเซลลูโลสจึงมีสมบัติดูดซับความชื้นและก่อให้เกิดการระคายของอากาศได้ดี



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส (biomolecule, 2561)

อย่างไรก็ตาม ในธรรมชาติจะพบเส้นใยเซลลูโลสจากส่วนต่าง ๆ ของพืชแตกต่างกันหลากหลายรูปแบบบางประเภทเป็นเส้นใยที่ได้จากเมล็ด บางประเภทเป็นเส้นใยที่ได้จากลำต้น ใบ ผล

2.7.1 เส้นใยจากต้นหมาก

ต้นหมากมีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Areca catechu* Linn. เป็นพืชตระกูลปาล์มมีชื่อภาษาอังกฤษ Betel Nuts หรือ Arecanut หรือ Arceanutplam เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ไม่มีรากแก้ว รากฝอย มีส่วนประกอบดังนี้

2.7.1.1 ลำต้นหมาก มีเนื้อเป็นเสี้ยนยาว ๆ จับตัวกันแน่นบริเวณเปลือกนอกสีกเข้าไปประมาณ 2 cm ส่วนกลางลำต้นเป็นเสี้ยนไม้อัดแน่นเหมือนด้ายนอกและมีเนื้อไม้อ่อนนุ่มคล้ายฟองน้ำทำให้ต้นหมากเหนียวและสามารถโยกโอนเอนได้

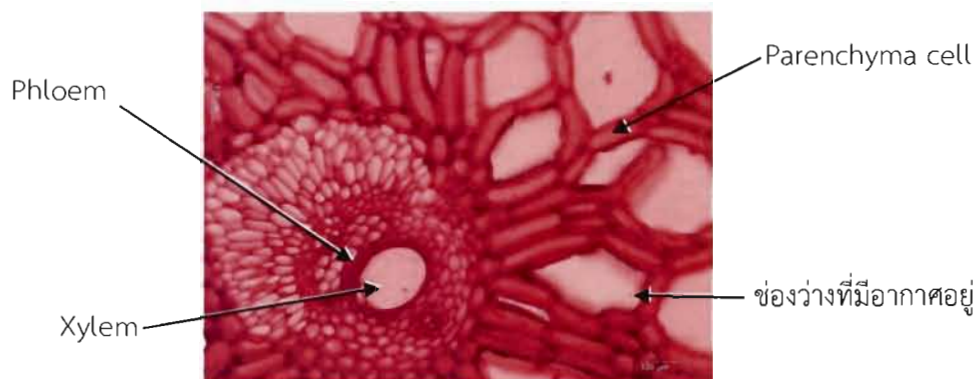
2.7.1.2 ใบ เกิดจากเนื้อเยื่อส่วนปลายยอด ปลายลำต้นประกอบด้วยโคนกาบใบ เรียกว่า กาบหมากหุ้มติดลำต้นเป็นแผ่นใหญ่ ก้านประกอบด้วยใบย่อย เมื่อต้นหมากออกดอก ดอกหรือภาษาถิ่น เรียกว่า จั่นหมาก ซึ่งถูกห่อหุ้มด้วยกาบหมาก เมื่อกาบหมากแก่หลุดร่วงไปจะเห็นดอกหมาก

2.7.1.3 ดอกหมาก เกิดบริเวณซอกโคนก้านใบหรือกาบหมาก ดอกออกรวมกันเป็นช่อใหญ่ประกอบด้วยโคนจั่นยึดติดอยู่ที่ข้อของลำต้น ก้านช่อดอกเป็นเส้นยาวแตกออกโดยรอบ แกนกลางก้านช่อดอกจะมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย โดยตัวผู้อยู่ส่วนปลายตัวเมียอยู่ด้านล่างหรือด้านใน ดอกตัวผู้ใช้เวลาบาน 21 วัน หลังจากนั้น 5 วัน ดอกตัวเมียเริ่มบาน

2.7.1.4 ผลหมาก มีลักษณะกลมหรือกลมรี ผลหมากประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ เปลือกชั้นนอก ส่วนเปลือกเป็นเยื่อบาง ๆ สีเขียว เนื้อเปลือกมีเส้นใยละเอียด เหนียว เปลือกชั้นกลางเป็นเส้นใยหนาอมองเห็นชัด เมื่อผลอ่อนเส้นใยอ่อน พอแก่จะเหนียวแข็ง เปลือกชั้นในเป็นเยื่อบาง ๆ ละเอียดติดอยู่กับเนื้อหมาก ส่วนของเมล็ดหรือเนื้อหมากถัดจากเยื่อบาง ๆ เข้าไปเป็นส่วนของเนื้อหมากเมื่ออ่อนจะนิ่ม เนื้อส่วนผิวจะมีลายเส้นสีเหลืองถึงสีน้ำตาล เนื้อจะมีสีเหลืองอ่อน ๆ ถึงสีเหลืองเข้มอมแดง

2.7.2 การนำไปใช้

นำเส้นใยจากลำต้นหมากใช้เป็นสารตัวเติมในการผสมกับยางธรรมชาติเพื่อเป็นฉนวนดูดซับเสียง เส้นใยจากลำต้นหมากผสมยางธรรมชาติจะมีหลายกลไกการดูดซับพลังงาน เช่น การขยับตัวของโซ่ยาง การเคลื่อนไหวของโมเลกุลอากาศภายในช่องว่างของเนื้อเยื่อของสารตัวเติม ส่วนเนื้อเยื่อนั้นมีลักษณะนุ่มคล้ายฟองน้ำ และมีหลายองค์ประกอบคือ เนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและแร่ธาตุต่าง ๆ จากรากขึ้นสู่ลำต้นและใบ เนื้อเยื่อโฟลเอ็ม (phloem) ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารจากใบสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช เนื้อเยื่อพาราเควอมา (parenchyma) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีชีวิตทำหน้าที่คำนวณให้ความแข็งแรงและมีช่องว่างอากาศอยู่จึงทำให้เนื้อเยื่อมีสมบัติคล้ายฟองน้ำ ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 โครงสร้างของเส้นใยภายในต้นหมากถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า มีหลายองค์ประกอบคือ เนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) โพลเอม (phloem) พาเรงคิมา (parenchyma) และช่องว่างมีอากาศอยู่ภายใน

2.7.3 เส้นใยจากลูกตาลโตนด

ตาลโตนด เป็นพืชตระกูลปาล์มชนิดหนึ่งอยู่ในสกุล *Borassus* มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Borassus flabellifer* Linn. ลักษณะพันธุ์พวกปาล์มใบพัด เป็นปาล์มที่ให้น้ำตาล และเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

2.7.3.1 ลำต้น ลำต้นตาลโตนดคล้ายต้นมะพร้าว เปลือกลำต้นขรุขระ และมีสีซีดๆ ออกดำ มีลักษณะลำต้นกลม ตรง สูงชะลูด ความสูงประมาณ 18-25 m หรือมากกว่า บางต้นอาจสูงถึง 30 m ต้นที่มีอายุน้อยจะมีโคนต้นอวบใหญ่ แต่เมื่อสูงได้ประมาณ 4 m ลำต้นจะเรียวยาวประมาณ 10 m และคงขนาดจนถึงยอด เนื้อไม้เป็นเส้นใยแข็ง เหนียว ไม้หักง่าย

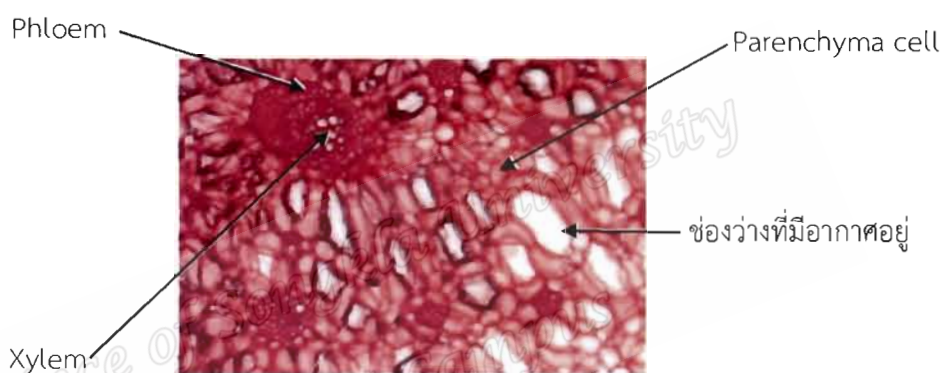
2.7.3.2 ใบ มีสีเขียวเข้ม มีลักษณะเป็นรูปพัด ขนาดใหญ่ แข็งและหนา มีใบย่อย เรียกว่า Segment ที่แตกออกจากปลายก้านใบ ใบแตกออกบริเวณเรียวยอดเป็นกลุ่มแน่น ประมาณ 25-40 ใบ ใบแก่จะมีสีน้ำตาลอ่อน ใบกว้างประมาณ 50-70 cm ก้านใบหรือทางตาลยาวประมาณ 1-2 m ด้านขอบทางตาลมีหนามแหลมสั้น ขนาดไม่สม่ำเสมอ อายุใบประมาณ 3 ปี

2.7.3.3 ดอก ดอกตาลโตนดจะออกที่ต้นตัวเมียเท่านั้น แบ่งเป็นดอกตัวผู้ และดอกตัวเมีย ซึ่งอยู่แยกกัน ขอดอกตัวผู้เรียกว่า “งวงตาล” ต้นหนึ่งมีขอดอก 3-9 ข่อ ขอดอกแตกแขนง 2-4 งวงต่อข่อหนึ่งงวงยาวประมาณ 30-40 cm ส่วนขอดอกต้นตัวเมีย เรียก “ปลีตาล” หรือบางที่เรียกงวงตาลเหมือนกัน ออกข่อหลังตัวผู้ หนึ่งต้นมีประมาณ 10 ข่อ

2.7.3.4 ผล ผลตาลโตนดจะออกที่ต้นตัวเมียเท่านั้น ที่เจริญมาจากขอดอก เรียกว่า ทะลาย เก็บผลอ่อนได้ที่ประมาณ 75-80 วัน หลังออกดอก ในแต่ละทะลายมี 10-20 ผล ผลอ่อนมีสีเขียว จาวตาลอ่อนนุ่มหรือด้านในยังเป็นน้ำ ส่วนผลแก่ มีสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ ผิวเป็นมัน เนื้อจาวตาลเป็นเส้นใยละเอียด เหนียว มีสีขุ่นขาวจนถึงเหลืองแก่ตามอายุผล

2.7.4 การนำไปใช้

นำเส้นใยจากลูกตาลโตนดใช้เป็นสารตัวเติมในการผสมกับยางธรรมชาติเพื่อเป็นฉนวนดูดซับเสียง เส้นใยลูกตาลผสมยางธรรมชาติจะมีหลายกลไกการดูดซับพลังงาน เช่น การยับยั้งตัวของโซ่ยาง การเคลื่อนไหวของโมเลกุลอากาศภายในช่องว่างของเนื้อเยื่อของสารตัวเติม ส่วนเนื้อเยื่อนั้นมีหลายองค์ประกอบคือ เนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและแร่ธาตุต่าง ๆ จากรากขึ้นสู่ลำต้นและใบ เนื้อเยื่อโฟลเอ็ม (phloem) ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารจากใบสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช เนื้อเยื่อพาราเควอมา (parenchyma) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีชีวิตทำหน้าที่ค้ำจุนให้ความแข็งแรงและมีช่องว่างอากาศอยู่จึงทำให้เนื้อเยื่อมีสมบัติดูดซับเสียงเฉพาะอีกค่าหนึ่ง ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 โครงสร้างของเส้นใยจากลูกตาลถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า มีหลายองค์ประกอบคือ เนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) โฟลเอ็ม (phloem) พาราเควอมา (parenchyma) และช่องว่างมีอากาศอยู่ภายใน

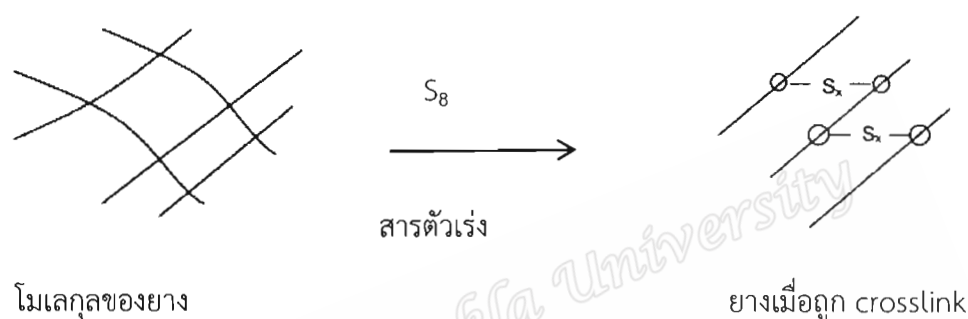
2.7.5 ความแตกต่างของเส้นใยทั้งสองชนิด

ความแตกต่างของเส้นใยทั้งสองชนิด คือ เส้นใยลูกตาลมีสมบัติเหนียว ส่วนเส้นใยจากลำต้นหมากจะอ่อนนุ่มคล้ายฟองน้ำ เนื่องจากสมบัติต่างกั้ดังกล่าว จะเสริมคุณสมบัติของแผ่นยางให้ดีขึ้นคือ เพิ่มทั้งความเหนียวและดูดซับเสียง

2.8 การวัลคาไนซ์โดยกำมะถัน

กระบวนการเปลี่ยนรูปของยางดิบให้เป็นอย่างที่รักษารูปร่างได้ มีความยืดหยุ่น (elastic) หรือแข็ง โดยให้มีการเชื่อมระหว่างโมเลกุลของยางด้วยกำมะถันหรือวัลคาไนซ์อื่น เรียกว่า “กระบวนการวัลคาไนซ์” กำมะถันเป็นสารที่สำคัญและนิยมใช้กันมากสำหรับยางธรรมชาติ สารที่ทำให้กำมะถัน (sulphur donor) และเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น (พรพรรณ, 2528)

เมื่อนำกำมะถันใส่เข้าไปในยางแล้วให้ความร้อน จะเกิดการวัลคาไนซ์ขึ้น โดยกำมะถันจะเป็นตัวเชื่อมระหว่างโมเลกุลของยาง เรียกว่า crosslink ดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 การเชื่อมโมเลกุลของยางด้วยกำมะถัน (พรพรรณ, 2528)

ยางที่ยังไม่เกิดการ crosslink จะใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ และมีความแข็งแรงต่ำ หลังจากเกิดการ crosslink แล้ว จะทำให้ยางมีสมบัติดีขึ้นคือ เมื่อร้อนไม่เหลว เมื่อเย็นไม่แข็ง ไม่มีกลิ่น ไม่เหนียว และมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น การ crosslink อาจเกิดเป็นแบบ polysulphidic crosslink (X มีค่ามาก) หรือ monosulphidic crosslink (X=1) เมื่อ X คือ จำนวนการ crosslink

2.9 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น (ρ) เป็นสมบัติเฉพาะของสารแต่ละชนิด และยังเป็นปริมาณที่บอกค่ามวลนั้นในหนึ่งหน่วยปริมาตร ดังสมการที่ 2.32

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.32)$$

โดยที่

ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (kg/m^3)

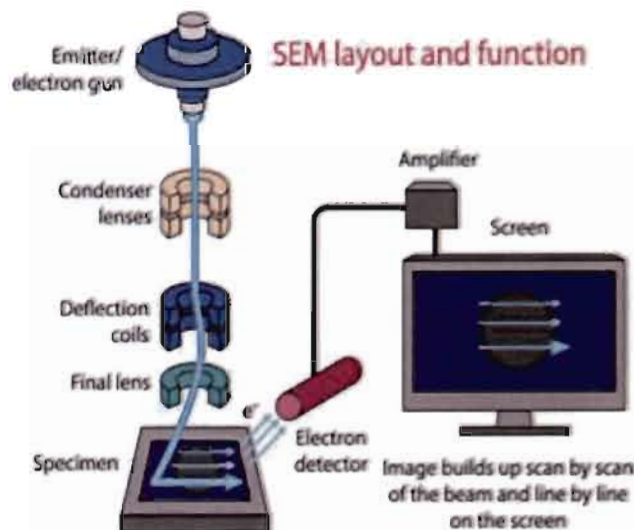
m คือ มวลรวมของวัตถุ (kg)

v คือ ปริมาตรรวมของวัตถุ (m^3)

วัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ ส่วนหนึ่งมาจากการมีอากาศถูกขังอยู่ในโครงสร้าง จึงทำให้มีความหนาแน่นต่ำ และโมเลกุลอากาศจะต้องใช้พลังงานในการเคลื่อนที่ไปมา เช่น พลังงานเสียงที่ตกกระทบ ดังนั้นวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ จึงมีโมเลกุลอากาศที่ถูกขังอยู่ในโครงสร้างมาก จึงทำหน้าที่ดูดซับเสียงได้มากขึ้น

2.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้อิเล็กตรอนเป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยมีหลักการทำงานของเครื่อง คือลำอิเล็กตรอนจะถูกปล่อยออกมาผ่านแหล่งกำเนิดอนุภาคอิเล็กตรอน และเมื่อกระทบกับพื้นผิวของชิ้นตัวอย่าง จะมีอิเล็กตรอนทั้งส่วนที่ผ่านทะลุออกไปและส่วนที่มีการสะท้อนกลับมา แสดงในภาพที่ 2.15 เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะพื้นฐานของวัสดุในระดับจุลภาค ซึ่งเป็นรายละเอียดที่เล็กมากเนื่องจากข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่มีความยาวคลื่นแสงขนาดใหญ่กว่า ลักษณะพื้นฐานบางชนิดที่ต้องการศึกษาและกำลังความสามารถในการแยกชัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงธรรมดาที่มีค่าต่ำใช้ดูวัตถุเล็กสุดประมาณ $0.2 \mu\text{m}$ และให้กำลังขยายสูงสุดไม่เกิน 3,000 เท่า ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบรายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูง มีความสามารถในการแยกชัดเจชัดเนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้น เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของวัสดุ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยายมากกว่า 300 เท่า จนถึงระดับมากกว่า 105 เท่า และสามารถแจจแจง รายละเอียดของภาพ ซึ่งขึ้นกับลักษณะตัวอย่างได้ตั้งแต่ 3 ถึง 100 nm



ภาพที่ 2.15 แสดงหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด
(จารินทร์ และคณะ, 2560)

2.11 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ (Mechanical Properties)

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่ทำการทดสอบ คือสมบัติต้านแรงดึงของพอลิเมอร์โดยชิ้นงานทดสอบส่วนใหญ่จะมีรูปทรง dumbbell ที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างแบบต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุ เช่น กรณีที่เป็นยางก็จะได้จากการตัดแผ่นยางเป็นรูป dumbbell (จากแผ่นยางที่ได้จากการวัลคาไนซ์ในเครื่องอัดเบ้า)

ในขณะทดสอบจะใช้เครื่อง Universal testing machine โดยจะทำการจับชิ้นงานที่ตำแหน่งปลายทั้งสองด้านด้วยระยะคงที่ (ตามมาตรฐานกำหนด) แล้วทำการดึงยึดชิ้นงานด้วยอัตราการดึงที่คงที่ ทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของแรงและระยะยึดของชิ้นงานบริเวณตรงกลาง ผลที่ได้เบื้องต้นจากการทดสอบคือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะทาง ซึ่งอาจจะมีรูปร่างแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของพอลิเมอร์และสภาวะ (ความเร็ว, อุณหภูมิ) ที่ทำการดึงจากแรงและระยะทางที่ได้ สามารถนำมาคำนวณค่า tensile parameters ต่าง ๆ ได้ดังนี้ (สิยานา, 2561)

2.11.1 ความเครียด (Strain)

ความเครียด คือ การเปลี่ยนรูปของวัสดุ (deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ ซึ่งคือการตอบสนองของวัสดุมีความเค้นมากระทำต่อวัสดุนั้นและทำให้มีการเคลื่อนที่ภายในเนื้อของวัสดุนั้น ดังรูปที่ 2.15 แสดงลักษณะทั่วไปของชิ้นงานรูป dumbbell สำหรับการทดสอบแรงดึงโดยในการคำนวณค่าความเครียด (strain) จะใช้ค่า Δl ต่อ l_0 ดังสมการ

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.33)$$

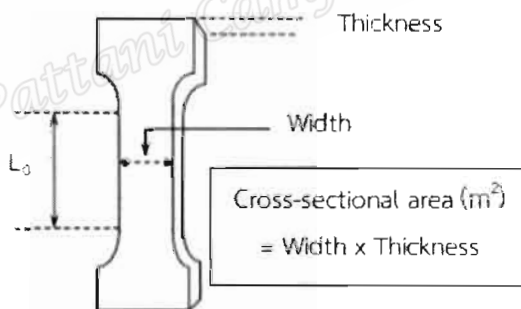
โดยที่

- ε คือ ความเครียด
 Δl คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป (m)
 l_0 คือ ความยาวเริ่มต้น (m)

การเปลี่ยนรูปของวัสดุสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด

2.11.1.1 การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น (elastic deformation) เป็นการเปลี่ยนรูปของวัสดุเมื่อหยุดให้แรงกระทำ วัสดุจะคงรูปร่างเดิมเอาไว้หรือวัสดุจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิมเมื่อหยุดแรงกระทำ

2.11.1.2 การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (plastic deformation) เป็นการเปลี่ยนรูปของวัสดุเมื่อหยุดให้แรงกระทำ วัสดุยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น กล่าวคือ เมื่อมีแรงกระทำต่อวัสดุให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง แต่เมื่อหยุดให้แรงกระทำ วัสดุจะไม่เคลื่อนที่กลับเข้าในตำแหน่งเดิม



ภาพที่ 2.16 รูปทรงของชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึง

2.11.2 ความเค้น (Stress)

ความเค้น คือ แรงต้านทานภายในเนื้อของวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่ว่าการวัดแรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุนั้นเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ เพราะฉะนั้นโดยทั่วไปแล้วความเค้นมักถูกกล่าวในแง่ของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เนื่องจากแรงภายในเนื้อวัสดุคือปฏิกิริยาของวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำ ซึ่งแรงทั้งสองนี้ มีขนาดเท่ากัน สามารถคำนวณหาความเค้นได้จากสมการ

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.34)$$

โดยที่

σ คือ ความเค้น (MPa)

F คือ แรงที่มากระทำต่อวัสดุ (N)

A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (m^2)

โดยทั่วไปแล้วความเค้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ขึ้นกับแรงภายนอกที่มากระทำ คือ

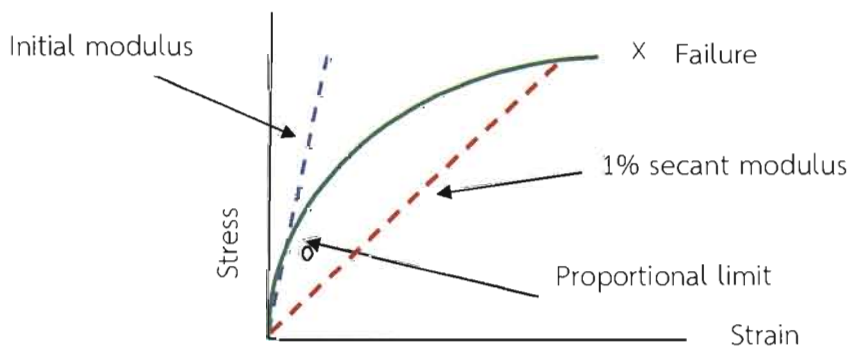
2.11.2.1 ความเค้นแรงดึง (tensile stress) เมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวางโดยพยายามให้วัสดุยืดออกและแยกออกจากกัน

2.11.2.2 ความเค้นแรงกด (compressive stress) เมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวางโดยพยายามกดให้วัสดุหดตัวลง

2.11.2.3 ความเค้นแรงเฉือน (shear stress) เมื่อมีแรงมากระทำขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวางเพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านกันโดยที่ความเค้นแรงเฉือนมีค่าเท่ากับผลลัพธ์ของแรงเฉือนและพื้นที่ภาคตัดขวางที่ขนานกับแรงเฉือนที่มากระทำ

2.11.3 ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus)

มอดูลัสที่กล่าวถึงข้างต้น ได้จากการคำนวณจากกราฟในช่วง linear หรือ ช่วงที่ยังมีพฤติกรรมเป็นแบบอีลาสติก (ช่วงยืดตัวหรือ strain น้อย ๆ) และบางครั้งจะเรียกค่ามอดูลัสในแบบดังกล่าวว่า Young's modulus หรือ initial modulus นอกจากนี้ยังมีค่ามอดูลัสอีก ลักษณะหนึ่งคือ secant modulus ซึ่งได้จากอัตราส่วนความเค้นต่อความเครียดที่วัดได้จากช่วงต่าง ๆ ในเส้นกราฟ (รูปที่ 2.17) ค่ามอดูลัสยังสามารถบอกแนวโน้มว่าวัสดุชนิดใดมีความต้านทานต่อการเสียรูปมาน้อยกว่ากัน โดยวัสดุที่มีค่ามอดูลัสที่สูงจะเกิดการเสียรูปได้ยากกว่าวัสดุที่มีค่ามอดูลัสต่ำ



ภาพที่ 2.17 กราฟความเค้นและความเครียด

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้มีการนำเอาวัสดุ สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ มาใช้ในการเตรียมตัวอย่าง รวมถึงรายละเอียดวิธีการทดสอบ ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง และกาทดสอบสมบัติการดูดซับเสียง ทดสอบการทนต่อการดึง ทดสอบสมบัติเชิงกลแบบพลวัตของการบิด หาค่าความหนาแน่น และศึกษาโครงสร้างภายในและการเป็นรูพรุนของวัสดุคอมโพสิตซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดต่างๆดังนี้

3.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1 ยางแท่ง (NR (STR 5L))

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) ชนิด White seal

3.1.2.2 กรดสเตียริก (Stearic acid)

3.1.2.3 N-cyclohexyl-2-benzothiazyl Sulphenamide (CBS)

3.1.2.4 N-phenyl-N-1, 3-dimethylbutyl-p-phenylenediamine (6PPD)

3.1.2.5 กำมะถัน (Sulphur)

3.1.3 สารตัวเติม

3.1.3.1 เส้นใยจากต้นหมาก

3.1.3.2 เส้นใยลูกตาล



A



B

ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างชนิดของเส้นใย A เส้นใยจากต้นหมาก และ B เส้นใยลูกตาล

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 กล้องจุลทรรศน์ Olympus รุ่น Motic Live Imaging Moduld

กล้องจุลทรรศน์ Olympus รุ่น Motic Live Imaging Moduld กำลังขยายสูงสุด 1,500 เท่า ผลิตโดย Shodensha Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

3.2.2 เครื่องชั่งไฟฟ้า (Electronic balance)

เครื่องชั่งละเอียดแบบอิเล็กทรอนิกส์ ชั่งได้ละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่งน้ำหนักสูงสุด ชั่งได้ 2,000 g ผลิตโดย A&D Company Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

3.2.3 ตู้อบแห้ง (Hot Air Oven)

ตู้อบแห้ง เป็นตู้อบที่ทำหน้าที่อบแห้งไล่ความชื้นออกจากตัวอย่าง เป็นการแทนที่จากการตากแดด ที่สามารถควบคุมความสะอาดและสภาพแวดล้อมได้ โดยอุณหภูมิจะอยู่ที่ประมาณ 60 ถึง 80 °C

3.2.4 เครื่องบดตัวอย่าง (Sample Grinder)

เครื่องบดตัวอย่าง เป็นเครื่องบดตัวอย่างพีช ทำการบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงให้ได้ขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.25 mm สำหรับชนิดละเอียดและให้ได้ขนาดเฉลี่ยประมาณ 2 mm สำหรับชนิดหยาบ



ภาพที่ 3.2 เครื่องบดตัวอย่าง

3.2.5 เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll Mill)

เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง เป็นเครื่องบดยางที่ประกอบด้วยลูกกลิ้งสองลูกกลิ้ง ถูกบีบอัดและบดยางให้โมเลกุลของยางเกิดการขาด ทำให้ขนาดของโมเลกุลของยางที่ใหญ่และยาว ลดลงทำให้ยางนิ่มลง และสามารถแปรรูปร่างได้และยังสามารถนำสารเคมีผสมเข้าไปในยางเพื่อให้ได้

สมบัติตามที่ต้องการได้ อัตราส่วนความเร็วผิวระหว่างลูกกลิ้งหน้ากับลูกกลิ้งหลังเรียกว่า (Friction Ratio) จะอยู่ในช่วง 1 : 1 ถึง 4 : 1 จะขึ้นกับชนิดของยางที่ใช้บด



ภาพที่ 3.3 เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (two roll mill)

3.2.6 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบหมุน (Oscillating Disc Rheometer, ODR)

เครื่องรีโอมิเตอร์แบบหมุน รุ่น ODR ผลิตโดยบริษัท Monsanto .Co., Ltd. ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเครื่องมือที่ใช้หาเวลาการสุกของยาง ประกอบด้วยโรเตอร์ (Rotor) แบบ Biconical Disk ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.3996 นิ้ว หมุนในยางที่ต้องการหาเวลาการวัลคาไนซ์โดยการแกว่งไปมาทำมุม 1 องศา มีความถี่ในการแกว่ง 100 รอบ/นาที โดยเครื่องมือมีลักษณะตามภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบหมุน

3.2.7 เครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด (Compression Moulding)

การอัดยางเข้าแม่พิมพ์เป็นกระบวนการแปรรูปยางชนิดหนึ่ง เพื่อผลิตยางให้มีรูปร่างตามแบบพิมพ์ที่ต้องการ ซึ่งในการอัดยางแบบ compression moulding นั้น จะใส่ยางลงในช่องว่างของแบบพิมพ์และปิดแบบพิมพ์ อัดยางให้ไหลเต็มช่องว่างนั้น โดยการอัด จะใช้ระบบไฮดรอลิกเป็นหลักกระบวนการการทำผลิตภัณฑ์ยางโดยใช้วิธี Compression Moulding มีดังต่อไปนี้ (บุญธรรม และปรีชา, 2534)

3.2.7.1 การเตรียม Rubber Compound (ยางที่ทำการผสมสารเคมีแล้ว)

นำยางที่ผสมสารเคมีแล้ว มาทำการตัดให้ได้ขนาด รูปร่าง และน้ำหนักตามต้องการโดยทั่วไปมักจะให้ยาง Blank นี้มีปริมาตรมากกว่าปริมาตรของแบบพิมพ์อยู่ประมาณ 5 – 15%

3.2.7.2 การเตรียมแบบพิมพ์เพื่ออัดยาง

แบบพิมพ์ที่ใช้ในการอัดยางมักจะทำด้วยเหล็กหรืออลูมิเนียม แบบพิมพ์จะมีช่องที่จะให้ยางไหลเข้าไปอยู่รอบ ๆ ของแบบพิมพ์และจะมีช่องให้ยางที่ใส่เกินปริมาตรไหลล้นออกมาจากนี้ก่อนที่จะนำยางใส่ลงไปแบบพิมพ์จะต้องอุ่นแบบพิมพ์ให้ร้อนเท่ากับอุณหภูมิที่จะอัดยางเสียก่อน

3.2.7.3 การอัดยาง

นำยางคอมพาวด์ใส่เข้าไปในแบบพิมพ์ที่ให้ความร้อนแล้วปิดฝา นำเข้าไปอัดในเครื่องอัดไฮดรอลิกแล้วทำการอัดยางโดยเร็ว จนกระทั่งฝาดบนของแบบพิมพ์ใกล้จะสัมผัสกับแผ่นอัดบนจากนั้นลดความเร็วในการอัดลงเพื่อให้ยางไหลเข้าไปแบบพิมพ์ยังสม่ำเสมอและไล่อากาศออกไปเพราะในบางครั้งการอัดครั้งเดียวไม่อาจที่จะไล่อากาศที่ขังในเนื้อยางและแบบพิมพ์ได้ จะต้องมีการไล่อากาศโดยการอัดแล้วคลายการอัดออกเล็กน้อยแล้วอัดใหม่ อาจจะทำ 1-2 ครั้งหรือมากกว่า

3.2.7.4 การกำหนดอุณหภูมิและเวลาในการอัดยาง

เวลาและอุณหภูมิของการอัดเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องกำหนดในการอัดทุกครั้ง เวลาและอุณหภูมิจึงมีความสัมพันธ์กันอย่างยิ่ง โดยทั่วไปถ้าเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอีก 10°C เวลาในการอัดจะลดลงได้ประมาณครึ่งหนึ่ง แต่ระยะเวลาที่ใช้จริงนั้นขึ้นอยู่กับสูตรของยางและความหนาของยาง



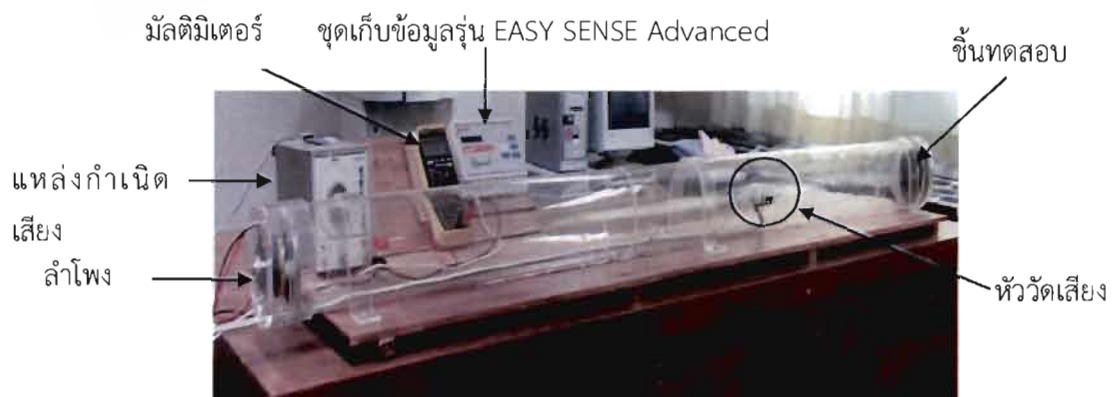
ภาพที่ 3.5 เครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด (Compression Moulding)

3.2.8 ชุดทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงแบบคลื่นนิ่ง

ชุดทดสอบการดูดซับเสียงแบบคลื่นนิ่ง เป็นเครื่องมือสำหรับวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดเสียงรุ่น LAG-120B AUDIO GENERATOR มีความถี่ 0 - 5,000 Hz ผลิตโดย LEADER ELECTRONICS CORP Japan ลำโพง หัววัด และชุดเก็บข้อมูล (Data logger) รุ่น EASY SENSE Advance ผลิตโดยบริษัท DATA HARVEST นำมาประกอบและสร้างชุดทดสอบการดูดซับเสียงแบบคลื่นนิ่ง ดังภาพที่ 3.6

3.2.8.1 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างโดยการนำแผ่นยางที่ขึ้นรูปแล้วตัดเป็นรูปวงกลมขนาดพอดีกับฝาครอบปลายท่อด้านขวาของชุดทดสอบ ทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง



ภาพที่ 3.6 ชุดทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงที่สร้างขึ้น โดยใช้เครื่องกำเนิดเสียงรุ่น LAG-120B AUDIO GENERATOR.Japan

3.2.9 ชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการบิด

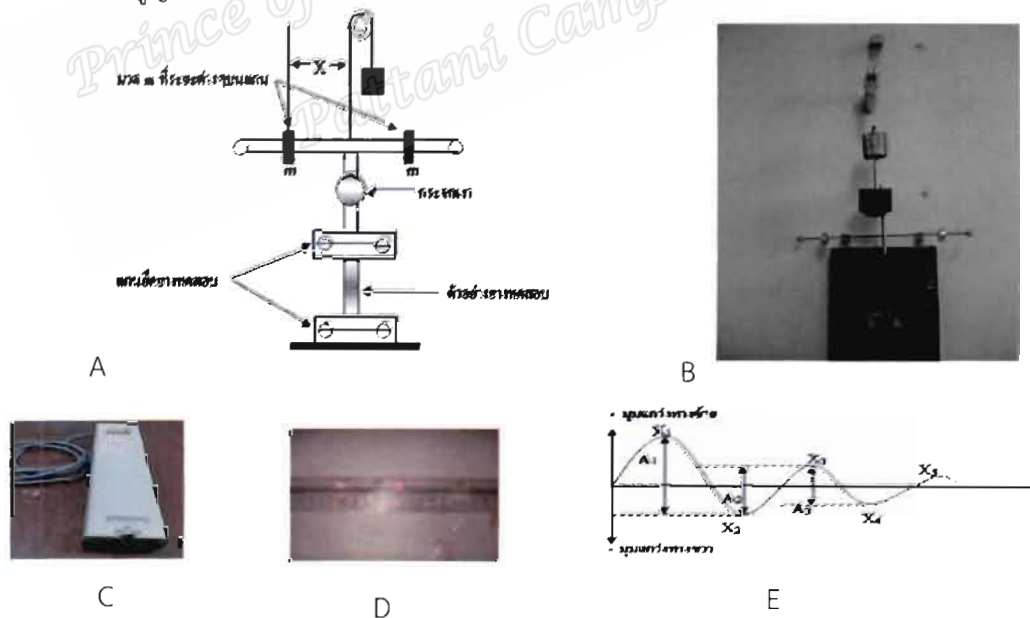
ชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการบิด เป็นชุดทดสอบเพื่อวัดค่าแฟกเตอร์ของการสูญเสีย ($\tan \delta$) จากการบิดของยาง ประกอบด้วยที่ยึดแถบยางทดสอบให้อยู่ในแนวตั้งสามารถบิดไปมาอย่างอิสระได้ดังภาพที่ 3.7 มีแกนโลหะติดกระจกเงา และแกนโลหะตั้งฉากที่มีมวล m สองอันวางอยู่ห่างแกนกลางระยะ X สามารถปรับค่าความเฉื่อยของระบบได้จากค่า $2mX^2$ การหาค่าแฟกเตอร์ของการสูญเสีย ($\tan \delta$) จากการบิดของยาง หมายถึงสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียภายในโครงสร้างของวัสดุต่อพลังงานที่ใช้ในการบิดแต่ละรอบของการบิดโดยจัดชุดทดลอง ดังภาพที่ 3.7

3.2.9.1 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างโดยการนำยางที่ขึ้นรูปแล้วมาตัดเป็นชิ้นทดสอบขนาด $3 \times 10 \times 1$ mm ติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการบิด

3.2.9.2 การทดสอบ

ในการทดสอบนำยางที่ขึ้นรูปแล้วมาตัดเป็นชิ้นทดสอบขนาด $6 \times 10 \times 3$ mm ติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการบิด แก้วมวล m ในระนาบการบิดแนวนอนด้วยมุมน้อย ๆ ทำให้แถบยางบิดไปมาเช่นกัน จากชุดเลเซอร์ที่เล็งไปสะท้อนที่กระจกแล้วมาตกบนฉากที่มีสเกล จากนั้นวัดคาบของการบิดและแอมพลิจูดจากจุดสูงสุดถึงจุดต่ำสุดของการแกว่ง เพื่อหาค่าแฟกเตอร์ของการสูญเสีย ($\tan \delta$) จากการบิดของยาง



ภาพที่ 3.7 ชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการบิด A ภาพวาด B ภาพถ่าย C แล่งก่าเนดเลเซอร์ D เลเซอร์ที่ตกกระทบกระจกเงาแล้วสะท้อนกลับมายังฉากรับที่มีสเกลสำหรับการวัดแอมพลิจูดของการแกว่ง E ภาพวาดแอมพลิจูดที่ลดลงต่อเนื่องของแต่ละรอบการบิด

3.2.10 เครื่องทดสอบสมบัติการดึง (Tensile Meter) รุ่น H10KS

การทดสอบด้วยการดึงเป็นการทดสอบเพื่อหาสมบัติของวัสดุด้านความยืดหยุ่นหรือจุดที่วัสดุกับแรงได้สูงสุดโดยการไม่เสียรูป การทดสอบโดยการดึงจะเป็นการให้แรงในแนวแกนเดียวแรงจะทำการกระจายไปทั่วพื้นผิวอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ หากนำแรงดังกล่าวมาหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบจะได้ค่าความเค้น (Stress, σ) ของชิ้นทดสอบ มีหน่วยเป็น N/m² หรือ Pa ในขณะที่ให้แรงแก่วัสดุทดสอบจะเกิดระยะยืดขึ้น หากความยาวเริ่มต้นและความยาวที่ถูกยืดไปในเวลา t จากนั้นคำนวณหาความเครียด (Stain, ϵ) จากค่าความเครียดนำไปหารค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus, E) ของชิ้นทดสอบ ($E = \sigma / \epsilon$)

3.2.10.1 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างโดยการนำยางไปอัดเข้าเป็นแผ่นยาง แล้วไปตัดเป็นรูปดัมเบล ขนาด 6.63 x 1 x 3 mm ทดสอบตามมาตรฐาน (ASTM D638, JIS 2000 ISO, DIN) เพื่อให้ง่ายต่อการยึดกับเครื่องในขณะที่ทำการทดสอบ

3.2.10.2 การทดสอบ

การทดสอบนั้นทำได้โดยการเปิดโปรแกรมที่ใช้ในการดึง ทำการป้อนข้อมูลต่าง ๆ เช่น ความยาว อัตราเร็วที่ใช้ เป็นต้น โดยการทดสอบนี้คือ 10, 50, 100 และ 200 mm/min ทำการทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำไปคำนวณหาค่ามอดูลัสต่อไป



ภาพที่ 3.8 เครื่องทดสอบสมบัติการดึง (Tensile tester)

3.2.11 เครื่องวัดความหนาแน่น Electric Densimeter รุ่น MD-300S และ Minimum density resolution: 0.001

การทดสอบหาค่าความหนาแน่นโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ เมื่อนำชิ้นทดสอบไปหา น้ำหนักโดยการชั่งในอากาศและในน้ำจะสามารถนำค่าที่ได้ไปหาค่าความหนาแน่นของวัสดุได้จากสูตร

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.1)$$

โดยที่

ρ คือ ความหนาแน่น มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

m คือ มวลของชิ้นตัวอย่าง มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

v คือ ปริมาตรของชิ้นตัวอย่าง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)



ภาพที่ 3.9 เครื่องวัดความหนาแน่น

3.2.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น Quanta 400 โดยมีกำลังขยายสูงสุดถึง 300,000 เท่า

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของชิ้นทดสอบเพื่อต้องการดูสัณฐานวิทยาของ ตัวอย่างทดสอบได้โดยใช้เครื่อง SEM การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจาก พื้นผิวของชิ้นทดสอบ ภาพที่ได้เครื่อง SEM นี้ลักษณะเป็นสามมิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น พื้นที่หน้าตัดของวัสดุลักษณะ พื้นผิวด้านนอกและด้านในของวัสดุ



ภาพที่ 3.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM)
รุ่น Quanta 400

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมสารตัวเติม

3.3.1.1 เส้นใยจากลำต้นหมาก

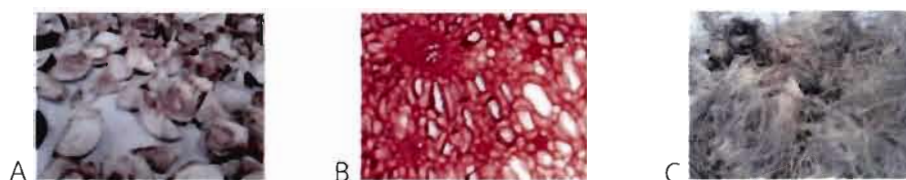
เส้นใยจากต้นหมากที่อบแห้ง โดยใช้เส้นใยภายในต้นหมากที่แก่ตากแดด 7 วัน นำมาอบที่อุณหภูมิ 70°C ในเวลา 48 hr นำไปบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงให้ได้ขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.25 mm สำหรับชนิดละเอียดและให้ได้ขนาดเฉลี่ยประมาณ 2 mm สำหรับชนิดหยาบดังภาพที่ 3.11 นำเส้นใยภายในต้นหมากไปย้อมสีดูโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์ Olympus รุ่น Motic Live Imaging Module กำลังขยาย 400 เท่า



ภาพที่ 3.11 A เส้นใยจากต้นหมากที่อบแห้งก่อนการบด B ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์เส้นใยจากต้นหมาก C หลังการบดชนิดละเอียด (0.25 mm) และชนิดหยาบ (2 mm)

3.3.1.2 เส้นใยจากลูกตาลโตนดที่สุก

การเตรียมเส้นใยลูกตาลโตนดที่สุก โดยนำเปลือกลูกตาลสุกแช่ในน้ำเป็นเวลา 24 hr หลังจากแช่น้ำทำความสะอาดแล้วนำไปตากแดด 7 วัน จากนั้นนำไปทุบให้เปลือกสีดำหลุดออกไป เหลือเฉพาะเส้นใยเปล่าๆ จึงนำเส้นใยที่ได้ไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 48 hr และทำการบดให้ได้เส้นใยดังภาพที่ 3.12 นำเส้นใยจากลูกตาลโตนดที่สุกไปย้อมสีดูโครงสร้างภายใน ด้วยกล้องจุลทรรศน์ Olympus รุ่น Motic Live Imaging Module กำลังขยาย 400 เท่า



ภาพที่ 3.12 A เส้นใยจากลูกตาลโตนดสุกที่อบแห้งก่อนการบด B ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ เส้นใยจากลูกตาลโตนดที่สุก C เส้นใยจากลูกตาลโตนดสุกที่อบแห้งแล้ว

3.3.2 ออกแบบสูตรยาง

ออกแบบสูตรยางดัง ตาราง 3.1 แล้วคำนวณสัดส่วนใช้จริงตามขนาดกำหนดของ เครื่องผสม ชั่งยาง และสารเคมีต่าง ๆ ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าที่วัดละเอียด

ตาราง 3.1 สูตรยางผสมและสารเคมีต่างๆ

| สารเคมี | ปริมาณ (phr) | | |
|--------------|----------------|----------------|----------------|
| | S1 | S2 | S3 |
| NR (STR 5L) | 100 | 100 | 100 |
| ZnO | 4 | 4 | 4 |
| Stearic Acid | 2 | 2 | 2 |
| CBS | 1 | 1 | 1 |
| 6PPD | 1 | 1 | 1 |
| Sugar palm | 0 | 10 | 20 |
| Betel palm | 0, 3, 6, 9, 12 | 0, 3, 6, 9, 12 | 0, 3, 6, 9, 12 |
| Sulphur | 2.5 | 2.5 | 2.5 |

3.3.3 การผสมยาง

นำยางธรรมชาติมาบดให้ละเอียดแล้วผสมกับสารเคมีต่อไปนี้ตามลำดับซึ่งคือ ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการเริ่มต้นปฏิกิริยาใช้ร่วมกับสารกระตุ้นคือ กรดสเตียริก (Stearic acid) สารเร่งปฏิกิริยา คือ N-cyclohexy-2-benzothiazyl Sulphenamide (CBS) ส่วนสารแอนติออกซิแดนต์ คือ N-phenyl-N-1, 3-dimethylbutyl-phenylenediamine (6PPD) เส้นใยภายในต้นหมากและเส้นใยลูกตาลเป็นสารตัวเติมและสารชนิดสุดท้ายที่ทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างโซ่ยางโดยโมเลกุลกำมะถัน (Sulphur) บดด้วยเครื่องบดและผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) พักไว้ 24 hr

3.3.4 การหาเวลาสุกของยาง

ตัดชิ้นยางผสมสารเคมี (Rubber Compound) ที่ได้ไปหาเวลาสุกของยางด้วยเครื่อง Oscillating Disc Rheometer (ODR)

3.3.5 การอัดเข้า

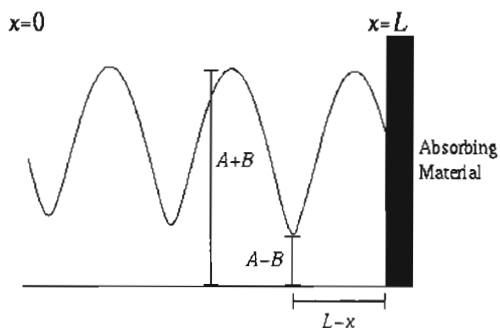
นำยางผสมสารเคมีไปอัดขึ้นรูป ด้วยเครื่องขึ้นรูปแม่พิมพ์แบบอัด (Compression Moulding) ที่อุณหภูมิและใช้เวลาดำเนินการที่ได้จากเครื่อง ODR ได้แผ่นยางผสมขึ้นรูปแล้วมีรูปร่างจัตุรัส $16 \times 16 \text{ cm}^2$ ที่ความหนา 1 mm และ 3 mm

3.3.6 การทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล

สมบัติดูดซับเสียงของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล ทดสอบโดยนำแผ่นยางที่ได้ไปหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

3.3.6.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α)

ในการทดสอบนั้น ทำได้โดยการนำชิ้นทดสอบติดตั้งที่ฝาครอบปลายท่อด้านขวา ดังแสดงในภาพที่ 3.6 โดยให้ชิ้นทดสอบตั้งฉากกับความยาวท่อ แล้วเปิดเครื่องกำเนิดความถี่เสียง ตั้งค่าความถี่เสียงที่ 125 Hz วัดค่าระดับความดันเสียงต่ำสุดและสูงสุดค่าแรกหลังจากสะท้อนแผ่นยางดังรูปที่ 3.14 ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง นำค่าที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการทดลองที่ความถี่ 250, 500, 1,000, 1500, 2,000, 3,000 และ 4,000 Hz จากข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ตามสมการที่ (2.9) (2.10) และ (2.11)



ภาพที่ 3.14 แสดงลักษณะความดันสูงสุดและความดันต่ำสุด

3.3.7 การทดสอบความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ

การหาค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ โดยการนำแผ่นยางชิ้นทดสอบมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ $4 \times 4 \text{ cm}^2$ นำไปหาความหนาแน่นโดยใช้เครื่องวัดความหนาแน่น Electronic Densimeter รุ่น MD - 300 S แสดงในรูปที่ 3.10 ผลิตโดยบริษัท Alfa Mirage ใช้หลักการอาร์คิมิดีสในการคำนวณหาความหนาแน่น ซึ่งมวลในอากาศ ซึ่งมวลในน้ำ หาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ เครื่องทำงานโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์และวัดละเอียดได้ 0.001 g/cm^3 โดยทำการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

3.3.8 การทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการบิด

นำยางที่ขึ้นรูปแล้วมาตัดเป็นชิ้นทดสอบขนาด $6 \times 10 \times 3 \text{ mm}$ ติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการบิด ทำการแกว่งมวล m ในระนาบการบิดแนวนอนด้วยมุมน้อย ๆ ทำให้แถบยางบิดไปมาเช่นกัน จากชุดเลเซอร์ที่เล็งไปสะท้อนที่กระจกแล้วมาตกบนฉากที่มีสเกล จากนั้นวัดคาบของการบิดและแอมพลิจูดจากจุดสูงสุดถึงจุดต่ำสุดของการแกว่ง การวิเคราะห์ข้อมูลจะเริ่มจากการหาความถี่ของระบบที่แกว่งอย่างอิสระ (I_0) โดยหาจากข้อมูลเชิงการทดลองการเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 และ $2mx^2$ จะได้กราฟเส้นตรง แล้วหาค่าความชันและค่าจุดตัดของกราฟ แล้วนำไปสู่การหาค่า $I_0 = 9.85 \times 10^{-5} \text{ kg} - \text{m}^2$ ของระบบ สำหรับยางที่มีอีลาสติกสูงทำให้การบิดไปมาเกิดขึ้นเร็ว การวัดค่าต่าง ๆ ทำได้ลำบาก จึงต้องเพิ่มความถี่แกว่งระบบโดยวางมวล m ที่แกนตั้งฉากทั้งสองข้างที่ระยะ x (ภาพที่ 3.7) ความถี่ลัพท์ คือ

$$I = I_0 + 2mx^2 \quad (3.2)$$

หาค่า Logarithmic decrement (Δ) จาก

$$\Delta = \ln \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \quad (3.3)$$

เมื่อ A_1, A_2 คือ แอมพลิจูดที่ลดลงต่อเนื่องพลังงานที่สูญเสียภายในโครงสร้างของวัสดุ ค่ามอดูลัสการบิดเชิงซ้อน คือ $G^* = G' + iG''$ โดยพลังงานสะสมในแต่ละรอบการบิดคือเทอมจำนวนจริงหรือมอดูลัสอีลาสติก

$$G' = \frac{l}{KT^2} (4\pi^2 - \Delta^2) \quad (3.4)$$

และเทอมจำนวนจินตภาพคือมอดูลัสสูญเสีย (loss modulus) จะสัมพันธ์กับพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อที่สัมพันธ์กับโครงสร้างภายในของวัสดุ คือ

$$G'' = \frac{4\pi\Delta}{KT^2} \quad (3.5)$$

เมื่อ K คือ Shape factor สำหรับวัตถุสี่เหลี่ยมหาได้โดย

$$K = \frac{CD^3}{16l} \mu \quad (3.6)$$

$$\text{และ } \mu = 5.33 \left(1 - 0.63 \frac{D}{C} \right) \quad (3.7)$$

เมื่อ C คือ ความกว้างของชั้นทดสอบ

D คือ ความหนาของชั้นทดสอบ

l คือ ระยะระหว่างการยึดของชั้นทดสอบ

ดังนั้นสมบัติสมบัติเชิงฟิสิกส์ที่ไม่ขึ้นกับรูปร่างของชิ้นทดสอบ คือสัดส่วนของพลังงานสูญเสียต่อพลังงานสะสมของแต่ละรอบการบิด คือ

$$\frac{G''}{G'} = \frac{4\pi\Delta}{4\pi^2 - \Delta^2} = \tan\delta \quad (3.8)$$

ซึ่งจะแสดงสมบัติเฉพาะ (Characteristics properties) ของวัสดุนั้นเชื่อมโยงโครงสร้างภายในซึ่งแสดงสัดส่วนการเกิดปริมาณความร้อนหรือการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นขณะแกว่งแต่ละรอบ เมื่อ Δ มีค่าน้อย นั่นคือ $\Delta^2 = 0$ แล้วจะได้ว่า $\Delta = \pi \tan\delta$ หรือ $\frac{\Delta}{\pi} = \tan\delta$

3.3.9 การทดสอบสมบัติการดึง

3.3.9.1 เตรียมชิ้นตัวอย่างโดยนำแผ่นยางที่ได้จากการผสมยางธรรมชาติ สารเคมีและสารตัวเติมต่าง ๆ นำไปอัดเข้าเพื่อให้ยางคงรูปแล้วนำไปตัดให้เป็นรูปดัมเบลความยาวคือ 40 cm

3.3.9.2 วัดค่า A_0 และ l_0 ของชิ้นตัวอย่าง แล้วนำไปทดสอบสมบัติการดึงโดยเครื่อง Tensile Meter ยึดตัวอย่างกับเครื่องทดสอบให้แน่น แผ่นตัวอย่างที่ยึดนั้นจะต้องไม่เอนไปข้างใดข้างหนึ่งและดึงตัวอย่างไม่ให้หย่อนเพื่อความแม่นยำในการทดสอบ ทำการป้อนข้อมูลลงในโปรแกรม พร้อมทั้งกำหนดความเร็วในการดึงตัวอย่าง ความเร็วที่ใช้ในการดึงคือ 10, 50, 100 และ 200 mm/min ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

3.3.9.3 นำข้อมูลที่ได้ไปหาค่า $\varepsilon, \sigma_n, \sigma_t(t), \lambda$ และค่า $E(t)$ โดยใช้สมการดังนี้ สำหรับการเปลี่ยนรูปตามยาวโดยการดึงแล้ว normal stress σ_n นิยามได้ว่า

$$\sigma_n = \frac{F}{A_0} \quad (3.9)$$

เมื่อ F คือ แรงดึง

A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดก่อนการดึง

และ nominal strain ε นิยามได้

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} - 1 \quad (3.10)$$

เมื่อ Δl คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป
 l_0 คือ ความยาวก่อนการดึง
 หรือนิยามสัดส่วนการดึง

$$\lambda(t) = \frac{l_t}{l_0} = 1 + \epsilon(t) \quad (3.11)$$

การดึงเมื่อการเปลี่ยนรูปมีค่ามาก เป็น None linear deformation จึงใช้ Cauchy strain ($\lambda^2 - \lambda^{-1}$)
 ถ้าปริมาตรของ polymer คงที่ ที่เวลาใดๆ แล้ว

$$A(t) \cdot l(t) = A_0 l_0 \quad (3.12)$$

และ $\sigma_t(t) = \frac{F(t)}{A(t)}$ (ความเค้นที่เวลาใดๆ)

มอดูลัสของการกีด คือ

$$E(t) = \frac{\sigma_t(t)}{\lambda^2 - \lambda^{-1}} \quad (3.13)$$

3.3.10 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของโครงสร้างภายในและการเป็นรูพรุนของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล

3.3.10.1 เตรียมตัวอย่างจะใช้วิธีการหักระหว่างถูกแช่ในไนโตรเจนเหลว หรือเรียกว่า Cryogenic cracking เพราะอุณหภูมิที่เย็นจัด จะทำให้ยางแข็งและเปราะ ทำให้หักง่ายและเกิดรอยแตกตามโครงสร้าง จากนั้นรอให้ตัวอย่างหายเย็น แล้วติด stub ด้วยยาทาเล็บทางด้านข้าง ตัวอย่างด้วย carbon paste เป็นตัวช่วยยึดตัวอย่างให้ติดกับ stub แล้วยังเป็นตัวเชื่อมการนำไฟฟ้าของตัวอย่างกับ stub อีกด้วย แล้วนำไปฉาบผิว

3.3.10.2 ก่อนนำเข้าเครื่อง SEM ควรปรับความชื้นจากตัวอย่างเสียก่อนเพราะภายในเครื่อง SEM เป็นสุญญากาศ ถ้าตัวอย่างมีความชื้นสูงอาจทำให้ระบบสุญญากาศไม่สามารถลดความดันจนเหมาะสมสำหรับการทำงานของเครื่อง SEM ได้

3.3.10.3 นำชิ้นตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วไปทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยใช้เครื่อง SEM โดยเลือกกำลังขยาย 50 เท่า 100 เท่า และ 500 เท่า

บทที่ 4

ผลการวิจัย และอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาสมบัติการดูดซับเสียง สมบัติเชิงกายภาพ เช่น ความหนาแน่น สมบัติรีโอโลยีเชิงพลวัตของการบิดโดยค่าแฟกเตอร์ของการสูญเสีย สมบัติเชิงกล และศึกษาโครงสร้างและการกระจายตัวจากกล้อง SEM ของแผ่นดูดซับเสียง ในบทนี้จึงกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ค่าที่ได้จากการทดลอง ซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดได้ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาสมบัติการดูดซับเสียง (สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง; α)

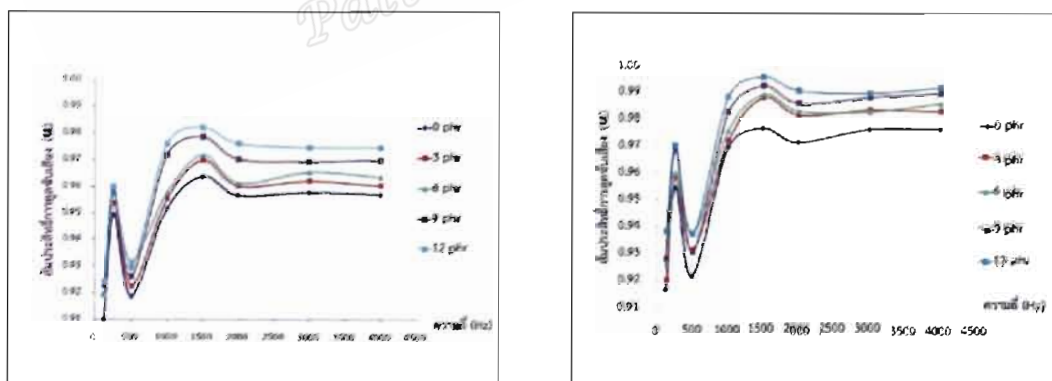
4.1.1 แผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 0 phr (ชนิดละเอียดและชนิดหยาบ) ความหนา 1 mm และความหนา 3 mm

ตารางที่ 4.1 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลที่ 0 phr

| ความถี่ (Hz) phr | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ที่ความถี่ที่ปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากต่าง ๆ | | | | |
|----------------------------|---|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 125 | 0.9102 | 0.9188 | 0.9190 | 0.9227 | 0.9241 |
| 250 | 0.9491 | 0.9534 | 0.9570 | 0.9585 | 0.9600 |
| 500 | 0.9186 | 0.9221 | 0.9316 | 0.9258 | 0.9293 |
| 1000 | 0.9515 | 0.9551 | 0.9577 | 0.9716 | 0.9759 |
| 1500 | 0.9637 | 0.9695 | 0.9716 | 0.9784 | 0.9819 |
| 2000 | 0.9567 | 0.9600 | 0.9612 | 0.9700 | 0.9759 |
| 3000 | 0.9578 | 0.9618 | 0.9652 | 0.9692 | 0.9744 |
| 4000 | 0.9569 | 0.9600 | 0.9633 | 0.9696 | 0.9743 |

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นการดูดซับเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ นั้นขึ้นกับปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากที่ผสม (ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากอย่างเดียว) ส่วนสมบัติการดูดซับเสียงแสดงในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 พบว่ารูปร่างกราฟสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง $\alpha(f)$ กับความถี่ ลักษณะของกราฟจะมีอยู่สองยอด (Peak) ยอดที่หนึ่งที่ความถี่ 250 Hz เป็นตำแหน่งความถี่พ้องของการดูดซับที่เกิดจากยางธรรมชาติ ส่วนยอดที่สองที่ความถี่ประมาณ 1,500 Hz เป็นตำแหน่งความถี่พ้องของการดูดซับที่เกิดจากเส้นใยจากลำต้นหมากที่ผสม ซึ่งกราฟทั้งหมดจะขึ้นกับปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากและความถี่ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียด (รูปที่ 4.1) และเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดหยาบ (รูปที่ 4.2)

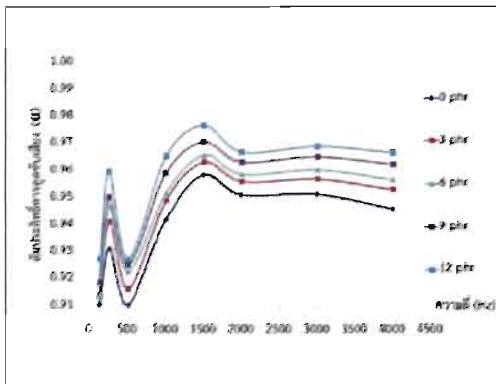
ความถี่พ้องแสดงสมบัติเฉพาะของวัสดุชิ้น ๆ ที่ความถี่พ้องของยางจะมียอดกราฟที่สูงแต่แคบ แสดงถึงการดูดซับเสียงเกิดจากการขยับตัวของโซ่บางส่วนที่อยู่ระหว่างจุดพันกัน (molecular weight between entanglements) ส่วนเส้นใยจากลำต้นหมากมีหลายกลไกการดูดซับพลังงาน เช่น การเคลื่อนไหวของโมเลกุลอากาศภายในช่องว่างของเนื้อเยื่อของสารตัวเดิม ส่วนเนื้อเยื่อนั้นมีหลายองค์ประกอบคือ เนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) ทำหน้าที่การลำเลียงน้ำและแร่ธาตุต่าง ๆ จากรากขึ้นสู่ลำต้นและใบ เนื้อเยื่อโฟลเอ็ม (phloem) ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารจากใบไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช เนื้อเยื่อพาราเควอมา (parenchyma) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีชีวิตทำหน้าที่ค้าจุนให้ความแข็งแรงและมีช่องว่างอากาศอยู่จึงทำให้เนื้อเยื่อมีสมบัติคล้ายฟองน้ำ แต่เนื้อเยื่อจะมีสมบัติดูดซับเสียงต่างกัน เพราะมีโครงสร้างของเนื้อเยื่อที่ต่างกัน ดังภาพที่ 4.3



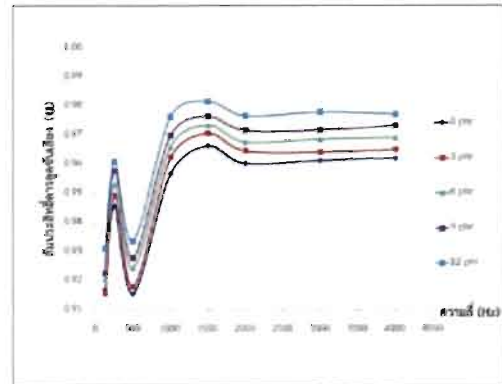
A

B

ภาพที่ 4.1 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยในจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล ปริมาณ 0 phr ชนิดละเอียด A ความหนา 1 mm และ B ความหนา 3 mm

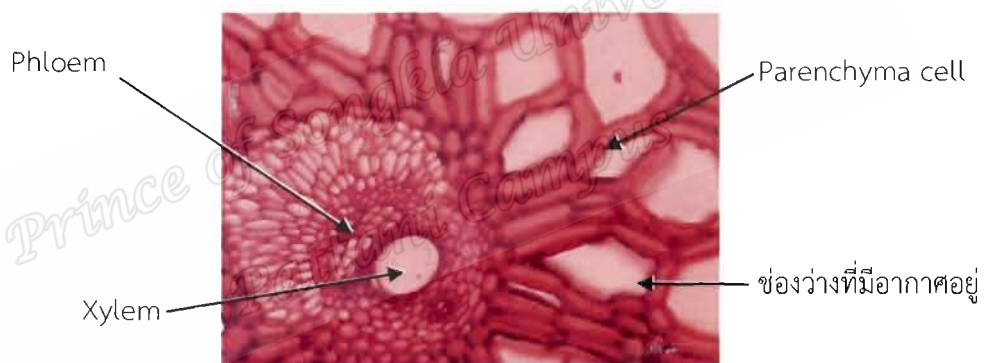


A



B

ภาพที่ 4.2 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 0 phr ชนิดหยาบ A ความหนา 1 mm และ B ความหนา 3 mm

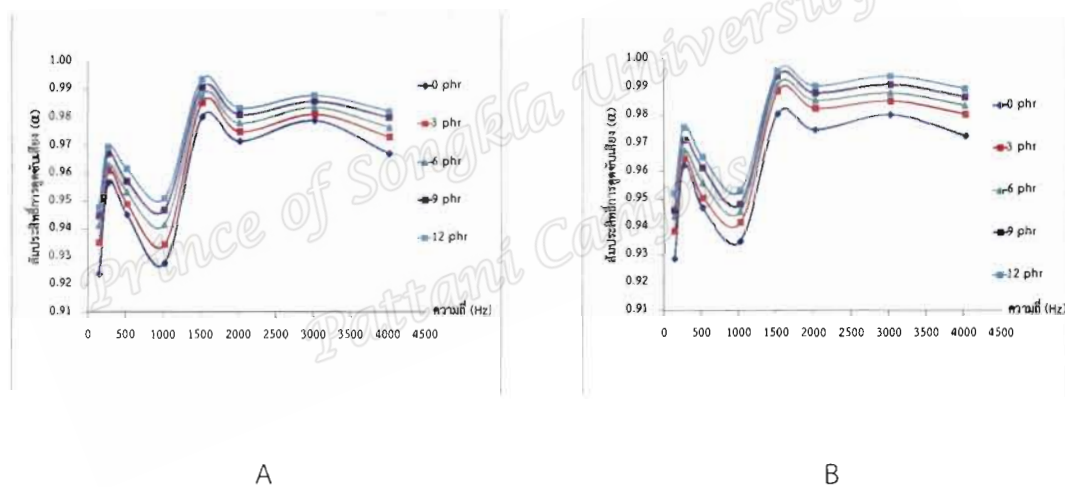


ภาพที่ 4.3 โครงสร้างของเส้นใยภายในต้นหมากถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า มีหลายองค์ประกอบคือ เนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) เนื้อเยื่อโฟลเอ็ม (phloem) พาเรงคิมา (parenchyma) และช่องว่างอากาศมีอากาศอยู่ภายใน

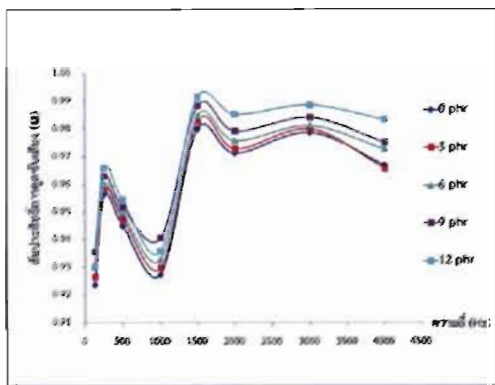
4.1.2 แผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 และ 20 phr (ชนิดละเอียดและชนิดหยาบ) ความหนา 1 mm และความหนา 3 mm

จากการทดลอง พบว่า การดูดซับเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ นั้นขึ้นกับปริมาณเส้นใยจาก ลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลที่ผสม เมื่อนำมาแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.6 รูปร่างของกราฟจะขึ้นกับ ความหนาของชั้นทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.5 และ 4.7 รูปร่างกราฟยังขึ้นกับขนาดของ เส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลที่ผสม (ชนิดละเอียดและชนิดหยาบ) แต่ละกราฟจะมีสาม

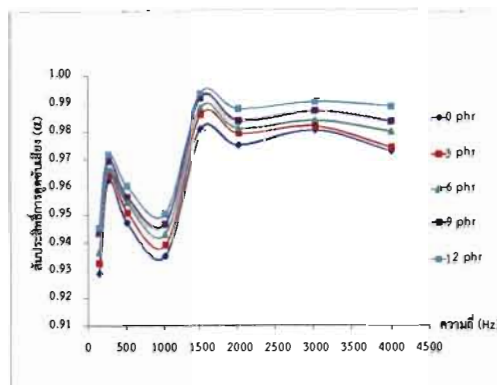
ยอด (Peak) เนื่องจากมีสามองค์ประกอบหลักในการดูดซับเสียงคือ ยาง เส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล แสดงความถี่พ้องแสดงของการดูดซับเสียงสามจุดคือ ที่ 250 Hz 1,500 Hz และ 3,000 Hz เป็นของยางและของเส้นใยทั้งสองชนิดตามลำดับ ความถี่พ้องแสดงสมบัติเฉพาะของวัสดุ นั้น ๆ ที่ความถี่พ้องของยางจะมียอดกราฟที่กว้างและสูงตามปริมาณยางที่ผสมในแต่ละสูตร การดูดซับเสียงเกิดจากการขยับตัวของโซ่ยางส่วนที่อยู่ระหว่างจุดพันกัน (molecular weight between entanglements) ส่วนเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลมีหลายกลไกการดูดซับพลังงาน เพราะมีหลายองค์ประกอบคือ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) ที่ลำเลียงน้ำและแร่ธาตุต่าง ๆ จากรากขึ้นสู่ลำต้นและใบ เนื้อเยื่อโฟลเอ็ม (phloem) ที่ลำเลียงอาหารจากใบไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช เนื้อเยื่อพาราไคนิมา (parenchyma) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีชีวิตทำหน้าที่ค้าจุนให้ความแข็งแรงและมีช่องว่างอากาศอยู่จึงทำให้เนื้อเยื่อมีสมบัติคล้ายฟองน้ำดังภาพที่ 4.8 ดังนั้นกราฟของการดูดซับเสียงมีฐานระฆังที่กว้างขึ้นคือดูดซับได้หลายความถี่



ภาพที่ 4.4 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr ชนิดละเอียด A ความหนา 1 mm และ B ความหนา 3 mm

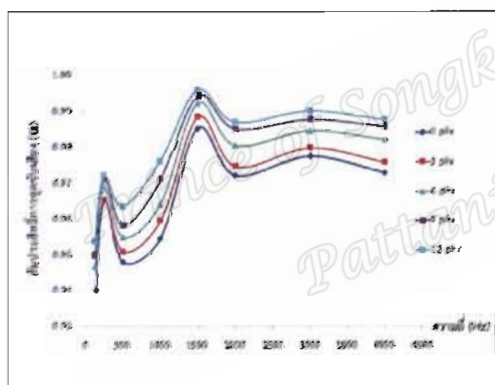


A

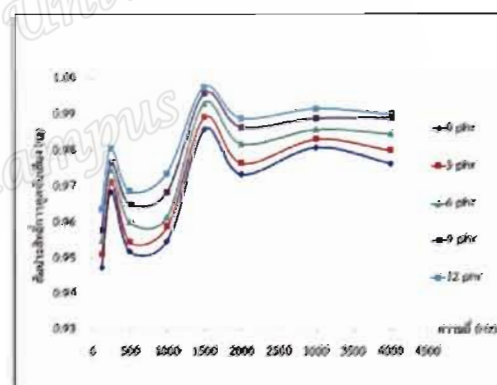


B

ภาพที่ 4.5 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr ชนิดหยาบ A ความหนา 1 mm และ B ความหนา 3 mm

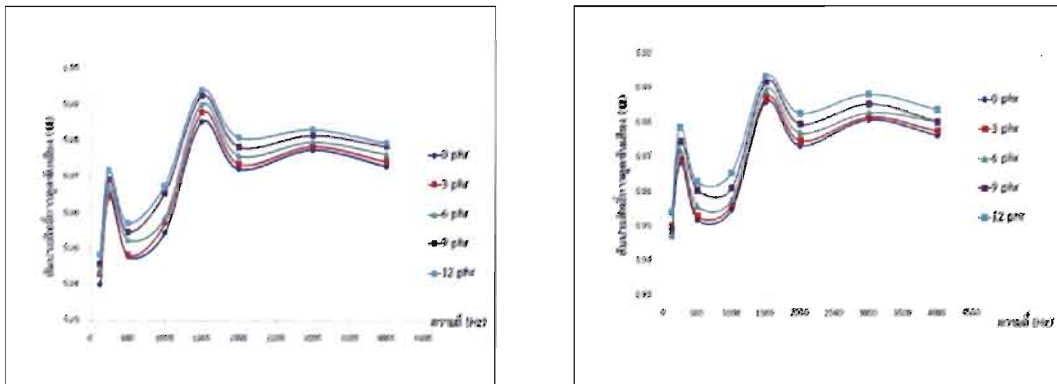


A



B

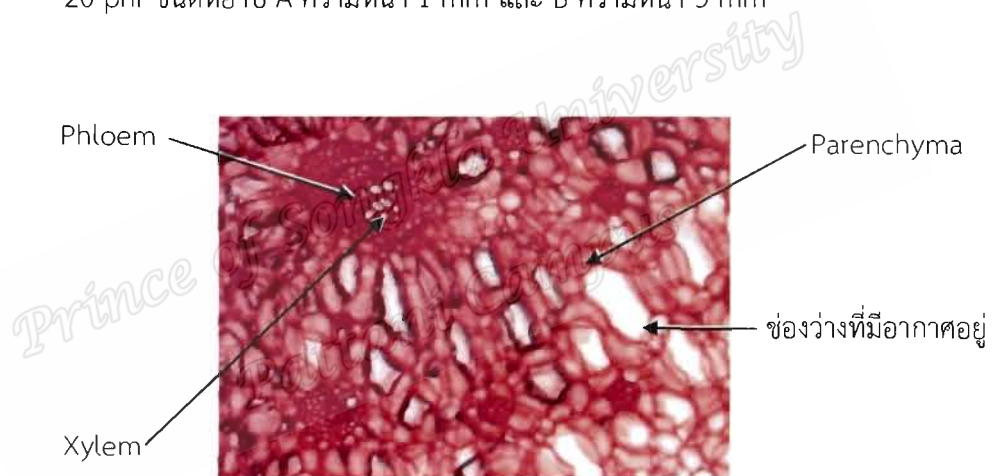
ภาพที่ 4.6 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr ชนิดละเอียด A ความหนา 1 mm และ B ความหนา 3 mm



A

B

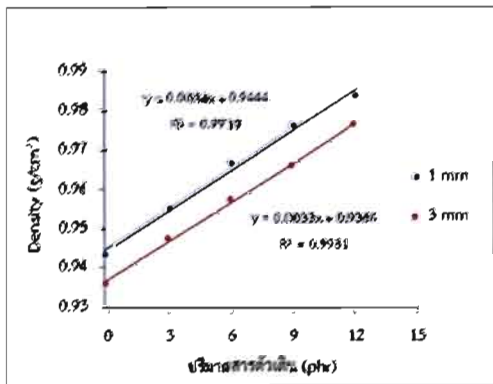
ภาพที่ 4.7 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr ชนิดหยาบ A ความหนา 1 mm และ B ความหนา 3 mm



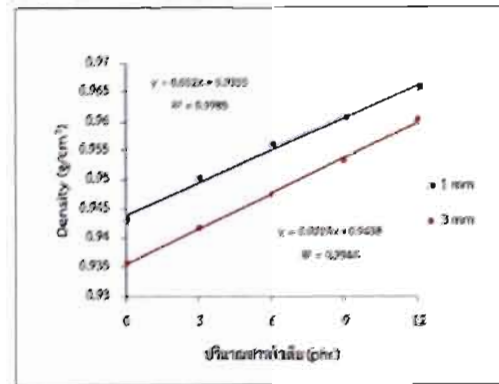
ภาพที่ 4.8 โครงสร้างของเส้นใยภายในต้นหมากถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า มีหลายองค์ประกอบคือ เนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) เนื้อเยื่อโฟลเอ็ม (phloem) พาราเควอมา (parenchyma) และช่องว่างอากาศมีอากาศอยู่ภายใน

4.2 ผลการศึกษาความหนาแน่น

จากการทดลองความหนาแน่นโดยใช้เครื่อง Densimeter พบว่า แผ่นยางดูดซับเสียงความหนา 1 mm ความหนาแน่นมากกว่าแผ่นยางที่หนา 3 mm จึงทำให้แผ่นยางหนา 1 mm ดูดซับเสียงได้น้อยกว่าแผ่นยางที่หนา 3 mm อันเป็นผลมาจากการขึ้นรูปแผ่นยางที่หนา ซึ่งมีจำนวนโซ่ใยมาก เมื่อกดด้วยความเค้นค่าหนึ่ง การรีแลกซ์จากโซ่ใยจะเกิดมากตาม โซ่ใยที่อยู่ด้านล่างจึงไม่ถูกกระทำ การไล่อากาศออกจากช่องว่างของเส้นใยภายในต้นหมากและเส้นใยลูกตาลได้น้อย ผลการทดลองสอดคล้องกับการดูดซับเสียงที่ขึ้นกับความหนาของขึ้นทดสอบ ดังภาพที่ 4.9-4.11

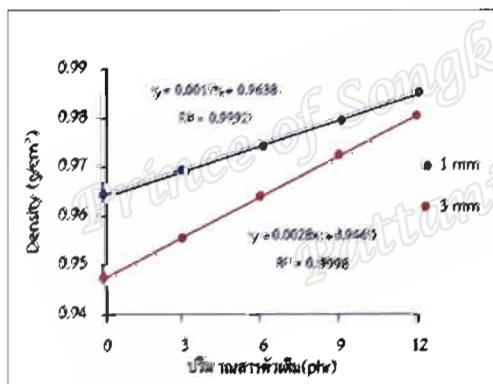


A

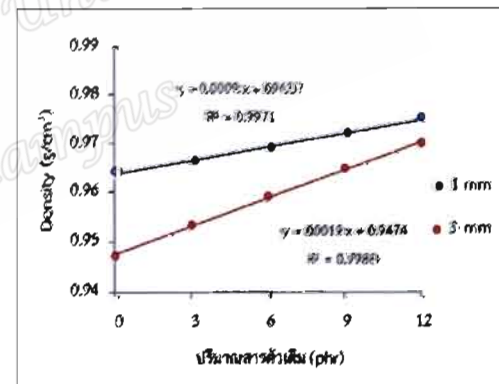


B

ภาพที่ 4.9 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 0 phr A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ

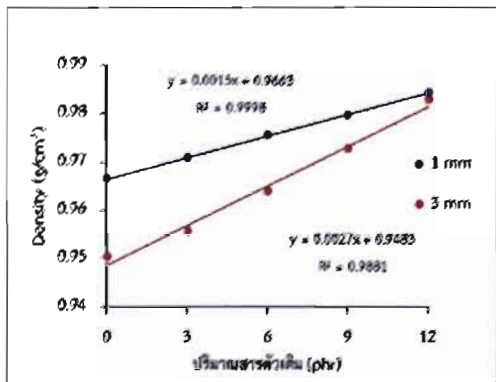


A

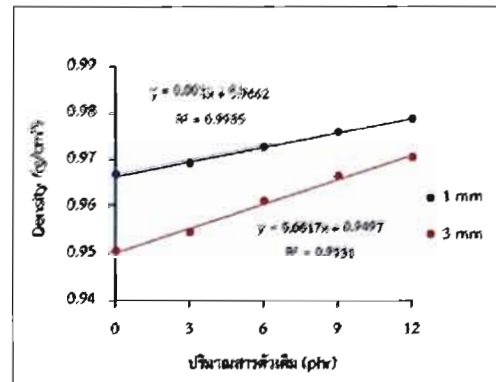


B

ภาพที่ 4.10 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ



A

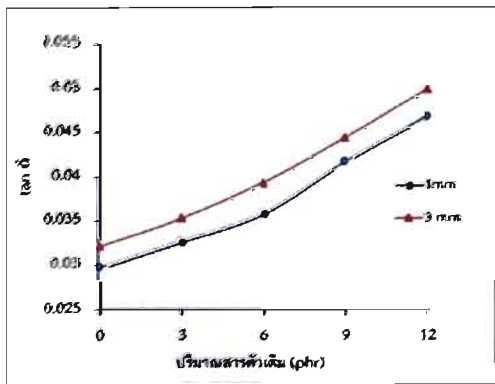


B

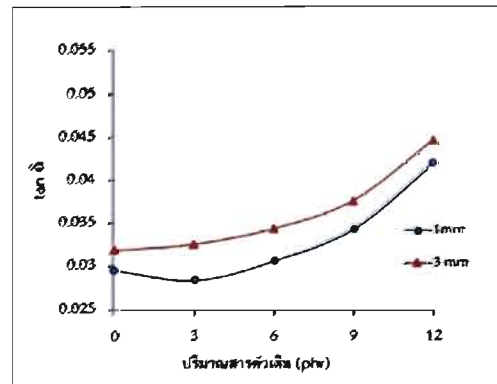
ภาพที่ 4.11 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ

4.3 ผลการศึกษาสมบัติเชิงพลวัตการบิดโดยค่าแฟกเตอร์ของการสูญเสีย ($\tan \delta$)

จากผลการทดลองค่าแฟกเตอร์ของการสูญเสีย ($\tan \delta$) จากการบิดของยางในแต่ละรอบของแผ่นยางผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล ที่ 0, 10 และ 20 phr พบว่า แผ่นยางหนา 3 mm จะมีค่ามากกว่าของแผ่นยางหนา 1 mm เนื่องจากโครงสร้างภายในสามารถสลายพลังงานได้ดีกว่าทั้งสารตัวเติมชนิดละเอียด และชนิดหยาบ และยังสอดคล้องกับความหนาแน่น และผลของการดูดซับเสียงดังภาพที่ 4.12- 4.14 วัสดุที่มีค่าแฟกเตอร์ในการสูญเสียมากจะบ่งบอกถึงวัสดุนั้นมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานได้ดีนั้นคือ เมื่อนำมาเป็นวัสดุดูดซับเสียงก็จะสามารถดูดซับเสียงได้ดี ดังนั้นจึงยืนยันขึ้นตัวอย่างยาง 3 mm จะสามารถดูดซับเสียงได้ดีกว่าขึ้นตัวอย่างหนา 1 mm

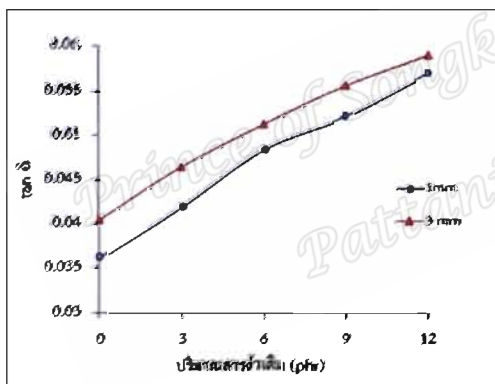


A

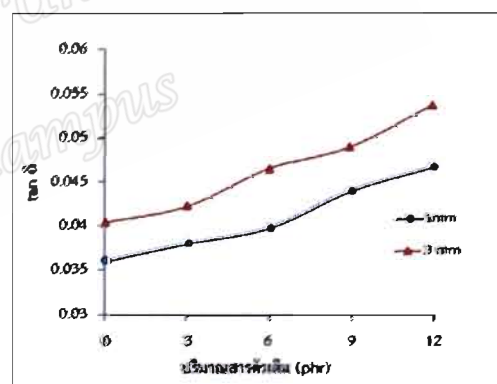


B

ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\tan \delta$ กับปริมาณสารตัวเติม (phr) ของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 0 phr A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ

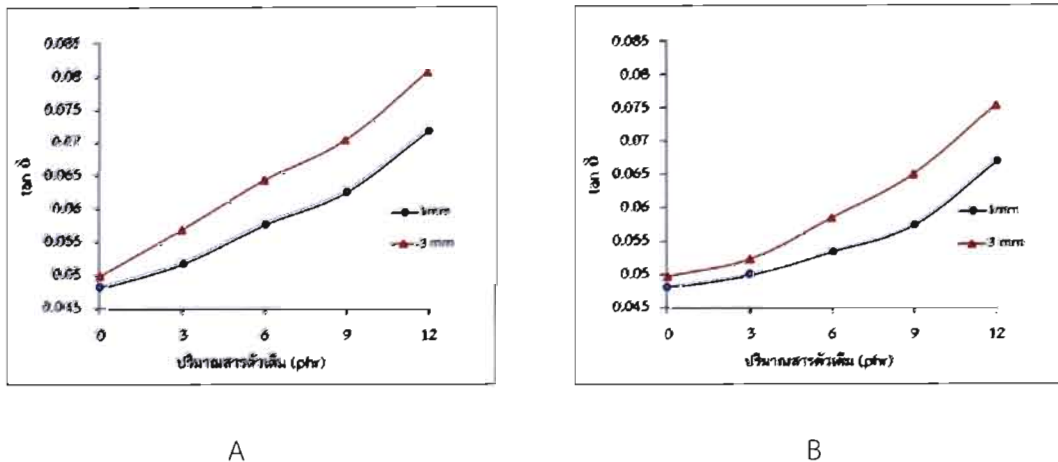


A



B

ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\tan \delta$ กับปริมาณสารตัวเติม (phr) ของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ

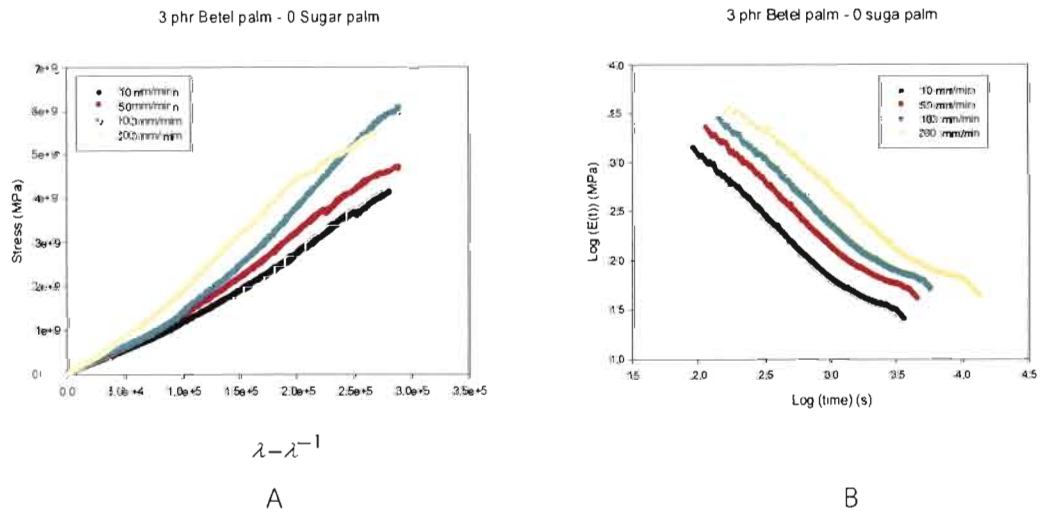


ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\tan \delta$ กับปริมาณสารตัวเติม (phr) ของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ

4.4 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกล

4.4.1 ความทนต่อแรงดึงและค่ามอดูลัสของยาง (Tensile strength and Modulus)

การทดสอบชุดนี้ เพื่อประเมินความแข็งแรงของแผ่นยางให้ทราบว่ามีความแข็งแรงเหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้ได้หรือไม่ จึงทำการทดลองโดยการดึง นำแผ่นตัวอย่างไปตัดเป็นรูปดัมเบล วัดความยาวเริ่มต้น 4.0 mm จากนั้นนำไปดึงด้วยเครื่อง Tensile Testing โดยทำการดึงด้วยความเร็ว 10, 50, 100 และ 200 mm/min จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้น เมื่อดึงด้วยความเร็วสูงๆ โഴ้ของยางไม่มีเวลาในการรีแลก มีความเค้นตกค้าง จึงทำให้ยางแข็งแรง มอดูลัสจึงมีค่าสูง และเมื่อดึงด้วยความเร็วช้าๆ โซ้ของยางมีเวลาในการรีแลก ทำให้ความเค้นส่วนหนึ่งหายไป มอดูลัสจึงมีค่าต่ำ นอกจากนี้ค่าของความต้านทานแรงดึงและร้อยละการยืดของตัวอย่างนั้นก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังภาพที่ 4.15

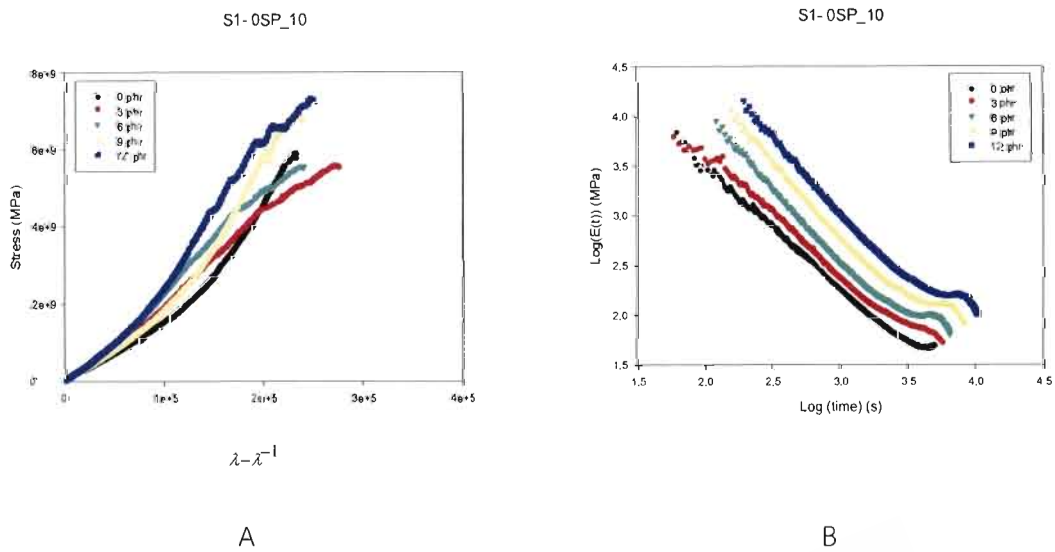


ภาพที่ 4.15 A แสดงค่าความทนต่อแรงดึง B แสดงค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติผสมเส้นใย จากลำต้นหมากปริมาณ 3 phr และเส้นใยลูกตาล 0 phr ที่ความเร็วต่าง ๆ

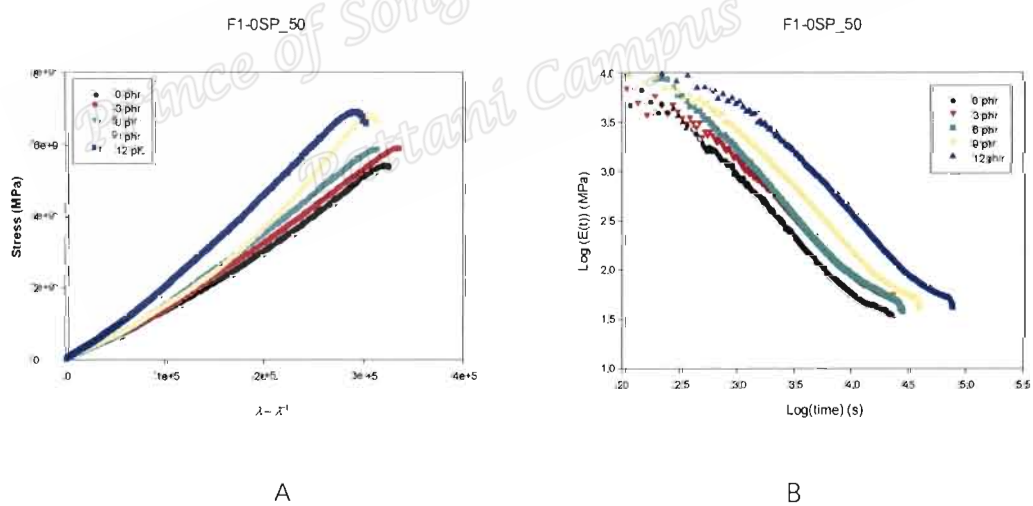
จากภาพที่ 4.15 คืออิทธิพลของความเร็วต่อการดึงสำหรับยางผสมเส้นใยจากลำต้นหมาก 3 phr และเส้นใยลูกตาล 0 phr พบว่า ที่ความเร็วสูงขึ้นกราฟความเค้นและกราฟมอดูลัสสูงขึ้นเนื่องจากความเร็วสูงในการดึงนั้นทำให้โซ่ยางรีแลกไม่ทันจึงมีความเค้นตกค้างมากบนชิ้นตัวอย่างที่ดึง

4.4.1.1 ผลของเส้นใยลูกตาลที่ 0 phr และเส้นใยจากต้นหมากปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความทนต่อแรงดึงและค่ามอดูลัสที่ความเร็วต่างๆ

จากกราฟที่ 4.16 เป็นอิทธิพลของปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากสำหรับ 0 phr ของเส้นใยลูกตาลโดยดึงด้วยความเร็วคงที่ 10 mm/min พบว่า เมื่อปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงของยางผสมนั้นมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน แสดงว่าโมเลกุลของยางสามารถเกาะเกี่ยวกับเส้นใยจากลำต้นหมากได้มากขึ้น

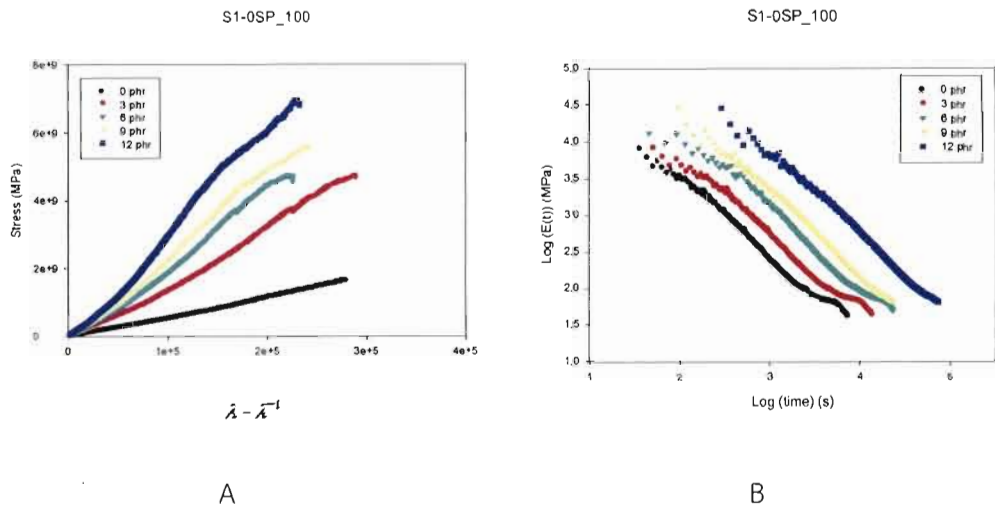


ภาพที่ 4.16 A แสดงค่าความทนต่อแรงดึง B แสดงค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติผสมเส้นใย จากลำดับหมากปริมาณต่างๆ และเส้นใยลูกตาล 0 phr ที่ความเร็ว 10 mm/min

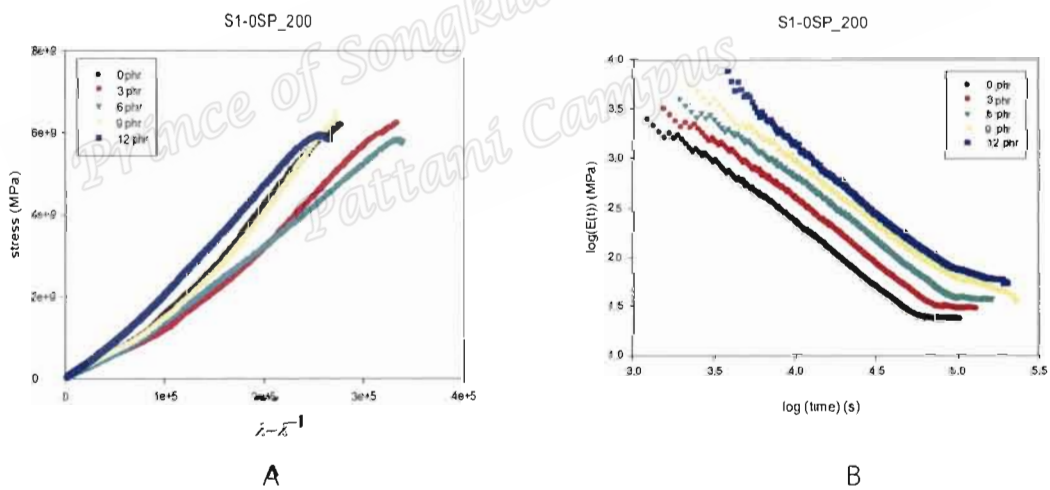


ภาพที่ 4.17 A แสดงค่าความทนต่อแรงดึง B แสดงค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติผสมเส้นใย จากลำดับหมากปริมาณต่างๆ และเส้นใยลูกตาล 0 phr ที่ความเร็ว 50 mm/min

ภาพที่ 4.17 ผลยังเป็นทำนองเดียวกันกับกราฟที่ 4.16 สำหรับการดึงให้มีความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 50 mm/min นอกจากนี้กราฟที่ 4.18 และ 4.19 ลักษณะกราฟยังสอดคล้องกันอีก เช่นเดิมสำหรับการดึงที่ความเร็วสูงขึ้นอีกคือ 100 และ 200 mm/min



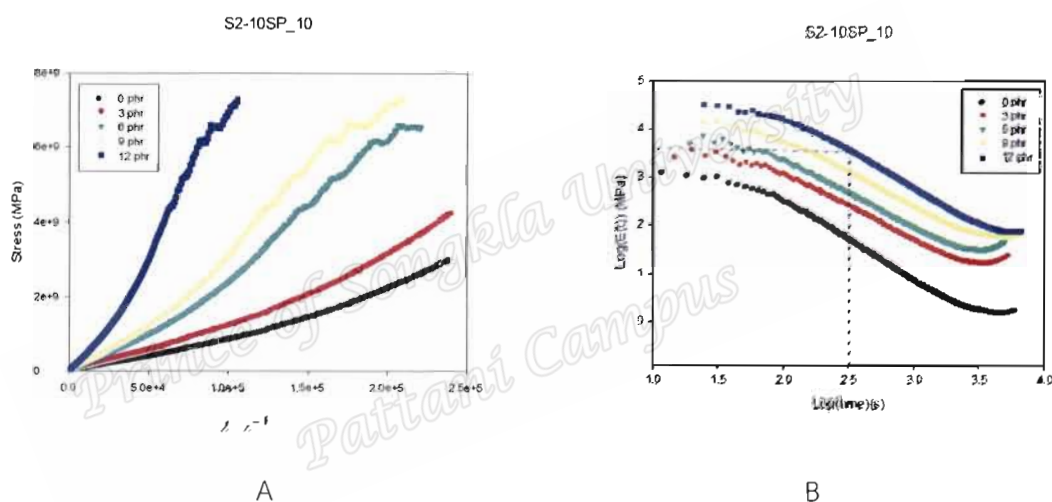
ภาพที่ 4.18 A แสดงค่าความทนต่อแรงดึง B แสดงค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่างๆ และเส้นใยลูกตาล 0 phr ที่ความเร็ว 100 mm/min



ภาพที่ 4.19 A แสดงค่าความทนต่อแรงดึง B แสดงค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่างๆ และเส้นใยลูกตาล 0 phr ที่ความเร็ว 200 mm/min

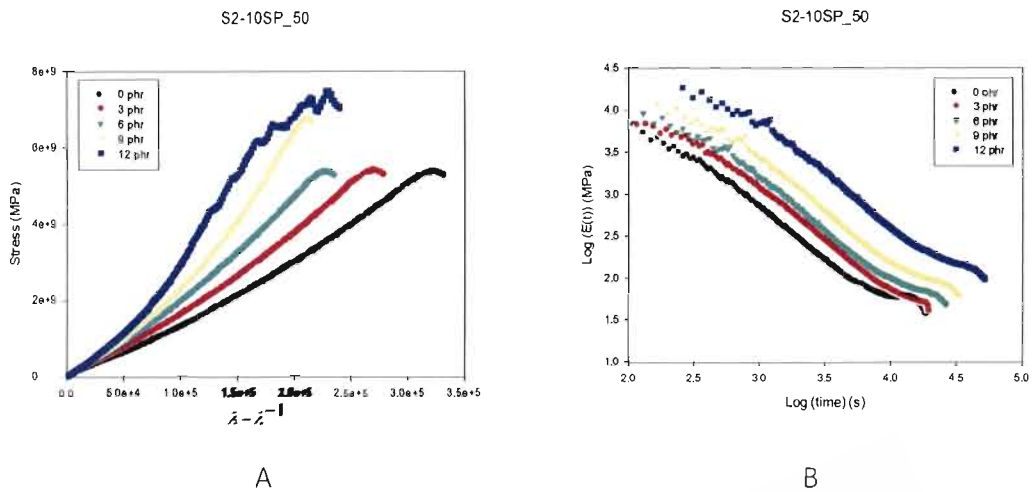
4.4.1.2 ผลของเส้นใยลูกตาลที่ 10 phr และเส้นใยจากต้นหมากที่ปริมาณต่าง ๆ ต่อค่าความทนต่อแรงดึงและค่ามอดูลัสที่ความเร็วต่างๆ

จากการทดลองเมื่อเพิ่มเส้นใยลูกตาลในปริมาณ 10 phr จะเห็นได้ว่าค่าความทนต่อแรงดึงและร้อยละการยืดของตัวอย่างนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมของเส้นใยจากลำต้นหมากเนื่องจากโครงสร้างภายในของเส้นใยลูกตาลและเส้นใยจากต้นหมากเป็นแบบกึ่งก้านสาขา จึงเกิดการยึดเกาะกับอนุภาคของยางได้ดี ประกอบกับเมื่อผสมเส้นใยลูกตาลเข้าไป โครงสร้างภายในนั้นเกิดปริมาตรอิสระได้น้อยเนื่องจากเกิดการแทนที่ของเส้นใยลูกตาลจึงทำให้ความแข็งแรงของยางนั้นเพิ่มขึ้นไปอีก ดังรูปที่ 4.20 - 4.23

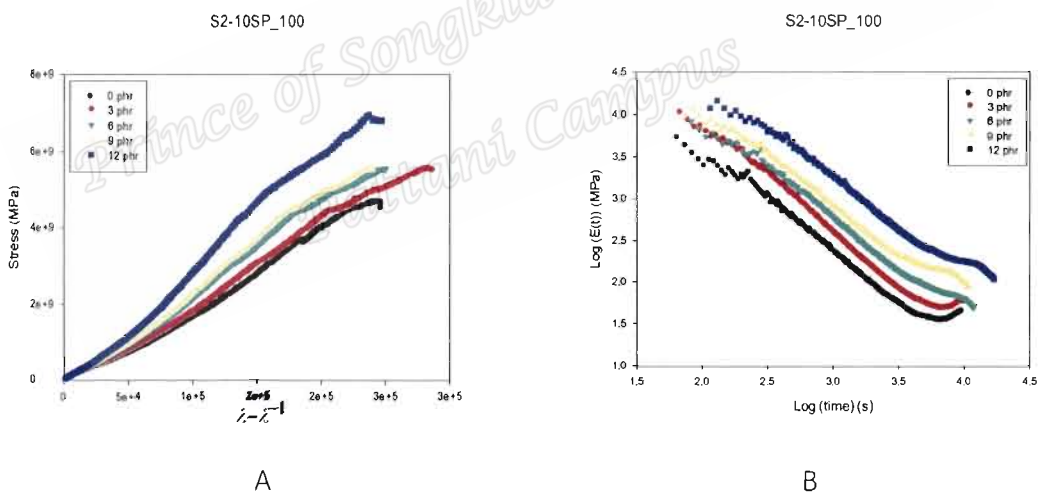


ภาพที่ 4.20 A แสดงค่าความทนต่อแรงดึง B แสดงค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่างๆ และเส้นใยลูกตาล 10 phr ที่ความเร็ว 10 mm/min

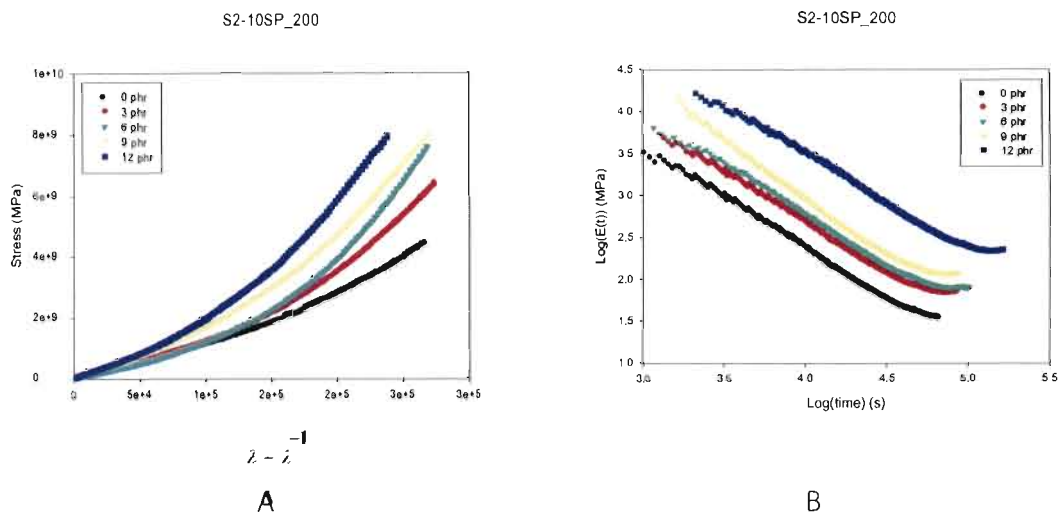
ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบกับภาพที่ 4.16 จะเห็นอิทธิพลของปริมาณเส้นใยลูกตาล 0 และ 10 phr ที่ความเร็วดึงเท่ากันซึ่งรูปร่างของกราฟจะแตกต่างกันอย่างชัดเจนซึ่งจะเห็นว่าปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลทำให้แผ่นยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเพียงแต่เส้นใยจากลำต้นหมากเพิ่มความแข็งแรงได้ดีกว่าเส้นใยจากลูกตาล ซึ่งผิวของเส้นใยจากลูกตาลจะเรียบทำให้โมเลกุลยางเกาะเกี่ยวได้น้อยนั่นเอง และผลทำนองเดียวกันสำหรับการดึง 50, 100 และ 200 mm/min



ภาพที่ 4.21 A แสดงค่าความทนต่อแรงดึง B แสดงค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติผสมเส้นใย จากลำต้นหมากปริมาณต่างๆ และเส้นใยลูกตาล 10 phr ที่ความเร็ว 50 mm/min



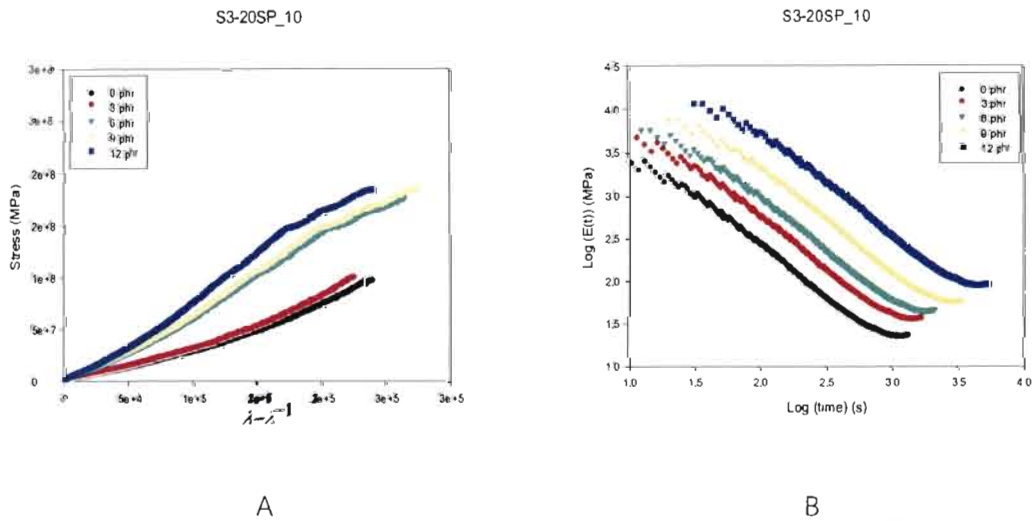
ภาพที่ 4.22 A แสดงค่าความทนต่อแรงดึง B แสดงค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติผสมเส้นใย จากลำต้นหมากปริมาณต่างๆ และเส้นใยลูกตาล 10 phr ที่ความเร็ว 100 mm/min



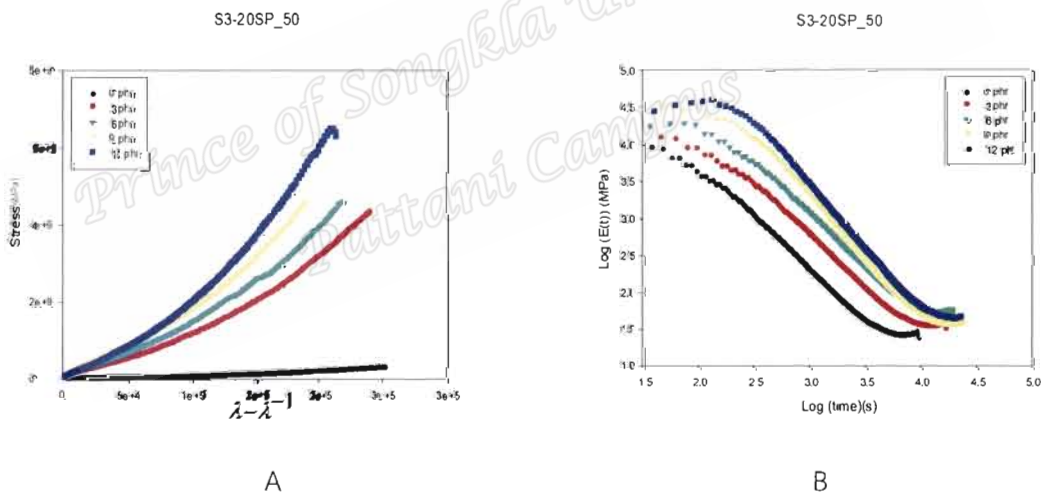
ภาพที่ 4.23 A แสดงค่าความทนต่อแรงดึง B แสดงค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่างๆ และเส้นใยลูกตาล 10 phr ที่ความเร็ว 200 mm/min

4.4.1.3 ผลของเส้นใยลูกตาลที่ 20 phr และเส้นใยจากต้นหมากที่ปริมาณต่างๆ ต่อค่าความทนต่อแรงดึงและค่ามอดูลัสที่ความเร็วต่างๆ

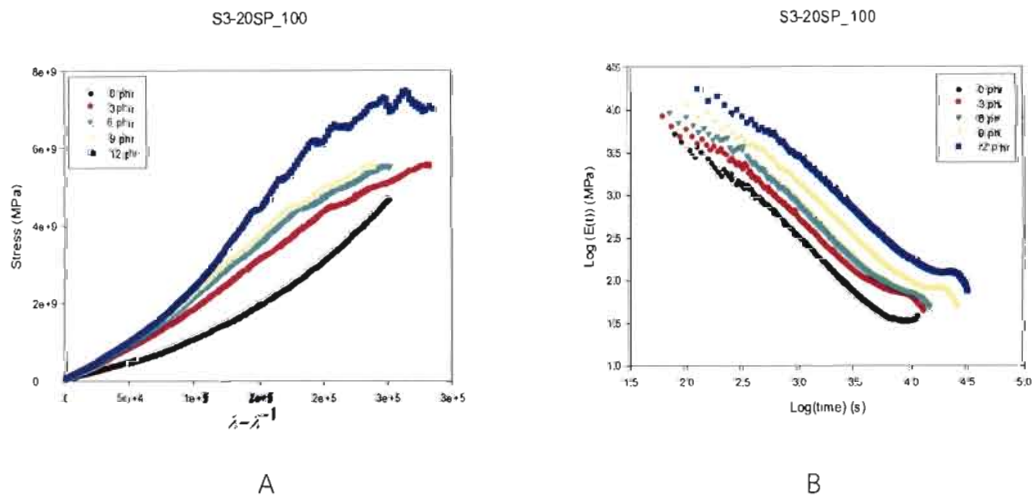
จากการทดลองเมื่อเพิ่มเส้นใยลูกตาลในปริมาณ 20 phr จะเห็นได้ว่าค่าความทนต่อแรงดึงและร้อยละการยืดของตัวอย่างนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมของเส้นใยจากลำต้นหมาก เนื่องจากโครงสร้างภายในของเส้นใยลูกตาลและเส้นใยจากต้นหมากเป็นแบบกิ่งก้านสาขา จึงเกิดการยึดเกาะกับอนุภาคของยางได้ดี ประกอบกับเมื่อผสมเส้นใยลูกตาลเข้าไป โครงสร้างภายในนั้นเกิดปริมาตรอิสระได้น้อยเนื่องจากเกิดการแทนที่ของเส้นใยลูกตาลจึงทำให้ความแข็งแรงของยางนั้นเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.24 - 4.27



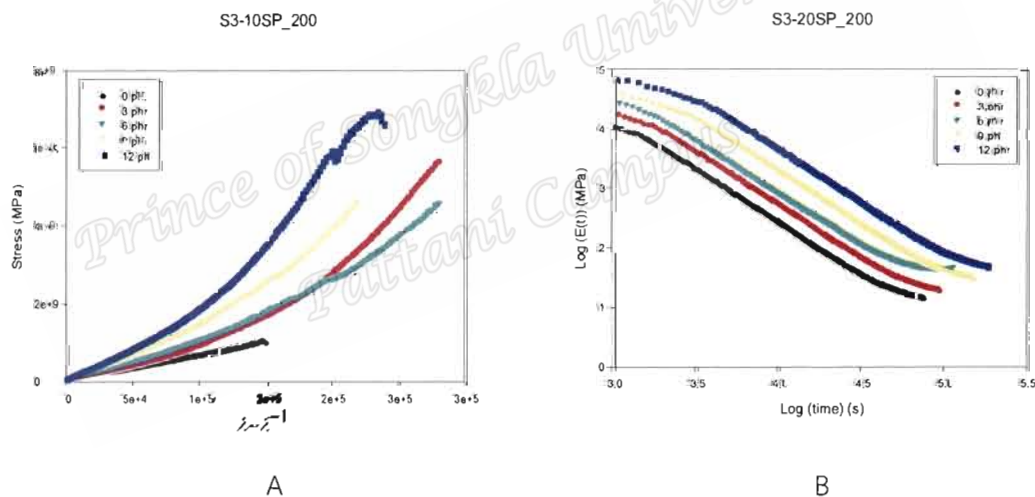
ภาพที่ 4.24 A แสดงค่าความทนต่อแรงดึง B แสดงค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติผสมเส้นใย จากลำต้นหมากปริมาณต่างๆ และเส้นใยลูกตาล 20 phr ที่ความเร็ว 10 mm/min



ภาพที่ 4.25 A แสดงค่าความทนต่อแรงดึง B แสดงค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติผสมเส้นใย จากลำต้นหมากปริมาณต่างๆ และเส้นใยลูกตาล 20 phr ที่ความเร็ว 50 mm/min



ภาพที่ 4.26 A แสดงค่าความทนต่อแรงดึง B แสดงค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติผสมเส้นใย จากลำต้นหมากปริมาณต่างๆ และเส้นใยลูกตาล 20 phr ที่ความเร็ว 100 mm/min



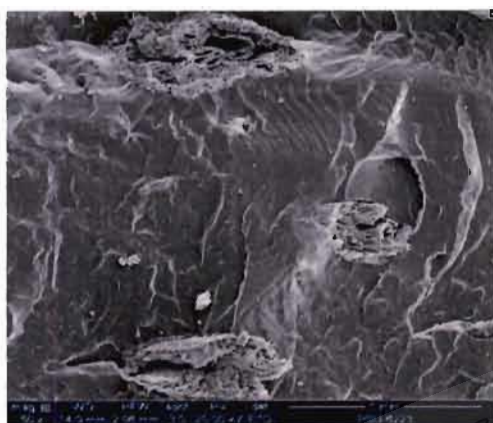
ภาพที่ 4.27 A แสดงค่าความทนต่อแรงดึง B แสดงค่ามอดูลัสของยางธรรมชาติผสมเส้นใย จากลำต้นหมากปริมาณต่างๆ และเส้นใยลูกตาล 20 phr ที่ความเร็ว 200 mm/min

4.5 ผลการศึกษาโครงสร้างภายในโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM

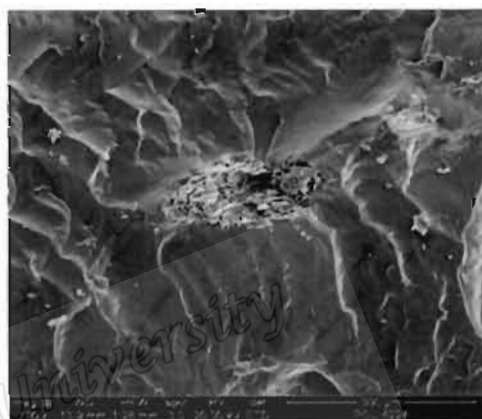
การศึกษาโครงสร้างภายในของตัวอย่างต่างๆ นั้น ผู้วิจัยได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ประเด็น ประเด็นแรก ศึกษาอิทธิพลของเส้นใยจากลำต้นหมาก โดยเลือกตัวอย่างที่ S3 และ S5 ประเด็นที่สอง ศึกษาอิทธิพลของเส้นใยจากลูกตาล โดยจะเลือกตัวอย่างที่ S1, S2, S3, S4, และ S5 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

4.5.1 อิทธิพลของเส้นใยจากลำต้นหมากต่อโครงสร้างภายในของแผ่นตัวอย่าง

จากผลการศึกษาอิทธิพลของเส้นใยจากลำต้นหมากจะเห็นได้ว่าตัวอย่าง S3 ยังไม่
เห็นถึงความเป็นรูพรุน แต่การกระจายตัวของเส้นใยภายในต้นหมากมีการกระจายตัวดี เมื่อมีการเพิ่ม
เส้นใยภายในต้นหมาก เป็น 12 phr นอกจากการกระจายตัวดีของเส้นใยภายในต้นหมากแล้ว เพื่อลด
ซับเสียงได้ดีขึ้น ดังรูปที่ 4.28-4.29

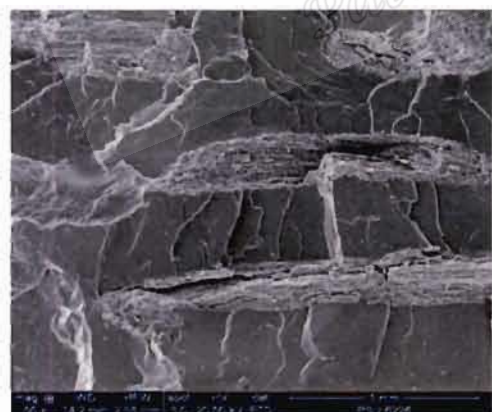


(a)

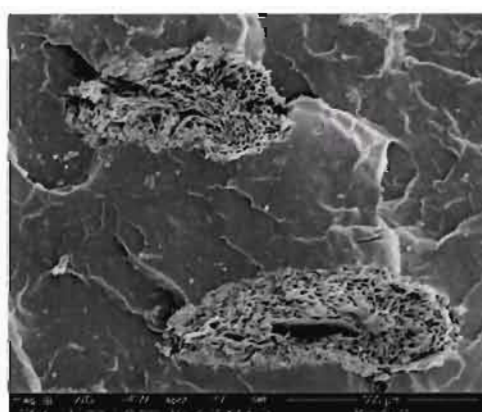


(b)

ภาพที่ 4.28 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S3 (a) กำลังขยาย 50 (b) กำลังขยาย 100 เท่า



(a)

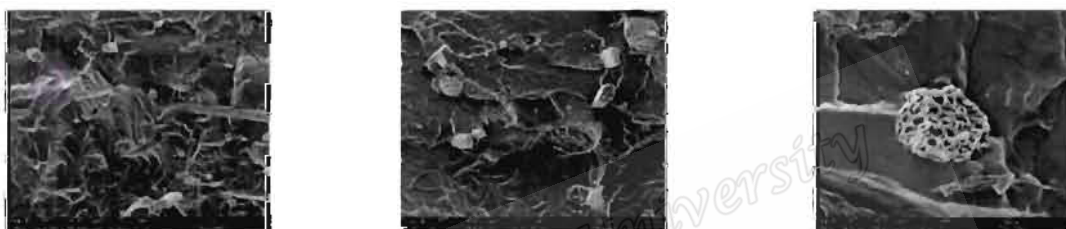


(b)

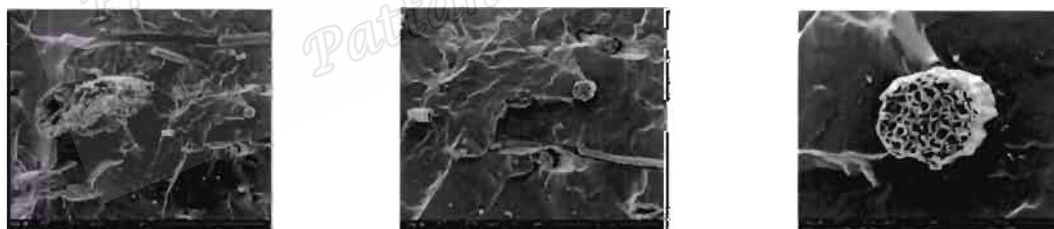
ภาพที่ 4.29 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S5 (a) กำลังขยาย 50 (b) กำลังขยาย 100 เท่า

4.5.2 อิทธิพลของเส้นใยจากลูกตาลที่ปริมาณ 10 phr และเส้นใยจากลำต้นหมาก ปริมาณต่างๆ ต่อโครงสร้างภายในของแผ่นตัวอย่าง

จากการศึกษาอิทธิพลของเส้นใยจากลูกตาลที่ปริมาณ 10 phr และเส้นใยจากลำต้นหมากที่ปริมาณ 0, 3, 6, 9 และ 12 phr ตัวอย่างที่นำมาศึกษาคือ S1, S2, S3, S4, และ S5 โดย S1 เป็นตัวอย่างที่เพิ่มเส้นใยลูกตาลจาก 10 phr เส้นใยจากลำต้นหมาก 0 phr ตัวอย่าง S2 ถึง S5 เป็นตัวอย่างที่มีการเพิ่มเส้นใยลูกตาลและเส้นใยจากลำต้นหมากตามปริมาณสารตัวเติมที่กล่าวไว้ข้างต้นตามลำดับ จากภาพพบว่าเส้นใยลูกตาลและเส้นใยจากต้นหมากมีรูพรุนที่กว้าง และมีรูปที่ชัดเจนมีส่วนช่วยในการดูดซับเสียงได้ดี ดังรูปที่ 4.30-4.34



ภาพที่ 4.30 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S1 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่าตามลำดับ



ภาพที่ 4.31 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S2 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่าตามลำดับ



ภาพที่ 4.32 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S3 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ



ภาพที่ 4.33 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S4 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ

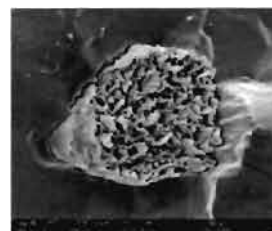


ภาพที่ 4.34 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S5 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ

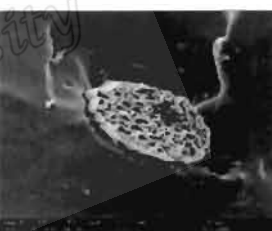
4.5.3 อิทธิพลของเส้นใยจากลูกตาลที่ปริมาณ 20 phr และเส้นใยจากลำต้นหมากที่ปริมาณ 0, 3, 6, 9 และ 12 phr ต่อโครงสร้างภายในของแผ่นตัวอย่าง

จากการศึกษาอิทธิพลของเส้นใยจากลูกตาลที่ปริมาณ 20 phr และเส้นใยจากลำต้นหมากที่ปริมาณ 0, 3, 6, 9 และ 12 phr ตัวอย่างที่นำมาศึกษาคือ S1, S2, S3, S4, และ S5 โดย S1 เป็นตัวอย่างที่เพิ่มเส้นใยลูกตาล 20 phr และเส้นใยจากลำต้นหมาก 0 phr ตัวอย่าง S2 ถึง S5 เป็นตัวอย่างที่มีการเพิ่มเส้นใยลูกตาลและเส้นใยจากลำต้นหมากตามปริมาณสารตัวเติมที่กล่าวไว้ข้างต้น

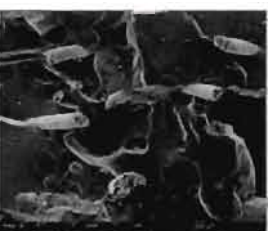
ตามลำดับ จากภาพ พบว่าเส้นใยลูกตาลและเส้นใยจากต้นหมากมีรูพรุนที่กว้าง และมีรูปที่ชัดเจนมีส่วนช่วยในการดูดซับเสียงได้ดี ดังรูปที่ 4.35 - 4.39



ภาพที่ 4.35 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S1 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่าตามลำดับ



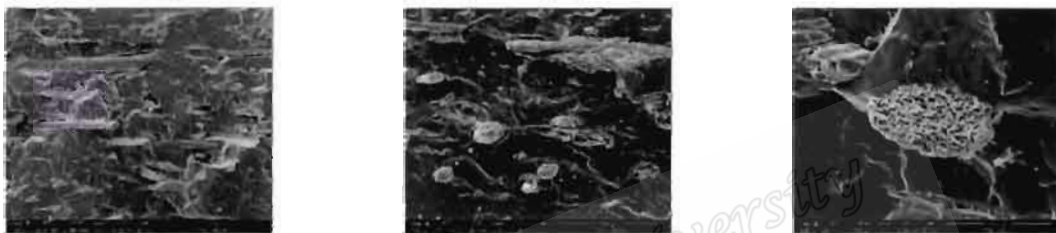
ภาพที่ 4.36 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S2 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่าตามลำดับ



ภาพที่ 4.37 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S3 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่าตามลำดับ



ภาพที่ 4.38 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S4 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ



ภาพที่ 4.39 แสดงภาพจากเครื่อง SEM ของตัวอย่าง S5 กำลังขยาย 50, 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ

Prince of Songkla University
Pattani Campus

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ ศึกษาสมบัติการดูดซับเสียง (Acoustic Absorption Coefficient : α) สมบัติเชิงกล และสมบัติรีโอโลยีเชิงพลวัตของการบิดที่มีผลต่อการดูดซับเสียง ของแผ่นดูดซับเสียงตัวอย่างจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลมาสร้างแผ่นดูดซับเสียง เพื่อใช้ในการป้องกันหรือลดเสียงรบกวนต่างๆ เพื่อเพิ่มแนวทางการพัฒนาสูตรผสมสำหรับวัสดุดูดซับเสียงการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ประเด็น ประเด็นแรก ศึกษาอิทธิพลของเส้นใยจากลำต้นหมาก ประเด็นที่สอง ศึกษาอิทธิพลของเส้นใยจากลูกตาล จากแผ่นดูดซับเสียงของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมาก (ที่ผ่านการบด ชนิดละเอียดและหยาบ ปริมาณ 0-12 phr) และเส้นใยลูกตาล ที่ปริมาณ 0, 10 และ 20 phr ขึ้นรูปขึ้นทดสอบความหนา 1 mm กับ 3 mm มีบทสรุปดังนี้

5.1 สมบัติการดูดซับเสียงของแผ่นดูดซับเสียงตัวอย่างจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล

5.1.1 สมบัติการดูดซับเสียงของแผ่นดูดซับเสียงตัวอย่างจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่าง ๆ

แผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm และ 3 mm ทดสอบการดูดซับเสียงด้วยชุดท่อคลื่นนิ่ง (Kundt's tube) พบว่ากราฟของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง $\alpha(f)$ กับความถี่ แสดงความถี่พ้องของการดูดซับเสียงสองจุดที่ 250 Hz และ 1,500 Hz เป็นของยางและของเส้นใยตามลำดับ ขึ้นทดสอบหนา 3 mm ดูดซับเสียงได้ดีที่สุดเมื่อผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียด ปริมาณ 12 phr มี $\alpha_{\max}(f) = 0.9955$ และเมื่อผสมเส้นใยชนิดหยาบมี $\alpha_{\max}(f) = 0.9815$ ที่ความถี่ 1,500 Hz

5.1.2 สมบัติการดูดซับเสียงของแผ่นดูดซับเสียงตัวอย่างจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล

แผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm และ 3 mm ทดสอบการดูดซับเสียงด้วยชุดท่อคลื่นนิ่ง (Kundt's tube) พบว่ากราฟของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง $\alpha(f)$ กับความถี่ แสดงความถี่พ้องของการดูดซับเสียงสามจุดที่ 250 Hz , 1,500 Hz และ 3,000 Hz เป็นของยางของเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล ตามลำดับ ขึ้นทดสอบหนา 3 mm ดูดซับเสียงได้ดีที่สุดเมื่อ

ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดและเส้นใยลูกตาล ปริมาณ 20 phr มี $\alpha_{\max}(f) = 0.9916$ และเมื่อผสมเส้นใยชนิดหยาบมี $\alpha_{\max}(f) = 0.9882$ ที่ความถี่ 3,000 Hz

5.2 ความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเสียงตัวอย่างจากยางธรรมชาติเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล

ความหนาแน่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารตัวเติม แผ่นยางดูดซับเสียงความหนา 1 mm ความหนาแน่นมากกว่าแผ่นยางที่หนา 3 mm จึงทำให้แผ่นยางหนา 1 mm ดูดซับเสียงได้น้อยกว่าแผ่นยางที่หนา 3 mm อันเป็นผลมาจากการขึ้นรูปแผ่นยางที่หนา ซึ่งมีประชากรโซ่อย่างมาก เมื่อกดด้วยความเค้นค่าหนึ่ง การรีแลกซ์จากโซ่ยางจะเกิดมากตาม โซ่ยางที่อยู่ด้านล่างจึงไม่ถูกกระทำ การไล่อากาศออกจากช่องว่างของเส้นใยภายในต้นหมากและเส้นใยลูกตาลได้น้อย

5.3 สมบัติรีโอโลยีเชิงพลวัตของการบิดโดยค่าแพกเตอร์ของการสูญเสีย ($\tan \delta$) ที่มีผลต่อการดูดซับเสียงของแผ่นดูดซับเสียงตัวอย่างจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล

ค่าแพกเตอร์ของการสูญเสีย ($\tan \delta$) จากการบิดของยางในแต่ละรอบของแผ่นยางผสมเส้นใยจากลำต้นหมาก (ในปริมาณต่าง ๆ) และเส้นใยลูกตาล ที่ 0, 10 และ 20 phr พบว่า แผ่นยางหนา 3 mm จะมีค่ามากกว่าของแผ่นยางหนา 1 mm เนื่องจากโครงสร้างภายในสามารถสลายพลังงานได้ดีกว่าทั้งสารตัวเติมชนิดละเอียดและชนิดหยาบ และยังสอดคล้องกับความหนาแน่น และผลการดูดซับเสียง ทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญกับสมบัติการดูดซับเสียง

5.4 สมบัติเชิงกลของแผ่นดูดซับเสียงตัวอย่างจากยางธรรมชาติเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล

ค่าความความทนต่อแรงดึงและร้อยละการยืด จากสมบัติเชิงกลของแผ่นดูดซับเสียงจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมาก (ในปริมาณต่าง ๆ) และเส้นใยลูกตาล ที่ 0, 10 และ 20 phr พบว่า เมื่อดึงด้วยความเร็วสูงๆ โซ่ของยางไม่มีเวลาในการรีแลกซ์ มีความเค้นตกค้าง จึงทำให้ยางแข็งแรง โมดูลัสจึงมีค่าสูง และเมื่อดึงด้วยความเร็วช้าๆ โซ่ของยางมีเวลาในการรีแลกซ์ ทำให้ความเค้นส่วนหนึ่งหายไป โมดูลัสจึงมีค่าต่ำ

เมื่อเพิ่มเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลเข้าไป แสดงให้เห็นค่าความความทนต่อแรงดึงและร้อยละการยืดของตัวอย่างนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมที่เติมลงไป เนื่องจากโครงสร้างภายในของเส้นใยจากต้นหมากเป็นแบบกิ่งก้านสาขา จึงเกิดการยึดเกาะกับอนุภาค

ของยางได้ดี ประกอบกับเมื่อผสมเส้นใยลูกตาลเข้าไป โครงสร้างภายในนั้นเกิดปริมาตรอิสระได้น้อย เนื่องจากเกิดการแทนที่ของเส้นใยลูกตาลจึงทำให้ความแข็งแรงของยางนั้นเพิ่มขึ้นไปอีก

5.5 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลมาสร้างแผ่นดูดซับเสียง

5.5.1 อิทธิพลของเส้นใยจากลำต้นหมาก

อิทธิพลของเส้นใยจากลำต้นหมากจะเห็นได้ว่าตัวอย่าง S3 ยังไม่เห็นถึงความเป็นรูพรุน แต่การกระจายตัวของเส้นใยภายในต้นหมากมีการกระจายตัวดี เมื่อมีการเพิ่มเส้นใยภายในต้นหมากปริมาณเป็น 12 phr นอกจากการกระจายตัวดีของเส้นใยภายในต้นหมากเพื่อดูดซับเสียงได้ดีขึ้น

5.5.2 ศึกษาอิทธิพลของเส้นใยจากลูกตาล

การเพิ่มเส้นใยลูกตาลและเส้นใยจากลำต้นหมากตามปริมาณสารตัวเติมที่ผสมพบว่าเส้นใยลูกตาลและเส้นใยจากต้นหมากมีรูพรุนที่กว้าง และมีรูปร่างเป็นโพรงที่ชัดเจน มีส่วนช่วยในการดูดซับเสียงได้ดี

5.6 ข้อเสนอแนะ

5.6.1 ควรศึกษาเปรียบเทียบกับเส้นใยพืชชนิดอื่น เช่น ต้นจาก ต้นปาล์มประดับ และปาล์มน้ำมัน

5.6.2 แผ่นดูดซับเสียงที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางที่จะต่อยอดเพื่อเพิ่มผลิตภัณฑ์ในเชิงอุตสาหกรรมได้

5.6.3 ควรใช้สารตัวเติมที่มีปริมาณมากในชุมชนและท้องถิ่น เพื่อต่อยอดผลิตภัณฑ์ในเชิงอุตสาหกรรมได้อย่างหลากหลาย

บรรณานุกรม

- กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. 2549. การตรวจวัดเสียง. สืบค้นจาก : http://www.oshtha.org/index.php?option=com_content&view=article&id=418:-m-m-s&catid=1:news-thai [6 มกราคม 2562].
- คลังความรู้ SciMath. 2560. ฟิสิกส์รอบตัว ตอนฉนวนกันเสียง. สืบค้นจาก : <http://www.scimath.org/lesson-physics/item/7309-2017-06-14-15-27-55> [14 มิถุนายน 2560].
- ดาริกา จาเอาะ. 2552. การดูดซับเสียงในยางธรรมชาติผสมดินขาว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. มหาวิทยาลัย สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ธารินทร์ เพียงสุข กษาปณ์ พิเชฐโชติ ชุตติกุล ณิรณูช กิตติวินชันท ปานไพลิน แสงอุทัย ทวีศักดิ์ ประสานสุทธิพร และสุนณา จิตติเดชารักษ์. 2560. เครื่องมือใช้ในการตรวจสอบ ลักษณะพื้นผิวและรูปร่างของวัสดุสำหรับงานวิจัยทางทันตกรรม. วารสารทันตกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 38(1), 13-28.
- นุรีดา กะลุแป ธรณิศ นาวารัตน์ และสมบัติ พุทธจักร. 2559. การดูดซับเสียงของ SBR ผสมเส้นใย ภายในลำต้นหมาก. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณบูรณาการงานวิจัยเพื่อสังคมครั้งที่ 26. จังหวัดสงขลา, 26-29 พฤษภาคม 2559, 215 – 222.
- เนรัญชรา ศรีคะรัน. 2561. สมบัติเชิงความร้อนของคอนกรีตบล็อกแทรกแผ่นยางธรรมชาติ (NR) ผสมล้าต้นกล้วยและยางรีเคลม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บุญธรรม นิธิอุทัย และปรีชา ป้องภัย. 2534. คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยียาง, พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ปัตตานี, หน้า 31-33.
- พรพรรณ นิธิอุทัย. 2528. สารเคมีสำหรับยาง, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, พิมพ์ครั้งที่ 1, ปัตตานี, หน้า 14-15.
- มีง โลหะกิจแสงทอง และ พงษ์ศักดิ์ คำมูล. 2549. การหาสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ โดยใช้ท่อแบบคลื่นนิ่ง. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20, จังหวัดนครราชสีมา, 18 – 20 ตุลาคม 2549.
- ลียานา บินมะยะโกะ. 2561. สมบัติเชิงความร้อนและเชิงกลของยางธรรมชาติ เบลนด์ยางรีเคลม และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สมบัติ พุทธจักร ธรณิศ นาวารัตน์ และดาริกา จาเอาะ. 2551. การดูดซับเสียงในยางธรรมชาติ ผสมดินขาว. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 36(4), 338-347.

- สมบัติ พุทธจักร. 2551. คู่มือปฏิบัติการ Properties of Matter and Rheology, สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ปัตตานี, หน้า 32-38.
- Algaily, B. and Puttajukr, S. 2014. Acoustic Absorption and Physicomechanical Properties of SBR/RR foam. International Journal of Technical Research and Applications. 2, 15-18.
- António, J. 2011. Acoustic behaviour of fibrous materials, University of Coimbra, Portugal.
- Benkreira, H., Khan, A. and Horoshenkov, K. V. 2011. Sustainable acoustic and thermal insulation material from elastomeric waste residues. Chemical Engineering Science, 66(18), 4157-4171.
- Everest, F. and Pohlman, C. 2006. Master handbook of Acoustics. McGraw-hill, New York, U.S.A., pp. 72-23.
- Hong, Z., Bo, L., Guangsu, H. and Jia, H. 2007. A novel composite sound absorber with Recycled rubber particles, Journal of sound and vibration, 304(1-2), 400-406.
- Ismail, L., Ghazali, M.I., Mahzan, S. and Zaidi, A. M. A. 2010. Sound Absorption of Arenga Pinnata Natural Fiber. International Journal of Materials and Metallurgical Engineering. 4(7), 434-440.
- Jayamani, E., Hamdan, S., Rahman, M.R. and Bakri, M.K.B. 2014. Investigation of Fiber Surface Treatment on Mechanical, Acoustical and Thermal Properties of Betelnut Fiber Polyester Composites. Procedia Engineering. 97, 545 – 554.
- Malcolm, J.C. and Frederick, M.K. 1982. Noise and Control Volume 2. Florida, CRC Press, Inc.
- Sobral, M., Samagaio, A.J.B., Fererira, J.M.F. and Labrincha, J.A. 2003. Mechanical and acoustical characteristics of bound rubber granulate. Journal of Meterials Processing Technology. 14(2), 427-433.
- Sound Research Laboratories Ltd. 1991. Noise control in industry. 3rd ed., London : E & FN Spon, London, pp. 124-130.
- Rozli, Z., Nor, M., jailani, M., Ahamad, L., Nuawi, R. and Zaki, M. 2009. Comparison of Acoustic Properties between Coir Fiber And Oil Palm Fiber. European Journal of Scientific Research. 33(1), 144 – 152.

Osswald, T.A. 1996. Material Science of Polymer for Engineers, Hanser Publishersa, New York.

Osswald, T.A. and Menges, G. 2012. Material Science of Polymer for Engineers, third ed., Hanser, Ohio, USA.

Youneung, L. and Changwhan, J. 2003. Sound absorption properties of recycled polyester fibrous assembly absorbers. Autex Research Journal. 3(1), 78-84.

Zulkifli, R., Jailani, M.N., Rasdan, A.I., Nuawi, Z.M. and Abdullah, S. 2009. "Comparison of Acoustic Proporties between Coir Fiber and Oil Palm", European Journal of Scientific Research. 144 –152.

*Prince of Songkla University
Pattani Campus*

Prince of Songkla University
Pattani Campus

ภาคผนวก

ภาพผนวก ก ผลการดูดซับเสียง

ตารางที่ ก.1 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลที่ 0 phr

| ความถี่ (Hz) phr | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ที่ความถี่ที่ปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่าง ๆ | | | | |
|------------------------|---|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 125 | 0.9102 | 0.9188 | 0.9190 | 0.9227 | 0.9241 |
| 250 | 0.9491 | 0.9534 | 0.9570 | 0.9585 | 0.9600 |
| 500 | 0.9186 | 0.9221 | 0.9316 | 0.9258 | 0.9293 |
| 1000 | 0.9515 | 0.9551 | 0.9577 | 0.9716 | 0.9759 |
| 1500 | 0.9637 | 0.9695 | 0.9716 | 0.9784 | 0.9819 |
| 2000 | 0.9567 | 0.9600 | 0.9612 | 0.9700 | 0.9759 |
| 3000 | 0.9578 | 0.9618 | 0.9652 | 0.9692 | 0.9744 |
| 4000 | 0.9569 | 0.9600 | 0.9633 | 0.9696 | 0.9743 |

ตารางที่ ก.2 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณที่ 0 phr

| ความถี่ (Hz) phr | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ที่ความถี่ที่ปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่างๆ | | | | |
|------------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 125 | 0.9162 | 0.9197 | 0.9257 | 0.9280 | 0.9382 |
| 250 | 0.95458 | 0.9584 | 0.9600 | 0.9686 | 0.970 |
| 500 | 0.92183 | 0.9312 | 0.9373 | 0.9304 | 0.9373 |
| 1000 | 0.96954 | 0.9719 | 0.9757 | 0.9825 | 0.9883 |
| 1500 | 0.97708 | 0.9878 | 0.9889 | 0.9922 | 0.9955 |
| 2000 | 0.97184 | 0.9812 | 0.9827 | 0.9857 | 0.9904 |
| 3000 | 0.97666 | 0.9832 | 0.9825 | 0.9880 | 0.9895 |
| 4000 | 0.97675 | 0.9826 | 0.9857 | 0.9895 | 0.9914 |

ตารางที่ ก.3 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดหยาบปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณที่ 0 phr

| ความถี่ (Hz) phr | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ที่ความถี่ที่ปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่าง ๆ | | | | |
|------------------------|---|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 125 | 0.9162 | 0.9134 | 0.9131 | 0.9184 | 0.9274 |
| 250 | 0.9311 | 0.9411 | 0.9467 | 0.9501 | 0.9596 |
| 500 | 0.9103 | 0.9161 | 0.9227 | 0.9250 | 0.9272 |
| 1000 | 0.9418 | 0.9488 | 0.9517 | 0.9589 | 0.9651 |
| 1500 | 0.9581 | 0.9629 | 0.9656 | 0.9702 | 0.9766 |
| 2000 | 0.9508 | 0.9556 | 0.9584 | 0.9630 | 0.9666 |
| 3000 | 0.9510 | 0.9565 | 0.9601 | 0.9494 | 0.9687 |
| 4000 | 0.9456 | 0.9526 | 0.9563 | 0.9622 | 0.9664 |

ตารางที่ ก.4 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดหยาบปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 0 phr

| ความถี่ (Hz) phr | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ที่ความถี่ที่ปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่างๆ | | | | |
|------------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 125 | 0.9169 | 0.9154 | 0.9205 | 0.9223 | 0.9311 |
| 250 | 0.9456 | 0.9490 | 0.9529 | 0.9575 | 0.9608 |
| 500 | 0.9155 | 0.9176 | 0.9263 | 0.9277 | 0.9336 |
| 1000 | 0.9564 | 0.9622 | 0.9660 | 0.9698 | 0.9762 |
| 1500 | 0.9661 | 0.9704 | 0.9733 | 0.9763 | 0.9815 |
| 2000 | 0.9600 | 0.9644 | 0.9676 | 0.9715 | 0.9765 |
| 3000 | 0.9611 | 0.9639 | 0.9686 | 0.9716 | 0.9777 |
| 4000 | 0.9619 | 0.9649 | 0.9691 | 0.9730 | 0.9770 |

ตารางที่ ก.5 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr

| ความถี่ (Hz) | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมากและเส้นใยลูกตาล 10 phr | | | | | |
|-----------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | phr | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 125 | | 0.9234 | 0.9346 | 0.9410 | 0.9444 | 0.9475 |
| 250 | | 0.9602 | 0.9050 | 0.9628 | 0.9666 | 0.9694 |
| 500 | | 0.9448 | 0.9484 | 0.9530 | 0.9568 | 0.9613 |
| 1000 | | 0.9272 | 0.9338 | 0.9412 | 0.9465 | 0.9507 |
| 1500 | | 0.9798 | 0.9849 | 0.9876 | 0.9902 | 0.9933 |
| 2000 | | 0.9711 | 0.9744 | 0.9776 | 0.9806 | 0.9876 |
| 3000 | | 0.9786 | 0.9807 | 0.9833 | 0.9854 | 0.9876 |
| 4000 | | 0.9667 | 0.9725 | 0.9761 | 0.9797 | 0.9820 |

ตารางที่ ก.6 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr

| ความถี่ (Hz) | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมากและเส้นใยลูกตาล 10 phr | | | | | |
|-----------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | phr | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 125 | | 0.9282 | 0.9380 | 0.9437 | 0.9456 | 0.9519 |
| 250 | | 0.9619 | 0.9943 | 0.9672 | 0.9710 | 0.9755 |
| 500 | | 0.9466 | 0.9501 | 0.9556 | 0.9609 | 0.9650 |
| 1000 | | 0.9345 | 0.9412 | 0.9452 | 0.9479 | 0.9527 |
| 1500 | | 0.9803 | 0.9883 | 0.9990 | 0.9936 | 0.9956 |
| 2000 | | 0.9745 | 0.9821 | 0.9850 | 0.9876 | 0.9901 |
| 3000 | | 0.9799 | 0.9848 | 0.9877 | 0.9906 | 0.9937 |
| 4000 | | 0.9723 | 0.9801 | 0.983 | 0.9862 | 0.9892 |

ตารางที่ ก.7 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดหยาบปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr

| ความถี่ (Hz) | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมากและเส้นใยลูกตาล 10 phr | | | | |
|-----------------|--|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 125 | 0.9234 | 0.9262 | 0.9307 | 0.9354 | 0.9299 |
| 250 | 0.9563 | 0.9582 | 0.9600 | 0.9629 | 0.9661 |
| 500 | 0.9448 | 0.9472 | 0.9497 | 0.9514 | 0.9544 |
| 1000 | 0.9272 | 0.9296 | 0.9327 | 0.9405 | 0.9357 |
| 1500 | 0.9798 | 0.9826 | 0.9846 | 0.9882 | 0.9915 |
| 2000 | 0.9711 | 0.9726 | 0.9757 | 0.9790 | 0.9852 |
| 3000 | 0.9786 | 0.9797 | 0.9811 | 0.9839 | 0.9886 |
| 4000 | 0.9667 | 0.9654 | 0.9725 | 0.9748 | 0.9832 |

ตารางที่ ก.8 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดหยาบปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr

| ความถี่ (Hz) | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมากและเส้นใยลูกตาล 10 phr | | | | |
|-----------------|--|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 125 | 0.9282 | 0.9318 | 0.9361 | 0.9428 | 0.9447 |
| 250 | 0.9619 | 0.9637 | 0.9657 | 0.9689 | 0.9713 |
| 500 | 0.9466 | 0.9500 | 0.9657 | 0.9689 | 0.9600 |
| 1000 | 0.9345 | 0.9385 | 0.9425 | 0.9462 | 0.9498 |
| 1500 | 0.9803 | 0.9852 | 0.9878 | 0.9914 | 0.9931 |
| 2000 | 0.9745 | 0.9786 | 0.9806 | 0.9833 | 0.9876 |
| 3000 | 0.9799 | 0.9812 | 0.9835 | 0.9868 | 0.9902 |
| 4000 | 0.9723 | 0.9735 | 0.9794 | 0.9829 | 0.9884 |

ตารางที่ ก.9 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr

| ความถี่ (Hz) phr | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมากและเส้นใยลูกตาล 20 phr | | | | |
|------------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 125 | 0.9401 | 0.9499 | 0.9468 | 0.9498 | 0.9540 |
| 250 | 0.9652 | 0.9653 | 0.9691 | 0.9712 | 0.9724 |
| 500 | 0.9480 | 0.9508 | 0.9550 | 0.9583 | 0.9637 |
| 1000 | 0.9545 | 0.9596 | 0.9642 | 0.9713 | 0.9763 |
| 1500 | 0.9854 | 0.9883 | 0.9923 | 0.9942 | 0.9960 |
| 2000 | 0.9723 | 0.9745 | 0.9806 | 0.9852 | 0.9872 |
| 3000 | 0.9776 | 0.9797 | 0.9847 | 0.9878 | 0.9902 |
| 4000 | 0.9730 | 0.9757 | 0.9822 | 0.9850 | 0.9870 |

ตารางที่ ก.10 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr

| ความถี่ (Hz) phr | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมากและเส้นใยลูกตาล 20 phr | | | | |
|------------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 125 | 0.9475 | 0.9509 | 0.9551 | 0.9579 | 0.9639 |
| 250 | 0.9685 | 0.9710 | 0.9746 | 0.9766 | 0.9807 |
| 500 | 0.9519 | 0.9544 | 0.9602 | 0.9648 | 0.9689 |
| 1000 | 0.9548 | 0.9588 | 0.9614 | 0.9685 | 0.9737 |
| 1500 | 0.9589 | 0.9890 | 0.9931 | 0.9958 | 0.9977 |
| 2000 | 0.9733 | 0.9763 | 0.9825 | 0.9869 | 0.9891 |
| 3000 | 0.9808 | 0.9829 | 0.9858 | 0.9889 | 0.9916 |
| 4000 | 0.9763 | 0.9797 | 0.9846 | 0.9888 | 0.9901 |

ตารางที่ ก.11 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดหยาบ ปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr

| ความถี่ (Hz) phr | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมาก และเส้นใยลูกตาล 20 phr | | | | |
|------------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 125 | 0.9401 | 0.9428 | 0.9438 | 0.9458 | 0.9487 |
| 250 | 0.9652 | 0.9646 | 0.9671 | 0.9693 | 0.9721 |
| 500 | 0.9480 | 0.9483 | 0.9526 | 0.9548 | 0.9574 |
| 1000 | 0.9545 | 0.9573 | 0.9587 | 0.9656 | 0.9771 |
| 1500 | 0.9854 | 0.9878 | 0.9903 | 0.9925 | 0.9942 |
| 2000 | 0.9723 | 0.9735 | 0.9760 | 0.9784 | 0.9811 |
| 3000 | 0.9776 | 0.9784 | 0.9797 | 0.9815 | 0.9833 |
| 4000 | 0.9730 | 0.9741 | 0.9764 | 0.9784 | 0.9794 |

ตารางที่ ก.12 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดหยาบ ปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr

| ความถี่ (Hz) phr | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมาก และเส้นใยลูกตาล 20 phr | | | | |
|------------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 125 | 0.9475 | 0.9500 | 0.9473 | 0.9491 | 0.9540 |
| 250 | 0.9685 | 0.9693 | 0.9718 | 0.9745 | 0.9788 |
| 500 | 0.9519 | 0.9529 | 0.9559 | 0.9604 | 0.9630 |
| 1000 | 0.9548 | 0.9529 | 0.9576 | 0.9611 | 0.9654 |
| 1500 | 0.9589 | 0.9871 | 0.9894 | 0.9917 | 0.9933 |
| 2000 | 0.9733 | 0.9746 | 0.9770 | 0.9795 | 0.9827 |
| 3000 | 0.9808 | 0.9814 | 0.9828 | 0.9852 | 0.9882 |
| 4000 | 0.9763 | 0.9774 | 0.9802 | 0.9802 | 0.9837 |



การดูดซับเสียงของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล

Sound Absorption of Natural Rubber Blend with Fibers from Areca Nut Palm Trunk and Sugar Palm Fruit

นุรีดา กะลุแป¹ สมบัติ พุทธจักร²

¹ สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี Tel: 0960791138
 E-mail address: Nureedakalupae.kp@gmail.com

² รศ.ดร., สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
 Corresponding author: Tel: 073-312201, E-mail address: sombat.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัย คือ ศึกษาการดูดซับเสียงของแผ่นยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมาก (ที่ผ่านการบด ชนิดละเอียดและหยาบ ปริมาณ 0-12 phr) และเส้นใยลูกตาลที่ปริมาณ 0, 10 และ 20 phr โดยขึ้นรูปขึ้นทดสอบหนา 1 และ 3 mm จากนั้นทดสอบการดูดซับเสียงด้วยชุดทดสอบนิ่ง (Kundt's tube) ซึ่งพบว่ากราฟของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ $\alpha(f)$ แสดงความถี่เพื่อการดูดซับเสียงสามตำแหน่งคือ ที่ 250 Hz, 1,500 Hz และ 3,000 Hz โดยเป็นผลมาจากการมีองค์ประกอบของยาง ของเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล ตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นทดสอบหนา 3 mm สามารถดูดซับเสียงได้ดีที่สุดเมื่อผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr และมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง $\alpha_{max}(f) = 0.9916$ และเมื่อผสมเส้นใยลูกตาลชนิดหยาบ $\alpha_{max}(f) = 0.9882$ ที่ความถี่ 3,000 Hz เช่นกัน

คำสำคัญ: เส้นใยภายในต้นหมาก เส้นใยจากลูกตาล ความถี่ห้อง สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

Abstract

This research was aimed to study sound absorption properties of natural rubber sheet derived from natural rubber blend with areca nut palm trunk fibers (at different loading, 0-12 phr by crushed into fine and coarse size) sugar palm fiber at 0, 10 and 20 phr. The samples were prepared in two thicknesses of 1 and 3 mm then tested for their acoustic absorption properties by using a standing wave tube (Kundt's tube) tester. The plot of absorption coefficient $\alpha(f)$ and frequency, shown the resonance frequency of absorption at 250 Hz, 1,500 Hz and 3,000 Hz as a reason from compositions of rubber and the fibers. The results showed that when the thickness was 3 mm, the resonance frequency of natural rubber filled with fibers of fine size and coarse size, gave $\alpha_{max}(f) = 0.9916$ and 0.9882 respectively at a frequency of 3,000 Hz.

Keywords: Areca Nut Palm Trunk Fiber, Sugar Palm Fiber, Resonance Frequency, Acoustic Absorption Coefficient



1. บทนำ

ปัจจุบันในสังคมเมืองใหญ่มีสภาพแวดล้อมมลพิษทางเสียงที่ไม่พึงปรารถนาเกิดขึ้นมาก เช่นเสียงจากรถยนต์บนเส้นทางจราจรในเขตเมืองใหญ่ จากโรงงานอุตสาหกรรม จากสนามบิน จากตู้ช้อปมรดและจากสถานบันเทิงเป็นต้น ทำให้เกิดความรำคาญและเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง[1] การลดและควบคุมป้องกันการเกิดมลพิษทางเสียงมีหลายรูปแบบ เช่น ใช้วัสดุดูดซับเสียงโดยพัฒนาวัสดุผสมที่มีหลายกลไกของการดูดซับ เช่น ผสมพลาสติก[2] หรือผสมยาง[3] ที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว โดยเลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและมีสมบัติเชิงพีสิคส์ที่ดี[4] ซึ่งจะนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง[5] และเป็นวัสดุผสมทางเลือกใหม่[6] หรือใช้วัสดุจากพืชมาผสม[7-8] อย่างไรก็ตาม การดูดซับเสียง เป็นสมบัติเฉพาะทางของวัสดุที่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัสดุ เช่น การมีรูพรุน เป็นต้น นอกจากนี้ยังขึ้นกับสัดส่วนองค์ประกอบของวัสดุผสมหลายชนิด ซึ่งเกิดขึ้นเพราะพลังงานเสียงถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนภายในเนื้อวัสดุหรืออาจจะใช้กลไกอื่นๆ ในการเปลี่ยนพลังงานเสียง เช่น การขยับตัวของโมเลกุลของตัวกลางนั้นๆ การขยับตัวของอนุภาคสารตัวเติม และการขยับตัวของโมเลกุลอากาศในรูพรุนภายในของเส้นใย [9] จึงเป็นที่มาของการวิจัยนี้

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการดูดซับเสียงของแผ่นยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากที่ผ่านการบดชนิดละเอียดและหยาบ ปริมาณ 0-12 phr และเส้นใยลูกตาลหีบปริมาณ 0, 10 และ 20 phr และศึกษาอิทธิพลของชั้นตัวอย่างที่หนาต่างกัน สองค่าคือ 1 และ 3 mm

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆของการวิจัยคือ เส้นใยจากต้นหมากที่อบแห้ง โดยใช้เส้นใยภายในต้นหมากที่แก่และผ่านการตากแดดเป็นเวลา 7 วัน แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงที่ได้ขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.25 mm สำหรับชนิดละเอียดและได้ขนาดเฉลี่ยประมาณ 2 mm สำหรับชนิดหยาบ ดังภาพที่ 1 ส่วนเส้นใยลูกตาลโดนสที่สุกแล้ว ได้มาจากการนำลูกตาลสุกแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำความสะอาดแล้วตากแดด 7 วัน แล้วเอาเปลือกนอกแข็งที่แห้งไปจะให้ได้เส้นใยที่ได้ไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และทำการบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงที่ได้เส้นใยตามที่ต้องการ ดังภาพที่ 2 สำหรับวิธีการทดสอบ ให้นำเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลไปเชื่อมสีเพื่ออยู่โครงสร้างภายในตัวกล้องจุลทรรศน์ Olympus รุ่น Motic Live Imaging Moduld ที่กำลังขยาย 400 เท่า ส่วนขั้นตอนผสมยางคอมปาวด์ เริ่มจากนำธรรมชาติ (Natural Rubber) ชนิด STR 5L มาบดให้สายโซ่โมเลกุลยาวสั้นลง แล้วผสมกับสารเคมีต่อไปตามลำดับ ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการเริ่มต้นปฏิกิริยาใช้ร่วมกับสารกระตุ้นคือ กรดสเตียริก (Stearic acid) ใช้สารเร่งปฏิกิริยา คือ N-cyclohexy-2-benzothiazyl Sulphenamide (CBS) ส่วนสารแอนติออกซิแดนท์ คือ N-phenyl-N'-1, 3-dimethylbutyl-phenylenediamine (DBPD) อีกทั้ง ใช้เส้นใยภายในต้นหมากและเส้นใยลูกตาลเป็นสารตัวเติม ส่วนสารตัวสุดท้ายที่ทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่ยางโดยโมเลกุลกำมะถัน (Sulphur) ทั้งนี้ สูตรผสมที่พัฒนาสำหรับการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมี 15 สูตรแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 โดยแทนด้วยสัญลักษณ์ F1 ถึง F3 นอกจากนี้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย เครื่องชั่งไฟฟ้าที่มีความละเอียด 0.001 g เครื่องบดและผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) เครื่องหาเวลาสุกของยางแบบ Oscillating Disc Rheometer (ODR) เครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด (Compression Moulding) ชุดทดสอบการดูดซับเสียงแบบคลื่นนิ่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดเสียงรุ่น LAG-1208 AUDIO GENERATOR มีความถี่ 0-5,000 Hz ผลิตโดย บริษัท LEADER ELECTRONICS CORP Japan ลำโพง หัววัด และ ชุดเก็บข้อมูล (Data Logger) รุ่น EASY SENSE Advanced ผลิตโดยบริษัท DATA HARVEST โดยนำมาประกอบและสร้างชุดทดสอบการดูดซับเสียงแบบคลื่นนิ่งดังแสดงในภาพที่ 3 อีกทั้ง เครื่องทดสอบความหนาแน่นระบบไฟฟ้า (Electronic Densitymeter) รุ่น MD - 300S แสดงในภาพที่ 4A ผลิตโดย



บริษัท Alfa Mirage ซึ่งใช้หลักการอาร์คิมิดีสในการคำนวณหาความหนาแน่น โดยซึ่งมวลในอากาศ ซึ่งมวลในน้ำ แล้วหาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ เครื่องทำงานโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์และวัดละเอียดได้ 0.001 g/cm^3 โดยการนำแผ่นยางขึ้นทดสอบมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ $4 \times 4 \text{ cm}^2$ แล้วหาความหนาแน่น และศึกษาสมบัติทางกายภาพของโครงสร้างภายในและการเป็นรูพรุนของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยจากตาลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น Quanta 400 โดยมีกำลังขยายสูงสุดถึง 300,000 เท่า



ภาพที่ 1 A. เส้นใยภายในต้นหมากที่อบแห้งก่อนการบด B. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์เส้นใยภายในต้นหมากที่อบแห้งก่อนการบด C. หลัการบดชนิดละเอียด (0.25 mm) และชนิดหยาบ (2 mm)



ภาพที่ 2 A. เส้นใยจากลูกตาลโตนดที่ถูกหีบแห้งก่อนการบด B. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์เส้นใยจากลูกตาลโตนดที่ถูก C. เส้นใยจากลูกตาลโตนดที่ถูกหีบแห้ง

ทั้งนี้ยางคอมปาวด์ผสมแล้ว (ตามสูตรตารางที่ 1) มีทั้งหมด 15 สูตรผสม ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ F1 - F3 ทักไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปหาเวลาสุกของยาง (เวลาที่เยื่อขยายในเบ้าพิมพ์) ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบแกว่ง (ODR) แล้วนำยางดังกล่าวไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเป่าที่อุณหภูมิและใช้เวลาดำเนินการตามที่ได้จากเครื่อง ODR ได้แผ่นยางผสมขึ้นรูปแล้วมีรูปร่างสี่เหลี่ยมขนาด $16 \times 16 \text{ cm}^2$ ที่ความหนา 1 mm และ 3 mm หลังจากนั้นทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง



ภาพที่ 3 ชุดทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงที่สร้างขึ้น โดยใช้เครื่องกำเนิดเสียงรุ่น LAG-120B AUDIO GENERATOR ผลิตโดย LEADER ELECTRONICS CORP Japan [10]

การหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

ในการทดสอบนั้น ทำได้โดยการนำชิ้นทดสอบติดตั้งที่ฝาครอบปลายท่อด้านขวา โดยให้ชิ้นทดสอบตั้งฉากกับความยาวท่อ แล้วเปิดเครื่องกำเนิดความถี่เสียง ตั้งค่าความถี่เสียงที่ 125 Hz วัดค่าระดับความดันเสียงต่ำสุดและสูงสุดค่าแรกหลังจากสะท้อนแผ่นยางดังภาพที่ ภาพที่ 4B ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการทดลองที่ความถี่ $250, 500, 1,000, 1,500, 2,000, 3,000$ และ $4,000 \text{ Hz}$ ตามลำดับ



ตาราง 1 สูตรยางผสมที่ใช้ศึกษาการดูดซับเสียง:

| การเติม | ปริมาณ (phr) | | |
|------------------|----------------|----------------|----------------|
| | F1 | F2 | F3 |
| NR (STR 5L) | 100 | 100 | 100 |
| ZnO | 4 | 4 | 4 |
| Stearic Acid | 2 | 2 | 2 |
| CBS | 1 | 1 | 1 |
| 6PPD | 1 | 1 | 1 |
| Sugar palm Fiber | 0 | 10 | 20 |
| Betel palm Fiber | 0, 3, 6, 9, 12 | 0, 3, 6, 9, 12 | 0, 3, 6, 9, 12 |
| Sulphur | 2.5 | 2.5 | 2.5 |



A



B

ภาพที่ 4 A. เครื่องหาความหนาแน่นระบบไฟฟ้า

B. แสดงลักษณะความถี่สูงสุดและความถี่ต่ำสุด

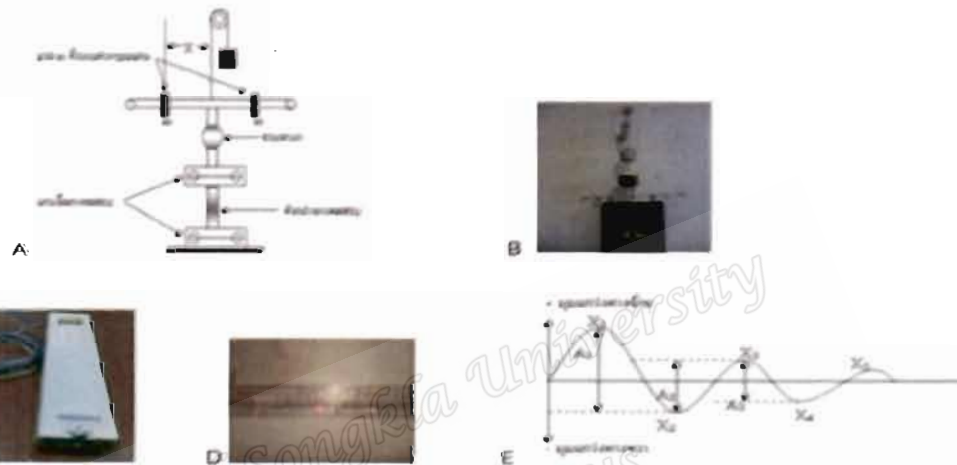
จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ได้ตามนิยามอัตราส่วนของความถี่สูงสุดต่อความถี่ต่ำสุดของคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้น (Standing wave ratio; SWR) โดย $SWR = \frac{A+B}{A-B}$ ซึ่งสามารถจัดสมการอยู่ในรูปสัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียง (Sound power reflection coefficient; R) คือ $R = \frac{B}{A} = \frac{SWR-1}{SWR+1}$ มี

ความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ดังสมการ $\alpha = 1 - R^2 = 1 - \frac{(SWR-1)^2}{(SWR+1)^2}$ นั่นคือเมื่อ R มีค่า

น้อยแล้ว (α) จะมีค่ามากหรือมีการสลายพลังงานที่โครงสร้างภายในเนื้อวัสดุซึ่งสามารถทดสอบยืนยันได้เช่นกันจากชุดทดสอบบัตติเชิงพลวัตของการปิด ดังภาพที่ 5 ที่ประกอบด้วยที่ยึดแถบยางทดสอบให้อยู่ในแนวตั้งสามารถปิดไปมาอย่างอิสระได้ดังภาพที่ 5 โดยมีแกนโลหะติดกระจกและแกนโลหะตั้งฉากที่มีมวล m สองอันวางอยู่ห่างแกนกลางระยะ x ที่สามารถปรับค่าความเคี้ยวของระบบได้จากค่า $2mx^2$ ซึ่งการหาค่าפקเตอร์ของการสูญเสีย (loss δ) จากการปิดของยาง หมายถึงสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียภายในโครงสร้างของวัสดุต่อพลังงานที่ใช้ในการปิดแต่ละรอบของการปิด โดยนำยางที่ขึ้นรูปแล้วมาตัดเป็นชิ้นทดสอบขนาด $3 \times 10 \times 1$ mm³ ติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบบัตติเชิงพลวัตของการปิด ทำการแกว่งมวล m ในระนาบการปิดแนวอนด้วยมุมน้อย ๆ ทำให้แถบยางปิดไปมาเช่นกัน จากจุดเสเซอร์ที่แสงไปสะท้อนที่กระจกแล้วมาตกบนฉากที่มีสเกล จากนั้นวัดคาบของการปิดและแอมพลิจูดจากจุดสูงสุดถึงจุดต่ำสุดของการแกว่ง การวิเคราะห์ข้อมูลจะเริ่มจากการหาความเคี้ยวของระบบที่แกว่งอย่างอิสระ (δ) โดยหาจากข้อมูลเชิงการทดลองการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 และ $2mx^2$ ได้กราฟเส้นตรงแล้วหาค่าความชันและค่าจุดตัดของกราฟแล้วนำไปสู่การหาค่า $I_0 = 9.85 \times 10^{-5}$ kg - m² ของระบบ ทั้งนี้ สำหรับ



ยางที่มีอัตราตึงสูงทำให้การบิดไปมาเกิดขึ้นเร็ว การวัดค่าต่าง ๆ ทำได้ลำบาก จึงต้องเพิ่มความเฉื่อยแก่ระบบโดยวางมวล m ที่แกนตั้งฉากทั้งสองข้างที่ระยะ x (ภาพที่ E) ความเฉื่อยลัพท์ คือ $I = I_0 + 2mx^2$ จากนั้นหาค่า Logarithmic decrement (Δ) จาก $\Delta = \ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right)$ เมื่อ A_1, A_2 คือ แอมพลิจูดที่ลดลงต่อเนื่องหลังจากที่สูญเสียภายในโครงสร้างของวัสดุ ค่ามอดูลัสการบิดเชิงซ้อน คือ $G^* = G' + iG''$ โดยพลังงานสะสมในแต่ละรอบ



ภาพที่ 5 ชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการบิด A. ภาพวาด B. ภาพถ่าย C. แหล่งกำเนิดเลขเซอร์ D. เลขเซอร์ที่สะท้อนกลับมานบนฉาก E. ภาพวาดแอมพลิจูดที่ลดลงต่อเนื่องของแต่ละรอบการบิด

การบิดคือทอมจำนวนจริงหรือมอดูลัสอัตราตึง $G' = \frac{I}{\kappa I^2} (4\pi^2 - \Delta^2)$ และทอมจำนวนจินตภาพคือมอดูลัสสูญเสีย (loss modulus) จะสัมพันธ์กับพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อยางที่สัมพันธ์กับโครงสร้างภายในของวัสดุ คือ $G'' = \frac{4\pi\Delta}{\kappa I^2}$ เมื่อ κ คือ shape factor สำหรับวัสดุที่เชื่อมหาได้โดย $\kappa = \frac{CD^3}{16l} \mu$

และ $\mu = 5.33 \left(1 - 0.63 \frac{D}{C}\right)$ เมื่อ C คือ ความกว้างของชั้นทดสอบ D คือ ความหนาของชั้นทดสอบ และ l คือ ระยะระหว่างแกนบิดของชั้นทดสอบ ดังนั้นสมบัติสมบัติเชิงพลวัตที่ไม่ขึ้นกับรูปร่างของชั้นทดสอบ คือสัดส่วนของพลังงานสูญเสียต่อพลังงานสะสมของแต่ละรอบการบิด คือ $\frac{G''}{G'} = \frac{4\pi\Delta}{4\pi^2 - \Delta^2} = \tan \delta$ ซึ่งจะแสดงสมบัติเฉพาะ (Characteristics properties) ของวัสดุนั้นเชื่อมโยงโครงสร้างภายในซึ่งแสดงสัดส่วนการเกิดปริมาณความร้อนหรือการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นขณะแกว่งแต่ละรอบ เมื่อ Δ มีค่าน้อย นั่นคือ $\Delta^2 = 0$ แล้วจะได้ว่า $\Delta = \pi \tan \delta$ หรือ $\frac{\Delta}{\pi} = \tan \delta$ การหาค่าความหนาแน่นของชั้นทดสอบ คือ ยางธรรมชาติผสมแลนโซจากลำดับหนัก (ในปริมาณ 0, 3, 6, 9, 12 phr) และเส้นใยลูกตาล (ปริมาณ 0, 10, 20 phr) โดยเตรียมขึ้นตัวอย่างเป็น



แผ่นหนา 1 และ 3 mm ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปหาความหนาแน่นโดยใช้เครื่องวัดความหนาแน่น Electronic Densimeter รุ่น MD-3005 และ Minimum density resolution: 0.001 g/cm³ ซึ่งใช้หลักการอาร์คิมิดีสในการคำนวณหาความหนาแน่น โดยซึ่งมวลในอากาศ ซึ่งมวลในน้ำ หาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ เครื่องทำงานโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยกรรมวิธีทดสอบมาตั้งแต่เป็นสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ๆ ทุกการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย และทดสอบสมบัติทางกายภาพของโครงสร้างภายในและการเป็นรูพรุนของยาธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น Quanta 400 นำชิ้นตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยใช้เครื่อง SEM โดยเลือกกำลังขยาย 50 เท่า 100 เท่า และ 500 เท่า ตามลำดับ

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการศึกษาสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α)

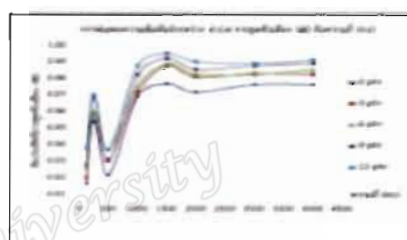
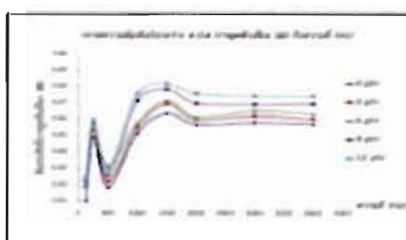
ตารางที่ 2 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ผสมเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr และเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณ 0-12 phr

| ความถี่ (Hz) | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่ กรณีเส้นใยลูกตาล 20 phr และเส้นใยจากลำต้นหมาก 0-12 phr | | | | |
|--------------|---|--------|--------|--------|--------|
| | 0 phr | 3 phr | 6 phr | 9 phr | 12 phr |
| 125 | 0.9475 | 0.9500 | 0.9473 | 0.9491 | 0.9540 |
| 250 | 0.9685 | 0.9693 | 0.9718 | 0.9745 | 0.9788 |
| 500 | 0.9519 | 0.9529 | 0.9559 | 0.9604 | 0.9630 |
| 1000 | 0.9548 | 0.9529 | 0.9576 | 0.9611 | 0.9654 |
| 1500 | 0.9589 | 0.9671 | 0.9894 | 0.9917 | 0.9933 |
| 2000 | 0.9733 | 0.9746 | 0.9770 | 0.9795 | 0.9827 |
| 3000 | 0.9808 | 0.9814 | 0.9828 | 0.9852 | 0.9882 |
| 4000 | 0.9763 | 0.9774 | 0.9802 | 0.9802 | 0.9837 |

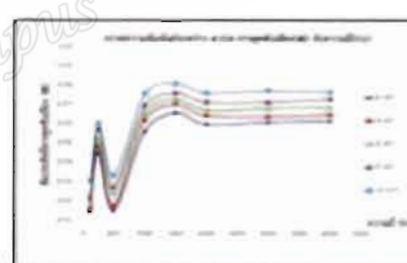
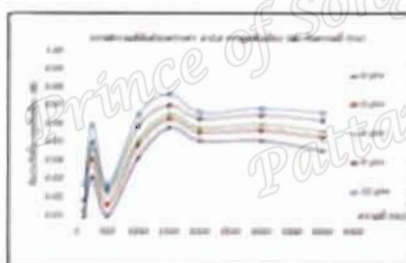
จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นการดูดซับเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ นั้นขึ้นกับปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลที่ผสม เมื่อนำมาแสดงในกราฟที่ 6 รูปร่างของกราฟจะขึ้นกับความหนาของชิ้นทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟที่ 7 รูปร่างกราฟยังขึ้นกับขนาดของเส้นใยจากลำต้นหมากที่ผสม (ชนิดละเอียดและชนิดหยาบ) แต่ละกราฟมีสองยอด (Peak) เนื่องจากมีสององค์ประกอบหลักในการดูดซับเสียงคือ ยางและเส้นใยจากลำต้นหมาก แสดงความถี่ที่องศาของการดูดซับเสียงสองจุดคือ ที่ 250 Hz และ 1,500 Hz เป็นของยางและของเส้นใยตามลำดับ ซึ่งต่างจากแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 และ 20 phr (ชนิดละเอียดและชนิดหยาบ) ความหนา 1 mm และความหนา 3 mm การดูดซับเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ นั้นขึ้นกับปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลที่ผสม เมื่อนำมาแสดงในกราฟที่ 8 และ 10 รูปร่างของกราฟขึ้นกับความหนาของชิ้นทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟที่ 9 และ 11 รูปร่างกราฟยังขึ้นกับขนาดของเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลที่ผสม (ชนิดละเอียดและชนิดหยาบ) แต่ละกราฟจะมีสามยอด (Peak) เนื่องจากมีสามองค์ประกอบหลักในการดูดซับเสียงคือ ยาง เส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล แสดงความถี่ที่องศาของการดูดซับเสียงสามจุดคือ ที่ 250 Hz 1,500 Hz และ 3,000 Hz เป็นของยางและของเส้นใยทั้งสอง



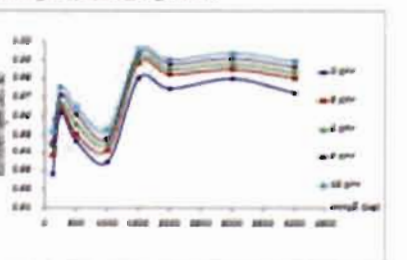
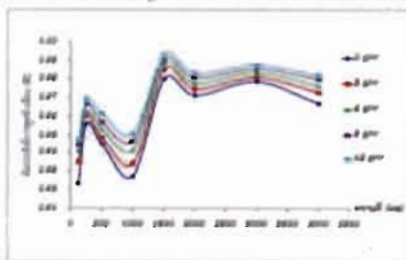
ชนิดตามลำดับ ความถี่ที่pongแสดงสมบัติเฉพาะของวัสดุนั้น ๆ ที่ความถี่ของpongจะมียอดกราฟที่กว้างและสูงตามปริมาณยางที่ผสมในแต่ละสูตร การดูดซับเสียงเกิดจากการเคลื่อนไหวของสายโซ่บางส่วนที่อยู่ระหว่างจุดพันกัน (molecular weight between entanglements) ส่วนเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลมีหลายกลไกการดูดซับพลังงานเพราะมีหลายองค์ประกอบคือ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อไซเล็ม (sylem) ที่ทำการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุต่าง ๆ จากรากขึ้นสู่ลำต้นและใบ เนื้อเยื่อโฟลเอ็ม (phloem) ที่ลำเลียงอาหารจากใบไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช เนื้อเยื่อพาราเควอมา (parenchyma) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีชีวิตทำหน้าที่ค้าอุบให้ความแข็งแรงและมีช่องว่างอากาศอยู่ซึ่งทำให้เนื้อเยื่อมีสมบัติคล้ายฟองน้ำดังภาพที่ 12 ดังนั้นกราฟของการดูดซับเสียงมีฐานระยั้งที่กว้างขึ้นดูดซับได้หลายความถี่



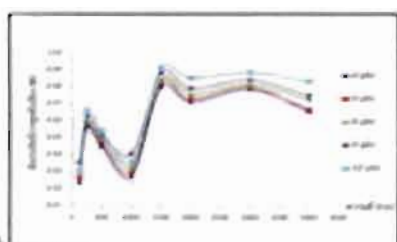
ภาพที่ 6 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 0 phr ชนิดละเอียด ภาพ A ความหนา 1 mm และภาพ B ความหนา 3 mm



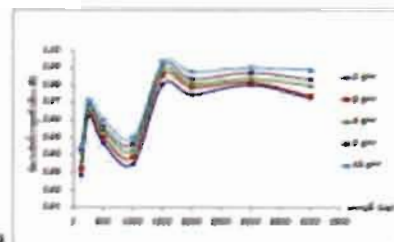
ภาพที่ 7 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 0 phr ชนิดหยาบ ภาพ A ความหนา 1 mm และภาพ B ความหนา 3 mm



ภาพที่ 8 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr ชนิดละเอียด ภาพ A ความหนา 1 mm และภาพ B ความหนา 3 mm

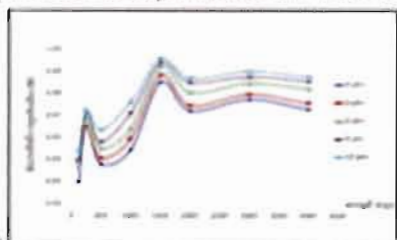


A

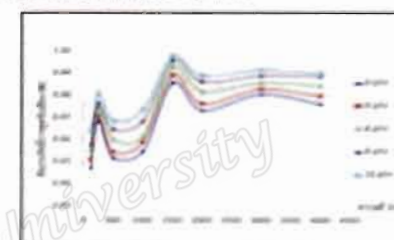


B

ภาพที่ 9 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr ชนิดหยาบ ภาพ A ความหนา 1 mm และภาพ B ความหนา 3 mm

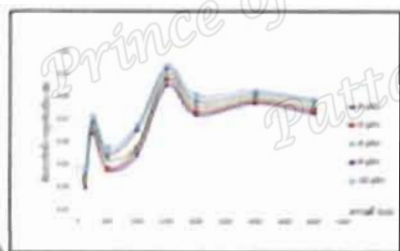


A

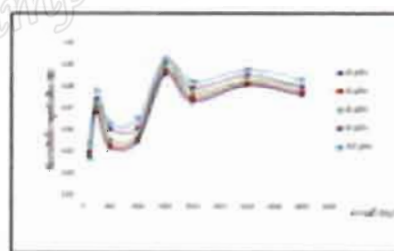


B

ภาพที่ 10 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr ชนิดละเอียด ภาพ A ความหนา 1 mm และภาพ B ความหนา 3 mm

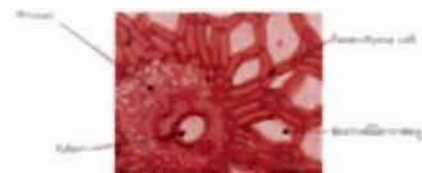


A



B

ภาพที่ 11 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr ชนิดหยาบ ภาพ A ความหนา 1 mm และภาพ B ความหนา 3 mm



A

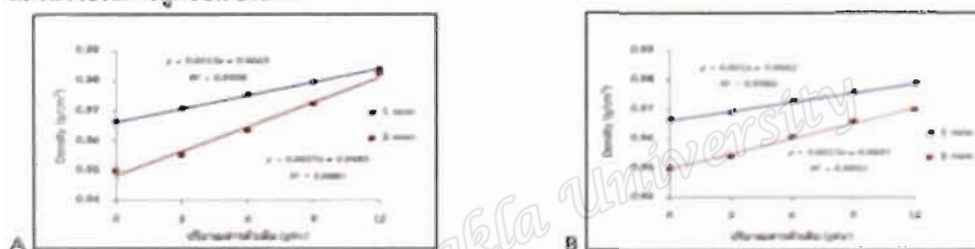


B

ภาพที่ 12 A. โครงสร้างของเส้นใยภายในต้นหมาก B. โครงสร้างของเส้นใยลูกตาล ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 600 เท่า ประกอบด้วย เนื้อเยื่อไซเลม (xylem) เนื้อเยื่อโฟลเอ็ม (phloem) พarenchyma และช่องว่างอากาศ



ภาพที่ 13 ภาพจากเครื่อง SEM ของแผ่นดูดซับเสียงผสมจากลำต้นหมากปริมาณ 12 phr และเส้นใยลูกตาล ปริมาณ 20 phr ทำสิ่งขยาย A. 50 เท่า B. 100 เท่า และ C. 500 เท่า ตามลำดับ จากภาพที่ 13 พบทิศทางกายภาพของโครงสร้างภายในของเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลตามปริมาณสาร ตัวเติมที่กล่าวไว้ข้างต้น พบว่าเส้นใยจากต้นหมากและเส้นใยลูกตาลมีรูพรุนที่กว้าง มีรูปร่างเป็นทรงเหลี่ยมที่ชัดเจน มีส่วนช่วยในการดูดซับเสียงได้ดี



ภาพที่ 14 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใยจากลำต้นหมาก สำหรับเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\tan \delta$ กับปริมาณสารตัวเติม (phr) ของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากสำหรับเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ

จากภาพที่ 14 แผ่นยางดูดซับเสียงความหนา 1 mm ความหนาแน่นมากกว่าแผ่นยางที่หนา 3 mm จึงทำให้แผ่นยางหนา 1 mm ดูดซับเสียงได้น้อยกว่าแผ่นยางที่หนา 3 mm อันเป็นผลมาจากการขึ้นรูปแผ่นยางที่หนา ซึ่งมีจำนวนสายโซ่ยางมาก เมื่อเกิดด้วยความเค้นค่าหนึ่ง การร้าวแตกจากโซ่ยางจะเกิดมากตาม โซ่ยางที่อยู่ด้านบนจึงไม่ถูกกระทำ การไล่อากาศออกจากช่องว่างของเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยจากลูกตาลได้น้อย และจากภาพที่ 15 โดยที่แท่งเคอร์ของการสูญเสีย ($\tan \delta$) จากการบิดของยางในแต่ละรอบของแผ่นยางหนา 3 mm จะมีค่ามากกว่าของแผ่นยางหนา 1 mm เนื่องจากโครงสร้างภายในสามารถคลายพลังงานได้ดีกว่า ทั้งสารตัวเติมชนิดละเอียด และชนิดหยาบ และยังสอดคล้องกับความหนาแน่นและผลของการดูดซับเสียง ทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกันอย่างน้อยก็สำคัญกับสมบัติการดูดซับเสียง



5. ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาเปรียบเทียบกับเส้นใยพืชชนิดอื่น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณแผนกวิชาฟิสิกส์ที่สนับสนุนใช้เงินวัสดุแผนกซื้อวัสดุวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีการยางและพอลิเมอร์ในการใช้เครื่องมือการทดสอบและขึ้นรูปยางและขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนการวิจัย

7. บรรณานุกรม

- [1] António, J. (2011). Acoustic behaviour of fibrous materials, University of Coimbra, Portugal.
- [2] Youneung, L., and Changwhan, J. (2003). Sound absorption properties of recycled polyester fibrous assembly absorbers. *Autex Research Journal*, 3 : 78-84.
- [3] Sobral, M., Samagaio, A.J.B., Ferreira, J.M.F., and Labrincha, J.A. (2003). Mechanical and acoustical characteristics of bound rubber granulate. *Journal of Materials Processing Technology*, 142 : 427-433.
- [4] Algaily, B., and Puttajuk, S. (2014). Acoustic Absorption and Physicomechanical Properties of SBR/RR foam. *International Journal of Technical Research and Applications*. 2, 15-18.
- [5] Benkreira, H., Khan, A. and Horoshenkov, K. V. (2011). Sustainable acoustic and thermal insulation material from elastomeric waste residues. *Chemical Engineering Science*, 66(18), 4157-4171.
- [6] Hong, Z., Bo, L., Guangsu, H. and Jia, H. (2007). A novel composite sound absorber with Recycled rubber particles, *Journal of sound and vibration*, 304(1-2), 400-406.
- [7] Ismail, L., Ghazali, M.I., Mahzan, S., and Zaidi, A. M. A. (2010). Sound Absorption of Arenga Pinnata Natural Fiber. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation Journal*, 4(7). 601-603.
- [8] Rozli, Z., Nor, M., jafiani, M., Alhamad, L., Nuawi, R. and Zaki, M. (2009). Comparison of Acoustic Properties between Coir Fiber And Oil Palm Fiber. *European Journal of Scientific Research*. 33(1), 144 – 152.
- [9] Osswald, T.A. (1996). *Material Science of Polymer for Engineers*, Hanser Publishers, New York.
- [10] นูริดา กะอูแมป ธรรมิห นาวารัตน์ และสมบัติ พุทธจักร. (2559). การดูดซับเสียงของ SBR ผสมเส้นใยภายในไส้ต้นหมาก. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณบูรณาการงานวิจัยเพื่อสังคมครั้งที่ 26, จังหวัดสงขลา, 26-29 พฤษภาคม 2559, หน้า 215 – 222.

026

การดูดซับเสียงของยาง SBR ผสมเส้นใยภายในลำต้นหมาก
Sound Absorption of Fibers within The Trunk of Betel Palm Filled Styrene-Butadiene Rubber.

นุรีดา กะลุแป้¹ ธรนิศ นาวารัตน์² และสมบัติ พุทธจักร³
Nureeda Kalupae¹, Thoranit Navarat² and Sombat Puttajakr³

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัย คือ ศึกษาการดูดซับเสียงของแผ่นยางสังเคราะห์ (SBR) ผสมเส้นใยภายในต้นหมากที่ผ่านการบด ชนิดละเอียดและหยาบ ปริมาณ 0-15 phr ขึ้นรูปขึ้นทดสอบหนา 3 mm และ 6 mm ทดสอบการดูดซับเสียงด้วยชุดท่อคลื่นนิ่ง (Kundt's tube). พบว่ากราฟของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ $\alpha(f)$ แสดงความถี่พ้องการดูดซับเสียงสองตำแหน่งคือ ที่ 250 Hz และ 2,000 Hz เป็นของยางและของเส้นใยตามลำดับ และขึ้นทดสอบหนา 6 mm ดูดซับเสียงได้ดีที่สุดเมื่อผสมเส้นใยชนิดละเอียดมี $\alpha_{max}(f) = 0.9889$ และเมื่อผสมเส้นใยชนิดหยาบมี $\alpha_{max}(f) = 0.9796$ ที่ความถี่ 2,000 Hz

คำสำคัญ: เส้นใยภายในต้นหมาก ความถี่พ้อง สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

Abstract

The aim of this research was to study sound absorption properties of rubber sheet made up from styrene-butadiene rubber (SBR) filled with palm fiber, at different loading, 0-15 phr. Palm fiber was broken down to small chips with fine and coarse size. The samples were prepared in two thicknesses of 3 and 6 mm then tested for their acoustic absorption properties by using a standing wave tube (Kundt's tube). The plot of absorption coefficient and frequency, $\alpha(f)$ shown the resonance frequency of absorption at 250 Hz and 2,000 Hz corresponding to that of rubber and the fiber. The results shown that when the thickness was 6 mm, the resonance frequency of styrene-butadiene rubber (SBR) filled with fibers of fine size and big size, gave $\alpha_{max}(f) = 0.9889$ and 0.9796 respectively at a frequency of 2,000 Hz.

Keywords: Fibers within The Trunk of Betel Palm, Resonance Frequency, Acoustic Absorption

¹ นักศึกษาปริญญาโทสาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 94000

² ผศ.ดร., สาขาฟิสิกส์ประยุกต์(ฟิสิกส์พอลิเมอร์) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 94000

³ รศ.ดร., สาขาฟิสิกส์ประยุกต์(ฟิสิกส์ของแข็ง) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 94000

^{*} Corresponding author: Tel.: 075-312201, E-mail address: sombat.p@psu.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันในสังคมเมืองใหญ่มีสภาพแวดล้อมพิษทางเสียงที่ไม่พึงปรารถนาเกิดขึ้นมาก เช่นเสียงจากรถยนต์บนเส้นทางจราจรในเขตเมืองใหญ่ จากโรงงานอุตสาหกรรม จากสนามบิน จากที่อยู่อาศัยและจากสถานบันเทิงเป็นต้น ทำให้เกิดความรำคาญและเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง[1] การลดและควบคุมป้องกันการเกิดมลพิษทางเสียงมีหลายรูปแบบ เช่น ใช้วัสดุดูดซับเสียงโดยพัฒนาวัสดุผสมที่มีหลายกลไกของการดูดซับ เช่น ผสมพลาสติก [2] หรือผสมยาง[3] ซึ่งผ่านการใช้งานมาแล้ว โดยเลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและมีสมบัติเชิงฟิสิกส์ที่ดี[4] ซึ่งจะนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง[5] และเป็นวัสดุผสมทางเลือกใหม่[6] หรือใช้วัสดุจากพืชมาผสม[7-8] จึงเป็นที่มาของการวิจัยนี้

วิธีการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆของวิธีการวิจัยคือ เส้นใยภายในดินหมากที่อบแห้ง โดยใช้เส้นใยภายในดินหมากที่แก่ตากแดด 7 วัน นำมาอบที่อุณหภูมิ 70 °C ในเวลา 48 ชั่วโมง นำไปบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงให้ได้ขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.25 mm สำหรับชนิดละเอียดและให้ได้ขนาดเฉลี่ยประมาณ 2 mm สำหรับชนิดหยาบดังภาพที่ 1 นำเส้นใยภายในดินหมากไปเชื่อมสี่จุดโครงสร้างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์ Olympus รุ่น Motic Live Imaging Modul กำลังขยาย 400 เท่า ส่วนขั้นตอนผสมยางเริ่มจากนำยางสไตรีนบิวตาไดอิน (Styrene-Butadiene Rubber) มาบดให้โซยางเส้นสั้นแล้วผสมกับสารเคมีต่อไปตามลำดับ ซึ่งคือออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการเริ่มต้นปฏิกิริยาใช้ร่วมกับสารกระตุ้น คือ กรดสเตียริก (Stearic acid) สารเร่งปฏิกิริยา คือ N-cyclohexyl-2-benzothiazyl Sulphenamide (CBS) ส่วนสารแอนติออกซิแดนต์ คือ N-phenyl-N'-1, 3-dimethylbutyl-phenylenediamine (6PPD) เส้นใยภายในดินหมากเป็นสารตัวเติมและสารตัวสุดท้ายที่ทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างโซยางโดยโมเลกุลกำมะถัน (Sulphur) สูตรผสมที่พัฒนาสำหรับการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมี 6 สูตรแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 แทนด้วยสัญลักษณ์ F1 ถึง F6 อุปกรณ์ประกอบด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าที่มีความละเอียด 0.001 g เครื่องบดและผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) เครื่องหาเวลาสุกของยางแบบ Oscillating Disc Rheometer (ODR) เครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด (Compression Moulding) ชุดทดสอบการดูดซับเสียงแบบคลื่นนิ่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดเสียงรุ่น LAG-120B AUDIO GENERATOR มีความถี่ 0-5,000 Hz ผลิตโดย บริษัท LEADER ELECTRONICS CORP Japan สำโพง หัววัด และ ชุดเก็บข้อมูล (Data Logger) รุ่น EASY SENSE Advanced ผลิตโดยบริษัท DATA HARVEST นำมาประกอบและสร้างชุดทดสอบการดูดซับเสียงแบบคลื่นนิ่งตั้งแสดงในภาพที่ 2 เครื่องทดสอบความหนาแน่นระบบไฟฟ้า (Electronic Densitymeter) รุ่น MD - 300S แสดงในภาพที่ 3 B ผลิตโดยบริษัท Alfa Mirage และใช้หลักการอาร์คิมิดีสในการคำนวณหาความหนาแน่น ซึ่งมวลในอากาศ ซึ่งมวลในน้ำ ทราบปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ เครื่องทำงานโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์และวัดละเอียดได้ 0.001 g/cm³ โดยการนำแผ่นยางขึ้นทดสอบมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 4 x 4 cm² แล้วหาความหนาแน่น



ภาพที่ 1 A เส้นใยภายในดินหมากที่อบแห้งก่อนการบด B ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์เส้นใยภายในดินหมากที่อบแห้งก่อนการบด C หลังการบดชนิดละเอียด (0.25 mm) และชนิดหยาบ (2 mm)

ยางผสมแล้ว (ตามสูตรตารางที่ 1) มีทงสูตรผสมแทนด้วยสัญลักษณ์ F1 - F6 ทำไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปหาเวลาสุกของยาง (เวลาที่จำเป็นก่อนขึ้นแม่พิมพ์) ด้วยเครื่องอีโอมิตเซอร์แบบแก้ว (ODR) แล้วนำยางตั้งกล่าวไปขึ้นรูป

ด้วยเครื่องอัดเป่าที่อุณหภูมิและใช้เวลาดำเนินการตามที่ได้จากเครื่อง ODR ได้แผ่นยางผสมขึ้นรูปแล้วมีรูปร่างสี่เหลี่ยมขนาด $16 \times 16 \text{ cm}^2$ ที่ความหนา 3 มม และ 6 มม ทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

ตัวเก็บข้อมูลรุ่น EASY SENSE Advanced



ภาพที่ 2 ชุดทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงที่สร้างขึ้น โดยใช้เครื่องกำเนิดเสียงรุ่น LAG-120B AUDIO GENERATOR ผลิตโดย LEADER ELECTRONICS CORP Japan [9]

ตารางที่ 1 สูตรการผสมยางและสารเคมีต่างในรูปจำนวน phr (part per hundred of rubber)

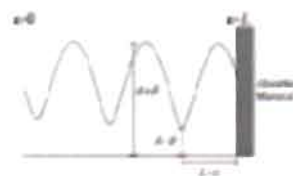
| สารเคมี | ปริมาณ (phr) | | | | | |
|-----------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 |
| 1. ยาง (SBR) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2. ZnO | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3. Stearic acid | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 4. CBS | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5. 6PPD | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6. Filler | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| 7. Sulphur | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |

การหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

ในการทดสอบนั้น ทำได้โดยการนำชิ้นทดสอบติดตั้งที่ฝาครอบปลายท่อด้านขวา โดยให้ชิ้นทดสอบตั้งฉากกับความยาวท่อ แล้วเปิดเครื่องกำเนิดความถี่เสียง ตั้งค่าความถี่เสียงที่ 125 Hz วัดค่าระดับความดันเสียงต่ำสุดและสูงสุดค่าแรกหลังจากสะท้อนแผ่นยางดังภาพที่ ภาพที่ 3 B ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้งนำค่าที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการทดลองที่ความถี่ 250, 500, 1,000, 1500, 2,000, 3,000 และ 4,000 Hz



A



B

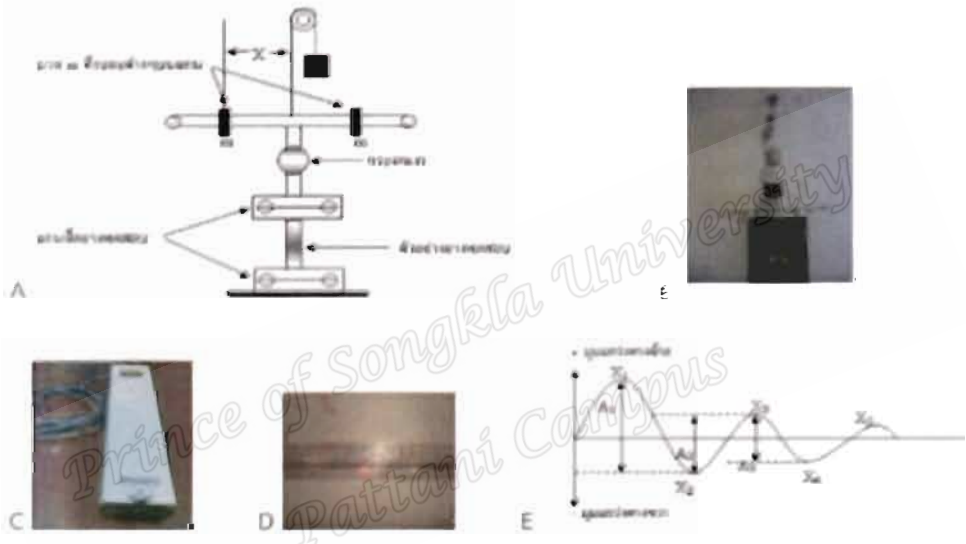
ภาพที่ 3 A เครื่องหาความหนาแน่นระบบไฟฟ้า

B แสดงลักษณะความดันสูงสุดและความดันต่ำสุด

จากข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง คือนิยามอัตราส่วนของความดันสูงสุดต่อความดันต่ำสุดของคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้น (Standing wave ratio ; SWR) โดย $SWR = \frac{A+B}{A-B}$ ซึ่งสามารถจัดสมการอยู่ในรูปสัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียง (Sound power reflection coefficient; R) คือ $R = \frac{B}{A} = \frac{SWR-1}{SWR+1}$

จับเสียง (α) ดังสมการ $\alpha = 1 - R^2 = 1 - \frac{(SWR-1)^2}{(SWR+1)^2}$ [10] นั่นคือเมื่อ R มีค่าน้อยแล้ว (α) จะมีค่ามาก หรือมีการ

หลายพลังงานที่โครงสร้างภายในเนื้อวัสดุซึ่งสามารถทดสอบยืนยันได้เช่นกันจากชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการปิด ประกอบด้วยที่ยึดแถบยางทดสอบให้อยู่ในแนวตั้งสามารถปิดไปมาอย่างอิสระได้ตั้งภาพที่ 5 มีแกนโลหะติดกระจกเงา และแกนโลหะตั้งฉากที่มีมวล m สองอันวางอยู่ห่างแกนกลางระยะ x สามารถปรับค่าความหนืดของระบบได้จากค่า $2mx^2$ การหาค่าแฟกเตอร์ของการสูญเสีย ($\tan \delta$) จากการปิดของยาง หมายถึงสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียภายในโครงสร้างของวัสดุต่อพลังงานที่ใช้ในการปิดแต่ละรอบของการปิดโดยจัดชุดทดลอง ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการปิด A ภาพวาด B ภาพถ่าย C แหล่งกำเนิดเลเซอร์ D เลเซอร์ที่สะท้อนกลับมาบนสเกล E ภาพวาดแอมป์สัญญาณที่ลดลงต่อเนื่องของแต่ละรอบการปิด

ภาพที่ 5 ชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการปิด A ภาพวาด B ภาพถ่าย C แหล่งกำเนิดเลเซอร์ D เลเซอร์ที่สะท้อนกลับมาบนสเกล E ภาพวาดแอมป์สัญญาณที่ลดลงต่อเนื่องของแต่ละรอบการปิด

นำยางที่ขึ้นรูปแล้วมาตัดเป็นชิ้นทดสอบขนาด $6 \times 10 \times 3$ มม ติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการปิด ทำการแกว่งมวล m ในระนาบการปิดแนวอนคี่ด้วยแอมป์น้อย ๆ ทำให้แถบยางบิดไปมาเช่นกัน จากชุดเลเซอร์ที่ติดตั้งไปสะท้อนที่กระจกเงาขนาดกบนฉากที่มีสเกล จากนั้นวัดคาบของการปิดและแอมป์สัญญาณจากจุดสูงสุดถึงจุดต่ำสุดของการแกว่ง การวิเคราะห์ข้อมูลจะเริ่มจากการหาความหนืดของระบบที่แกว่งอย่างอิสระ (ζ) โดยหาจากข้อมูลเชิงการทดลอง การเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 และ $2mx^2$ จะได้กราฟเส้นตรง แล้วหาค่าความชันและค่าจุดตัดของกราฟแล้วนำไปสู่การหาค่า $I_0 = 9.85 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ของระบบ สำหรับยางที่มีอีลาสติคสูงทำให้การบิดไปมาเกิดขึ้นเร็ว การวัดค่าต่าง ๆ ทำได้ลำบาก จึงต้องเพิ่มความหนืดแก่ระบบโดยมวล m แกนตั้งฉากทั้งสองข้างที่ระยะ x (ภาพที่ 5) ความหนืดสัมพันธ์ คือ $I = I_0 + 2mx^2$ หาค่า Logarithmic decrement (Δ) จาก $\Delta = \ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right)$ [11] เมื่อ A_1, A_2 คือ

แอมพลิจูดที่ลดลงต่อเนื่องพลังงานที่สูญเสียภายในโครงสร้างของวัสดุ ค่ามอดูลัสการบิดเชิงซ้อน คือ $G^* = G' + iG''$ โดยพลังงานสะสมในแต่ละรอบการบิดคือเทอมจำนวนจริงหรือมอดูลัสอีลาสติก $G' = \frac{I}{\kappa T^2} (4\pi^2 - \Delta^2)$ และเทอมจำนวนจินตภาพคือมอดูลัสสูญเสีย (loss modulus) จะสัมพันธ์กับพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อที่สัมพันธ์กับโครงสร้างภายในของวัสดุ คือ $G'' = \frac{4\pi I \Delta}{\kappa T^2}$ เมื่อ κ คือ Shape factor สำหรับวัสดุที่เปลี่ยนมาได้โดย $\kappa = \frac{CD^3}{16\ell} \mu$ และ $\mu = 5.33 \left(1 - 0.63 \frac{D}{C}\right)$ [12] เมื่อ C คือ ความกว้างของชั้นทดสอบ D คือ ความหนาของชั้นทดสอบ และ ℓ คือ ระยะระหว่างการบิดของชั้นทดสอบ ดังนั้นสมบัติสมบัติเชิงฟิสิกส์ที่ไม่ขึ้นกับรูปร่างของชั้นทดสอบ คือสัดส่วนของพลังงานสูญเสียต่อพลังงานสะสมของแต่ละรอบการบิด คือ $\frac{G''}{G'} = \frac{4\pi\Delta}{4\pi^2 - \Delta^2} = \tan \delta$ ซึ่งจะแสดงสมบัติเฉพาะ (Characteristics properties) ของวัสดุนั้นเชื่อมโยงโครงสร้างภายในซึ่งแสดงสัดส่วนการเกิดปริมาณความร้อนหรือการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นขณะแกว่งแต่ละรอบ เมื่อ Δ มีค่าน้อย นั่นคือ $\Delta^2 = 0$ แล้วจะได้ว่า $\Delta = \pi \tan \delta$ หรือ $\frac{\Delta}{\pi} = \tan \delta$ การหาค่าความหนาแน่นของชั้นทดสอบ คือ ยางสังเคราะห์ (SBR) ผสมเส้นใยภายในดินหมาก ในปริมาณ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 phr โดยเตรียมชั้นตัวอย่างเป็นแผ่นหนา 3 และ 6 mm คัดเป็นชั้นเล็ก ๆ นำไปหาความหนาแน่นโดยใช้เครื่องวัดความหนาแน่น Electronic Densimeter รุ่น MD-3005 และ Minimum density resolution: 0.001 ใช้หลักการอาร์คิมิดีสในการคำนวณหาความหนาแน่น ซึ่งมวลในอากาศ ซึ่งมวลในน้ำ หาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ เครื่องทำงานโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยการนำชั้นทดสอบมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ๆ ทุกการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

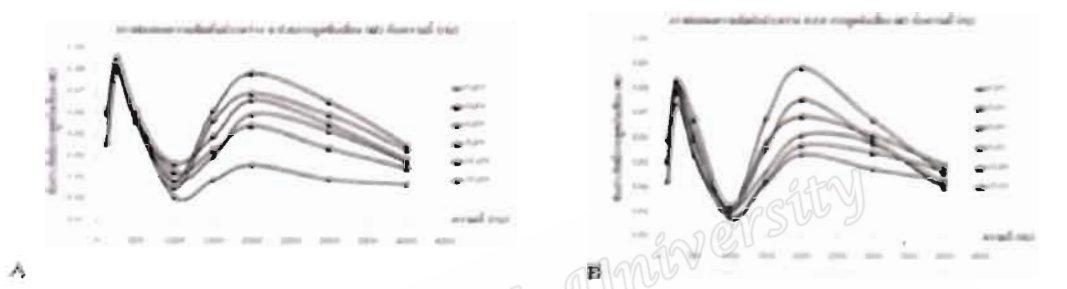
ผลการศึกษาสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α)

ตารางที่ 2 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ผสมเส้นใยในดินหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ

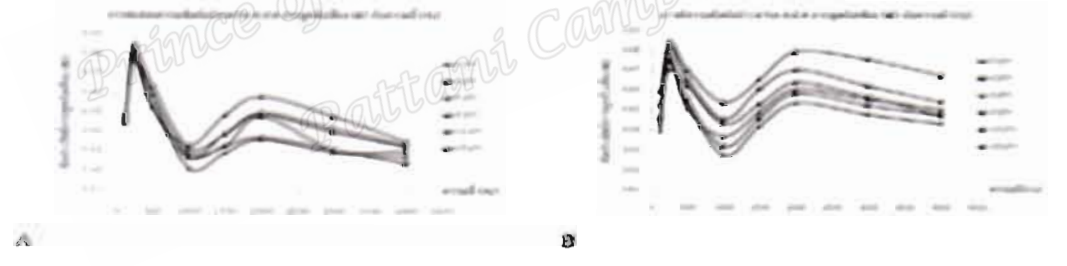
| ความถี่ (Hz) | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ที่ความถี่และที่ปริมาณเส้นใยภายในดินหมาก ต่าง ๆ | | | | | |
|--------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 phr | 3 phr | 6 phr | 9 phr | 12 phr | 15 phr |
| 125 | 0.9479 | 0.9620 | 0.9467 | 0.9600 | 0.9464 | 0.9467 |
| 250 | 0.9822 | 0.9816 | 0.9804 | 0.9860 | 0.9805 | 0.9827 |
| 500 | 0.9600 | 0.9605 | 0.9568 | 0.9568 | 0.9568 | 0.9616 |
| 1000 | 0.9212 | 0.9331 | 0.9293 | 0.9368 | 0.9256 | 0.9293 |
| 1500 | 0.9295 | 0.9433 | 0.9407 | 0.9496 | 0.9570 | 0.9616 |
| 2000 | 0.9364 | 0.9544 | 0.9600 | 0.9665 | 0.9696 | 0.9789 |
| 3000 | 0.9298 | 0.9440 | 0.9521 | 0.9551 | 0.9596 | 0.9657 |
| 4000 | 0.9274 | 0.9350 | 0.9380 | 0.9389 | 0.9435 | 0.9457 |

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นการดูดซับเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ นั้นขึ้นกับปริมาณเส้นใยในดินหมากที่ผสม เมื่อนำมาแสดงในกราฟภาพที่ 6 รูปร่างกราฟจะขึ้นกับความหนาของชั้นทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟภาพที่ 7 รูปร่างกราฟยังขึ้น

กับขนาดเส้นใยภายในดินหมากที่ผสม (ชนิดละเอียดยกและชนิดหยาบ) แต่ละกราฟจะมีสองยอด (peak) เนื่องจากมีสององค์ประกอบหลักในการดูดซับเสียงคือยางและเส้นใยในดินหมากแสดงค่าที่องศาการดูดซับเสียงสองจุดคือ ที่ 250 Hz และ 2,000 Hz เป็นของยางและของเส้นใยตามลำดับ ค่าความถี่ที่องศาแสดงสมบัติเฉพาะของวัสดุนั้น ๆ ที่ความถี่ของยางจะมียอดกราฟที่แคบและมีความสูงตามปริมาณยางที่ผสมในแต่ละสูตร การดูดซับพลังงานเกิดจากการขยับตัวของใยบางส่วนที่อยู่ระหว่างจุดพันกัน (molecular weight between entanglements) ส่วนเส้นใยภายในดินหมากมีหลายกลไกการดูดซับพลังงานเพราะมีหลายองค์ประกอบคือ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) ที่การลำเลียงน้ำและแร่ธาตุต่าง ๆ จากรากขึ้นสู่ลำต้นและใบ เนื้อเยื่อโฟลเอ็ม (phloem) ที่ลำเลียงอาหารจากใบไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช เนื้อเยื่อพาราไคมา (parenchyma) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีชีวิตทำหน้าที่ค้าจุนให้ความแข็งแรงและมีช่องว่างอากาศอยู่จึงทำให้เนื้อเยื่อมีสมบัติคล้ายฟองน้ำ สัมภาพที่ 8 ดังนั้นกราฟขององศาการดูดซับเสียงจึงมีฐานระยะถี่ที่กว้างขึ้นคือดูดซับได้หลายความถี่



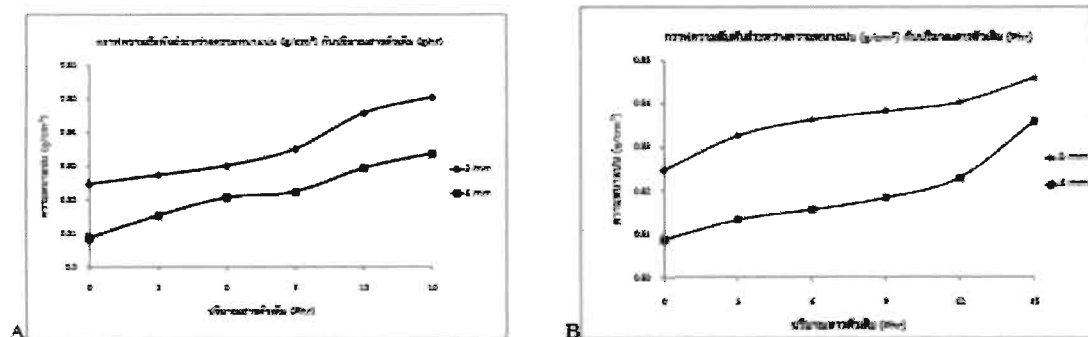
ภาพที่ 6 กราฟของ α กับความถี่ของแผ่นยางดูดซับเสียงผสมเส้นใยในดินหมาก ชนิดละเอียดยก A ความหนา 3 mm และ B ความหนา 6 mm



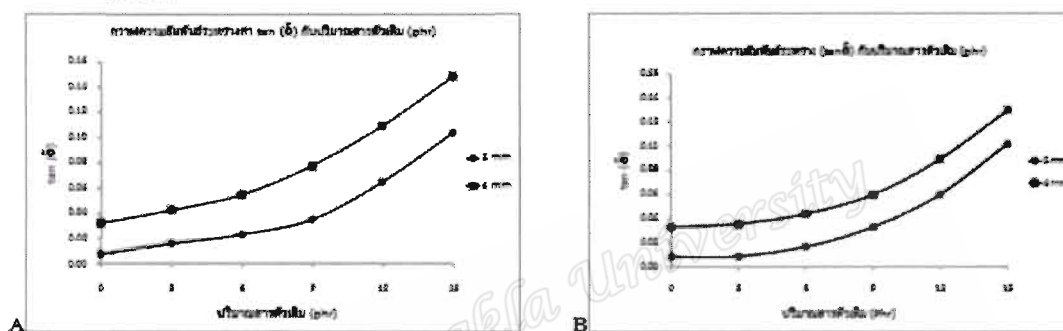
ภาพที่ 7 กราฟของ α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงที่ผสมเส้นใยในดินหมากชนิดหยาบ A ความหนา 3 mm และ B ความหนา 6 mm



ภาพที่ 8 โครงสร้างของเส้นใยภายในดินหมากถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 600 เท่า มีหลายองค์ประกอบคือเนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) โฟลเอ็ม (phloem) พาราไคมา (parenchyma) และช่องว่างอากาศอยู่ภายใน



ภาพที่ 9 ความหนาแน่นของแผ่นยางดูดซับเสียงความหนา 3 mm และ 6 mm ผสมเส้นใยในดินหมาก A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง tan δ กับปริมาณสารตัวเติม (pHr) A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ

จากภาพที่ 9 แผ่นยางดูดซับเสียงความหนา 3 mm ความหนาแน่นมากกว่าแผ่นยางที่หนา 6 mm จึงทำให้แผ่นยางหนา 3 mm ดูดซับเสียงได้น้อยกว่าแผ่นยางที่หนา 6 mm อันเป็นผลมาจากการขึ้นรูปแผ่นยางที่หนา ซึ่งมีประชากรโซ่ใยมาก เมื่อเกิดด้วยความเค้นค่าหนึ่ง การรีแลกจากโซ่ใยจะเกิดมากตาม โซ่ใยที่อยู่ด้านล่างจึงไม่ถูกกระทำ การไล่อากาศออกจากช่องว่างของเส้นใยภายในดินหมากได้น้อย จากภาพที่ 10 แพลกเตอร์ของการสูญเสีย (tan δ) จากการบิดของยางในแต่ละรอบของแผ่นยางหนา 6 mm จะมีค่ามากกว่าของแผ่นยางหนา 3 mm เนื่องจากโครงสร้างภายในสามารถสลายพลังงานได้ดีกว่า ทั้งสารตัวเติมชนิดละเอียด และชนิดหยาบ และยังสอดคล้องกับความหนาแน่น และผลของการดูดซับเสียง

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ ศึกษาการดูดซับเสียงของแผ่นยางสังเคราะห์ (SBR) ผสมเส้นใยภายในดินหมากที่ผ่านการบดชนิดละเอียดและหยาบ ปริมาณ 0-15 pHr ขึ้นทดสอบขึ้นรูปเป็นแผ่นหนา 3 และ 6 mm พบว่ากราฟสัมพันธ์การดูดซับเสียงกับความถี่ $\alpha(f)$ แสดงความถี่ของการดูดซับเสียงสองจุดที่ 250 Hz และ 2,000 Hz ของยางและของเส้นใยตามลำดับ ขึ้นทดสอบหนา 6 mm ดูดซับเสียงได้ดีที่สุดเมื่อผสมเส้นใยชนิดละเอียดแล้วมี $\alpha_{max}(f) = 0.9889$ และเมื่อผสมเส้นใยชนิดหยาบมี $\alpha_{max}(f) = 0.9796$ นอกจากนี้พบว่าสมบัติรีโวลิวชันเชิงพลวัตของการบิดโดยค่าแพลกเตอร์ของการสูญเสีย (tan δ) และความหนาแน่น มีการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกันอย่างมากมีนัยสำคัญกับสมบัติการดูดซับเสียง

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณแผนกวิชาฟิสิกส์ที่สนับสนุนใช้เงินวัสดุแผนกชื่อวัสดุวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีการและพอลิเมอร์ในการใช้เครื่องมือการทดสอบและขึ้นรูปยางและขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์สนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] António, J. (2011). *Acoustic behaviour of fibrous materials*, University of Coimbra, Portugal.
- [2] Youneung, L., and Changwhan, J. (2003). Sound absorption properties of recycled polyester fibrous assembly absorbers. *Autex Research Journal*, 3 : 78-84.
- [3] Sobral, M., Samagaio, A.J.B., Ferreira, J.M.F., and Labrincha, J.A. (2003). Mechanical and acoustical characteristics of bound rubber granulate. *Journal of Materials Processing Technology*, 142 : 427-433.
- [4] Algaily, B., and Puttajukr, S. (2014). Acoustic Absorption and Physicomechanical Properties of SBR/FR foam. *International Journal of Technical Research and Applications*. 2, 15-18.
- [5] Benkreira, H., Khan, A. and Horoshenkov, K. V. (2011). Sustainable acoustic and thermal insulation material from elastomeric waste residues. *Chemical Engineering Science*, 66(18), 4157-4171.
- [6] Hong, Z., Bo, L., Guangsu, H. and Jia, H. (2007). A novel composite sound absorber with Recycled rubber particles, *Journal of sound and vibration*, 304(1-2), 400-406.
- [7] Ismail, L., Ghazali, M.I., Mahzan, S., and Zaidi, A. M. A. (2010). Sound Absorption of Arenga Pinnata Natural Fiber. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation Journal*, 4(7). 601-603.
- [8] Rozli, Z., Nor, M., Jailani, M., Ahamad, L., Nuawi, R. and Zaki, M. (2009). Comparison of Acoustic Properties between Coir Fiber And Oil Palm Fiber. *European Journal of Scientific Research*. 33(1), 144 – 152.

