

Original research

Citation:

นุตชบา อินทรแยม¹, รุ่งนภา จุลวรรณโณ¹,
 ธิติมา ณ สงขลา, สุธีร์ อินทร์รักษา,
 ธนาวัฒน์ รักกมล. การพัฒนาวัสดุ
 ดูดซับเสียงจากเส้นใยกาบมะพร้าว
 ร่วมกับกากมะพร้าวเพื่อลดเสียงดัง
 จากปั้มน้ำสำหรับครัวเรือน. วารสาร
 วิจัยและนวัตกรรมทางสาธารณสุข.
 2569;4(2):28-42.

การพัฒนาวัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยกาบมะพร้าวร่วมกับกากมะพร้าว เพื่อลดเสียงดังจากปั้มน้ำสำหรับครัวเรือน

นุตชบา อินทรแยม¹, รุ่งนภา จุลวรรณโณ¹, ธิติมา ณ สงขลา¹, สุธีร์ อินทร์รักษา¹, ธนาวัฒน์ รักกมล¹

¹ หลักสูตรอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขต
 พัทลุง จังหวัดพัทลุง

บทคัดย่อ

บทนำ: ปั้มน้ำเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้กันมากเกือบทุกครัวเรือน และหากระดับแรงดันน้ำ
 จากปั้มน้ำไม่คงที่ ส่งผลให้เกิดเสียงดังจากมอเตอร์ของปั้มน้ำ และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ
 ได้ทั้งร่างกายและจิตใจ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยกาบ
 มะพร้าวร่วมกับกากมะพร้าว

วิธีการศึกษา: การศึกษานี้เป็นวิจัยแบบทดลอง แบ่งการศึกษาเป็น 2 ระยะ ดังนี้ 1. ศึกษา
 อัตราส่วนและความหนาที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับเสียงทั้งหมด 10 การทดลอง ขนาดเท่ากับ
 20×20 เซนติเมตร ที่ความหนา 1 นิ้ว และ 1.5 นิ้ว มีอัตราส่วนเส้นใยกาบมะพร้าว:กากมะพร้าว
 0:100, 30:70, 50:50, 70:30 และ 100:0 โดยทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C384-04
 (American Society for Testing and Materials; ASTM) เพื่อวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การลด
 ระดับเสียง (Noise Reduction Coefficient; NRC) และระยะที่ 2 การประยุกต์ใช้การออกแบบ
 เป็นกล่องครอบเครื่องปั้มน้ำเพื่อลดการสัมผัสเสียงของครัวเรือน วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิง
 พรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ Mann-Whitney U Test และ Wilcoxon Sign Rank Test
ผลการศึกษา: ผลการทดลองพบว่า วัสดุดูดซับเสียงที่สร้างขึ้นมีค่า NRC อยู่ในช่วง 0.62 – 0.77
 และพบว่าที่ความหนา 1 นิ้วมีค่า NRC มากกว่าที่ความหนา 1.5 นิ้วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
 ($p < 0.001$) และการควบคุมเสียงดังจากเครื่องปั้มน้ำด้วยวัสดุดูดซับเสียงอัตราส่วนเส้นใยกาบ
 มะพร้าวและกากมะพร้าวเท่ากับ 30:70 (NRC สูงที่สุด = 0.77) พบว่าประสิทธิภาพการลดเสียง
 ก่อนและหลังการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ซึ่งลด
 เสียงดังได้ 4.40 เดซิเบล (เอ)

สรุปผล: การใช้วัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยกาบมะพร้าวร่วมกับกากมะพร้าวเป็นทางเลือกหนึ่ง
 เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการควบคุมเสียงจากปั้มน้ำสำหรับบ้านเรือน แต่ต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ
 ร่วมด้วย เช่น การป้องกันความชื้น อายุการใช้งาน และการทนทานต่อสภาพอากาศ เป็นต้น
คำสำคัญ: วัสดุดูดซับเสียง เส้นใยกาบมะพร้าว กากมะพร้าว การควบคุมเสียงดังจากปั้มน้ำ ครัวเรือน

วันรับ: 22 ธ.ค. 2568

วันแก้ไข: 27 มี.ค. 2569

วันตอบรับ: 29 ส.ค. 2569

ผู้นิพนธ์ประสานงาน:

ธนาวัฒน์ รักกมล;

Email: tanawat@tsu.ac.th

Original research

Citation:

Nutchaba Aintharayaem, Rungnapa Jullawanno, Thitima Na-Songkhla, Sutee Inraksa, Tanawat Rakkamon. Development of sound absorber from coconut coir fiber combined with copra milk to reduce noise from water pump of household. Journal of Public Health Research and Innovation. 2569;4(2):28-42.

Received: 22 Dec 2025

Revised: 27 Mar 2026

Accepted: 29 Aug 2026

Correspondence to

Tanawat Rakkamon;
Email: tanawat@tsu.ac.th

Development of sound absorber from coconut coir fiber combined with copra milk to reduce noise from water pump of household

Nutchaba Aintharayaem¹, Rungnapa Jullawanno¹, Thitima Na-Songkhla¹, Sutee Inraksa¹, Tanawat Rakkamon¹

¹ Program in Occupational Health and Safety, Faculty of Health and Sports Science, Thaksin University, Phatthalung Campus.

Abstract

Introduction: Water pumps are electrical machine which it normally was used in almost every household. However, if the water pressure from the pump is unstable, it can cause the motor to operate irregularly, resulting in noise pollution. This can affect both physical and mental health. This study aimed to develop sound-absorbing materials made from coconut coir fiber combined with copra milk.

Methods: The study was conducted in two phases including 1) the optimal mixing ratio and thickness of the sound-absorbing materials were investigated 10 experiments. This absorption material was made with width 20 centimeters and length 20 centimeter with a thickness of 1 and 1.5 inches. The experiments made from the different ratio of coconut coir fiber: copra milk (% w); 0:100, 30:70, 50:50, 70:30, and 100:0. Sound absorber was tested according to ASTM C384-04 to determine the Noise Reduction Coefficient (NRC). In Phase 2, the sound absorber was applied to the design of a noise enclosure for a household water pump to evaluate its noise reduction performance. Data were evaluated using descriptive and inferential statistics, including the Mann–Whitney U Test and Wilcoxon Sign Rank Test.

Results: The results showed that the sound absorbers had NRC values from 0.62 to 0.77. All experiments with a thickness of 1 inch have shown significantly higher NRC values than those with a thickness of 1.5 inches ($p < 0.001$). The material with a coconut coir fiber to copra milk ratio of 30:70 provided the highest NRC value (0.77). The noise levels before and after sound absorber installation were significantly different ($p < 0.001$). An average noise reduction was 4.40 dBA.

Conclusion: Sound absorber made from coconut coir fiber mixed with copra milk has an alternative option for noise control from household water pumps. However, additional factors such as moisture resistance, duration of using, and durability under environmental conditions should be considered to enhance practical application.

Keywords: sound absorber, coconut coir fiber, copra milk, noise control from water pump, household

บทนำ

การดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ การคมนาคมขนส่ง การก่อสร้าง การขยายตัวของเมือง การใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องจักร และอุตสาหกรรม ล้วนเป็นแหล่งสำคัญของมลพิษทางเสียง (Noise pollution)¹ จะเห็นได้ว่าประชากรทั่วโลก กำลังเผชิญกับผลกระทบจากมลพิษทางเสียง จากการรายงานขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO) แนะนำว่าระดับเสียงที่เกิน 65 เดซิเบล (เอ) จัดเป็นมลพิษทางเสียง และผลการวิจัยล่าสุดของ WHO รายงานว่าประชากรที่อาศัยอยู่ในประเทศกำลังพัฒนามีความเสี่ยงต่อความบกพร่องทางการได้ยิน เช่น การสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน ความดันโลหิตสูง เสียงอื้อในหู ปัญหาสุขภาพจิตและร่างกาย และหากสัมผัสเสียงที่ดังมากกว่า 180 เดซิเบล (เอ) อาจถึงแก่ชีวิตได้ ฉะนั้นการได้รับเสียงดังในชีวิตประจำวันของมนุษย์ส่งผลกระทบร้ายแรงหลายประการ ไม่เพียงแต่ต่อสุขภาพกายเท่านั้น แต่ยังรวมถึงความผิดปกติในการประมวลผลทางสติปัญญาและสุขภาพจิตอีกด้วย²

ปั้มน้ำโดยทั่วไปสำหรับครัวเรือน เป็นปั้มน้ำที่ใช้สวิตช์แรงดันน้ำในการเปิดและปิดปั้ม และเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีใช้กันมากเกือบทุกครัวเรือน และมีการรายงานปัญหาว่าระดับแรงดันน้ำจากปั้มน้ำโดยทั่วไป ไม่คงที่ ส่งผลให้เกิดเสียงดังจากมอเตอร์ของปั้มน้ำ³ ปั้มน้ำแบบปกติทั่วไปมักจะมาพร้อมด้วยเสียงดังรบกวนในระดับ 70-80 เดซิเบล (เอ) แม้ว่าจะไม่เกินค่ามาตรฐานที่ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่องมาตรฐานระดับเสียงที่ยอมให้ลูกจ้างได้รับเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานในแต่ละวัน พ.ศ. 2561 ที่กำหนดไว้ที่ 85 เดซิเบล (เอ) แต่ก็รบกวนผู้อยู่อาศัยภายในบ้าน และทำให้เกิดความรู้สึกรำคาญ หงุดหงิดรำคาญใจต่อผู้สัมผัส และหากปั้มน้ำที่ใหญ่กว่าทั่วไปสามารถสร้างเสียงดังระดับ 80-100 เดซิเบล (เอ) ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้ทั้งร่างกายและจิตใจ⁴ ส่วนค่าระดับเสียงรบกวนยามวิกาล (22.00-06.00 น.) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่องกำหนดค่ามาตรฐานมลพิษทางเสียงอันเกิดจากการประกอบกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ พ.ศ 2561 กำหนดไว้ต้องไม่เกิน 10 เดซิเบล (เอ) เมื่อเทียบกับระดับเสียงพื้นฐานบริเวณนั้น⁵

มาตรการควบคุมและลดผลกระทบจากการสูญเสียการได้ยินจากเสียง มีหลายประการ ได้แก่ การควบคุมและปรับปรุง

ที่แหล่งกำเนิดเสียง (Source) ที่ทางผ่านของเสียง (Path way) และที่ตัวบุคคล (Receiver)⁶ การควบคุมเสียงที่ทางผ่านด้วยวิธีการใช้วัสดุดูดซับเสียง (Sound absorption material) เป็นมาตรการหนึ่งที่มีความนิยม เนื่องจากมีความรวดเร็วในการติดตั้งและมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง โดยชนิดของวัสดุดูดซับเสียงที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ โยหิน (Rock wool) และใยแก้ว (Glass wool) เป็นต้น อย่างไรก็ตามวัสดุดังกล่าวข้างต้นมักมีราคาแพง และมีการรายงานว่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น การระคายเคือง⁷ ดังนั้นการศึกษาวัดคุณสมบัติใหม่ๆ ที่ปลอดภัยต่อสุขภาพ และมีราคาถูกเพื่อทดแทน ทางเลือกที่น่าสนใจที่สุดอย่างหนึ่งคือ เส้นใยตามธรรมชาติที่มีการรายงานว่ามี การนำมาใช้งานทางด้านวิศวกรรมเพื่อทดแทนใยแก้ว⁸⁻¹⁰ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ได้แก่ ราคาที่ต่ำกว่า น้ำหนักที่เบากว่า การดูดซับแรงกระแทกได้ดีกว่า และเป็นฉนวนป้องกันเสียงได้ดีกว่า¹¹

เส้นใยตามธรรมชาติ ที่มีการนำมาใช้เพื่อพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับเสียงส่วนใหญ่เป็นวัสดุที่ได้จากของเสียหรือผลพลอยได้ทางการเกษตร โดยลักษณะของเส้นใยธรรมชาติบางชนิดมีศักยภาพสูงจึงมีการพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับเสียง ได้แก่ ชานอ้อย¹² เส้นใยจากเปลือกตาลโตนด¹³ ปาล์ม¹⁴ เส้นใยกล้วย¹⁵ ช้างข้าวโพดและโพมยางพารา¹⁶ เปลือกและผงเปลือกเมล็ดทานตะวัน¹⁷ และเส้นใยมะพร้าว¹⁸

เส้นใยมะพร้าว (Coconut coir fiber) เป็นหนึ่งในเส้นใยในธรรมชาติที่มีการนำมาพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับเสียง และมีการรายงานว่พื้นที่รูปพรุนและโพรงของใยมะพร้าวสามารถดูดซับเสียงได้อย่างมีประสิทธิภาพ¹⁹ รูปพรุนที่เต็มไปด้วยอากาศเหล่านี้จะสั่นสะเทือน ส่งผลให้สูญเสียพลังงาน และทำให้ดูดซับเสียงได้ดี²⁰ โดยทั่วไปเส้นใยมะพร้าวจะมีความชื้น 10-12% ซึ่งช่วยให้คงความเสถียรในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน²¹ องค์ประกอบนี้ทำให้เส้นใยมีความแข็งแรง ยืดหยุ่น และทนต่อการเสื่อมสภาพ จากการศึกษาของ Mahzan²² ที่พัฒนาวัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยมะพร้าวที่มีความหนา 30 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่า แผ่นดูดซับเสียงให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงสูงสุดระหว่าง 0.94-0.97 (ความสามารถในการลดเสียงยิ่งเข้าใกล้ 1 ยิ่งมีประสิทธิภาพสูง) และมีคุณสมบัติดูดซับเสียงที่ดีทั้งในย่านความถี่ต่ำและความถี่สูง และสามารถใช้ทดแทนผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์ได้

อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การผลิตวัสดุดูดซับเสียงที่ผสมกันของวัสดุ 2 ชนิดยังมีการศึกษาจำกัด ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาที่เน้นพัฒนาวัสดุดูดซับเสียงจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพียงชนิดเดียว^{13-15, 17-18} ดังนั้นการใช้วัสดุเหลือใช้ 2 ชนิดของมะพร้าว เช่น เส้นใยมะพร้าวและกากมะพร้าว ซึ่งเป็นผลพลอยได้มาจากลูกมะพร้าวที่มีอยู่จำนวนมากในภาคใต้รวมทั้งจังหวัดพัทลุง นอกจากนี้การศึกษาในบริบทเฉพาะของเครื่องปั้มน้ำในครัวเรือนยังไม่มีผลการปรากฏของการศึกษาเพื่อลดหรือควบคุมเสียงดังขณะปั้มน้ำกำลังทำงาน ฉะนั้นการศึกษานี้จึงพัฒนาวัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยกากมะพร้าวร่วมกับกากมะพร้าวเพื่อลดเสียงดังจากปั้มน้ำสำหรับครัวเรือน ซึ่งเป็นการลดการกำจัดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรปริมาณมาก และหากเกษตรกรมีการกำจัดเองโดยวิธีการเผาหรือย่อยสลายในทุ่งโล่งทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม²³ การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกลับมาใช้ใหม่เพื่อให้เป็นวัสดุที่มีคุณค่าและเกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสังคม²³ และเป็นการเพิ่มการใช้งานและมูลค่าเชิงพาณิชย์ของวัสดุเหลือใช้อีกด้วย อีกทั้งเป็นการสนับสนุนโดยตรงต่อหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนและการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ของสหประชาชาติหลายประการ ได้แก่ SDG 11 (เมืองและชุมชนที่ยั่งยืน) เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงความสะอาดสบายและคุณภาพของอาคารผ่านการใช่วัสดุธรรมชาติ และ SDG 12 (การบริโภคและการผลิตอย่างรับผิดชอบ) เป็นการเพิ่มมูลค่าของเสียทางการเกษตรในการประยุกต์ใช้ที่มีมูลค่าสูงขึ้น โดยการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยกากมะพร้าวร่วมกับกากมะพร้าวที่อัตราส่วนและความหนาต่างๆ และเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงของแผ่นดูดซับเสียงที่ความหนาที่แตกต่างกัน รวมทั้งเพื่อประยุกต์ใช้แผ่นวัสดุดูดซับเสียงติดตั้งควบคุมเสียงดังจากเครื่องปั้มน้ำให้อากาศ และเปรียบเทียบระดับเสียงดังก่อนและหลังการติดตั้งแผ่นดูดซับเสียง การพัฒนานวัตกรรมวัสดุดูดซับเสียงในครั้งนี้ไม่เพียงแต่ก่อให้เกิดประโยชน์ในการควบคุมและป้องกันเสียงดังจากครัวเรือน แต่ช่วยเพิ่มคุณภาพชีวิตของชุมชนใกล้เคียง รวมทั้งเป็นการเป็นการลดปริมาณขยะเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้ง และลดโอกาสในการนำเข้าสู่วัสดุดูดซับเสียงจากต่างประเทศ

วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง (Experimental research) แบ่งการศึกษาเป็น 2 ระยะ ดังนี้

1. การศึกษาอัตราส่วนและความหนาที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับเสียงในห้องปฏิบัติการ

1.1 การพัฒนาวัสดุดูดซับเสียง

วัสดุดูดซับเสียงที่พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้ทำจากเส้นใยกากมะพร้าวและกากมะพร้าว โดยเส้นใยกากมะพร้าวจะนำมาจากอำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง หลังการเหลือทิ้งจากการประกอบอาชีพของเกษตรกร และกากมะพร้าวนำมาจากร้านขายน้ำกะทิ ซึ่งกากมะพร้าวเป็นของเหลือจากกระบวนการคั้นน้ำกะทิแห่งหนึ่งในอำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง วัสดุทั้ง 2 ชนิดนำมาทำความสะอาด โดยนำเส้นใยมะพร้าวมาคัดแยกสิ่งแปลกปลอม จากนั้นไปตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 1 วันแล้วนำมาตัดและสับให้มีขนาดเล็กและนุ่มาร่อนด้วยตะแกรงขนาดเฉลี่ยที่ 1 เซนติเมตร ส่วนกากมะพร้าวนำมาคัดแยกสิ่งแปลกปลอมพร้อมนำไปตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 1 วันเพื่อไล่ความชื้น และเข้าสู่กระบวนการผสม โดยกำหนดให้สัดส่วนของเส้นใยมะพร้าวและกากมะพร้าว มี 10 การทดลองในอัตราส่วน (w/w) 50:50, 70:30, 100:0, 30:70, 0:100 ที่ความหนา 1 นิ้วและ 1.5 นิ้ว ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของอัตราส่วนและความหนาข้างต้นให้ค่า NRC สูงที่สุดจากการศึกษาที่ผ่านมา¹⁷ โดยการทดลองลำดับที่ 1-5 (A-E) เป็นการทดลองที่ความหนา 1 นิ้ว และใช้น้ำยางพริ้วลาคาไนซ์เป็นวัสดุประสานเท่ากับ 0.2 กิโลกรัม และใช้น้ำเท่ากับ 0.2 กิโลกรัม อัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวและกากมะพร้าว เท่ากับ 2.0:0 (กิโลกรัม) (การทดลองที่ A) 0.6:1.4 (การทดลองที่ B) 1.0:1.0 (การทดลองที่ C) 1.4:0.6 (การทดลองที่ D) และ 0:2. กิโลกรัม (การทดลองที่ E) ตามลำดับ ส่วนการทดลองลำดับที่ 6-10 (F-J) เป็นการทดลองที่ความหนา 1.5 นิ้ว และใช้น้ำยางพริ้วลาคาไนซ์เป็นวัสดุประสานเท่ากับ 0.3 กิโลกรัม และใช้น้ำเท่ากับ 0.3 กิโลกรัม อัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวและกากมะพร้าวเท่ากับ 3.0:0 (กิโลกรัม) (การทดลองที่ F) 0.9:2.1 (การทดลองที่ G) 1.5:1.5 (การทดลองที่ H) 2.1:0.9 (การทดลองที่ I) และ 0:3 กิโลกรัม (การทดลองที่ J) ตามลำดับ จากนั้นนำวัสดุข้างต้นทดลองในบล็อกพิมพ์ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร และยาว 20 เซนติเมตร

อัดจนเต็มพิมพ์ และนำแผ่นวัสดุดูดซับเสียงทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ด้วยการอัดกดทับด้วยแรงกด 5 กิโลกรัม จากนั้นนำแผ่นวัสดุดูดซับเสียงที่ผลิตได้ไปบดไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนวัสดุทั้งหมด

แห้งสนิทและนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิภายใต้สภาวะห้องเป็นเวลา 1 วัน ก่อนนำแผ่นวัสดุดูดซับเสียงทั้งหมดมาทดสอบในขั้นตอนต่อไป โดยตัวอย่างกระบวนการพัฒนาวัสดุดูดซับเสียงแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการขึ้นรูปแผ่นวัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยคาบมะพร้าวและกากมะพร้าว

1.2 การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุดูดซับเสียง

1) การขึ้นรูปโดยการสังเกตลักษณะภายนอกของวัสดุดูดซับเสียงหลังจากผ่านการไล่ความชื้นและแห้งสนิท โดยถูกเก็บไว้ในอุณหภูมิภายใต้สภาวะห้องเป็นเวลา 1 วัน ก่อนที่จะนำแผ่นวัสดุดูดซับเสียงทิ้ง 10 การทดลองไปทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

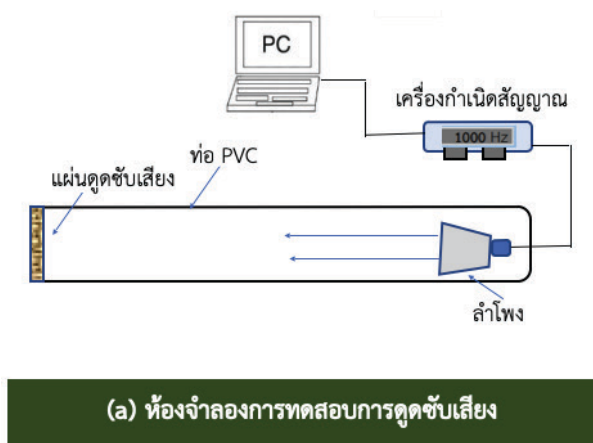
2) ความหนาแน่นในการคำนวณหาพื้นที่ของวัสดุทั้งหมดที่นำมาพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับเสียงโดยการกำหนดขนาดพื้นที่ของฐานที่ใช้วัสดุ น้ำหนักรวมทั้งหมด คือ 2.40 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับวัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนา 1 นิ้ว (การทดลองที่ A-E) และ 3.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับวัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนา 1.5 นิ้ว (การทดลองที่ F-J) โดยมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ภาพที่ 1) กระบวนการผลิตโดยใช้แรงกดทับ 5 กิโลกรัม เพื่อให้มีรูปทรงพื้นผิวมีลักษณะราบเรียบและให้สามารถทำการ

ถอดแบบของบล็อกพิมพ์ออกจากชิ้นงานได้โดยตรง

1.3 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient; SAC)

การศึกษานี้มีการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับเสียง ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM C384-04 (Standard test method for impedance and absorption of acoustical materials by impedance tube method) C384-04 ดังภาพที่ 2a โดยใช้ห้องทดสอบภายในอาคารคณะวิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ มีการใช้เครื่องกำเนิดเสียง (Audio generator) ต่อเข้ากับลำโพงสี่เหลี่ยมขนาดเล็กและโปรแกรม Tone generator 100-15 KHz เพื่อปล่อยเสียงและส่งสัญญาณเสียงเข้ามาในท่อพีวีซีที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 8 นิ้ว ความยาว 1 เมตร ลักษณะการติดตั้งและการทดสอบแสดงดังภาพที่ 2b และเริ่มต้นด้วยการปล่อยเสียงที่ระดับความถี่ 250, 500, 1,000, 2,000 และ 4,000 เฮิรตซ์ตามลำดับ¹⁸ โดยการตรวจวัดเสียงเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน

ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง หลักเกณฑ์วิธีการตรวจวัด และวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับ ความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2561 โดยการตรวจวัดเสียงแบบจุดในห้องที่ทำการทดลอง โดยการตั้งค่าเครื่องมือที่วางจนวน้ำหนัก A (Weighting network) และที่ลักษณะความไว เลือกการตอบรับเสียงแบบ Fast (Dynamic characteristics) จากนั้นหันไมโครโฟนไปยังแหล่งกำเนิดเสียง บันทึกค่าเฉลี่ยหรือค่าสูงสุดที่วัดได้โดยตำแหน่งที่วัดเสียงแต่ละความถี่ใช้เครื่องตรวจวัดเสียงจำนวน 5 จุด ได้แก่ บริเวณจุดกลางของแผ่นดูดซับเสียง ด้านบนซ้ายและขวา และด้านล่างซ้ายและขวา การตรวจวัดเสียงแต่ละครั้งจะทำการวัดซ้ำในตำแหน่งเดียวกัน นอกจากนี้มีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนของพลังงานที่ถูกดูดกลืนต่อพลังงานเสียงที่ตกกระทบกับวัสดุ ทั้งนี้เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบกับผิววัสดุ จะมีพลังงานส่วนหนึ่งที่ถูกสะท้อนออกไป และอีกส่วนหนึ่งถูกดูดกลืนที่ผิวหน้าของวัสดุนั้น²⁴



(a) ห้องจำลองการทดสอบการดูดซับเสียง

สูตรในการคำนวณดังสมการที่ 1 โดยค่า R คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเสียงจากวัสดุดูดซับ ส่วนค่า r คือ เสียงจากแหล่งกำเนิด และค่า i คือพลังงานเสียงที่ถูกกระทบ โดยค่า SAC ของเสียงที่ช่วงความถี่เดียวจะมีค่าอยู่ ระหว่าง 0 ถึง 1

$$\alpha = 1 - |R|^2 = 1 - R_r^2 - R_i^2 \quad \text{-----(1)}$$

1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง

(Noise Reduction Coefficient; NRC)

การคำนวณค่า NRC คือค่าเฉลี่ยของค่า SAC ที่มีการตรวจประเมินที่ความถี่ของเสียง 4 ความถี่ ได้แก่ 250, 500, 1,000 และ 2,000 เฮิร์ต¹⁸ การคำนวณค่า NRC ของวัสดุดูดซับเสียง (Acoustic) ดังสมการที่ 2 โดยค่า NRC ของการลดระดับความดังของเสียงจะมีค่าอยู่ ระหว่าง 0 ถึง 1 คุณสมบัติที่ดีของวัสดุดูดซับเสียงโดยทั่วไปต้องมีค่า NRC มากกว่า 0.4²⁵

$$NRC = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1,000} + \alpha_{2,000}}{4} \quad \text{-----(2)}$$



(b) ห้องปฏิบัติการทดสอบการดูดซับเสียง

ภาพที่ 2 วิธีการทดสอบการดูดซับเสียงของการศึกษานี้ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM C384-04

ที่มา: ประยุกต์จาก ASTM C384-04 (2022)

2. การประยุกต์ใช้วัสดุดูดซับเสียงในพื้นที่บริเวณเครื่องปั้มน้ำในครัวเรือน

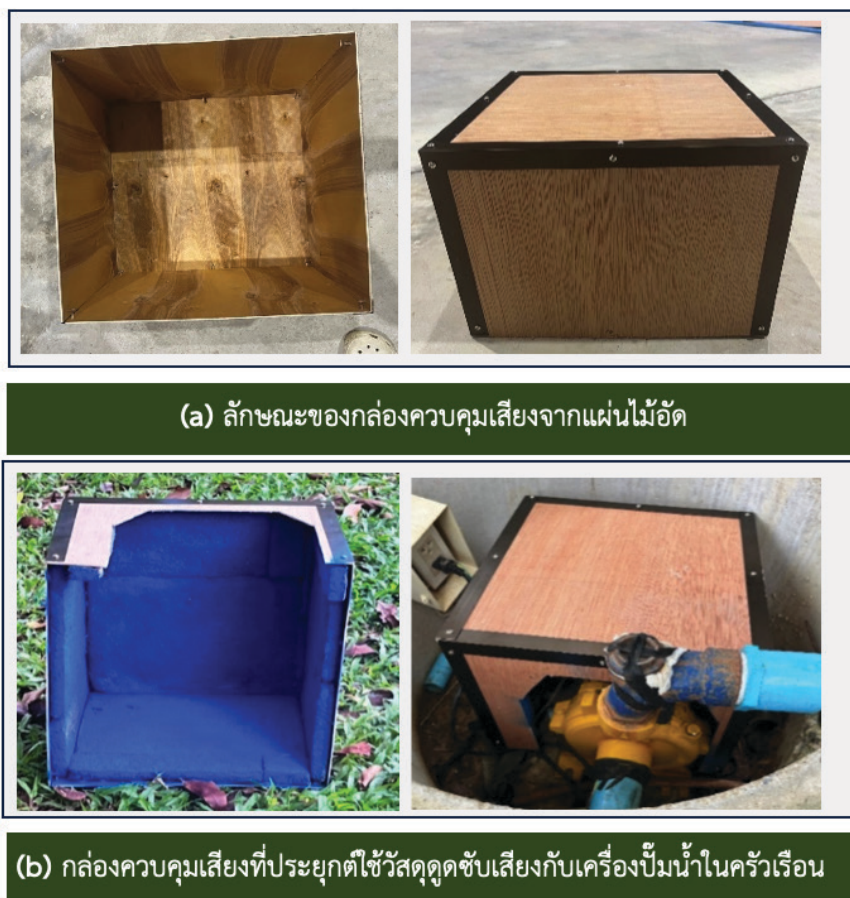
การศึกษานี้นำวัสดุดูดซับเสียงที่ให้ค่า NRC ที่ดีที่สุด คือ การทดลองที่ B สัดส่วนของเส้นใยมะพร้าวและกากมะพร้าว เท่ากับ 30:70 ที่ความหนา 1 นิ้วเพื่อมาประยุกต์ใช้การออกแบบเป็นฉากรอบที่จะช่วยลดการสัมผัสเสียงในครัวเรือนในพื้นที่บริเวณเครื่องปั้มน้ำแห่งหนึ่งในอำเภอบ้านพะยอม จังหวัดพัทลุง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.1 การสร้างกล่องควบคุมเครื่องปั้มน้ำอากาศ และการตรวจวัดระดับเสียงดัง

กล่องควบคุมเครื่องปั้มน้ำอากาศทำด้วยแผ่นไม้อัดที่มีขนาดกว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 0.41 เมตร × 0.38 เมตร × 0.30 เมตร ซึ่งขนาดกล่องควบคุมจะสร้างให้สามารถรอบกับเครื่องปั้มน้ำให้ใกล้เคียงมากที่สุด ดังภาพที่ 3a ก่อนที่มีการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงจะมีการตรวจวัดระดับความดังเสียงจากเครื่องปั้มน้ำที่มีการทำงานในสภาวะปกติ พบว่า มีระดับ

ความดังเสียง 61 เดซิเบล (เอ) และใช้โปรแกรม Tone Generator 100-15 K Hz เป็นแหล่งกำเนิดความถี่ 250, 500, 1,000, 2,000, และ 4,000 Hz ตามลำดับ ทั้งเสียงภายในและภายนอกกล่องควบคุมเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงระดับเสียงในห้องทดลองในห้องภายในอาคารคณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ จากนั้นนำกล่องทดลองดังกล่าวข้างต้นไปครอบกับเครื่องปั้มน้ำในครัวเรือนแห่งหนึ่งในอำเภอบำเพ็ญ จังหวัดพัทลุง และมีการเปิดปั้มน้ำให้ทำงาน และทำการตรวจวัดเสียงตามความถี่ดังกล่าวข้างต้นโดยด้านในห่างจากกล่องควบคุมเล็กน้อย (~10 เซนติเมตร) ส่วนด้านนอกกล่องทดลองทำการตรวจวัดเสียงห่างจากปั้มน้ำเป็นระยะ 100 เซนติเมตร ตามมาตรฐานการตรวจวัดเสียงดัง²⁶ เพื่อเป็นค่าที่จะนำมาใช้ในการคำนวณระดับความดังเสียงก่อนการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงสำหรับลักษณะของวัสดุดูดซับเสียงที่มีการติดตั้งในห้องทดลอง ด้วยการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงจากการทดลอง B (สัดส่วนของ

เส้นใยมะพร้าวและกากมะพร้าวต่อน้ำยางพริ้วคานาในสัดส่วนน้ำ (กรัม) เท่ากับ 0.6:1.4:0.2:0.2) โดยนำกล่องควบคุมเสียงมาติดตั้งตามรูปทรงตามลักษณะของปั้มน้ำเพื่อจะวางครอบเครื่องปั้มน้ำ มีการเก็บงานและเคลือบผิวขัดแต่งผิวไม้ให้เรียบเนียนโดยใช้ซิลิโคนยาแนวตามรอยต่อเพื่อป้องกันน้ำเข้า และเคลือบด้วยน้ำยาเคลือบกันน้ำหลายๆ ชั้น เพื่อป้องกันความชื้นและยืดอายุการใช้งานของไม้อัด รวมทั้งใช้สีย้อมไฟสีน้ำเงินฉีดพ่นที่วัสดุดูดซับเสียงเพื่อป้องกันการลุกติดไฟ จากนั้นนำกล่องควบคุมเสียงที่สมบูรณ์ไปติดตั้งที่เครื่องปั้มน้ำของครัวเรือน ดังภาพที่ 3b โดยพื้นที่บริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ราบเรียบ มีหลังคาปกคลุมอยู่ห่างไกลจากแหล่งน้ำ และไม่มีน้ำกระเด็นใส่กล่องควบคุมเสียง และทำการตรวจวัดเสียงตามความถี่ดังกล่าวข้างต้นทั้งภายในและด้านนอกกล่องทดลอง จำนวน 3 จุด เพื่อเป็นค่าที่จะนำมาใช้ในการคำนวณระดับความดังเสียงหลังการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียง



ภาพที่ 3 กล่องควบคุมเสียงในพื้นที่เครื่องปั้มน้ำในครัวเรือน

2.2 การประเมินประสิทธิภาพการลดเสียง จากวัสดุดูดซับเสียงในพื้นที่บริเวณเครื่องปั้มน้ำในครัวเรือน

หลังจากติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงในบริเวณปั้มน้ำของครัวเรือน การศึกษานี้จะมุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพการลดระดับเสียง โดยค่าการลดระดับเสียงตามวิธีการมาตรฐานของ Bies and Hansen²⁷ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 โดยค่า NR คือ ระดับความดังเสียงที่ลดลง (เดซิเบล เอ) ค่า SPL1 คือ ระดับความดังเสียงก่อนติดตั้งวัสดุดูดซับเสียง (เดซิเบล เอ) และค่า SPL2 คือ ระดับความดังเสียงหลังติดตั้งวัสดุดูดซับเสียง (เดซิเบล เอ)

$$NR = SPL1 - SPL2 \quad \text{-----}(3)$$

โดยค่าระดับความดังเสียง (SPL) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4 ค่า SPL คือ ระดับความดังเสียงเมื่อรวมทุกความถี่ (เดซิเบล เอ) ค่า SPL_1 คือ ระดับความดังเสียงความถี่ที่ 1 (เดซิเบล เอ) ค่า SPL_2 คือ ระดับความดังเสียงความถี่ที่ 2 (เดซิเบล เอ) ค่า SPL_3 คือ ระดับความดังเสียงความถี่ที่ 3 (เดซิเบล เอ) และ SPL_n คือ ระดับความดังเสียงความถี่ที่ n (เดซิเบล เอ)

$$SPL = 10 \log ((10^{(0.1)SPL_1}) + (10^{(0.1)SPL_2}) + (10^{(0.1)SPL_3}) + + (10^{(0.1)SPL_n})) \quad \text{-----}(4)$$

3. เครื่องมือในการตรวจประเมินระดับเสียง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ เครื่องมือวัดเสียง (Sound level meter) ยี่ห้อ 3M SE-402 โดยมาตรฐานเครื่องคือ ISO/IEC 17026:2017 และมีการเปรียบเทียบความถูกต้องวันที่ 3 มกราคม 2568 สำหรับวัดระดับเสียงทั้งแบบความดังเสียง (Time weighting) และแบบแยกความถี่ (Frequency weighting) ในหน่วยเดซิเบล (เอ)

4. การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือตรวจวัดเสียง

เครื่องมือตรวจวัดเสียงที่ใช้ในการวิจัยได้ผ่านการสอบเทียบมาตรฐานโดยบริษัทผู้ผลิตเมื่อวันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2567 เพื่อให้มั่นใจถึงความถูกต้องและความเชื่อมั่นของค่าในการวัด ผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการตรวจวัดความดังเสียงด้วยตนเอง และกระบวนการตรวจวัดเสียงเป็นไปตามมาตรฐานและสอดคล้องกับคู่มือการใช้งานของเครื่องมือ

5. วิธีเก็บรวบรวมข้อมูล

5.1 การตรวจวัดเสียงในห้องปฏิบัติการ โดยห้องที่ใช้ในการทดลองจะมีการตรวจวัดระดับเสียงก่อนเบื้องต้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงระดับเสียงในห้องทดลอง และทำการ

ตรวจวัดเสียงแยกตามความถี่ 5 นาที่ต่อครั้ง โดยทำการวัดจุดละ 3 ครั้ง จำนวน 5 จุด ได้แก่ วัดมุมบนซ้าย 1 จุด มุมบนขวา 1 จุด มุมล่างซ้าย 1 จุด มุมล่างขวา 1 จุด และจุดกึ่งกลางแผ่นดูดซับเสียงอีก 1 จุด

5.2 ตรวจวัดระดับเสียงก่อนและหลังการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียง โดยวัดในสภาพการทำงานจริงของเครื่องปั้มน้ำภายในครัวเรือน

5.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการวัดระดับเสียงเป็นเวลา 5 นาที่ต่อครั้ง โดยทำการวัดจุดละ 3 ครั้ง จำนวน 2 จุด ได้แก่ วัดภายในกล่องควบคุมเสียงห่างจากเครื่องปั้มน้ำภายใน 1 จุด (ระยะห่างประมาณ 10 เซนติเมตร) และภายนอกกล่องควบคุมเสียงห่างจากปั้มน้ำที่ระยะ 1 เมตร

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยนี้มีการใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในการวิเคราะห์ค่า NRC ของวัสดุดูดซับเสียงที่พัฒนาทั้งหมด และใช้สถิติที่เชิงอนุมาน ได้แก่ Mann-Whitney U Test ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า NRC จากการพัฒนาวัสดุดูดซับเสียงที่ความหนา 1 นิ้ว และ 1.5 นิ้ว เช่น เปรียบเทียบสัดส่วนของเส้นใยมะพร้าวและกากมะพร้าว ในอัตราส่วน 50:50 ระหว่างแผ่นวัสดุดูดซับเสียงที่ความหนา 1 นิ้วกับแผ่นวัสดุดูดซับเสียงที่ความหนา 1.5 นิ้ว เป็นต้น และใช้ Wilcoxon Sign Rank Test ในการทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการลดเสียงก่อน และหลังการประยุกต์ใช้วัสดุดูดซับเสียงกับเครื่องปั้มน้ำในครัวเรือน

ข้อพิจารณาทางจริยธรรม

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจริยธรรมจากมาตรฐานการดำเนินงานคณะกรรมการการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่ใบรับรอง 329/2568 (เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 24 กันยายน 2568 - 25 กันยายน 2569)

ผลการศึกษา

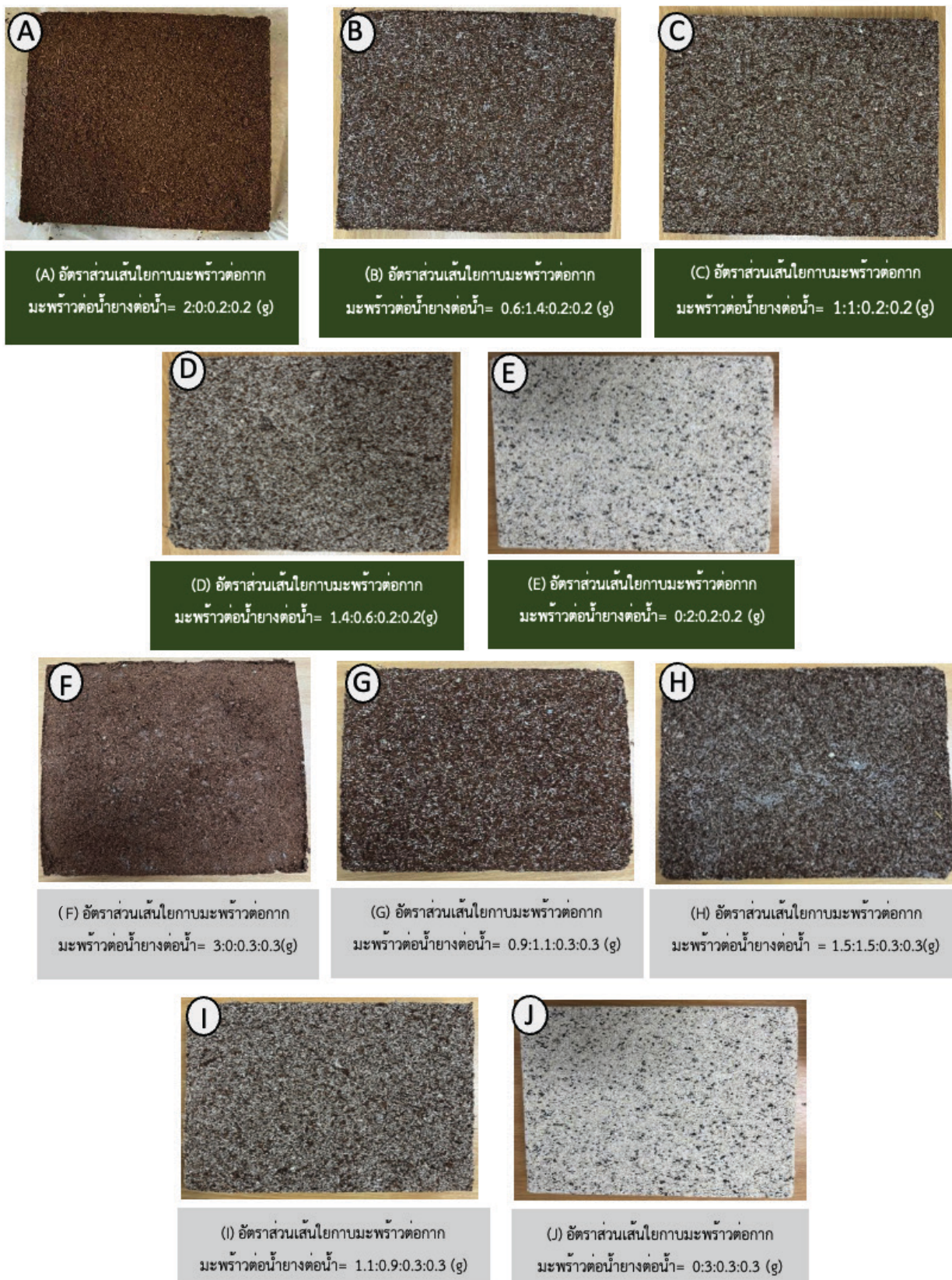
1. ผลการศึกษ้อัตราส่วนและความหนาที่เหมาะสมของวัสดุดูดซับเสียง

1.1 การขึ้นรูปของแผ่นวัสดุดูดซับเสียง

วัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยมะพร้าวและกากมะพร้าว ที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสตามแม่พิมพ์ที่มีความกว้าง 20 เซนติเมตร และยาว 20 เซนติเมตร

ที่ความหนา 1 และ 1.5 นิ้ว และเมื่อแผ่นแห้งสนิทแล้ว มีการขึ้นรูปได้ดีทั้ง 10 การทดลอง ดังภาพที่ 4 โดยวัสดุดูดซับเสียง

ที่ผลิตได้มีความแข็งแรงและมีการกดทับด้วยแรง 5 กิโลกรัมทั้งแผ่น ทำให้ผิวหน้าของชิ้นงานทุกแผ่นเรียบเสมอกันทั้งแผ่น



ภาพที่ 4 ลักษณะของวัสดุดูดซับเสียงที่สามารถขึ้นรูปได้ดีทั้ง 10 การทดลอง

1.2 ความหนาแน่นของวัสดุดูดซับเสียง

กำหนดความหนาแน่นในการผลิตแผ่นวัสดุดูดซับเสียง ภายหลังการขึ้นรูปเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการประเมินน้ำหนักและขนาดของแผ่นทดสอบทั้ง 10 การทดลอง โดยขนาดของแผ่นโดยเฉลี่ยเท่ากับ $19.98 \pm 0.13 \times 19.97 \pm 0.15 \times 1.96 \pm 0.18$ เซนติเมตร นำไปคำนวณหาความหนาแน่นเฉลี่ยทั้ง 10 การทดลองได้ อยู่ระหว่าง 0.233 – 0.372 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยพบว่าที่ความหนาของวัสดุดูดซับเสียงที่ 1.5 นิ้วมีความหนาแน่นที่สูงกว่าการใช้ความหนาที่ 1 นิ้ว

1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (SAC)

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่

มีความหนา 2 ชนิด ได้แก่ 1 นิ้ว และ 1.5 นิ้ว โดยมีการทดสอบเสียงที่ความถี่ 250, 500, 1000, 1500, 2,000 และ 4,000 Hz ได้ค่าดังตารางที่ 1 โดยผลการศึกษาพบว่า การทดลอง B ที่สัดส่วนของเส้นใยกาบมะพร้าวและกากมะพร้าวเท่ากับ 30:70 ที่ความหนา 1 นิ้ว มีการดูดซับเสียงในช่วงความถี่ต่ำถึงกลางได้ดีที่สุด คือ SAC เท่ากับ 0.733 และ 0.867 ที่ความถี่ 250 และ 500 Hz ตามลำดับ และความสามารถในการดูดซับเสียงลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น ส่วนการทดลองอื่นๆ ส่วนใหญ่แนวโน้มของ ค่า SAC มีทิศทางเดียวกันกับผลการทดลองข้างต้น

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (SAC) จากเส้นใยกาบมะพร้าวและกากมะพร้าว

ความหนา	การทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (SAC)				
		250	500	1000	2000	4000
1 นิ้ว	A	0.762	0.862	0.644	0.732	0.582
	B	0.733	0.867	0.721	0.760	0.533
	C	0.72	0.829	0.648	0.748	0.551
	D	0.753	0.832	0.642	0.799	0.624
	E	0.641	0.527	0.684	0.643	0.534
	F	0.696	0.805	0.552	0.590	0.524
1.5 นิ้ว	G	0.691	0.787	0.596	0.698	0.543
	H	0.697	0.782	0.596	0.742	0.572
	I	0.715	0.793	0.591	0.747	0.571
	J	0.713	0.785	0.574	0.733	0.536

1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง (NRC)

จากการศึกษาค่า NRC ของวัสดุดูดซับเสียงที่ความหนา 1 นิ้ว ได้แก่ การทดลอง A, B, C, D และ E และที่ความหนา 1.5 นิ้ว ได้แก่ การทดลอง F, G, H, I และ J โดยผลการทดสอบ พบว่าที่ความหนา 1 นิ้ว ให้ค่า NRC อยู่ระหว่าง 0.621 – 0.774 และพบว่าค่า NRC การทดลอง B (เส้นใยกาบมะพร้าวและกากมะพร้าว ในอัตราส่วน 30:70) ที่ความหนา 1 นิ้ว ให้ค่า NRC สูงที่สุดเท่ากับ 0.774 รองลงมาคือ การทดลอง E

(เส้นใยกาบมะพร้าวและกากมะพร้าว ในอัตราส่วน 100:0) ที่ความหนา 1 นิ้ว มีค่า NRC เท่ากับ 0.761 ส่วนการทดลองที่ความหนา 1.5 นิ้ว ให้ค่า NRC อยู่ระหว่าง 0.662 – 0.712 ซึ่งส่วนใหญ่พบว่าค่า NRC ต่ำกว่าที่ความหนา 1 นิ้ว เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า NRC ของแผ่นที่มีสัดส่วนของเส้นใยกาบมะพร้าวและกากมะพร้าวในสัดส่วนที่เท่ากัน พบว่า ที่ความหนา 1 นิ้วจะมีค่า NRC มากกว่าที่ความหนา 1.5 นิ้ว อาทิ การทดลอง B (เส้นใยกาบมะพร้าวต่อกากมะพร้าวในอัตราส่วน 30:70) ที่ความหนา 1 นิ้วมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติกับการทดลอง G (เส้นใยกาบมะพร้าวและกากมะพร้าว ในอัตราส่วน 30:70) ที่ความหนา 1.5 นิ้ว ($p < 0.001$)

2. ผลการประยุกต์ใช้วัสดุดูดซับเสียงในพื้นที่บริเวณเครื่องปั้มน้ำในครัวเรือน

2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (SAC) และค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง (NRC)

หลังจากนำวัสดุดูดซับเสียงในอัตราส่วนเส้นใยกาบมะพร้าวและกากมะพร้าวเท่ากับ 30:70 ไปติดตั้งกับเครื่องปั้มน้ำในครัวเรือน โดยมีการทดสอบเสียงระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง (เครื่องปั้ม) ในระยะ 1 เมตร ที่ความถี่ 250, 500, 1000, 1500, 2,000 และ 4,000 Hz พบว่ามีค่า SAC เฉลี่ยเท่ากับ 0.879, 0.325, 0.933, 0.652, 0.030 และ 0.001 ตามลำดับ และพบว่าค่า NRC เฉลี่ยเท่ากับ 0.710

2.2 การประเมินประสิทธิภาพการลดเสียง

จากการศึกษาค่าระดับเสียงพื้นหลังในขณะที่ปั้มน้ำยังไม่ทำงาน พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56 เดซิเบล (เอ) และระดับเสียงจากเครื่องปั้มในขณะที่ทำงานเฉลี่ยก่อนการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียง (Baseline) คือ 61 เดซิเบล (เอ) และจากผลการทดลอง พบว่า ก่อนการติดตั้งแผ่นวัสดุดูดซับเสียงมีค่าระดับความดังเสียงเมื่อรวมความถี่ (SPL) ระยะห่างจากเครื่องปั้มในระยะ 1 เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.60 เดซิเบล (เอ) และหลังจากติดตั้งแผ่นวัสดุดูดซับเสียง พบว่าค่า SPL ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 50.20 เดซิเบล (เอ) จะเห็นว่า วัสดุดูดซับเสียงในอัตราส่วนเส้นใยกาบมะพร้าวและกากมะพร้าวเท่ากับ 30:70 มีประสิทธิภาพการลดเสียงเท่ากับ 4.40 เดซิเบล (เอ) และจากการทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการลดเสียงก่อนและหลังการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียง พบว่า มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

อภิปรายผล

จากการศึกษาพบว่า การทดลองอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปแผ่นวัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยกาบมะพร้าวและกากมะพร้าว โดยสามารถขึ้นรูปได้ทั้งหมด 10 การทดลอง (ความยาวของเส้นใยกาบมะพร้าวที่เล็กกว่า 1 เซนติเมตร) การขึ้นรูปได้ดีแข็งแรง ไม่มีรอยปริแตกหรือแตกออกจากกัน และวัสดุผสมจับตัวกันได้ดีค่อนข้างสวยงาม ทั้งนี้เนื่องจากการใช้

วัสดุประสานเป็นน้ำยางพริ้วคานาซ์ ทำให้ขึ้นรูปได้ดีและมีประสิทธิภาพในการยึดติดที่สูงมาก มีความยืดหยุ่น เมื่อใช้ติดแล้ววัสดุจะติดแน่นทนทาน การหลุดหรือเปราะเกิดขึ้นได้ยาก²⁸ และสอดคล้องกับการศึกษาของ กิตติชาติ โหมาศวิน และคณะ²⁹ ที่พบว่าขนาดความยาวของเส้นใยที่เล็กกว่า 0.5 นิ้วสามารถขึ้นรูปวัสดุดูดซับเสียงเส้นใยกาบมะพร้าวได้ ส่งผลให้เส้นใยกาบมะพร้าวมีความหนาแน่นและความละเอียดของใยสูง โดยจากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงในการศึกษานี้ พบว่าอัตราส่วนของเส้นใยกาบมะพร้าวต่อกากมะพร้าวต่อน้ำยางพริ้วคานาซ์ต่อน้ำ (กิโกรัม) เท่ากับ 0.6:1.4:0.3:0.3 (อัตราส่วน 30:70) ที่ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงดีที่สุด ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีของแผ่นวัสดุดูดซับเสียงเนื่องจากมีค่า NRC มากกว่า 0.4²⁵ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาวิจัยของ กิตติชาติ โหมาศวินและคณะ²⁹ พบว่า แผ่นวัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยกาบมะพร้าวและใช้น้ำยางพาราสดเป็นวัสดุประสาน ที่ความหนา 2 นิ้ว ให้ค่า NRC เท่ากับ 0.913 ซึ่งสูงกว่าการศึกษานี้ และเมื่อเปรียบเทียบกับจากการศึกษาของ Mahzan²² ที่พัฒนาวัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยมะพร้าวที่ความหนา 30 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่า แผ่นดูดซับเสียงให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงสูงสุดระหว่าง 0.94-0.97 ซึ่งสูงกว่าการศึกษานี้เช่นกัน และมีคุณสมบัติดูดซับเสียงที่ดีทั้งในย่านความถี่ต่ำและความถี่สูง²² และเมื่อพิจารณาวัสดุดูดซับเสียงในการศึกษานี้จะดูดซับเสียงได้ดีในย่านความถี่ต่ำถึงกลาง (ความถี่ 250-500 Hz) แม้ว่าเส้นใยมะพร้าวและกากมะพร้าวจะมีลักษณะโครงสร้างภายในคล้ายกับวัสดุแบบรูพรุน (Porous material) คือเป็นเซลล์ที่มีลักษณะเปิดอยู่ภายใน แต่เนื่องจากเซลล์เปิดเหล่านี้ไม่มีรูปแบบที่สม่ำเสมอ เนื่องจากอิทธิพลของเส้นใย กาบมะพร้าวที่มีความหนาแน่นต่ำ ทำให้พฤติกรรมการดูดซับเสียงของการศึกษานี้มีลักษณะกลไกแบบเมมเบรน (Membrane absorber) คือ สามารถดูดซับเสียงได้ดีในย่านความถี่ต่ำถึงกลางและมีความสามารถในการดูดซับเสียงลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น จากผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าวัสดุประเภทนี้มีข้อจำกัดในช่วงความถี่สูง ซึ่งเสียงอาจจะทะลุผ่านโครงสร้างที่รูพรุนได้ง่าย ดังนั้นการใช้วัสดุเหลือใช้ตามธรรมชาติเพียงอย่างเดียวก็มีข้อจำกัดของการดูดซับเสียงในช่วงความถี่สูง ซึ่งควรมีการผสมกับวัสดุที่สังเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการ

ดูดซับเสียง³⁰ ตัวอย่าง เช่น การใช้โพนซึ่งเป็นวัสดุสังเคราะห์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการลดเสียงในช่วงความถี่ที่หลากหลาย³¹ และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของวัสดุดูดซับเสียงการศึกษานี้ระหว่างความหนา 1 นิ้ว และความหนา 1.5 นิ้ว พบว่ามีค่า NRC แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยวัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนา 1 นิ้วให้ค่า NRC สูงดีกว่าวัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนา 1.5 นิ้ว ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อความหนาของแผ่นวัสดุดูดซับเสียงเพิ่มขึ้น อาจทำให้เกิดการเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านเป็นผลให้วัสดุดูดซับเสียงเกิดการสั่นสะเทือนมากขึ้น ซึ่งการสั่นสะเทือนนี้จะเป็สาเหตุของแหล่งกำเนิดเสียงแหล่งใหม่ในห้องทดลองตรวจวัดเสียง³² จึงทำให้วัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนา 1.5 นิ้วดูดซับเสียงได้น้อยกว่าซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กิตติชาติ โหมาศวินและคณะ²⁹ ที่พบว่าความหนาของวัสดุดูดซับเสียงที่มากขึ้นไม่ทำให้คุณสมบัติในการดูดซับเสียงมากขึ้นแต่จะขึ้นอยู่กับวิธีการประสานตัวของเส้นใยกาบมะพร้าวกับวัสดุที่ใช้ในการประสาน (น้ำยางพารา)

การประยุกต์ใช้วัสดุดูดซับเสียงจากอัตราส่วนเส้นใยกาบมะพร้าวและกากมะพร้าวเท่ากับ 30:70 ไปติดตั้งกับเครื่องปั้มน้ำในครัวเรือน ผลการศึกษาพบว่ามีประสิทธิภาพการลดเสียงเท่ากับ 4.40 เดซิเบล (เอ) และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่นๆ ที่มีการประยุกต์ใช้วัสดุดูดซับเสียงเพื่อควบคุมเสียงดังจากเครื่องจักร อาทิ การศึกษาของธีรพล สุวัฒนาสินธิ์และคณะ²⁶ ที่ศึกษาออกแบบและเลือกวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการลดเสียงพร้อมทั้งเปรียบเทียบระดับเสียงก่อนและหลังการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงจากเครื่อง Cone Crusher โดยพบว่า การใช้วัสดุดูดซับเสียงที่เป็นฉาโพนทับด้วยเกล็ดผสมโพนสามารถลดระดับเสียงได้อยู่ระหว่าง 2.26-9.87 เดซิเบล (เอ) ครอบคลุมทุกช่วงความถี่ (8-8,000 Hz) และในระยะ 1 เมตรห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงสามารถลดเสียงดังได้สูงถึง 9.87 เดซิเบล (เอ) และลดเสียงได้ครอบคลุมทุกช่วงความถี่และมีประสิทธิภาพสูงกว่าการศึกษานี้ ทั้งนี้เนื่องวัสดุดูดซับเสียงจากเครื่อง Cone Crusher มีการผสมรวมกันทั้งวัสดุธรรมชาติและวัสดุสังเคราะห์ จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับเสียง³¹ รวมทั้งสามารถลดเสียงได้ความถี่หลากหลายตั้งแต่ความถี่ต่ำไปยังความถี่สูง³² ซึ่งแตกต่างจากการศึกษานี้ที่ใช้วัสดุธรรมชาติเพียงอย่างเดียวในการพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับเสียง

สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตวัสดุดูดซับเสียงที่สร้างขึ้นใน การศึกษานี้ไม่มีค่าใช้จ่าย เพราะวัตถุดิบทั้งหมดรวมทั้งวัสดุประสาน ได้รับความอนุเคราะห์จากร้านและหน่วยงานต่างๆ หากจะวิเคราะห์ทาง เศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิต ค่าใช้จ่ายหลักคงมีค่าใช้จ่ายเฉพาะ วัสดุที่ใช้ในการประสาน คือ น้ำยางพรวีลคานซ์ คิดเป็นราคา 69 บาทต่อพื้นที่ 400 ตารางเซนติเมตร ดังนั้นการนำเส้นใยกาบมะพร้าวผสมกากมะพร้าวมีความเป็นไปได้ในการนำมาเป็นวัสดุเพื่อควบคุมเสียงเพื่อทดแทนวัสดุดูดซับเสียงที่ใช้ในปัจจุบันเนื่องจากมีต้นทุนที่ค่อนข้างต่ำ แต่ต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น การป้องกันความชื้น อายุการใช้งาน การป้องกันการสั่นสะเทือน และการทนทานต่อสภาพอากาศ เป็นต้น

ข้อจำกัดของการวิจัย สำหรับการประยุกต์ใช้วัสดุดูดซับเสียงในพื้นที่บริเวณเครื่องปั้มน้ำในครัวเรือนอาจมีความคลาดเคลื่อนจากการรบกวนของเสียงภายนอก แม้จะมีการตรวจวัดระดับเสียงพื้นหลังในขณะที่ปั้มน้ำยังไม่ทำงาน และควบคุมสภาพแวดล้อมระหว่างการตรวจวัดแล้วก็ตาม การทดสอบในพื้นที่จริงที่เครื่องปั้มน้ำให้อากาศ ดำเนินการเพียงครั้งเดียวและใช้ระยะเวลารวมไม่เกิน 2 ชั่วโมง จึงอาจยังไม่สะท้อนผลการใช้งานระยะยาวภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ความชื้น อุณหภูมิ และแรงลม เป็นต้น

สรุปผล

จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยกาบมะพร้าวและกากมะพร้าวสามารถขึ้นรูปได้และมีความหนาแน่นที่ดี และเมื่อนำวัสดุดูดซับเสียงที่อัตราส่วนของเส้นใยกาบมะพร้าวต่อกากมะพร้าวต่อน้ำยางพรวีลคานซ์ต่อน้ำ (กิโลกรัม) เท่ากับ 0.6:1.4:0.3:0.3 (อัตราส่วน 30:70) ที่ความหนา 1 นิ้ว ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการควบคุมเสียงดังจากเครื่องปั้มน้ำในครัวเรือน พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดเสียงดังได้ระดับหนึ่ง แต่ต้องพิจารณาปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น การป้องกันอุณหภูมิหรือความชื้น และระยะเวลาการใช้งาน เป็นต้น รวมทั้งแผ่นวัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยกาบมะพร้าวและกากมะพร้าวอาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปพัฒนาและใช้ประโยชน์สำหรับโรงงานที่มีเสียงในย่านความถี่ต่ำถึงกลาง เช่น โรงงานไม้หิน และระบบลำเลียงวัสดุ เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ การลดเสียงจากปั๊มในครัวเรือน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าวัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยคาบมะพร้าว และกากมะพร้าวมีความเหมาะสมสำหรับเสียงดังจากปั๊มน้ำในครัวเรือน รวมทั้งเสียงดังจากโรงงานที่มีย่านความถี่เสียงต่ำถึงปานกลาง เช่น โรงงานโม่หิน และระบบลำเลียงวัสดุด้วยสายพาน เป็นต้น ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำไปควบคุมเสียงดังเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับคน

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป ควรศึกษาวัสดุดูดซับเสียงชนิดใหม่ที่มีการผสมผสานกันระหว่างวัสดุดูดซับเสียงที่มาจากวัสดุเหลือใช้ร่วมกับวัสดุสังเคราะห์เพื่อความสามารถในการลดเสียงได้ทุกช่วงความถี่ เช่น วัสดุรีไซเคิลจากของเสียในอุตสาหกรรมหรือชุมชน (เช่น ขวดน้ำพลาสติกหรือหน้ากากอนามัย) หรือวัสดุธรรมชาติชนิดอื่นๆ (เช่น เส้นใยกระจูดหรือเปลือกผลไม้) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในบริบทที่หลากหลายยิ่งขึ้น ควบคู่กับการวิเคราะห์คุณสมบัติกายภาพและโครงสร้างที่เอื้อต่อการนำไปใช้งาน เช่น ความพรุน ความหนาแน่น การรับแรงกระแทก การทนไฟ การป้องกันความชื้น และสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (NRC) เพื่อเพิ่มความเข้าใจในประสิทธิภาพการลดเสียงของวัสดุเหล่านี้ในช่วงความถี่ต่างๆ ในการลดเสียงดัง และความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป นอกจากนี้ควรมีการตรวจวัดระดับเสียงในบริเวณที่คนอาศัยอยู่ร่วมด้วยขณะที่ปั๊มน้ำมีการใช้งาน เพื่อประเมินผลกระทบต่อสุขภาพของคนในกรณีของการเป็นแหล่งมลพิษทางเสียงและสร้างเหตุเดือดร้อนรำคาญ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณหลักสูตรวิศวกรรมการยางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ในการให้ความอนุเคราะห์นํ้ายางพรีวัลคาไนซ์เพื่อใช้เป็นวัสดุประสานในการพัฒนาวัสดุดูดซับเสียง รวมทั้งหลักสูตรอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬามหาวิทยาลัยทักษิณ ในการสนับสนุนเครื่องมือในการตรวจวัดเสียงและห้องปฏิบัติการในการทดลอง และขอขอบคุณครอบครัวหนึ่งในอำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุงที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดลองการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงในการศึกษานี้กับเครื่องปั๊มน้ำในครัวเรือน

เอกสารอ้างอิง

- Osejos-Merino MA, Cano-Andrade RJ, Chasing-Guagua EA, Aguilar-Cano CA, Chasing-Salazar SA. Acoustic pollution and its incidence in population health along Alejo Lascano Avenue in Jipijapa city-Ecuador. *Dominio de las Ciencias*. 2019;5(1):538-59. <https://doi.org/10.23857/dc.v5i1.876>.
- Marquis-Favre C, Premat E, Aubrée D. Noise and its effects-A review on qualitative aspects of sound. Part II: Noise and annoyance. *Acta Acustica united with Acustica*. 2005;91(4):626-42.
- Photong A, Natthaphon Phokhaphan, Choeisai K, Buasri P. A Design of Control Circuit for Household Water Pump Using Triac. *KKU Res J (GS)*. 2016;16(2):15-23. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/gskku/article/view/61034>.
- Walrus Pump Company. Why choose a quiet water pump? What are the benefits? [internet]. Samut Sakhon: Walrus Pump Company; 2024 [cited 2025 Nov 9] Available from: <https://www.walruspump.co.th>.
- Ministry of Public Health. Notification of the Ministry of Public Health on the determination of noise pollution standards arising from businesses that are hazardous to health, B.E. 2018 [Internet]. Bangkok: 2018 [cited 2025 Oct 15]. Available from: <https://infocenter.oic.go.th/fileweb/cabinfocenter9/drawer022/general/data0004/00004427.pdf>.
- Harris, C.M. *Handbook of Noise Control*. New York: McGraw-Hill; 1979.
- Tulinska J, Jahnova E, Dusinska M, Kuricova M, Liskova A, Ilavska S, et al. Immunomodulatory effects of mineral fibres in occupationally exposed workers. *Mutation research*. 2004;553(1-2):111-24. <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2004.06.030>.
- Oh KW, Kim DK, Kim SH. Ultra-porous flexible PET/

- Aerogel blanket for sound absorption and thermal insulation. *Fibers and Polymers*. 2009;10(5):731-7. <https://doi.org/10.1007/s12221-010-0731-3>.
9. Korte S, Staiger MP. Effect of processing route on the composition and properties of hemp fibre. *Fibers and Polymers*. 2008;9(5):593-603. <https://doi.org/10.1007/s12221-008-0095-0>.
 10. Nam S, Netravali AN. Green composites. I. physical properties of ramie fibers for environment-friendly green composites. *Fibers and Polymers*. 2006;7(4):372-9. <https://doi.org/10.1007/BF02875769>.
 11. Yilmaz ND, Banks-Lee P, Powell NB. Biodegradable nonwoven composites as noise control elements. *Proceedings of the International Nonwovens Technical Conference (INTC 2008)*; 2008 Sep 8-11; Houston, TX, USA: INDA and TAPPI; 2008. p. 336-341.
 12. Malawade UA, Jadhav MG. Investigation of the acoustic performance of bagasse. *J Mater Res Technol*. 2020;9(1):882-89. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.028>.
 13. Chanlert P, Tongyoo S, Rordrak C. Effects of urea-formaldehyde and polyvinyl acetate adhesive on sound absorption coefficient and sound transmission loss of palmyra palm fruit fiber composites. *Applied Acoustics*. 2022;198:108984. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108984>.
 14. Or KH, Putra A, Selamat MZ. Oil palm empty fruit bunch fibres as sustainable acoustic absorber. *Applied Acoustics*. 2017;119:9-16. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.12.002>.
 15. Santoni A, Bonfiglio P, Fausti P, Marescotti C, Mazzanti V, Mollica F, et al. Improving the sound absorption performance of sustainable thermal insulation materials: Natural hemp fibres. *Applied Acoustics*. 2019;150:279-89. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.02.022>.
 16. Surit S, Tubsuwan K. Manufacturing guideline of an acoustic absorber from hemp fiber with appropriated technology in community. *Journal of Buddhist Anthropology*. 2022;7(6):1-16. <https://so04.tci-thaijo.org/index.php/JSBA/article/view/259216>.
 17. Boonmee T, Winotaka P, Jirawutiwongchai J, Srimueang N, Duanguppama K. Sound-absorbing pad from sunflower seed shells. *Prawarun Agricultural Journal*. 2023;20(2): 37–41. <https://doi.org/10.14456/paj.2023.25>.
 18. Bhingare NH, Prakash S. An experimental and theoretical investigation of coconut coir material for sound absorption characteristics. *Mater Today Proc*. 2021;43(2):1545-1551. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.401>.
 19. Kaamin M, Ahmad NFA, Ngadiman N, Abdul Kadir A, Mohd Razali SN, Mokhtar M, Sahat S. Study on the effectiveness of egg tray and coir fibre as a sound absorber. *E3S Web Conf*. 2018;34:02005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183402005>.
 20. Cayan NDC, Gozun SC, Tongol ERM, Bautista LG. Hibla: acoustic fiber. *Proc Meet Acoust*. 2019;39:015002. <https://doi.org/10.1121/2.0001264>.
 21. Ezekiel N, Ndazi B, Nyahumwa C, Karlsson S. Effect of temperature and durations of heating on coir fibers. *Industrial Crops and Products*. 2011;33(3):638-43. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.030>.
 22. Mahzan S, Ahmad Zaidi AM, Arsat N, Hatta NMN, Ghazali MI, Rasool Mohideen S. Study on sound absorption properties of coconut coir fibre reinforced composite with added recycled rubber. *International journal of integrated engineering*. 2010;2(1):29-34.
 23. Mohanty AK, Misra M, Drzal LT. Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources:

- Opportunities and Challenges in the Green Materials World. *Journal of Polymers and the Environment*. 2002;10(1):19-26. <https://doi.org/10.1023/A:1021013921916>.
24. Raynolds Douglas D. *Engineering principles of acoustics noise and vibration control*. Boston: Allyn and Bacon; 1981.
 25. Cowan JP. *Handbook of Environmental Acoustics*. New York: Van Nostrand Reinhold is an International Thomson Publishing Company; 1994.
 26. Sukkavatanasinit T, Lormphongs S, Sa-ngiamsak T. Effectiveness of Sound Absorbing Material in Reducing Noise Level from The Cone Crusher in a Stone Crushing Plant, Chonburi Province. *the Public Health Journal of Burapha University*. 2025;20(1):14-22. <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/phjbuu/article/view/273476>.
 27. Bies DA, Hansen CH. *Engineering noise control: theory and practice*. London: E & FN Spon; 1996.
 28. Saleh A, Ige HO, Akande FB, Yunusa SU, Atiku MM. Potential of using agricultural waste (orange peel) and empty water sachets/bags in the production of sound absorption panel. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;445(1):012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/445/1/012038>.
 29. Homaswin K, Sangsupata S, Intrachooto S. Para-rubber and coconut fiber integrated acoustic panels. *Proceedings of the 45th Kasetsart University Annual Conference*; 2007 Jan 30-Feb 2; Bangkok, Thailand: Kasetsart University; 2007. p. 235-244.
 30. Areeya N. Use of polyurethane foam for noise reduction. *Ind Hyg J*. 2018;39(3):56-62.
 31. Rattanaporn P, Suthida C, Teerasak S. Hearing impairment risk from stone crushing industry in Thailand. *J Occup Health*. 2021;63(2):123-30.
 32. Wiriya B. A comparative study of sound absorption efficiency of dried plant materials and glass fiber [dissertation]. Nakhon Ratchasima: Suriname University of Technology; 2003.