รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

วัสดุซับเสียงจากโพลิเอสเตอร์และฝ้าย
POLYESTER AND COTTON BASED SOUND ABSORBER

นางสาวพัชรวัลย์ พัดทอง

ภาควิชาดนตรีและสื่อประสม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามที่ข้าพเจ้า นางสาวพัชรวัลย์ พัดทอง ได้มาปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัทแฮนส์ โซลูชั่น จำกัด ตั้งแต่วันที่ 6 สิงหาคม 2562 ถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน 2562 ทำให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้และประสบการณ์ต่าง ๆที่มีคุณค่ามากมาย สำหรับรายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี จากความช่วยเหลือและความร่วมมือสนับสนุนของหลายฝ่าย ดังนี้

1. คุณกอบบุญ	แฮนเซ่น	ตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ
2. คุณดวงกมล	แฮนเซ่น	ตำแหน่ง พนักงานที่ปรึกษา
3. คุณภูมิทัศน์	ถาวรกิจ	ตำแหน่ง Application Engineer

ขอขอบคุณ ดร.ณัชนันท์ ชิตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิชาสหกิจศึกษา ที่ให้คำแนะนำ เป็นธุระจัดหาเครื่องมือในการทำวิจัย คอยติดตามประเมินความก้าวหน้าของการปฏิบัติงานและตรวจแก้ไขเล่มรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาจนสำหรับลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบคุณพี่เจี๊ยบ พี่ณรงค์ และบริษัทนิวเวิลด์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับเรื่องเส้นใย และยอมสละเวลาในการทำตัวอย่างทดสอบทั้งหมดที่ใช้ในโครงงานสหกิจศึกษาฉบับนี้ และขอขอบคุณ บริษัทจีโอนอยซ์ (ไทยแลนด์) จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์ให้ใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

นอกจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่น ๆ อีกที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ซึ่งให้ความกรุณาแนะนำในจัดทำรายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้ ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและให้ความเข้าใจเกี่ยวกับชีวิตของการปฏิบัติงาน รวมถึงเป็นที่ปรึกษาในการจัดทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

นางสาวพัชรวัลย์ พัดทอง
ผู้จัดทำรายงาน
วันที่ 20 มกราคม 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา วัสดุซับเสียงจากโพลิเอสเตอร์และฝ้าย
ชื่อ-สกุล นักศึกษา นางสาวพัชรวัลย์ พัดทอง
คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.ณัชนันท์ ชิตานนท์
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายกอบบุญ แฮนเซ่น
สถานประกอบการ บริษัทแฮนส์ โซลูชั่น จำกัด

บทคัดย่อ

โครงงานสหกิจศึกษาฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการสร้างฉวนซับสียงแบบมีรูพรุนของบริษัทเอง เพื่อลดต้นทุนของบริษัทในงานห้องบันทึกเสียง วัสดุทั้งหมดในโครงงานนี้เป็นวัสดุรีไซเคิล ได้แก่ โพลิเอสเตอร์จากขวดน้ำและพลาสติกเหลือใช้ในอุตสาหกรรม และฝ้ายจากเศษผ้าที่ใช้แล้ว ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างโพลิเอสเตอร์และฝ้าย และความหนาแน่นของวัสดุซับเสียง โดยกำหนดความหนาของทุกตัวอย่างทดสอบที่ 50 มิลลิเมตร และจำลองการวางวัสดุซับเสียงติดกับผนังโดยตรง นอกจากนี้ยังต้องทดสอบความสามารถในการติดไฟของวัสดุตามมาตรฐานUL94 เนื่องจากเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดในการผลิตวัสดุซับเสียง เนื่องจากมีผลโดยตรงกับความปลอดภัยของผู้ใช้ห้อง จากผลการทดลองพบว่า วัสดุซับเสียงที่มีอัตราส่วนของฝ้ายมากกว่ามีแนวโน้มของการดูดซับเสียงที่ดีกว่าโพลิเอสเตอร์ในทุกช่วงความถี่ และมีราคาต่ำกว่าเมื่อเทียบกับโพลิเอสเตอร์ จากโครงงานสหกิจศึกษานี้ บริษัท แฮนส์ โซลูชั่น จำกัด สามารถลดต้นทุนในการสั่งผลิตวัสดุซับเสียงได้ถึง 72.22%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title: Polyester and cotton-based sound absorber
Student intern name: Padcharawan Padthong
Faculty: Engineering **Department:** Computer Engineering
Advisor name: Nachanant Chitanont
Mentor name: Kobboon Hansen
Company: Hans solution Co., Ltd

ABSTRACT

The purpose of this cooperative education project is to create the company's own porous sound absorber, in order to reduce the company's cost. All materials in this project are recycled materials, including polyester from water bottles and industrial waste plastic, and cotton from used clothes.

The researcher compared the variables that affect the sound absorption coefficient of the material, including the ratio between polyester and cotton and the density of the sound-absorbing material. In addition, the flammability of the material must be tested in accordance with UL94 standards, as it is the most important consideration in the production of sound absorbing materials. Because it directly affects the safety of the room users.

From the experimental results, it was found that Sound absorbing materials with a higher cotton ratio tend to have better sound absorption than polyester in all frequency ranges and have lower price when compared to polyester. From this cooperative project, Hans solution Co., Ltd could save the cost around 72.22% comparing to product currently used by the company.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	2
บทคัดย่อภาษาไทย	3
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	4
สารบัญ	5
สารบัญตาราง	6
สารบัญภาพ	7
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	8
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	8
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	9
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	9
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความหมายและประเภทของวัสดุซับเสียง	10
2.2 วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุน (Porous Absorber)	12
2.3 ความหมายและประเภทของเส้นใย (Fiber)	12
2.4 วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุนที่ใช้ในปัจจุบัน	13
2.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับเสียง	16
2.6 วิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ศึกษาความต้องการและปัญหาที่พบในบริษัท	20
3.2 ศึกษาข้อมลูที่เกี่ยวข้องและศึกษาความเป็นไปได้	20
3.3 กำหนดแบบแผนการทดลอง	20
3.4 กำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ	21
3.5 สั่งผลิตตัวอย่างทดสอบจากโรงงาน และติดต่อขอใช้เครื่องมือในงานวิจัย	21
3.6 ดำเนินการวิจัยและรวบรวมผลการทดลอง	22
3.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง	22
บทที่ 4 ผลการวิจัย	23
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	29
5.2 ข้อเสนอแนะ	31
บรรณานุกรม	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาขั้นตอนการดำเนินงาน 20
ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของหลอดอิมพีแดนซ์ที่ใช้ในการทดลอง 22
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการเผาไหม้ของวัสดุ (UL94) 26
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวอย่างทดสอบที่เสนอแก่บริษัท 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 พฤติกรรมของคลื่นเสียงเมื่อกระทบผิววัสดุ 10
ภาพที่ 2.2 พื้นผิววัสดุซับเสียงแบบสั่น 11
ภาพที่ 2.3 วัสดุซับเสียงแบบเรโซแนนซ์ 11
ภาพที่ 2.4 พื้นผิววัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุน 11
ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างวัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุนประเภทเส้นใย 12
ภาพที่ 2.6 การติดตั้งฉนวนใยแก้วในบริษัท 13
ภาพที่ 2.7 ฉนวนแร่ใยหิน 14
ภาพที่ 2.8 ปอดของผู้ทำงานกับแร่ใยหินเป็นเวลาหลายสิบปี 15
ภาพที่ 2.9 หินปูนที่เกิดจากการสัมผัสแร่ใยหินในเยื่อหุ้มปอด 15
ภาพที่ 2.10 ฉนวนใยร็อควูล 16
ภาพที่ 2.11 กราฟแสดงหลักการของค่าเวลาการสะท้อนกลับของเสียง 17
ภาพที่ 2.12 ห้องก้องกังวาน และการกระจายเสียงแบบสุ่มในห้องกังวาน 18
ภาพที่ 2.13 การกระจายเสียงในหลอดอิมพีแดนซ์และรูปแบบการเชื่อมต่อแปลงสัญญาณ 19
ภาพที่ 3.1 หลอดอิมพีแดนซ์ 21
ภาพที่ 4.1 หลอดอิมพีแดนซ์ที่ใช้ในการทดลอง 23
ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของ
โพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 100% ที่มีความหนาแน่น 1300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 24
ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 35%
และฝ้าย 65% ที่มีความหนาแน่น 1300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 24
ภาพที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 35%
และฝ้าย65%ที่มีความหนาแน่น 1300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 24
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล35%
และฝ้าย 65% กับ โพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 100% ที่มีความหนาแน่น
1300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 25
ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 35%
และฝ้าย 65%กับโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 100% ที่มี
ความหนาแน่น 2000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 25
ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 35%
และฝ้าย 65% กับโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 100%
ที่มีความหนาแน่น 2500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 25
ภาพที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของ
โพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 35%และฝ้าย 65% ที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน 26
ภาพที่ 4.9 การทดสอบการเผาไหม้ของวัสดุ 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.10 ตัวอย่างทดสอบจากฝ้ายผสมโพลีเอสเตอร์ที่เหลือจากการทดสอบ 27
ภาพที่ 4.11 ตัวอย่างทดสอบจากโพลีเอสเตอร์100%ที่เหลือจากการทดสอบ 27
ภาพที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 100% ที่มีความหนาแน่น 1300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในบริษัท ณ ปัจจุบัน 29
ภาพที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 35% และฝ้าย65% ที่มีความหนาแน่น 1300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในบริษัท ณ ปัจจุบัน 30

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ค่าเวลาการสะท้อนกลับของเสียง (Reverberation Time) เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญของการออกแบบห้องในปัจจุบัน เนื่องจากแต่ละห้องจะมีค่าเวลาการสะท้อนกลับของเสียงที่เหมาะสมแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์การใช้งาน แต่ด้วยข้อจำกัดด้านพื้นที่ จึงทำให้ไม่สามารถออกแบบห้องให้มีขนาดใหญ่พอที่จะมีค่าเวลาการสะท้อนกลับของเสียงตรงตามความต้องการได้ จึงมีการใช้วัสดุซับเสียงในการแก้ปัญหาความก้องของห้องแทน

วัสดุซับเสียง (Absorber) แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุน (Porous Absorbers)
2. วัสดุซับเสียงแบบสั่น (Membrane Absorbers)
3. วัสดุซับเสียงแบบเรโซแนนซ์ (Resonance Absorbers)

วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุน (Porous Absorbers) ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันและหาซื้อได้ทั่วไป ได้แก่ ฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยหิน และฉนวนเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โดยฉนวนแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียที่ต่างกันไป ปัญหาที่พบในบริษัท คือ ฉนวนใยแก้วและใยหินอาจทำให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพต่อทั้งช่างผู้ติดตั้งและผู้ใช้ห้อง เนื่องจากใยมีความฟุ้งและคัน ดังนั้น ในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาความก้องของเสียงในห้อง บริษัทแฮนส์ โซลูชั่น จำกัด โดยมากแล้วจะใช้ฉนวนเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ซึ่งไม่ฟุ้งคัน ทำให้สะดวกในการติดตั้งและไม่เกิดปัญหาด้านสุขภาพต่อช่างผู้ติดตั้งและผู้ใช้ห้อง ทั้งยังผลิตจากขวดพลาสติกและพลาสติกเหลือใช้ใน อุตสาหกรรม จึงช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากมีราคาที่สูงกว่าฉนวนใยแก้วและใยหินมาก ทางบริษัทจึงมีความ ประสงค์ที่จะผลิตฉนวนเส้นใยโพลีเอสเตอร์เพื่อลดต้นทุนต่องานของการสร้างห้องบันทึกเสียง และสามารถขยายฐานลูกค้าให้กว้างขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของฉนวนเส้นใยโพลีเอสเตอร์ในตัวแปรที่แตกต่างกัน และผลิตฉนวนเส้นใยที่บริษัทสามารถนำไปใช้ได้จริงในการปรับปรุงค่าเวลาความสะท้อนของเสียง

2. เพื่อลดต้นทุนของบริษัทในงานประเภทห้องบันทึกเสียง ห้องประชุม ที่พักอาศัย หรือพื้นที่ที่มีปัญหาเกี่ยวกับเรื่องเสียงรบกวน หรือเสียงก้องภายในห้อง

3. ตอบสนองความต้องการของบริษัทที่จะมีฉนวนเป็นของตนเอง เพื่อที่จะขยายฐานลูกค้าของบริษัทไปยังอุตสาหกรรมอื่น ๆ มากขึ้น เช่น โรงแรม โรงงานอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมดนตรีต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติ ข้อดีและข้อเสียของเส้นใยชนิดต่าง ๆ ทั้งเส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์ รวมทั้งเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวัสดุซับเสียงที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไป

2. เปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ ได้แก่

   2.1 ชนิดของเส้นใย
   2.2 อัตราส่วนที่เหมาะสม
   2.3 ความหนาแน่น

3. วัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ โดยการใช้หลอดอิมพีแดนซ์

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาความต้องการและปัญหาที่พบในบริษัท
2. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องและศึกษาความเป็นไปได้
3. กำหนดแบบแผนการทดลอง
4. กำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ
5. สั่งผลิตตัวอย่างทดสอบจากโรงงาน และติดต่อขอใช้เครื่องมือในงานวิจัย
6. ดำเนินการวิจัยและรวบรวมผลการทดลอง
7. วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ฉนวนเส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่เหมาะสม
2. สามารถลดต้นทุนการผลิตของบริษัท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาโครงงานสหกิจศึกษานี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาและรวบรวมทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 ความหมายและประเภทของวัสดุซับเสียง

2.2 วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุน (Porous Absorber)

2.3 ความหมายและประเภทของเส้นใย (Fiber)

2.4 วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุนที่ใช้ในปัจจุบัน

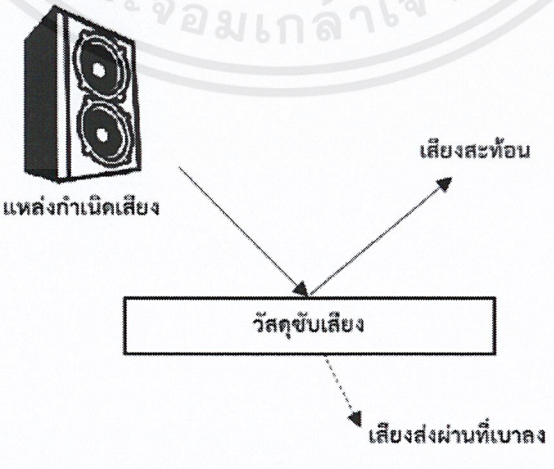
2.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับเสียง

2.6 วิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

2.1 ความหมายและประเภทของวัสดุซับเสียง

คลื่นเสียงเกิดจาก การสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุเกิดการสั่นสะเทือน จะเกิดการถ่ายโอนพลังงานให้กับอนุภาคของตัวกลาง ทำให้อนุภาคของตัวกลางสั่น แล้วถ่ายโอนไปยังอนุภาคอื่น ๆที่อยู่ข้างเคียงให้สั่นตาม เป็นอย่างนี้ต่อเนื่องไปเรื่อยจนกระทั่งถึงอนุภาคตัวกลางที่เป็นตัวรับสัญญาณ ในมนุษย์ คือ หู อนุภาคเหล่านี้สั่นไปกระทบเยื่อแก้วหู ทำให้เยื่อแก้วหูสั่นตาม จึงทำให้เราได้ยินเสียง เมื่อคลื่นเสียงกระทบพื้นผิววัสดุจะแสดงสมบัติของคลื่น คือ สะท้อน (reflection) ส่งผ่าน(transmission) หรือดูดซับ (absorption) ปริมาณของพลังงานเสียงที่สะท้อน ส่งผ่าน หรือดูดซับขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพและพื้นผิวของวัสดุ

ตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน (law of conservation of energy) พลังงานเป็นสิ่งที่ไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่และไม่สามารถทำให้สูญหายหรือทำลายได้ แต่จะเกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่ง หลักการทำงานของวัสดุซับเสียงเองก็เช่นกัน พลังงานเสียงไม่สามารถสร้างขึ้น หรือถูกทำให้สูญหายได้ เพียงแต่เพลังงานเสียงถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อน



ภาพที่ 2.1 พฤติกรรมของคลื่นเสียงเมื่อกระทบผิววัสดุ
http://www.thaiphysoc.org/article/101/

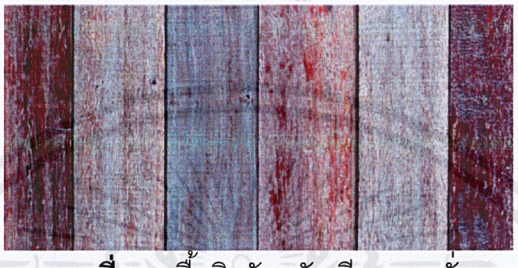
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุซับเสียงเป็นวัสดุทางอะคูสติกประเภทหนึ่ง มีคุณสมบัติในการลดความก้องและค่าเวลาการสะท้อนกลับของเสียงภายในห้อง (Reverberation Time: RT60) ที่อาจรบกวนการทำกิจกรรมต่าง ๆ ภายในห้องได้ อาทิ การทำงาน การประชุม การพูดคุย หรือว่าการดูหนังฟังเพลง ฯลฯ วัสดุดูดซับเสียงมีทั้งสำหรับผนัง ฝ้าเพดาน และแบบปูพื้น

วัสดุซับเสียง (Sound Absorber) แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

1. วัสดุซับเสียงแบบสั่น (Membrane Absorbers)

วัสดุที่มีผิวหน้าแบบแข็ง เช่น ยิปซัมบอร์ด ไม้อัด เป็นต้น โดยมีหลีกการทำงานคือการสั่นของวัสดุเพื่อลดทอนพลังงานเสียง โดยวัสดุชนิดนี้จะสามารถซับเสียงได้น้อยมาก และมีเสียงสะท้อนค่อนข้างสูง

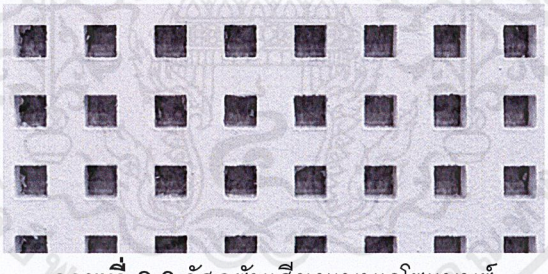


ภาพที่ 2.2 พื้นผิววัสดุซับเสียงแบบสั่น

http://www.canva.com

2. วัสดุซับเสียงแบบเรโซแนนซ์ (Resonance Absorbers)

เป็นวัสดุซับเสียงประเภทโพรง หรือช่อง โดยแต่ละช่องเรียกว่า Sound box การซับเสียงจะขึ้นอยู่กับขนาดส้นผ่านศูนย์กลางของ Sound box โดยประสิทธิภาพของการซับเสียงของวัสดุชนิดนี้อยู่ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1000 Hz และจะสามารถซับเสียงได้ดีที่สุดในช่วงความถี่ 100–300 Hz



ภาพที่ 2.3 วัสดุซับเสียงแบบเรโซแนนซ์

http://www.canva.com

3. วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุน (Porous Absorbers)

เป็นวัสดุซับเสียงที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ภายในวัสดุจะประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมาก เมื่อมีเสียงมาตกกระทบ พลังงานคลื่นเสียงจะลดทอนลงภายในรูพรุน และเมื่อวัสดุมีการสั่นสะเทือนพลังงานเสียงจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ทำให้เสียงลดลง

ภาพที่ 2.4 พื้นผิววัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุน

http://www.canva.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 **วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุน** (Porous Absorber)

วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุนจะมีหลักการทำงานพื้นฐานคล้าย ๆ กันในการลดพลังงานเสียง โดยมากแล้วการดูดซับเสียงเกิดจากการที่เสียงบีบตัวผ่านรูเล็ก ๆ ที่เชื่อมต่อกันภายในวัสดุ เมื่อเสียงเดินทางผ่านรูเล็ก ๆ เหล่านั้นจะทำให้โมเลกุลของอากาศผ่านไปตามพื้นผิวภายในของวัสดุ แต่เนื่องจากอากาศเป็นของไหลที่หนืด ทำให้ต้องใช้พลังงานในการทำให้โมเลกุลของอากาศผ่านไปตามพื้นผิวภายในของวัสดุ และทำให้เกิดการสั่นของโมเลกุลอากาศที่เปลี่ยนพลังงานเสียงให้อยู่ในรูปของพลังงานความร้อน ต่างกับการสั่นโดยตรงของวัสดุที่จะมีผลน้อยมากต่อการดูดซับเสียง

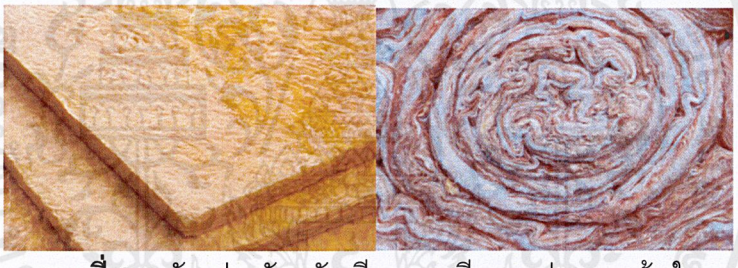
วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุนจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความถี่กลางเป็นต้นไป หรือตั้งแต่ช่วงความถี่ 250 – 2,000 เฮิร์ตซ์ วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุนเป็นวัสดุซับเสียงที่พบได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน ได้แก่ ผ้าม่าน พรม หนังหุ้มโซฟา เป็นต้น นอกจากนี้วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุนยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่

1. วัสดุซับเสียงประเภทเส้นใย

เนื่องจากเส้นใยมีรูพรุนจำนวนมาก ทำให้วัสดุประเภทนี้สามารถซับเสียงได้สูงมาก แต่มีข้อเสีย คือ อาจเกิดการบวมพอง เมื่อสัมผัสกับน้ำ ก่อให้เกิดเชื้อรา และแบคทีเรีย ทำให้ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ

2. วัสดุซับเสียงที่ไม่มีเส้นใย

มีข้อดีคือ ไม่เกิดปัญหาเมื่อสัมผัสน้ำ และยังมีน้ำหนักเบา ไม่ก่อให้เกิดแบคทีเรีย ทำให้ปลอดภัยต่อสุขภาพ



ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างวัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุนประเภทเส้นใย
http://www.canva.com

2.3 **ความหมายและประเภทของเส้นใย** (Fiber)

เส้นใย หมายถึง วัสดุหรือสารใด ๆ ทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น โดยมีอัตราส่วนระหว่าง ความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 100 สามารถขึ้นรูปเป็นผ้าได้ และจัดเป็นองค์ประกอบที่เล็กที่สุดของผ้าไม่สามารถแยกย่อยในเชิงกลได้อีก

เส้นใย แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

1. เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber)

1.1 เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืช (Cellulose fiber)

เป็นเส้นใยที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ เมล็ด เช่น ฝ้าย นุ่น, ลำต้น เช่น ลินิน กัญชง ป่านรามี ปอกระเจา, ใบ เช่น ป่านศรนารายณ์ ใบสับปะรด, ผล เช่น coir

เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืชสามารถดูดซึมความชื้นและนำความร้อนได้ดี ทนต่ออุณหภูมิสูงและแมลง เส้นใยสามารถเกาะกันแน่น มีความหนาแน่นสูง และเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่มีข้อเสีย คือ สามารถจุดติดไฟได้รวดเร็วและผลิตภัณฑ์ที่สร้างจากเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืชอาจขึ้นราได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากสัตว์ (Protein fiber)

ได้แก่ ขนแกะ ไหม ผ้าที่ทำจากขนสัตว์ต่าง ๆ เช่น โมแฮร์ แคชเมียร์ อูฐ อัลปากา เป็นต้น คุณสมบัติของเส้นใย คือ มีการคืนตัวและการดูดซึมความชื้นดี มีความถ่วงจำเพาะต่ำ ทำให้น้ำหนักเบากว่าเส้นใยชนิดอื่นที่ขนาดและความหนาเท่ากัน นอกจากนี้ยังไม่ลามไฟ เผาไหม้ไม่หมด และทนต่อเปลวไฟ อย่างไรก็ตามเส้นใยชนิดนี้ไม่ทนทานต่อน้ำและความชื้น หากเปียกน้ำจะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลง

1.3 เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากแร่ธาตุ (Mineral Fiber)

ได้แก่ แร่ใยหิน (Asbestos), ใยหิน (Rock wool), ใยแก้ว (Glass Fiber) เป็นต้น

2. เส้นใยประดิษฐ์ (Man-made fiber) คือ เส้นใยที่สังเคราะห์โดยการนำสารพอลิเมอร์ธรรมชาติหรือสารเคมีโมเลกุลเล็ก ๆ ไปทำปฏิกิริยาเคมีที่เหมาะสมจนได้สารพอลิเมอร์ แล้วจึงนำสารพอลิเมอร์นั้นไปทำเส้นใยด้วยกระบวนการปั่นเส้นใย (Fiber spinning) เส้นใยประดิษฐ์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.1 เส้นใยประดิษฐ์ที่วัตถุดิบตั้งต้นมาจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ (Semi-synthetic Fiber)

ได้แก่ เรยอน, ไรโอเซล, อะซิเตท เป็นต้น

2.2 เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic Fiber)

ได้แก่ ไนลอน, อะรามิด, โพลิเอสเตอร์, อะคริลิก, โมดาคริลิก , โพลิโอเลฟินส์ เป็นต้น มีคุณสมบัติคือ แข็งแรงและทนทานต่อสารเคมีได้ดีกว่าเส้นใยธรรมชาติ มีผิวเส้นใยเรียบ ทำให้ดูดฝุ่นหรือสิ่งสกปรกมาติดได้ยากจึงง่ายต่อการบำรุงรักษา

2.4 วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุนที่ใช้ในปัจจุบัน

1. ฉนวนใยแก้ว

ผลิตขึ้นมาจากแก้ว ซึ่งเป็นวัตถุดิบภายในประเทศที่มีคุณภาพสูง แล้วลำเลียงเข้าไปในเตาหลอมที่อุณหภูมิสูงจนหลอมละลาย และถูกปั่นเป็นเส้นใยขนาดเล็กที่มีความละเอียดอ่อน ผสมผสานเป็นเนื้อใยแก้วด้วยกาวชนิดพิเศษ เพื่อยึดให้เส้นใยแก้วเกาะติดกัน และลำเลียงสู่ขบวนการอบขึ้นรูป มีจำหน่ายทั้งแบบธรรมดา และแบบมีอะลูมิเนียม โดยมีคุณลักษณะของฉนวนที่ดี อีกทั้งยังเป็นฉนวนใยแก้วที่เหมาะแก่การใช้งานทั่วไป ทั้งการป้องกันความร้อน และดูดซับเสียงรบกวนของอาคาร โรงงาน รวมถึงบ้านพักอาศัยทั้งเก่าและใหม่

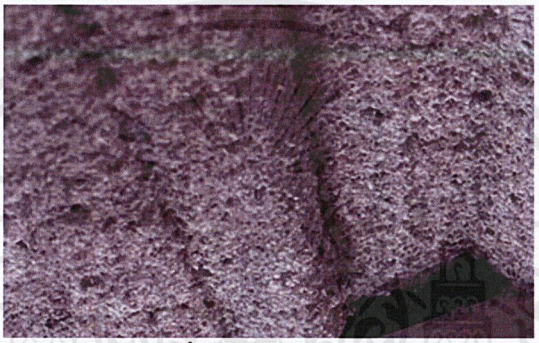
ภาพที่ 2.6 การติดตั้งฉนวนใยแก้วในบริษัท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฉนวนแร่ใยหิน

แร่ใยหิน (Asbestos) เป็นชื่อทั่วไปที่ใช้สำหรับ เส้นใยแร่ซิลิเกต ซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีลักษณะเป็นเส้นใย รวมกันเป็นมัด ประเภทของแร่ใยหิน แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ แอมฟิโบล และเซอร์เพนไทน์ โดยกลุ่มแอมฟิโบล ยังสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 5 ชนิด ได้แก่ ครอซิโดไลท์ อะโมไซท์ ทรีโมไบท์ แอนโธฟิลไลท์ และแอคทิโนไลท์

แร่ใยหินมีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีความเหนียว ทนทานต่อแรงดึงได้สูง ทนความร้อนได้ดี และมีความทนทานต่อกรด ด่าง และสารเคมีหลายชนิด ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ เมื่อแร่ใยหินถูกค้นพบในปี ค.ศ.1900 จึงถูกนำมาใช้ตั้งแต่นั้นมา โดยใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ ที่ต้องการความแข็งแกร่ง ทน กรด ด่าง หรือความร้อนสูง เช่น ฉนวนกันความร้อน กระเบื้องมุงหลังคา หรือท่อน้ำกันความร้อน กระเบื้องยางปูพื้น เบรค และคลัทช์ เป็นต้น



ภาพที่ 2.7 ฉนวนแร่ใยหิน
https://www.healthcareperk.com/what-does-asbestos-look-like/

แม้ว่าแร่ใยหินจะมีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์หลายประการ แต่เมื่อแร่ใยหินเข้าไปอยู่ในปอด มันก็สามารถก่อให้เกิด โรคร้ายในมนุษย์ได้ อันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ เป็นที่ทราบกันมานาน ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1930 แล้ว ได้แก่ โรคแอสเบสโตสิส มะเร็งปอด และมะร็งเยื่อหุ้มปอด และเยื่อบุช่องท้อง (Mesothelioma) ซึ่งในกรณีของมะเร็งเยื่อหุ้มปอด และเยื่อบุช่องท้องนี้จะลุกลามเร็ว และทำให้เสียชีวิตได้ ภายใน 2-3 ปี ดังนั้น ในหลายๆ ประเทศ จึงได้พยายามที่จะควบคุม หรือหลีกเลี่ยงการใช้แร่ใยหิน ตลอดจนห้ามนำเข้า และได้มีการศึกษาวิจัย เพื่อหาสารอื่นมาใช้ทดแทน แต่ก็ยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากเส้นใยแร่ ที่มนุษย์ผลิตขึ้นนั้น ยังมีราคาค่อนข้างแพง และประสิทธิภาพยังไม่ทัดเทียมแร่ใยหิน

เนื่องจากประเทศไทย ไม่มีเหมืองแร่ใยหิน จึงได้มีการนำเข้าแร่ใยหินจากหลายๆ ประเทศ ในปริมาณเฉลี่ยปีละ 100,000 ตัวขึ้นไป ข้อมูลที่เป็นรายงานการนำเข้าแร่ใยหินนั้น สามารถสืบค้นได้จากกรมศุลกากร ซึ่งมีข้อมูลการนำเข้าแร่ใยหิน ประเภทไครโซไทล์ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2530 เป็นต้นมา ซึ่งเป็นปริมาณการนำเข้า ที่สูงขึ้นทุกปี กล่าวคือ 90,700 ตัน ในปี พ.ศ.2530 และเพิ่มขึ้นเป็น 177,124 ตัน ในปี พ.ศ.2540 สำหรับในช่วงปี พ.ศ.2541 ซึ่งประเทศไทยประสบปัญหาวิกฤติเศรษฐกิจ จึงมีการนำเข้าในปริมาณที่น้อยกว่าปีอื่น ๆ หลังจากนั้น ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

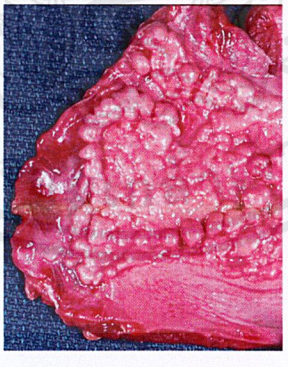
จะเห็นได้ว่า ข้อมูลการนำเข้าแร่ใยหิน มีเฉพาะประเภทไครโซไทล์ เนื่องจากประเทศไทย โดยความรับผิดชอบ ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้ห้ามนำเข้าแร่ใยหิน ชนิดครอซิโดไลท์ ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ.2535 เนื่องจากเป็นแร่ใยหิน ชนิดที่มีอันตรายสูงมาก และปัจจุบันก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทบจะไม่มีการทำเหมืองแร่ใยหินชนิดนี้แล้ว แร่ใยหินไครโซไทล์ ที่นำเข้ามานั้น จะมีการควบคุมโดยถูกจัดอยู่ในกลุ่มวัตถุอันตราย ชนิดที่ 3 กล่าวคือ การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครอง จะต้องได้รับใบอนุญาต จากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ในประเทศไทย โรคแอสเบสโตสิส และโรคอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแร่ใยหิน ไม่เคยมีการรายงานในระบบเฝ้าระวังโรค หรือระบบการจ่ายเงินทดแทน มีเพียงรายงาน การตรวจพบลักษณะเยื่อหุ้มปอดหนา (pleural thickening) จากภาพถ่ายรังสีทรวงอก เพียงไม่กี่ราย ซึ่งดำเนินการโดย กองอาชีวอนามัย ในปี พ.ศ.2530 กล่าวคือ จากจำนวนคนงานทั้งสิ้น 701 คน ที่ได้รับการถ่ายภาพรังสีทรวงอก ด้วยฟิล์มขนาดมาตรฐาน พบว่า มีเพียง 13 ราย ที่มีลักษณะเยื่อหุ้มปอดหนา และมีเพียง 8 ราย จากคนงานกลุ่มนี้ ที่ทำงานเป็นเวลานานกว่า 10 ปี อย่างไรก็ตาม คนงานกลุ่มนี้ ไม่เคยได้รับการตรวจติดตามต่อไปอีก และจากการสำรวจสถานประกอบการอีก 2 โครงการในปี พ.ศ.2540 และ 2541 ดังกล่าวมาแล้ว ก็ไม่สามารถตรวจพบคนงานที่มีอาการผิดปกติ ด้วยสาเหตุของแร่ใยหิน และแม้ว่าระดับความเข้มข้น ของแร่ใยหิน ในบรรยากาศการทำงาน จะมีค่าสูงมากก็ตาม ทั้งนี้ อาจมีสาเหตุมาจาก การสัมผัสแร่ใยหิน ของคนงานดังกล่าว เป็นเพียงระยะเวลาสั้นก็ได้ โดยจากการสำรวจ พบว่า ระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยของคนงาน ที่ได้รับการตรวจสุขภาพ มีเพียง 5.2 ปี เท่านั้น

ภาพที่ 2.8 ปอดของผู้ที่ทำงานกับแร่ใยหินเป็นเวลาหลายสิบปี
https://www.verywellhealth.com/chest-x-rays-for-lung-cancer-diagnosis-4107046



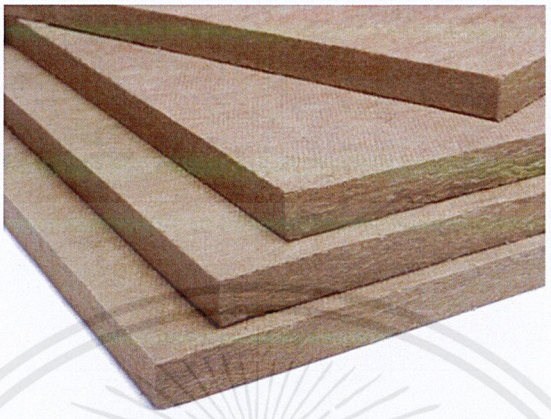
ภาพที่ 2.9 หินปูนที่เกิดจากการสัมผัสแร่ใยหินภายในเยื่อหุ้มปอด
https://www.memorangapp.com/flashcards/32769/Respiratory+diseases/

เนื่องจากการเกิดโรคแอสเบสโตสิสนั้น ใช้เวลายาวนาน คือ 15-35 ปี ขึ้นอยู่กับปริมาณแร่ใยหิน ที่เข้าสู่ปอด และระยะเวลาที่สัมผัส ดังนั้น ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาทางระบาดวิทยาส่วนใหญ่ ได้มาจากการคาดคะเนจากข้อมูลที่มีอยู่ เช่น จำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคดังกล่าว ความเข้มข้นของแร่ใยหิน ที่เข้าสู่ปอด จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า การสัมผัสแร่ใยหินที่ความเข้มข้น 2 เส้นใย / ลูกบาศก์เซ็นติเมตร ตลอดอายุการทำงาน จะทำให้ผู้ป่วย ด้วยโรคแอสเบสโตสิส ประมาณร้อยละ 0.5(5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ฉนวนใยร็อควูล

ความเข้าใจผิดนี้เกิดจากการแปลความหมายทางภาษา จากภาษาอังกฤษ แปลเป็นภาษาไทย ซึ่งคำว่า ROCKWOOL แปลตรงตัวว่า “ใยหิน” ในขณะ ที่ Asbestos แปลว่า “แร่ใยหิน” เนื่องจากใยหิน กับ แร่ใยหินเป็นคำ ที่ ใกล้เคียงกันในภาษาไทย จึงทำ ให้คนทั่วไปเข้าใจผิดว่า เป็นผลิตภัณฑ์ ชนิดเดียวกัน



ภาพที่ 2.10 ฉนวนใยร็อควูล

https://www.ikoustic.co.uk/products/wall/rockwool-acoustic-mineral-wool-rw3-50mm-60kg-m3

ฉนวน ROCKWOOL แตกต่างจากแร่ใยหินโดยสิ้นเชิง ไม่ใช่แค่ขนาดของ เส้นใยที่ใหญ่กว่าเท่านั้น แต่รวมถึงกระบวนการผลิตที่มีการควบคุม คุณสมบัติทางกายภาพ และ เคมีโดยมนุษย์ ฉนวน ROCKWOOL ไม่สามารถแตกตัวให้บางลงได้เหมือนแร่ใยหิน แต่สามารถหักตัวให้สั้นลงเหมือนแท่งชอล์ก ซึ่งทำ ให้ง่ายต่อการระบายออก ทางลมหายใจของมนุษย์ทั่วไป และเมื่อสูดดมเข้าไปแล้ว ก็สามารถกำจัด ออกจากปอดได้ทันที

4. ฉนวนเส้นใยสังเคราะห์

เป็นวัสดุที่คิดค้นขึ้นเพื่อทดแทนการใช้วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุนแบบเดิม โดยวัสดุที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน ได้แก่ โพลิเอสเตอร์

2.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับเสียง

หมายถึง สัดส่วนของพลังงานเสียงที่ถูกดูดซับไปเมื่อชนกระทบ เทียบกับพลังเสียงจากแหล่งกำเนิด ยกตัวอย่าง เช่น มีวัสดุหนึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 0.85 นั่นก็หมายความว่าพลังเสียง 85% ได้ถูกดูดซับไว้เมื่อเคลื่อนที่ไปชนกับวัสดุนี้ และ 15% ของพลังงานที่เทียบกับแหล่งกำเนิดจะสะท้อนออกมา ค่าการดูดซับเสียงของทุกวัสดุจะแปรผันกับความถี่ของเสียงที่เข้าไปกระทบ ดังนั้นค่าการดูดซับเสียงจะถูกวัดที่หลายความถี่คือ 125, 250, 500, 1,000, 2,000 และ 4,000Hz ความถี่เหล่านี้เป็นความถี่ตรงกลางของเสียงที่วิ่งกระทบน้อยมากที่จะมีการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ช่วงความถี่เดียวในการออกแบบทางสถาปัตยกรรม หรือระบุว่าวัสดุใด ๆ มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเป็นเท่าไร ในการออกแบบสถาปัตยกรรมค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจะเป็นค่าดูดซับเสียงที่ความถี่ที่เจาะจงเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเป็นค่าที่ได้จากการวัดประสิทธิภาพของพื้นผิวหรือวัสดุในการซับเสียง เช่น หากร้อยละ 55 ของพลังงานเสียงที่ตกกระทบวัสดุถูกดูดซับไปในบางความถี่ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ความถี่นั้นจะมีค่า 0.55 หากวัสดุซับเสียงมีประสิทธิภาพ หรือดูดซับเสียงทั้งหมดที่ตกกระทบวัสดุได้ จะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุเท่ากับ 1.0 ในทางกลับกันหากเป็นวัสดุซับเสียงที่มีพื้นผิวสะท้อนได้ดีจะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเท่ากับ 0

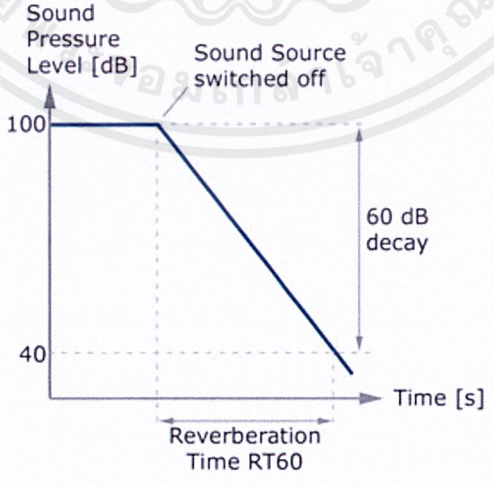
ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient , α)จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับมุมที่เสียงตกกระทบกับวัสดุ แต่เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วเสียงสามารถตกกระทบวัสดุได้จากทุกทิศทาง จึงนิยมใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเฉลี่ยจากทุกมุมตกกระทบที่เป็นไปได้ในการคำนวณ แต่หากจะกล่าวถึงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสำหรับมุมตกกระทบมุมใดเป็นการเฉพาะจะใช้สัญลักษณ์แทนด้วย $\alpha\theta$ โดยที่ θ หมายถึงมุมที่พลังงานเสียงตกกระทบกับวัสดุ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสามารถนำไปคำนวณหาค่าการดูดซับเสียงรวมของห้อง (Absorption)และเวลาการสะท้อนกลับของเสียง (Reverberation Time, RT60) โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$A = S\alpha$$

โดยที่ A หมายถึง ค่าการดูดซับเสียง มีหน่วยเป็นซาบินส์ (Sabine)
S หมายถึง พื้นที่ผิว มีหน่วยเป็นตารางเมตร
α หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ

$$RT_{60} = 0.161(\frac{V}{A})$$

โดยที่ RT_{60} คือ เวลาที่ตวามดังของเสียงลดลง 60 เดซิเบล
V คือ ปริมาตรของห้อง
A คือ ค่าการดูดซับเสียง มีหน่วยเป็นซาบินส์ (Sabine)



ภาพที่ 2.11 กราฟแสดงหลักการของค่าเวลาการสะท้อนกลับของเสียง
https://www.nti-audio.com/en/applications/room-building-acoustics/reverberation-time-rt60-measurement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

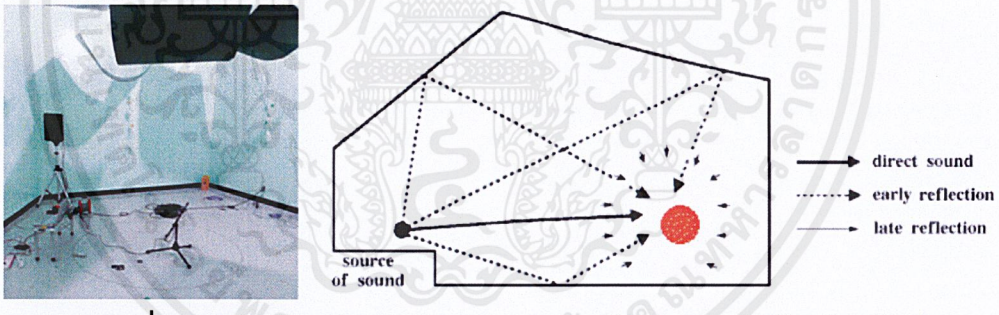
ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุจะแตกต่างกันไปขึ้นกับความถี่ โดยทั่วไปจะแสดง 6 ความถี่ ได้แก่ 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz ในบางครั้งเราจะเห็นการบอกค่าการดูดซับเสียงของวัสดุโดยใช้เลขเดียว เรียกว่า Noise Reduction Coefficient (NRC) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุนั้น ๆ ที่ความถี่ 250, 500, 1000, 2000 Hz

แต่เนื่องจาก NRC เป็นเพียงค่าเฉลี่ยที่คิดจากความถี่ช่วงกลางเท่านั้น จึงสามารถใช้ได้ดีกับการทำงานในช่วงเสียงพูด (speech application) แต่หากเป็นการใช้งานเกี่ยวกับดนตรีที่มีช่วงความถี่กว้างกว่า จะต้องใช้ค่า α ที่มีช่วงความถี่กว้างขึ้นด้วยเช่นกัน จึงไม่นำ NRC มาใช้ในงานที่เกี่ยวกับดนตรี แต่จะใช้ค่า SAA (Sound Absorption Average) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจาก 12 ความถี่ในย่านความถี่แบบ 1/3 ตั้งแต่ 200 - 2500 Hz ตามมาตรฐาน ISO11654 ที่ใช้กับวัสดุที่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน ISO354

2.6 วิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

2.6.2 การวัดโดยใช้ห้องก้องกังวาน (Reverberation Chamber method)

การทดสอบแบบห้องก้องกังวาน เป็นการวัดสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจากคลื่นเสียงที่มีการกระจายเสียงแบบสุ่มทั่วทั้งห้อง ขนาดห้องมาตรฐานตามข้อกำหนด คือ 200 ลูกบาศก์เมตร ชิ้นงานทดสอบควรมีขนาดประมาณ 10-12 ตารางเมตร สามารถวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงได้ตั้งแต่ช่วง 100-5,000 เฮิรตซ์ โดยคำนวณจากสูตรของซาบินส์ (Sabine's Fomular)



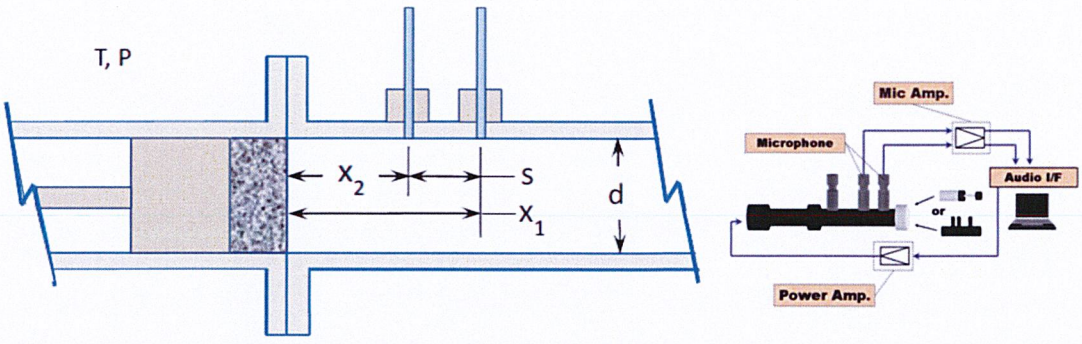
ภาพที่ 2.12 ห้องก้องกังวาน และการกระจายเสียงแบบสุ่มในห้องก้องกังวาน
http://www.thaiphysoc.org/article/101/

2.6.2 การวัดโดยใช้หลอดอิมพีแดนซ์ (Impedance tube method, Kundt tube)

การทดสอบแบบหลอดอิมพีแดนซ์ เป็นการวัดสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจากคลื่นเสียงที่มีการกระจายเสียงในแนวราบ ติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียง ที่ปลายด้านหนึ่งของหลอด และตัวอย่างชิ้นงานถูกวางไว้ที่ปลายอีกด้านหนึ่ง โดยใช้กระบวนการของฟังก์ชั่นการส่งผ่าน (Transfer function method) ของการเดินทางของเสียงภายในท่อ สามารถวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงได้ตั้งแต่ช่วง 100-1,600 เฮิรตซ์ โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$\alpha = 1 - |R|^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.13 การกระเสียงในหลอดอิมพีแดนซ์ และรูปแบบการเชื่อมต่อการแปลงสัญญาณ http://www.thaiphysoc.org/article/101/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยโครงงานสหกิจศึกษาฉบับนี้ เป็นการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ มีวัตถุประสงค์ในการสร้างวัสดุซับเสียงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่เหมาะสม สามารถลดต้นทุนของบริษัทในการทำงาน และบริษัทสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยผู้วิจัยได้มีวิธีดำเนินงานโครงงานตามขั้นตอนต่อไปนี้

3.1 ศึกษาความต้องการและปัญหาที่พบในบริษัท
3.2 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องและศึกษาความเป็นไปได้
3.3 กำหนดแบบแผนการทดลอง
3.4 กำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ
3.5 สั่งผลิตตัวอย่างทดสอบจากโรงงาน และติดต่อขอใช้เครื่องมือในงานวิจัย
3.6 ดำเนินการวิจัยและรวบรวมผลการทดลอง
3.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ศึกษาความต้องการและปัญหาที่พบในบริษัท

ศึกษาความต้องการและปัญหาที่พบในบริษัท โดยการสังเกตจากที่ได้ออกไซต์งานและติดตั้งวัสดุซับเสียง เพื่อปรับปรุงค่าเวลาการสะท้อนกลับของเสียงภายในห้อง ซึ่งปัญหาและความต้องการของบริษัทที่ได้จากการสังเกตดังกล่าวข้างต้นตรงกันกับข้อมูลที่ได้จากการสอบถามพนักงานในบริษัทและที่ปรึกษาโครงงานสหกิจศึกษา

3.2 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องและศึกษาความเป็นไปได้

ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ประเภทของวัสดุซับเสียง โดยมุ่งเน้นไปที่วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุน ซึ่งเป็นวัสดุซับเสียงประเภทที่ใช้จำนวนมากที่สุดในการทำงานของบริษัท และศึกษาวัสดุที่เป็นไปได้ในการผลิต โดยอ้างอิงจากวัสดุที่มีจำหน่ายอยู่แล้วในต่างประเทศ และมุ่งเน้นไปที่วัสดุที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้ยังต้องหาแหล่งผลิตที่สามารถผลิตวัสดุซับเสียงได้จริง ในปริมาณมาก และติดต่อขอใช้อุปกรณ์การวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ และการทดสอบความสามารถในการเผาไหม้ของวัสดุที่ได้มาตรฐาน

3.3 กำหนดแบบแผนการทดลอง

กำหนดระยะเวลาและขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อให้โครงงานสหกิจศึกษาฉบับนี้ดำเนินไปได้ตามแบบแผนที่วางไว้ในกรอบเวลาที่กำหนด คือ 4 เดือน

ระยะเวลา	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน			
ขั้นตอนการดำเนินงาน	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.ศึกษาความต้องการของบริษัท	←→															
2.นำเสนอหัวข้อโครงงานวิจัย			←→													

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ศึกษาความรู้ที่เกี่ยวข้อง			◄	—	—	—	—	—	►						
4.ติดต่อโรงงานและขอใช้อุปกรณ์วิจัย					◄	—	►								
5.ออกแบบการทดลอง							◄	►							
6.สั่งผลิตตัวอย่างทดลองจากโรงงาน									◄	—	—	►			
7.ศึกษาวิธีการใช้อุปกรณ์วิจัย											◄	►			
8.ดำเนินการวิจัย											◄	►			
9.รวบรวมผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล													◄	—	►
10.เขียนรูปเล่ม					◄	—	—	—	—	—	—	—	—	—	►
11.ตรวจสอบรูปเล่มและแก้ไข														◄	►
12.นำเสนอโครงงานสหกิจศึกษา														◄	►

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาขั้นตอนการดำเนินงาน

3.4 กำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ

ตัวแปรที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุและมาตรฐานการลามไฟของวัสดุ สำหรับโครงงานสหกิจศึกษาฉบับนี้ ได้แก่ ชนิดของเส้นใย และความหนาแน่น

3.5 สั่งผลิตตัวอย่างทดสอบจากโรงงาน และติดต่อขอใช้เครื่องมือในงานวิจัย

กำหนดรายละเอียด (specification) ของวัสดุซับเสียง และสั่งผลิตเป็นจำนวน 6 ตัวอย่าง ทดสอบเพื่อทำการวัดค่าและเปรียบเทียบคุณสมบัติต่อไป รวมทั้งติดต่อขอใช้หลอดอิมพีแดนซ์ (Impedance tube) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทจีโอนอยซ์ (ไทยแลนด์) จำกัด

ภาพที่ 3.1 หลอดอิมพีแดนซ์

https://www.mecanum.com/tube-fort-niveau?lang=en

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รุ่น	SW420	SW470
ค่าได้จากการวัด	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง	
มาตรฐาน	GB/T-18696, 2-2002, ISO10534-2, 1998, ASTM E1050- 08	
ช่วงความถี่ที่วัดได้(เฮิร์ตซ์)	50~1800	800~6300
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ (มิลลิเมตร)	100	30
ลำโพงที่ใช้	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว, 20วัตต์, 8 โอห์ม	

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของหลอดอิมพีแดนซ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.6 ดำเนินการวิจัยและรวบรวมผลการทดลอง

ทำการทดลองโดยวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ จำนวน 6 ตัวอย่างทดสอบโดยใช้หลอดอิมพีแดนซ์ (Impedance tube) ณ บริษัทจีโอนอยซ์ (ไทยแลนด์) จำกัด และทดสอบการลามไฟของวัสดุซับเสียงตามมาตรฐานต่าง ๆ ณ โรงงานได้ทำการสั่งผลิตตัวอย่างทดสอบ

3.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

นำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ เพื่อเสนอรายละเอียดของวัสดุซับเสียงที่บริษัทสามารถนำไปใช้งานได้จริงในงานประเภทต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

โครงงานสหกิจศึกษาฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อทำการทดลองวิจัยในเชิงเปรียบเทียบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างวัสดุซับเสียงที่บริษัทแฮนส์ โซลูชั่น จำกัด สามารถนำไปใช้ได้จริงในการทำงาน ผู้วิจัยได้ทำการวิจัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่

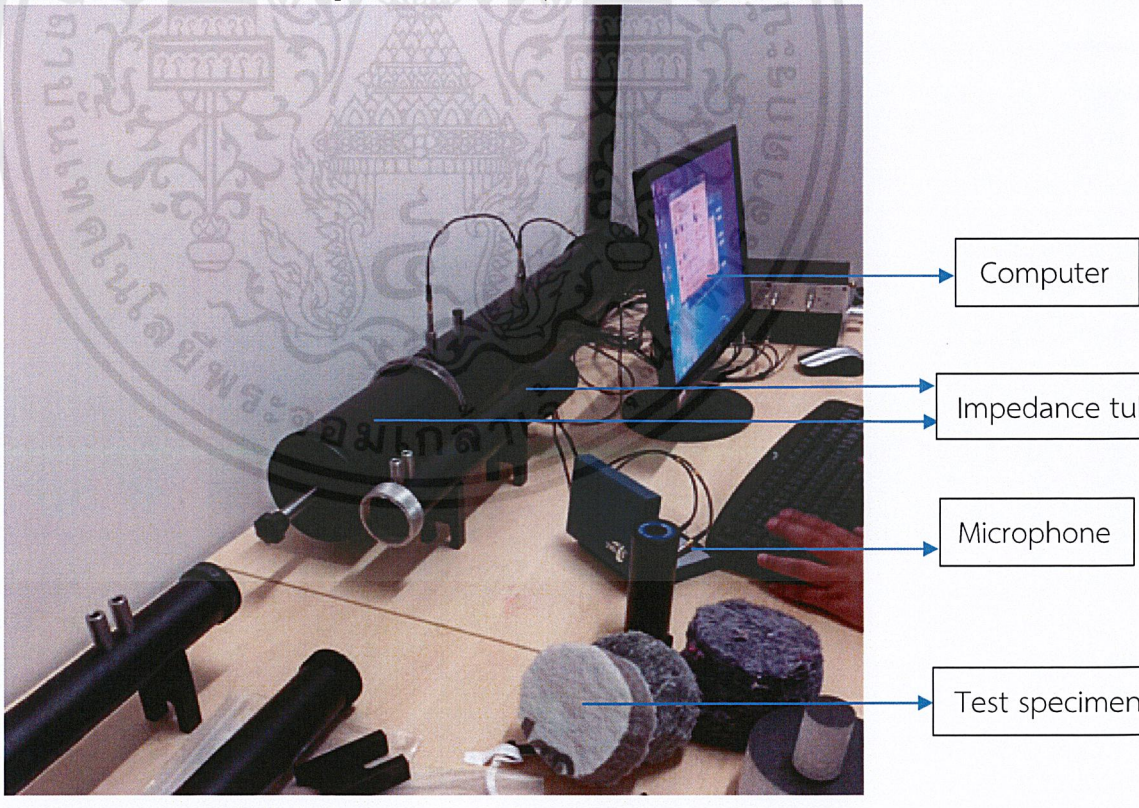
4.1 การวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ (Sound absorption coefficient)

4.2 การทดสอบความสามารถในการเผาไหม้ของวัสดุ (UL94)

4.1 การวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ (Sound absorption coefficient)

ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนระหว่างโพลิเอสเตอร์และฝ้าย(cotton), ความหนาแน่น โดยตัวอย่างทดสอบมีความหนา 50 มิลลิเมตร อ้างอิงจากความหนาของวัสดุซับเสียงที่มีขายอยู่ทั่วไป และจำลองตำแหน่งการใช้งานเมื่อติดตั้งวัสดุซับเสียงเข้ากับผนังโดยตรง อ้างอิงจากการใช้งานจริงภายในบริษัท เพื่อตัวอย่างทดสอบที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ดีที่สุด ในราคาที่ถูกลง

ในการทดลอง ผู้วิจัยไม่สามารถหาอุปกรณ์ใช้ในการตัดตัวอย่างทดสอบให้พอดีกับท่อของหลอดอิมพีแดนซ์ได้ ค่าที่ได้จากการวัดครั้งนี้จึงอาจมีข้อผิดพลาดเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม บริษัทยังคงสามารถอ้างอิงแนวโน้มค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุจากผลการทดลองนี้ได้

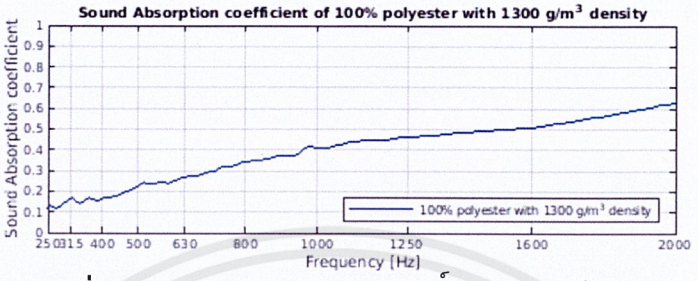


ภาพที่ 4.1 หลอดอิมพีแดนซ์ที่ใช้ในการทดลอง

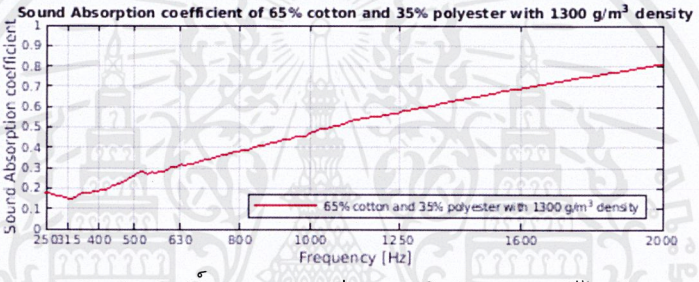
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 วัสดุ

การทดลองในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 วัสดุ ได้แก่ โพลิเอสเตอร์ และฝ้าย แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านการขึ้นรูปตัวอย่างทดสอบของโรงงานที่ผลิต จึงไม่สามารถผลิตตัวอย่างทดสอบจากฝ้าย 100% ได้ จึงปรับเปลี่ยนเป็นการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของตัวอย่างทดสอบที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกัน ได้แก่ โพลิเอสเตอร์รีไซเคิล100% และ โพลิเอสเตอร์รีไซเคิล35%ฝ้าย 65% โดยกำหนดความหนาแน่นเท่ากัน คือ 1300 กรัม/ลูกบาศก์เมตร

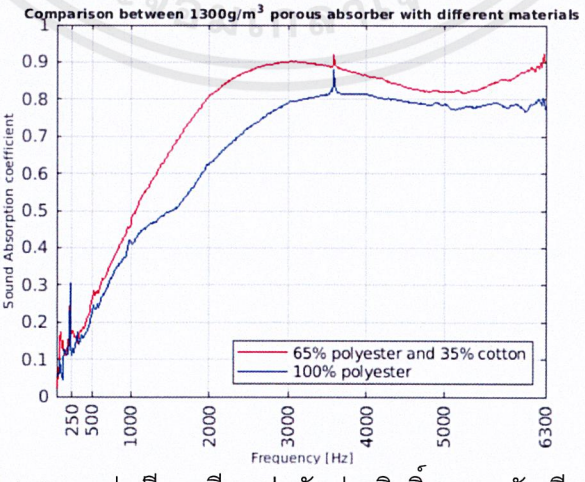


ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล100% ที่มีความหนาแน่น 1300 กรัมต่อตารางเมตร



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 35% และฝ้าย 65% กับโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล100% ที่มีความหนาแน่น 1300 กรัมต่อตารางเมตร

ผลการทดลอง จากการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล100% และโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล35%ฝ้าย 65% ที่มีความหนาแน่นเท่ากัน คือ 1300 กรัม/ลูกบาศก์เมตร พบว่าโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล35%ฝ้าย 65% มีแนวโน้มในการดูดซับเสียงดีกว่าโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล100% ในทุกช่วงความถี่

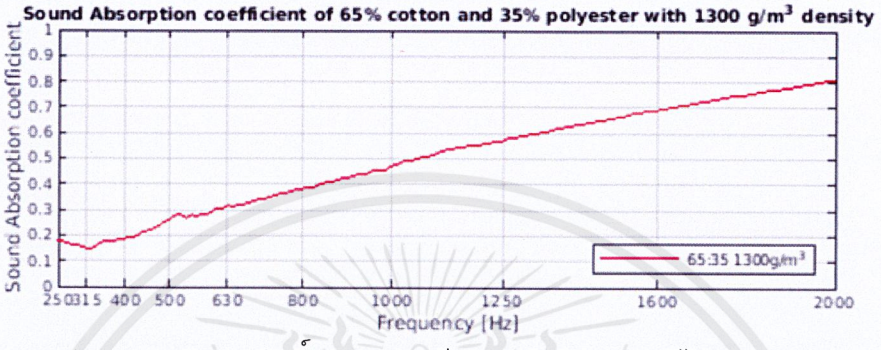


ภาพที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 35%และฝ้าย 65% ที่มีความหนาแน่น 1300 กรัมต่อตารางเมตร

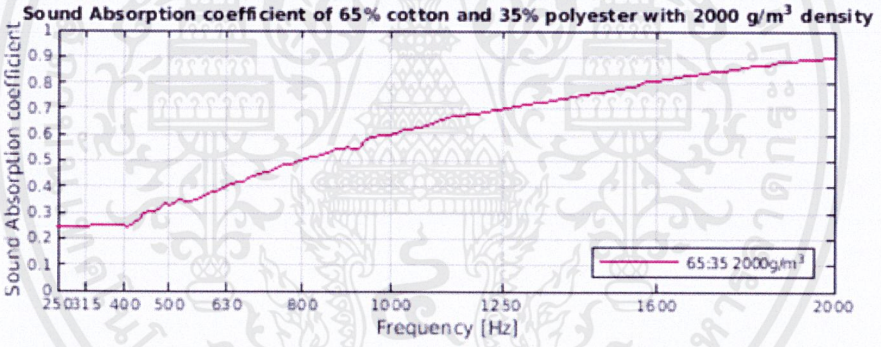
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ความหนาแน่นของวัสดุซับเสียง

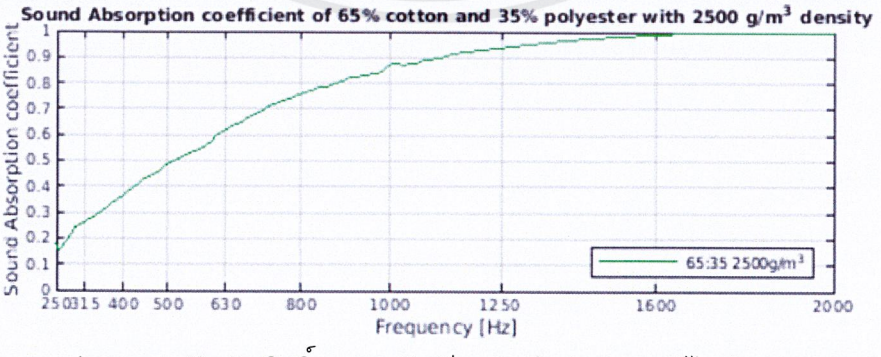
การทดลองในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล35%ฝ้าย 65% ที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน ได้แก่ 1300 กรัม/ลูกบาศก์เมตร, 2000 กรัม/ลูกบาศก์เมตร และ 2500 กรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยความหนาแน่นที่ใช้เปรียบเทียบในการทดลองนี้มีการอ้างอิงมาจากความหนาแน่นที่มีขายอยู่ทั่วไป, ราคาต้นทุนต่อหนึ่งตารางเมตร และข้อจำกัดในการผลิตตัวอย่างทดสอบจากโรงงาน



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 35% และฝ้าย 65% กับโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล100% ที่มีความหนาแน่น 1300 กรัมต่อตารางเมตร



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 35% และฝ้าย 65% กับโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล100% ที่มีความหนาแน่น 2000 กรัมต่อตารางเมตร

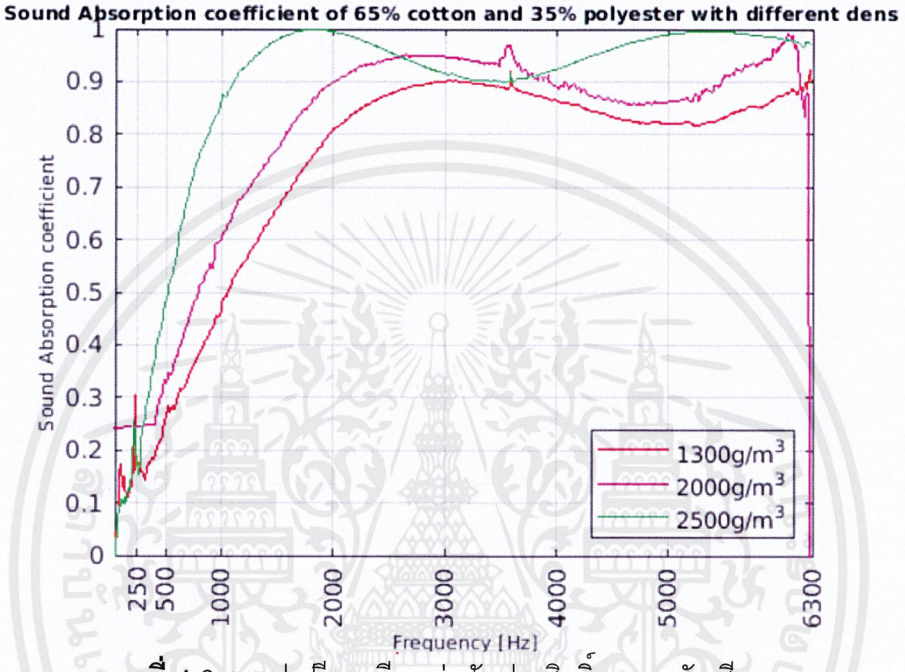


ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 35% และฝ้าย 65% กับโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล100% ที่มีความหนาแน่น 2500 กรัมต่อตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง จากการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 35% ฝ้าย65% ที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน ได้แก่ 1300 กรัม/ลูกบาศก์เมตร, 2000 กรัม/ลูกบาศก์เมตร และ 2500 กรัม/ลูกบาศก์เมตร พบว่าที่ความหนาแน่น 2500 กรัม/ลูกบาศก์เมตรดีที่สุดสำหรับโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล35%ฝ้าย 65%

จากกราฟ จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ช่วง 2000 – 5000 เฮิร์ตซ์ มีการดูดซับเสียงที่ลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการใช้เสียงที่ดังเกินไปในการวัดจนทำให้เกิดการสะท้อนกลับในบางความถี่ หรืออาจเป็นที่วัสดุเองโดยตรง กล่าวคือ วัสดุดังกล่าวดูดซับเสียงในช่วงดังกล่าวได้ไม่ดี



ภาพที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 35%และฝ้าย 65% ที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน

4.2 การทดสอบความสามารถในการเผาไหม้ของวัสดุ (UL94)

วัสดุ	เวลาที่ไฟติด (วินาที)	ระยะที่ถกเผาไหม้ (มิลลิเมตร)	อัตราการเผาไหม้ (มิลลิเมตร/นาที)	มาตรฐาน UL 94
โพลิเอสเตอร์รีไซเคิล100% ความหนาแน่น1300 g/m^3	ไฟดับได้เอง	ไม่มีอัตราการเผาไหม้	-	ผ่าน (V-0)
โพลิเอสเตอร์รีไซเคิล100% ความหนาแน่น 2000 g/m^3	ไฟดับได้เอง	ไม่มีอัตราการเผาไหม้	-	ผ่าน (V-0)
โพลิเอสเตอร์รีไซเคิล100% ความหนาแน่น2500 g/m^3	ไฟดับได้เอง	ไม่มีอัตราการเผาไหม้	-	ผ่าน (V-0)

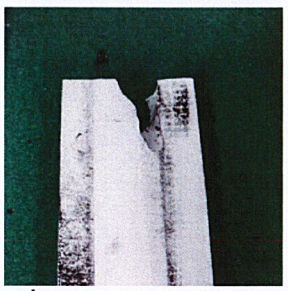
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุ	เวลาที่ไฟติด (วินาที)	ระยะที่ถกเผาไหม้ (มิลลิเมตร)	อัตราการเผาไหม้ (มิลลิเมตร/นาที)	มาตรฐาน UL 94
โพลิเอสเตอร์รีไซเคิล35% และฝ้าย 65% ความหนาแน่น1300 g/m^3	115.3	254	132.17	ไม่ผ่าน
	210.6	254	72.36	
โพลิเอสเตอร์รีไซเคิล35% และฝ้าย 65% ความหนาแน่น 2500 g/m^3	410.6	254	37.11	ไม่ผ่าน
	565.6	254	26.94	

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการเผาไหม้ของวัสดุ(UL94)

ภาพที่ 4.9 การทดสอบการเผาไหม้ของวัสดุ

ภาพที่ 4.10 ตัวอย่างทดสอบ
จากฝ้ายผสมโพลีเอสเตอร์ที่เหลือจากการทดสอบ



ตารางที่ 4.11 ตัวอย่างทดสอบจาก
โพลีเอสเตอร์100%ที่เหลือจากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการทดสอบความสามารถในการเผาไหม้ของวัสดุ เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับความปลอดภัย ผู้วิจัยจึงทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่างทดสอบเพื่อความแม่นยำและใช้ผลลัพธ์ครั้งที่แย่ที่สุดในการอ้างอิงมาตรฐาน

จากการทดสอบความสามารถในการเผาไหม้ของวัสดุ พบว่าตัวอย่างทดสอบจากโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล100% ทั้ง 3 ตัวผ่านมาตรฐาน UL94 class V-0 คือไม่มีการหยดของไฟ และไฟสามารถดับได้เองหลังจากผ่านไประยะเวลาหนึ่ง ซึ่งตรงกับคุณสมบัติพื้นฐานของเส้นใยโพลิเอสเตอร์ที่ได้ศึกษาจากการทบทวนวรรณกรรม

จากผลการทดลอง ตัวอย่างทดสอบจากโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 35% และฝ้าย 65%ทั้ง 3 ตัวไม่ผ่านการทดสอบมาตรฐาน UL94 เลยเนื่องจากไฟไม่สามารถดับได้เอง แต่ความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบมีผลอย่างมากต่อการเผาไหม้ของวัสดุ กล่าวคือ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 35% และฝ้าย 65% ที่ความหนาแน่น 1300 g/m^3 และ 2500 g/m^3 พบว่ายิ่งตัวอย่างทดสอบจากโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล35% และฝ้าย 65% มีความหนาแน่นมาก อัตราการเผาไหม้จะยิ่งน้อยลง แม้โพลิเอสเตอร์รีไซเคิล35% และฝ้าย 65% ความหนาแน่น 2500 g/m^3 จะไม่ผ่านมาตรฐาน UL94 class V-0 แต่ก็ถือว่ามีอัตราการเผาไหม้ที่ต่ำมาก กล่าวคือ ประมาณ 3.71 เซนติเมตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

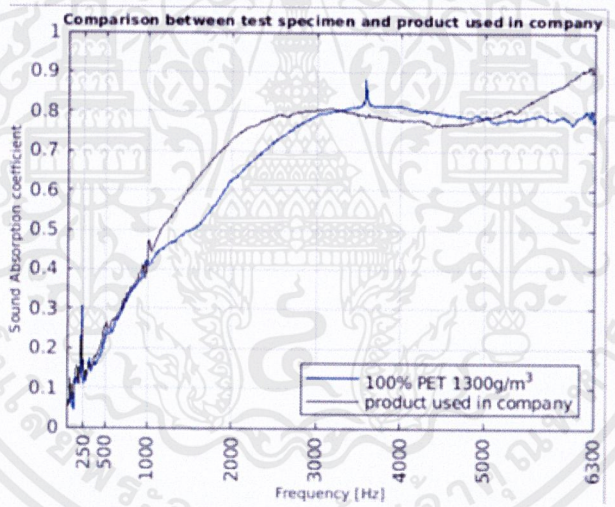
บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลอง ผู้วิจัยได้เลือก 2 ตัวอย่างทดสอบที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงดีที่สุด เพื่อนำเสนอเป็นตัวเลือกแก่บริษัท ดังนี้

1. โพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 100% ความหนาแน่น 1300 g/m^3

ผลิตจากวัสดุรีไซเคิล ได้แก่ ขวดน้ำ และพลาสติกเหลือใช้ในอุตสาหกรรม จากการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง พบว่ามีการดูดซับเสียงได้น้อยกว่าวัสดุซับเสียงที่บริษัทใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน ในบางช่วงความถี่ แต่มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันมาก ผ่านมาตรฐาน UL94 ในคลาส V0 กล่าวคือไฟที่ติดสามารถดับได้เอง และไม่มีการหยดของไฟเลย อีกทั้งราคายังถูกกว่าวัสดุซับเสียงที่บริษัทใช้ ณ ปัจจุบัน คิดเป็น 72.22% ทั้งนี้ ยังไม่รวมต้นทุนในการขนส่งและสถานที่ในการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ วัสดุซับเสียงจากโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 100% นี้เหมาะกับการใส่ไว้ในผนังห้องเนื่องจากภายในผนังห้องมีระบบการเดินท่อร้อยสายและสายสัญญาณต่าง ๆ ซึ่งอาจเกิดการติดไฟได้ จึงควรใช้วัสดุที่ไฟสามารถดับเองได้สำหรับกรณีดังกล่าว



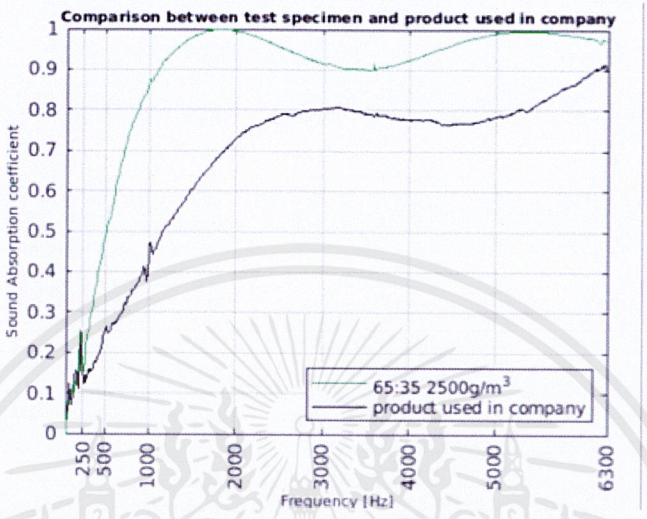
ภาพที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์รีไซเคิล 100% ที่มีความหนาแน่น 1300 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร กับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในบริษัท ณ ปัจจุบัน

2. โพลิเอสเตอร์35%และฝ้ายรีไซเคิล 65%ความหนาแน่น 2500g/m^3

ผลิตจากวัสดุรีไซเคิล ได้แก่ เศษผ้าใช้แล้วนำมาปั่นและผลิตใหม่ จากการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง พบว่ามีการดูดซับเสียงได้ดีกว่าวัสดุซับเสียงที่บริษัทใช้อยู่ ณ ปัจจุบันในทุกช่วงความถี่ และมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงช่วงความถี่ 1000 เฮิร์ตซ์เป็นต้นไปค่อนข้างดีมาก แม้ไม่ผ่านมาตรฐาน UL94 แต่ถือว่ามีอัตราการเผาไหม้น้อยมาก คือ 37.11มิลลิเมตร/นาที อีกทั้งเมื่อฝ้ายผสมกับโพลิเอสเตอร์จะติดไฟได้ยากกว่าโพลิเอสเตอร์บริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังราคาถูกกว่าวัสดุซับเสียงที่บริษัทใช้ ณ ปัจจุบัน คิดเป็น 63.89% ไม่รวมต้นทุนในการขนส่ง และสถานที่ในการจัดเก็บผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุซับเสียงจากโพลเอสเตอร์ 35%และฝ้ายรีไซเคลิ 65%นี้เหมาะกับการทำอะคูสติกแพแนล ภายในห้อง เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ค่อนข้างดีและคงที่ ตั้งแต่ความถี่ 1000 เฮิร์ตซ์เป็นต้นไป เนื่องจากภายในผนังห้องมีระบบการเดินท่อร้อยสายและสายสัญญาณต่าง ๆ ซึ่งอาจเกิดการติดไฟได้ จึงไม่ควรใช้วัสดุที่ไฟไม่สามารถดับเองได้สำหรับกรณีดังกล่าว แต่การทำอะคูสติกแพแนลนั้นทำภายนอกผนังห้อง จึงมีโอกาสเกิดประกายไฟได้ยาก



ภาพที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลิเอสเตอร์ 35%และฝ้ายรีไซเคิล 65% ที่มีความหนาแน่น 2500 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร กับผลติภัณฑ์ที่ใช้ในบริษัท ณ ปัจจุบัน

คุณสมบัติ	โพลิเอสเตอร์ 35%และฝ้ายรีไซเคิล 65% ที่มีความหนาแน่น 2500 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร	โพลิเอสเตอร์รีไซเคลิ 100% ที่มีความหนาแน่น 1300 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ	ดูดซับเสียงได้มากกว่าวัสดุซับเสียงที่บริษัทใช้อยู่ ณ ปัจจุบันในทุกช่วงความถี่	ดูดซับเสียงได้มากกว่าวัสดุซับเสียงที่บริษัทใช้อยู่ ณ ปัจจุบันในทุกช่วงความถี่
ความสามารถในการเผาไหม้	ไม่ผ่านมาตรฐาน UL94 แต่มีอัตราการเผาไหม้น้อยมาก คือ 37.11 มิลลิเมตร/นาที	ผ่านมาตรฐาน UL94 ใน คลาส V0
วัสดุที่ใช้	วัสดุรีไซเคิล 65%	วัสดุรีไซเคิล 100%
ราคาเมื่อเทียบกับวัสดุซับเสียงที่บริษัทใช้ ณ ปัจจุบัน	ถูกกว่าวัสดุซับเสียงที่บริษัทใช้ ณ ปัจจุบัน 63.89%	ถูกกว่าวัสดุซับเสียงที่บริษัทใช้ ณ ปัจจุบัน 72.22%

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวอย่างทดสอบที่เสนอแก่บริษัท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

5.2.1.1 นอกจากตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในงานวิจัยฉบับนี้แล้ว ยังมีตัวแปรอื่น ๆ ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุที่ผู้วิจัยไม่ได้ทำการเปรียบเทียบในงานวิจัยฉบับนี้ เช่น ประเภทของเส้นใย ขนาดของเส้นใย วิธีการขึ้นรูปเส้นใย เป็นต้น

5.2.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่วัดได้จากงานวิจัยฉบับนี้ เป็นค่าที่วัดจากหลอดอิมพีแดนซ์ (Impedance tube method) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่วัดได้จะน้อยกว่า เมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้จากวิธีการจำลองห้อง (Reverberation room method) เสมอ หากประสงค์จะนำไปใช้ในทางการค้าจึงควรนำวัสดุซับเสียงไปวัดโดยวิธีการจำลองห้อง และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจากวิธีการดังกล่าวในการประกาศโฆษณา

5.2.1.3 วัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุนจะมีประสิทธิภาพที่ความถี่กลางเป็นต้นไป กล่าวคือเริ่มทำงานที่ความถี่ 250 เฮิร์ตซ์ และจะดูดซับเสียงได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความถี่ 500 เฮิร์ตซ์ เป็นต้นไป จะเห็นได้ว่าวัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุนแทบจะไม่มีผลต่อความถี่ต่ำกว่า 125 เฮิร์ตซ์ อีกทั้งวัสดุซับเสียงประเภทอื่น ๆ ก็ทำงานได้เฉพาะช่วงความถี่ใดความถี่หนึ่งเท่านั้น ดังนั้น หากสามารถศึกษาค้นคว้าต่อยอดเพื่อพัฒนาวัสดุซับเสียงที่สามารถดูดซับเสียงได้ทุกช่วงความถี่ โดยอาจทำเป็นวัสดุซับเสียงจากหลายชั้นวัสดุ (Multi-layer absorber) แม้ความถี่ต่ำอาจไม่ใช่ช่วงความถี่ที่ห้องประเภทห้องพักอาศัยหรือห้องประชุมคำนึงถึงในการปรับปรุงค่าเวลาการสะท้อนกลับของเสียงมากนัก แต่เป็นช่วงความถี่ที่มีผลมากในโรงงานอุตสาหกรรม และห้องบันทึกเสียง

5.2.2 ปัญหา อุปสรรค และแนวทางในการพัฒนา

5.2.2.1 ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ต้องสั่งผลิตจากโรงงานเท่านั้น ผู้วิจัยไม่สามารถผลิตวัสดุซับเสียงแบบมีรูพรุนได้ด้วยตนเอง ซึ่งต่างจากการทำวัสดุซับเสียงประเภท WWCB (Wood Wool Cement Board) ที่สามารถขึ้นรูปตัวอย่างทดสอบได้เอง โดยการนำเส้นใยพืชผสมกับปูนซีเมนต์ หรือวัสดุประสานอื่น ๆ

5.2.2.2 โครงงานวิจัยฉบับนี้ เป็นโครงงานวิจัยในเชิงเปรียบเทียบ ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งคือ การสั่งผลิตจากโรงงานมีขั้นต่ำในการสั่งผลิตต่อหนึ่งตัวอย่างทดสอบ เมื่อต้องสั่งผลิตหลายตัวอย่างทดสอบจึงทำให้เกิดปัญหาที่ตามมา คือ งบประมาณที่ใช้ในงานวิจัย แต่ในการทำงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานที่สั่งผลิต โดยทางโรงงานยอมสละเวลาในการทำตัวอย่างทดสอบให้ผู้วิจัยโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายใด ๆ เพื่อสนับสนุนงานวิจัยฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

5.2.2.3 หากสามารถทำการวัดค่าการต้านทานการไหลของวัสดุ (Flow resistivity) จะสามารถคาดการณ์ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ รวมทั้งค่าทางอะคูสติกได้ก่อนการสั่งผลิตจะทำให้ประหยัดงบประมาณของการวิจัยและเวลาในการผลิตของทางโรงงานในการผลิตตัวอย่างทดสอบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1.] PTIWISSEN. (2561). วัสดุซับเสียง ค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2562, จาก https://ptiwissen.com/2018/05/25/วัสดุซับเสียง-sound-absorber/

[2.] Consumersouth network. (2553). แร่ใยหินในประเทศไทย ค้นเมื่อ 27 ธันวาคม 2562, จาก https://www.consumersouth.org/paper/989

[3.] SciMath.(2562). ฟิสิกส์รอบตัว ตอน ฉนวนกันเสียง ค้นเมื่อ 29 ธันวาคม 2562,จาก https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7309-2017-06-14-15-27-55

[4.] สมาคมฟิสิกส์ไทย. (2562). การวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ค้นเมื่อ 22 มกราคม 2563 จาก http://www.thaiphysoc.org/article/101/

[5.] Trevor J. Cox and Peter D' Antonio. (2018).
Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory Design and Application

[6.] F. Alton Everest and Ken C. Pohlmann (2001).
Master Handbook of Acoustics (Sixth Edition).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้