

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก
รองศาสตราจารย์สราวุธ สุทธรรมาสา รองศาสตราจารย์ปิติ พูนไชยศรี มหาวิทยาลัยสุโขทัย
ธรรมมาธิราช รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา อยู่สุข มหาวิทยาลัยมหิดล ดร.พจมาน ทำจิน กรม
วิทยาศาสตร์บริการ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและติดตามการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้อย่างใกล้ชิด
ตลอดมา นับตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา
ของท่านเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณคุณพนิดา บุญเกิด คุณบัณฑิต ศิริชนารัตนกุล ที่ได้กรุณาให้คำ
แนะนำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และขอขอบพระคุณคุณวิรัตน์ คุณไพวัลย์
ห้องปฏิบัติการเสียง สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ คุณประสิทธิ์สุข วัฒนนาธร บริษัท อภิถุติ
อุตสาหกรรม จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และให้ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลและทดลอง
ภาคสนาม

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช เพื่อนนักศึกษาและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิทยานิพนธ์
ครั้งนี้ทุกท่านที่ได้กรุณาให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดมา

ภัทราพร ศรีบูรณะพิทักษ์

มิถุนายน 2548

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่องที่วิจัย.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	4
สมมติฐานการวิจัย.....	4
ขอบเขตการวิจัย.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	6
คุณสมบัติทางกายภาพของเสียง.....	6
พอลิเอสเทอร์.....	24
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	37
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	37
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	40
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	40
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	42
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	46
ตอนที่ 1 สถานภาพของประชากรหรือกลุ่มตัวอย่าง.....	46
ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามสมมติฐานหรือประเด็นปัญหา.....	49
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	51
สรุปการวิจัย.....	51
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	52

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

อภิปรายผล.....	52
ข้อเสนอแนะ.....	53
บรรณานุกรม.....	55
ภาคผนวก.....	60
ประวัติผู้วิจัย.....	68

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพการดูดกลืนเสียงของวัสดุต่าง ๆ.....	16
ตารางที่ 2.2 การแบ่งชนิดของเส้นใย.....	24
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหนาและความหนาแน่นของแผ่นวัสดุดูดกลืนเสียง.....	46
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง ของแผ่นวัสดุพอลิเอสเตอร์.....	47
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความหนาแน่น ความหนา กับ ค่า NRC ของวัสดุ.....	47

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 Sound Generation.....	2
ภาพที่ 2.1 การสะท้อนของคลื่นเสียง.....	7
ภาพที่ 2.2 การหักเหของคลื่นเสียงในอากาศที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน.....	8
ภาพที่ 2.3 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง.....	9
ภาพที่ 2.4 Fiberglass blankets, boards and composites.....	12
ภาพที่ 2.5 Sound absorption of fiberglass materials.....	13
ภาพที่ 2.6 Typical Soundbox units used as individual cavity resonators.....	14
ภาพที่ 2.7 ค่าประมาณความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงที่ตกกระทบ ตั้งฉากกับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงแบบที่เสียงตกกระทบในทุกทิศทาง.....	18
ภาพที่ 2.8 ลักษณะทั่วไปของสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงของวัสดุต่าง ๆ.....	19
ภาพที่ 2.9 การตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัสดุด้วยวิธี Standing wave tube..	23
ภาพที่ 2.10 Source, Path and Receiver.....	24
ภาพที่ 2.11 Photomicrograph of regular polyester fiber, cross section.....	28
ภาพที่ 2.12 Photomicrograph of regular polyester fiber, longitudinal view.....	29
ภาพที่ 3.1 แม่แบบบล็อกโลหะ.....	38
ภาพที่ 3.2 เศษเส้นใยพอลิเอสเตอร์.....	39
ภาพที่ 3.3 วัสดุดูดกลืนเสียงตัวอย่างหลังจากการเตรียมแผ่น.....	39
ภาพที่ 3.4 แผงการติดตั้งอุปกรณ์ Standing wave apparatus.....	41
ภาพที่ 3.5 เครื่อง Sine Generator 1023.....	43
ภาพที่ 3.6 เครื่อง Heterodyne Slave Filter 2010.....	43
ภาพที่ 3.7 Microphone:(Crystal type).....	44
ภาพที่ 3.8 ไม้บรรทัดวัดระยะทาง Stainless Hardened.....	44
ภาพที่ 3.9 ชุด Standing Wave Apparatus Type 4002.....	45
ภาพที่ 3.10 Calibrador Vernier.....	45
ภาพที่ 4.1 แสดงผลสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแผ่นวัสดุที่มีความหนาและความหนาแน่น ขนาดต่าง ๆ.....	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.2 แสดงผลสัมประสิทธิ์การดูดกลืนและลดระดับเสียงของแผ่นวัสดุที่ความหนา ขนาดต่าง ๆ.....	48
ภาพที่ 4.3 แสดงผลสัมประสิทธิ์การดูดกลืนและลดระดับเสียงของแผ่นวัสดุที่ความถี่ระดับ ต่าง ๆ.....	49

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 1 นิยาม แนวคิด ทฤษฎี

1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเสียง

1.1.1 เสียง

เสียง เป็นพลังงานรูปหนึ่ง ซึ่งเปลี่ยนแปลงมาจากพลังงานรูปอื่น และสามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่นได้ด้วย กับทั้งทำให้โสตประสาทของคนปกติเกิดความรู้สึกในการได้ยินเสียงไม่มีตัวตน ไม่ต้องการที่อยู่ ไม่มีมวล ดังนั้น จึงอาจเชื่อได้ว่า เสียงไม่เป็นสสาร เสียงเกิดขึ้นได้จากการสั่นของวัตถุ ไม่ว่าจะเป็นสสารใด ๆ แม้แต่อากาศ เมื่อทำให้เกิดการสั่นอย่างรวดเร็วพอเหมาะก็จะทำให้เกิดเสียงได้

มีสมบัติประการหนึ่งที่จะเห็นได้ง่ายจากการเคาะวัตถุ เช่นแผ่นไม้ให้สั่นก็คือ ถ้าวัตถุได้รับแรงมาก ย่อมทำให้ช่วงกว้างของการสั่น (Amplitude) มีความกว้างมากขึ้น และทำให้พลังงานเกิดมากขึ้นได้ เสียงก็จะดังมากขึ้น ผลการสั่นของวัตถุทำให้อากาศเกิดการอัดและขยายเป็นคลื่นตามจังหวะของการสั่นของวัตถุนั้น

ลักษณะของการสั่นแบ่งออกเป็น

1. การสั่นตามขวาง (Transverse Vibration)

คลื่นขวาง คือคลื่นที่เมื่อเคลื่อนไปในตัวกลางใด อนุภาคของตัวกลางนั้นสั่นในแนวตั้งฉาก กับแนวทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นแสง คลื่นความร้อน คลื่นวิทยุ

2. การสั่นตามยาว (Longitudinal vibration)

คลื่นตามยาว คือคลื่นที่เมื่อเคลื่อนไปในตัวกลางใด อนุภาคของตัวกลางนั้นจะสั่นในแนวเดียวกับแนวทางการเคลื่อนที่ไป เช่น คลื่นเสียง

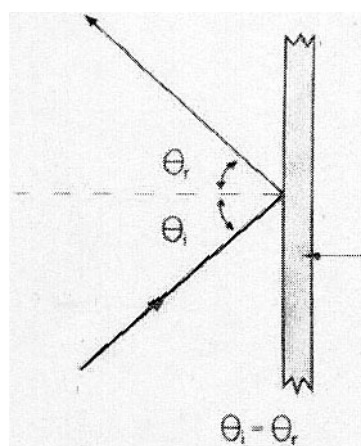
ลักษณะการสั่นซึ่งทำให้เกิดคลื่น พอดีให้นิยามของคำว่าคลื่น (wave) ได้ว่า คลื่น (wave) คือสถานะหนึ่งของการรบกวนซึ่งเคลื่อนไปในตัวกลางด้วยความเร็วจำกัด เมื่อการรบกวนเคลื่อนไปในตัวกลางถึงไหนก็ตาม ตัวกลางก็จะปรากฏเป็นคลื่น ณ ที่นั้น การเคลื่อนที่ชนิดคลื่นและคลื่นเสียง (Wave motion and sound wave)

การเคลื่อนที่ชนิดคลื่นนั้น เป็นการเคลื่อนที่ที่มีจังหวะสม่ำเสมอ เป็นลักษณะเฉพาะที่เรียกว่าการเคลื่อนที่ชนิด Simple Harmonic เนื่องจากคลื่นเสียง (Sound wave) ที่เราจะได้ศึกษานี้มีการเคลื่อนที่แบบ Simple Harmonic Motion

ลักษณะของการเคลื่อนที่ชนิดคลื่นประกอบด้วย

1. การแกว่งครบ 1 รอบ (One complete vibration)
2. ช่วงกว้างของการสั่น (Amplitude)
3. คาบของการสั่น (Period)
4. ความถี่ (Frequency)

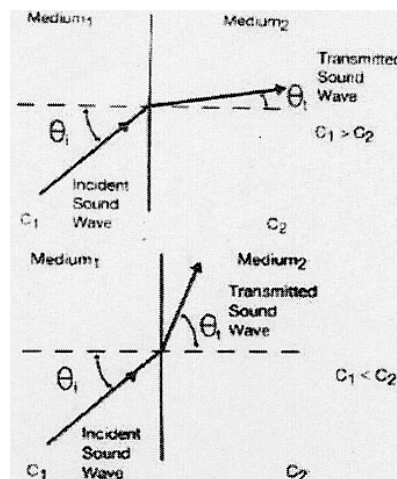
1) การสะท้อนของเสียง (Reflection of sound) เมื่อคลื่นเสียงแผ่กระจายจากแหล่งกำเนิดมากระทบกับสิ่งกีดขวาง หรือบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติอย่างรวดเร็วของตัวกลาง จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ ที่เรียกว่า การสะท้อนขึ้นที่ผิวของตัวกลางหรือสิ่งกีดขวางที่คลื่นเสียงตกกระทบ เหมือนลูกบอลที่ตกกระทบกำแพงแล้วสะท้อนกลับออกมา (Marken 1989) นอกจากนี้กรณีวัสดุซึ่งเสียงตกกระทบเป็นวัสดุดูดซับเสียงตามที่ได้ผลิตมาให้เหมาะสมกับงานหนึ่งๆ โดยเฉพาะจึงมีการสะท้อนเสียงได้น้อย แม้ว่าผู้สังเกตต้องการรับเสียงตรง แต่ก็อาจมีเสียงสะท้อนออกมาบ้าง สำหรับในชีวิตประจำวันนั้น ถ้าเสียงสะท้อนเคลื่อนที่กลับมาถึงผู้สังเกตโดยมีช่วงเวลาห่างจากเสียงตรงน้อยกว่า 0.1 วินาที ผู้สังเกตจะได้ยินเสียงตรง และเสียงสะท้อนรวมกันเป็นเสียงเดียว แต่ถ้าเสียงสะท้อนเคลื่อนที่กลับมาถึงผู้สังเกตใช้เวลามากกว่า 0.1 วินาที ผู้สังเกตจะได้ยินเสียงสะท้อนแยกกับเสียงตรงในลักษณะที่ซ้ำกันซึ่งเรียกว่า เสียงก้อง (สมพงษ์ 2523)



ภาพที่ 2.1 การสะท้อนของคลื่นเสียง

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2544) *มลพิษทางเสียง* กรุงเทพมหานคร ชिल्ค้กลับ

2) การหักเหของเสียง (Refraction of Sound) เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดผ่านไปยังบริเวณรอยต่อของตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็ว และทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียง ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์นี้ว่า การหักเห (Marken 1989) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาอากาศที่ระดับต่าง ๆ ที่มีความแตกต่างกันในเรื่อง อุณหภูมิ ความชื้น ความหนาแน่น อันเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของเสียงทำให้แนวทางการเคลื่อนที่และรูปร่างของคลื่นเสียงเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลต่อการได้ยิน คือ ในเวลากลางคืน จะได้ยินเสียงได้ไกลกว่าในเวลากลางวัน ทั้งนี้เนื่องจากในเวลากลางวันอากาศที่บริเวณใกล้พื้นดินจะอุ่น หรือร้อนกว่าอากาศระดับสูงขึ้นไป เมื่อตกกลางคืนพื้นโลกเกิดการคลายความร้อน ทำให้อากาศบริเวณใกล้พื้นดินเย็นกว่าในระดับสูง จากเหตุผลดังกล่าว ดังนั้นในเวลากลางวันคลื่นเสียงจึงหักเหขึ้นไปเหนือพื้นดิน เนื่องจากที่ระดับความสูงใกล้ ๆ พื้นดินเสียงเดินทางได้เร็วในเวลากลางคืน ในทางตรงข้ามเวลากลางคืนเสียงเดินทางโค้งลงสู่พื้นดิน (ราฟิง 2530)



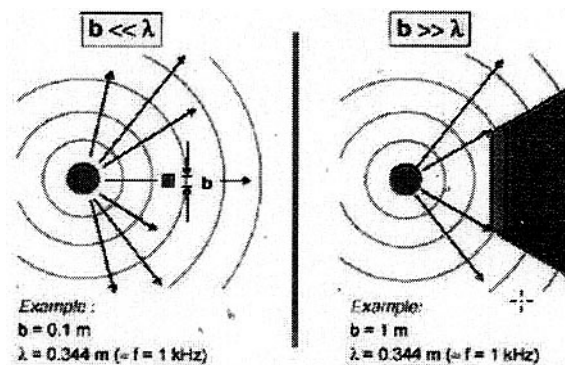
ภาพที่ 2.2 การหักเหของคลื่นเสียงในอากาศที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2544) มลพิษทางเสียง กรุงเทพมหานคร ชิลด์คลับ

3) การแทรกสอดของเสียง (Interference of Sound) เมื่อคลื่นเสียงตั้งแต่ 2 แหล่งกำเนิดขึ้นไป เกิดขึ้นและเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งเดียวกัน คลื่นเสียงที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะรวมกันเป็นคลื่นเสียงเดียว ซึ่งเรียกว่า การแทรกสอด (Marken 1989) ซึ่งเป็นไปตามหลักการรวมกันได้ของคลื่น ทั้งนี้ถ้าคลื่นเสียงตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไปที่มีความถี่แตกต่างกันเล็กน้อยมาแทรกสอดกันในบางครั้งเสียงเหล่านี้จะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกัน (Constructive Interference) ทำให้เกิดการ

สันตัวของตัวกลางมากขึ้นจึงได้ยินเสียงดังมากกว่าปกติ และในบางครั้งคลื่นเสียงเหล่านี้จะแทรกสอดกันแบบหักล้าง (Destructive Interference) ทำให้การสันตัวของตัวกลางน้อยลง จึงได้ยินเสียงค่อยจนบางครั้งไม่ได้ยินเลย ดังนั้นเมื่อเกิดการแทรกสอดจึงทำให้ผู้สังเกตได้ยินเสียงดัง และค่อยเป็นจังหวะ และเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า บีตส์ (Giancoli DC 1980) ทั้งนี้ขณะเกิดเสียงดังแอมพลิจูดของคลื่นรวมจะสูงสุดและขณะที่เกิดเสียงค่อยแอมพลิจูดของคลื่นรวมจะต่ำสุด

4) การเลี้ยวเบนของเสียง (Diffraction of Sound) การเลี้ยวเบนของเสียงเกิดการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียง เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่มากระทบสิ่งกีดขวาง เช่น กรณีการเลี้ยวเบนของเสียงที่มุมตึก ทำให้สามารถได้ยินเสียงของคนที่อยู่อีกด้านหนึ่งของตึก โดยไม่ต้องเห็นตัวคนพูด เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงทิศทางโดยการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียงนี้แตกต่างจากการสะท้อนและการหักเหของเสียงเนื่องจากปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นในตัวกลางเดียวกัน จากผลการเลี้ยวเบนของเสียงนี้ทำให้ไม่สามารถสร้างมุมหรือบริเวณที่อับเสียงได้อย่างสมบูรณ์ เพราะกำแพงกั้นเสียงหรืออุปกรณ์ที่เป็นสิ่งกีดขวางใด ๆ ถ้าหากมีช่องเปิดหรือขอบเปิดไปสู่อีกด้านหนึ่ง จะทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของเสียงขึ้นบริเวณช่องเปิด หรือขอบเขตเปิดนั้น ๆ ได้เช่นกัน (Marken 1989)



ภาพที่ 2.3 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2544) มลพิษทางเสียง กรุงเทพมหานคร ชिल्คัลลัม

5) ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler Effect) หากแหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกตมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ต่อกันในตัวกลางที่อยู่นิ่งนั้น ความถี่ของเสียงที่ปรากฏต่อผู้สังเกตจะแตกต่างกันไปจากความถี่ของคลื่นเสียงที่ส่งออกมา ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler Effect) (Giancoli DC 1980) เช่นการได้ยินเสียงแตรรถหรือเสียงหวูดรถไฟ ขณะวิ่งผ่านผู้สังเกตจะทำให้ได้ยินเสียงสูงหรือต่ำผิดไปจากปกติหรืออาจกล่าวได้ว่า ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ คือ

ปรากฏการณ์ที่ระดับความถี่ของเสียงเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียง และผู้สังเกต

6) *การกำทอน (Resonance)* ปรากฏการณ์กำทอน หมายถึง ปรากฏการณ์ที่วัตถุหรือสิ่งใดสิ่งหนึ่งเกิดการสั่นตัว เมื่อได้รับการกระตุ้นโดยคลื่นที่มีความถี่ตรงกับความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของวัตถุหรือสิ่งของนั้น (พิเชษฐ 2522) ทั้งนี้ถ้าคลื่นความถี่ทั้งสองตรงกันจะทำให้เกิดการสั่นตัวอย่างรุนแรงของวัตถุนั้น กล่าวคือ แอมพลิจูดของการสั่นตัวจะกว้างขึ้นและทำให้เกิดเสียงดัง

7) *เสียงกลบ (Noise)* ในชีวิตประจำวันมีบางขณะที่เรากำลังสนทนาอยู่และเกิดมีเสียงจากสภาพแวดล้อมที่มีระดับเสียงดังกว่าเสียงที่กำลังสนทนาจนไม่สามารถติดต่อสื่อสารเป็นที่เข้าใจได้ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์เสียงกลบ (Irwin JD and Graf ER 1979) ขณะที่ฟังเสียงหนึ่งอยู่แล้วมีอีกเสียงหนึ่งค่อย ๆ มีความเข้มหรือระดับความดังมากขึ้น พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ จะไม่ได้ยินเสียงแรก แต่จะได้ยินเสียงที่สองแทน เหตุการณ์นี้เรียกว่า เสียงที่มีความเข้มหรือความดังมากกว่าได้กลบเสียงแรก และจากการทดลองยังพบว่าเสียงที่มีความถี่ต่ำและมีความเข้มพอสมควรจะกลบเสียงสูงได้ง่ายกว่า (ราพีง 2530)

8) *การดูดกลืนและส่งผ่านเสียง (Absorption and Transmission)* เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบผนัง กำแพงหรือวัสดุใด ๆ จะเกิดการสะท้อนและส่งผ่านคลื่นขึ้นด้วยพลังงานที่ลดลง ซึ่งการทดลองของพลังงานที่ส่งผ่านนี้เกิดขึ้นเนื่องจาก คลื่นเสียงที่ตกกระทบได้ทำให้ผิวหน้าของวัสดุนั้นเกิดการสั่นตัว โดยพลังงานจากการสั่นตัวนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน เนื่องจากคุณสมบัติเกี่ยวกับแรงเสียดทานของวัสดุ ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นกับวัสดุที่มีรูพรุน

9) *การส่งผ่านเสียง (Sound Transmission)* เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบวัสดุกั้นเสียง เช่น กำแพงหรือผนังแล้ววัสดุนั้นจะเกิดการสั่นตัว ซึ่งการสั่นตัวในลักษณะนี้เป็นสาเหตุให้อากาศที่อยู่ใกล้เคียงวัสดุดังกล่าวทั้งสองด้านมีการสั่นตัวตามไปด้วย ส่งผลให้วัสดุที่กั้นเสียงตกกระทบนั้นประพฤติตัวเหมือนเป็นแหล่งกำเนิดเสียงอันใหม่ ซึ่งสนามเสียงใหม่อันเกิดจากวัสดุนี้จะมีพลังงานน้อยกว่าพลังงานเสียงตอนแรก ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานของคลื่นเสียงที่ตกกระทบวัสดุกั้นเสียงนี้ส่วนหนึ่งถูกใช้ไปสำหรับการทำให้วัสดุนั้นเกิดการสั่นตัว โดยลักษณะสมบัติของวัสดุกั้นเสียงนั้นสามารถบ่งบอกได้ด้วยค่าการสูญเสียขณะส่งผ่าน (Transmission Loss ; TL)

10) สัมประสิทธิ์การส่งผ่านเสียง สัมประสิทธิ์การส่งผ่านเสียง (Transmission Coefficient ; τ) สำหรับการส่งผ่านเสียงสามารถบอกได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านเสียง ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของกำลังเสียงที่ส่งผ่านวัสดุต่อกำลังเสียงที่ตกกระทบบนวัสดุนั้น ดังสมการ 2.1

$$\tau = \frac{W_t}{W_i} \quad \dots \text{สมการ (2.1)}$$

โดย τ = สัมประสิทธิ์การส่งผ่านเสียง

W_t = กำลังเสียงที่ส่งผ่านวัสดุ (w)

W_i = กำลังเสียงที่ตกกระทบวัสดุ (w)

11) ค่าการสูญเสียขณะส่งผ่านเสียง ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง

(Transmission Loss ; TL) ในการควบคุมเสียง Olishifski ได้อธิบายว่าสิ่งหนึ่งที่ต้องกระทำ คือ การหยุดคลื่นเสียงเพื่อไม่ให้มีการเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดไปยังบริเวณอื่น ซึ่งสามารถทำได้โดยการนำกำแพงมาขึ้นเพื่อแยกแหล่งกำเนิดเสียงออกจากบริเวณที่ต้องการความเงียบสงบ ทั้งนี้การลดระดับเสียงเนื่องจากการส่งผ่านคลื่นเสียงสามารถอธิบายได้ด้วยค่าการสูญเสียขณะส่งผ่าน (Transmission Loss) ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกำแพงกันเสียงนั้น ๆ ด้วย โดยค่า TL นี้สามารถหาได้จากสมการ 2.2

$$TL = \frac{W_i}{W_t} \quad \dots \text{สมการ (2.2)}$$

โดย TL = ค่าการสูญเสียขณะส่งผ่านเสียง (dB(A))

W_i = กำลังเสียงที่ตกกระทบวัสดุ (w)

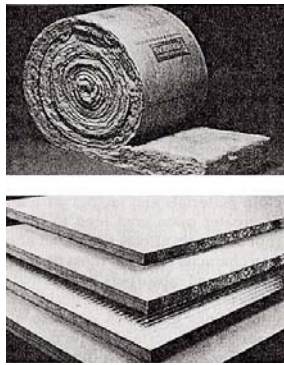
W_t = กำลังเสียงที่ส่งผ่านวัสดุ (w)

12) การดูดกลืนเสียง (Sound Absorption) การดูดกลืนเสียง (Sound Absorption)

หมายถึง การเปลี่ยนแปลงผลรวมของพลังงานเสียงที่ลดน้อยลงเมื่อผ่านตัวกลางใด ๆ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการดูดกลืนเสียงคือความสามารถของวัสดุในการดูดกลืนพลังงานเสียง และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน โดยวัสดุที่สามารถดูดกลืนคลื่นเสียงได้ดีจะเป็นวัสดุจำพวกเส้นใย (Fibrous) และวัสดุพรุน (Porous) เมื่อเสียงตกกระทบวัสดุใด ๆ เสียงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและส่งผ่านเข้าไปในวัสดุนั้น ทั้งนี้จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและคุณลักษณะของวัสดุนั้นเป็นสำคัญ ดัชนีที่ใช้เป็นตัวชี้ถึงประสิทธิภาพในการดูดกลืนเสียงของวัสดุแต่ละชนิด คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง (Sound Absorption Coefficients) คลื่นเสียงที่ผ่านเข้าไปในวัสดุที่เสียงนั้นตกกระทบจะมีพลังงานลดลงเนื่องจากพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานความร้อน

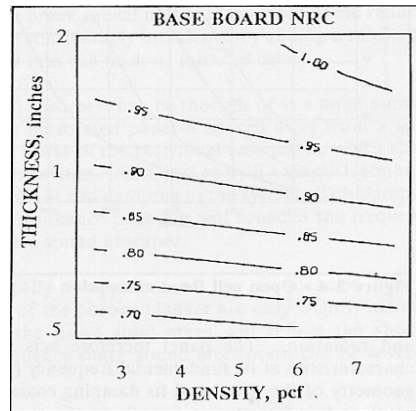
วัสดุดูดกลืนเสียง สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท คือ

1. วัสดุพรุน (Porous or Dissipative Absorber) เป็นวัสดุที่มีโครงสร้างเชื่อมต่อกันด้วยรูพรุน การเชื่อมต่อกันด้วยเซลล์เปิด (Open Cell) นั้น พลังงานเสียงจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน เนื่องจากการเสียดสี (Frictional) และความหนืด (Viscous Flow) ในรูพรุน และการสั่นสะเทือนของเส้นใยเล็ก ๆ วัสดุพรุนจะดูดกลืนเสียงได้ดีในช่วงความถี่สูงและดูดกลืนเสียงได้น้อยในช่วงความถี่ต่ำ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ ความหนา (Thickness), ความหนาแน่น (Density), ความพรุน (Porosity), ความต้านทานการไหล (Flow resistance), การเรียงตัวของเส้นใย (Fiber Orientation) และจะไม่ทำสีเพราะสีจะอุดตันรูพรุนทำให้ลดประสิทธิภาพการดูดกลืนเสียง ตัวอย่างของวัสดุดูดกลืนเสียงชนิดรูพรุน ได้แก่ โยแก้ว, ไฟเบอร์บอร์ด, พรอม, แกลบ, โยมะพร้าว เป็นต้น



ภาพที่ 2.4 Fiberglass blankets, boards and composites

ที่มา: David A. Harris (1991). *Noise Control Manual (Guidelines for Problem-solving in the Industries/ Commercial Acoustical Environment)*. New York : Van Nostrand Reinhold, USA.



ภาพที่ 2.5 Sound absorption of fiberglass materials

ที่มา: David A. Harris (1991). *Noise Control Manual (Guidelines for Problem-solving in the Industries/ Commercial Acoustical Environment)*. New York : Van Nostrand Reinhold, USA.

2. เมมเบรน (Membrane Absorber) เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบวัสดุดูดกลืนเสียงชนิดเมมเบรน จะเกิดการสั่นสะเทือนของวัสดุนั้น พลังงานส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปจากการเสียดสีภายในวัสดุ วัสดุดูดกลืนเสียงชนิดเมมเบรนจะดูดกลืนเสียงได้ดีในช่วงความถี่ต่ำ ความถี่ที่สามารถดูดกลืนเสียงได้มากที่สุดหรือที่เรียกว่า ความถี่เรโซแนนท์ (Resonant Frequency) ขึ้นอยู่กับมวล (Mass), ความแข็ง (Stiffness) และความลึกของช่องว่างอากาศ (Depth of Airspace) แสดงได้ตามสมการ 2.3 ดังนี้

$$f_{res} = \frac{60}{\sqrt{md}} \quad \dots \text{สมการ (2.3)}$$

f_{res} = ความถี่ที่สามารถดูดกลืนเสียงได้มากที่สุด

m = มวลของแผ่นเมมเบรน (kg/m^2)

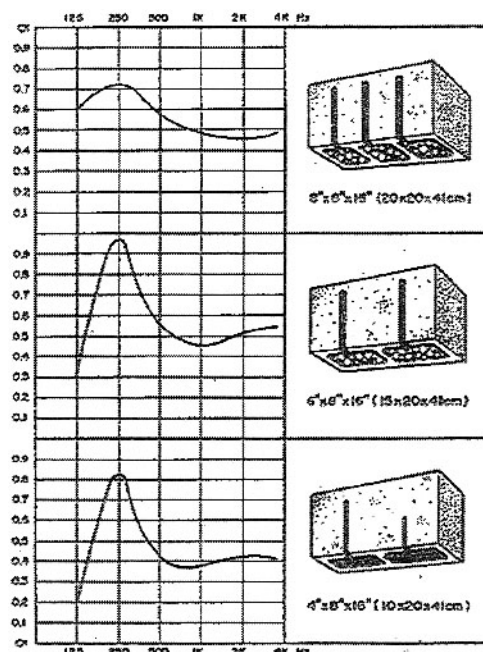
d = ความลึกของช่องว่างอากาศ (เมตร)

ตัวอย่างของวัสดุดูดกลืนเสียงชนิดเมมเบรน ได้แก่ ไม้อัดแผ่นบางๆ , ฝ้าใบ เป็นต้น

3. เรโซเนเตอร์ (Resonator or Cavity Absorber) มักถูกเรียกว่า “Helmholtz Resonators” เป็นวัสดุที่มีโพรงอากาศอยู่ภายใน ซึ่งเชื่อมต่อกับบรรยากาศภายนอกด้วยช่องเปิดเล็กๆ ถ้าโพรงอากาศนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นที่ตกกระทบ เรโซเนเตอร์จะปรับให้มีความเฉพาเจาะจงต่อความถี่นั้น ทำให้การสั่นตัวของปริมาตร

อากาศในโพรงอากาศเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่เข้าออกผ่านช่องเปิดของโพรงอากาศ และมีพฤติกรรมคล้ายกับสปริงการเคลื่อนที่ของพลังงานของการสั่นสะเทือนมีความสำคัญอย่างมาก อากาศในโพรงอากาศมีการเคลื่อนที่เหมือนของไหลที่ไม่มีการยืดหยุ่น (Incompressible) และ ไม่มีแรงเสียดทาน (Frictionless)

ความสามารถในการดูดกลืนเสียงของเรโซเนเตอร์ได้ดีในช่วงความถี่ต่ำและแคบ ตัวอย่างของเรโซเนเตอร์ ได้แก่ คอนกรีตบล็อก ซึ่งออกแบบให้มีช่องเปิดด้านใดด้านหนึ่งเชื่อมต่อกับช่องว่างขนาดใหญ่ที่อยู่ภายในดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 Typical Soundbox units used as individual cavity resonators

ที่มา: Foreman, J.E.K. (1990). *Sound analysis and noise control*. New York: Van Nostrand Reinhold.

ดัชนีที่ใช้เป็นตัวชี้ถึงประสิทธิภาพในการดูดกลืนเสียงของวัสดุแต่ละชนิด คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง (Sound Absorption Coefficients) เป็นอัตราส่วนของพลังงานที่ถูกดูดกลืนต่อพลังงานที่ตกกระทบทั้งหมด ดังสมการ 2.4

$$\alpha = \frac{E_i - E_r}{E_i} \quad \dots \text{สมการ (2.4)}$$

E_i

α = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง

E_i = พลังงานทั้งหมดที่ตกกระทบ

E_r = พลังงานที่สะท้อนกลับ

โดยทั่วไปวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงต่ำกว่า 0.15 จะถือว่าเป็นวัสดุสะท้อนเสียงและวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงสูงกว่า 0.40 จะถือว่าเป็นวัสดุดูดกลืนเสียง

13) สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง (Absorption Coefficient; α) ความสามารถในการดูดกลืนเสียงของวัสดุ สามารถอธิบายได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง ซึ่งขึ้นกับพลังงานเสียงที่ตกกระทบกับพลังงานเสียงที่ดูดกลืนโดยวัสดุนั้น ทั้งนี้ Reynolds กล่าวว่า เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบผิวของวัสดุดูดกลืนเสียง จะมีพลังงานส่วนหนึ่งที่สะท้อนออกไปและอีกส่วนหนึ่งถูกดูดกลืนที่ผิวหน้าของวัสดุนั้น โดยสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัสดุหมายถึง อัตราส่วนของพลังงานที่ถูกดูดกลืนต่อพลังงานเสียงที่ตกกระทบวัสดุนั้น ๆ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$\alpha = \frac{W_a}{W_i} \quad \dots \text{สมการ (2.5)}$$

โดย α = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง

W_a = กำลังเสียงที่ถูกดูดกลืน โดยวัสดุ (w)

W_i = กำลังเสียงที่ตกกระทบบนวัสดุ (w)

(Bell 1982) ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง มีค่าตั้งแต่ 0-1 และแปรเปลี่ยนไปตามความถี่ มุมที่เสียงเข้ามาตกกระทบและชนิดของวัสดุที่ใช้ทำพื้นผิวที่เสียงมาตกกระทบ ตัวอย่าง ถ้าเสียงที่มาตกกระทบถูกดูดกลืนไว้ 55 % ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง จะเท่ากับ 0.55 พื้นที่ 1 ตารางฟุตของวัสดุจะให้การดูดกลืน 0.55 ซาบิน(Sabins) หน้าต่างที่เปิดถือว่าเป็นตัวดูดกลืนที่ดี เพราะเสียงสามารถผ่านมันไปได้โดยไม่กลับคืนเข้าไปในห้อง ซึ่งจะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงเท่ากับ 1.0 ถ้าหน้าต่างเปิดมีพื้นที่ 10 ตารางฟุตจะให้ค่าการดูดกลืนเท่ากับ 10 ซาบิน(Sabins) วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง น้อยกว่า 0.15 จัดว่าเป็นวัสดุสะท้อนเสียง ส่วนวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง มากกว่า 0.4 จัดเป็นวัสดุดูดกลืนเสียง (Everest, 1994; เอ็อมพร, 2543; บัณฑิต, 2547) โดยทั่วไปนิยมแสดงค่าการสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง (α) ของวัสดุต่างที่ความถี่ดังต่อไปนี้ 125, 250, 500, 1000, 2000 และ 4000 Hz. ดังตารางที่ 2.1 (ตามวิธี Random incidence ตรวจวัดใน Reverberation chamber)

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง (Normal incidence sound absorption coefficient : α_n) คำนวณได้จากสมการ 2.6 (ASTM C384-98)

$$\alpha = 1 - [\Gamma]^2 \quad \dots \text{สมการ (2.6)}$$

Γ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียง (Pressure reflection coefficient : Γ) ที่คำนวณได้จากสมการ 2.7

$$\Gamma = \frac{[SWR - 1]}{[SWR + 1]} \quad \dots\text{สมการ (2.7)}$$

SWR คือ อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing wave ratio : SWR) ที่เป็นอัตราส่วนของค่าแอมพลิจูดสูงสุด (A+B)หารด้วยแอมพลิจูดต่ำสุด(A-B)ที่วัดได้ภายในท่ออิมพีแดนซ์ ดังสมการ 2.8

$$SWR = \frac{A+B}{A-B} \quad \dots\text{สมการ (2.8)}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง (Normal incidence sound absorption coefficient : α_n) ที่คำนวณได้จากสมการ 2.6 เป็นค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงที่เสียงตกกระทบมุมเดียวที่มุม 0 องศา (ตั้งฉาก) กับพื้นผิวของวัสดุ แต่ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงที่เผยแพร่กันทั่วไปทางการค้า นั้น เป็นค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงแบบที่เสียงจะตกกระทบทุกทิศทาง (Random incidence sound absorption coefficient) ซึ่งเป็นค่าที่ตรวจวัดภายในห้องสะท้อน(Reverberation chamber) ด้วยวิธีการที่แตกต่างออกไป ปกติค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงแบบตกกระทบตั้งฉาก มักจะมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงแบบที่เสียงตกกระทบทุกทิศทางเสมอ ซึ่งเราอาจประมาณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงแบบที่เสียงจะตกกระทบในทุกทิศทาง(Random incidence sound absorption coefficient) ได้จากภาพที่ 2.7

ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงและสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงของวัสดุต่าง ๆ ที่พบในชีวิตประจำวัน แสดงในตาราง

ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพการดูดกลืนเสียงของวัสดุต่าง ๆ

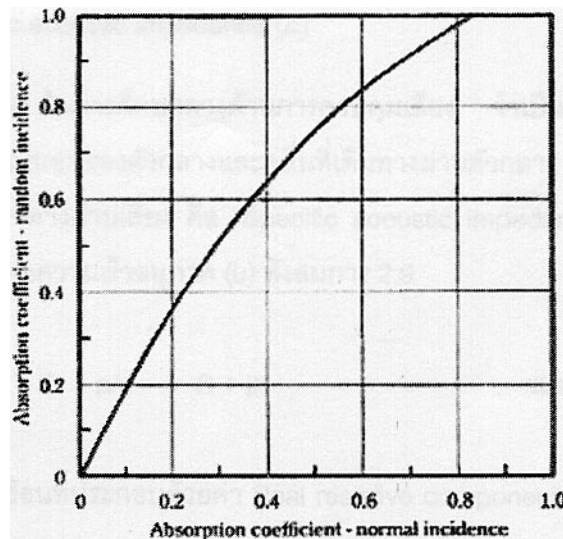
ชนิดของวัสดุ	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง						NRC*
	จุดกึ่งกลางความถี่ (Hz)						
	125	250	500	1,000	2,000	4,000	
อิฐ							
ไม้เคลือบมัน	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.05
ไม้เคลือบมัน, เคลือบสี	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ชนิดของวัสดุ	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง						NRC*
	จุดกึ่งกลางความถี่ (Hz)						
	125	250	500	1,000	2,000	4,000	
ขัดหยาบ	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.05
ขัดเรียบ	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05
ผนังไม้อัดหนา ¼”	0.58	0.22	0.07	0.04	0.03	0.07	0.10
ผนังกั้นเสียงหนา ¾”	0.05	0.46	0.92	0.83	0.58	0.27	0.70
อิฐบล็อกสะท้อนเสียงเคลือบสีหนา 8”	0.20	0.95	0.85	0.49	0.53	0.50	0.70
เส้นใยพีชหนา 1”	0.08	0.29	0.75	0.98	0.93	0.76	0.75
ผิวหนังที่ไม่มีคลื่น	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00
หลังคาไม้	0.24	0.19	0.14	0.08	0.13	0.10	0.15

ที่มา: James P. Cowan. (1994). *Handbook of Environmental Acoustics*. New York: Van Nostrand Reinhold.

หมายเหตุ * ค่า NRC ที่แสดงในตาราง คำนวณแตกต่างจากการศึกษาในครั้งนี้



ภาพที่ 2.7 ค่าประมาณความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงที่ตกกระทบตั้งฉากกับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงแบบที่เสียงตกกระทบในทุกทิศทาง

ที่มา: Everest, F.A. (1994). *The master handbook of acoustics* ; 3rd ed. New York: Tab Books.

14) การลดระดับเสียง การลดระดับเสียง (Noise Reduction ; NR) ระดับเสียงที่ลดลง คือ ความแตกต่างของระดับเสียงเมื่อมีและไม่มีวัสดุกันเสียง ซึ่งแสดงได้ดังสมการ 2.9

$$NR = SPL_1 - SPL_2 \quad \dots \text{สมการ (2.9)}$$

โดย NR = ระดับเสียงที่ลดลง (dB(A))
 SPL_1 = ระดับเสียงเมื่อไม่มีวัสดุกันเสียง (dB(A))
 SPL_2 = ระดับเสียงเมื่อมีวัสดุกันเสียง (dB(A))

ประสิทธิภาพ

การดูดกลืนเสียง	NRC	วัสดุที่ใช้
	-1.0-	
		-วัสดุเฉพาะที่ได้รับการออกแบบพิเศษ
	-0.9-	ให้มีความสามารถในการดูดกลืนเสียงสูง
	-0.8-	
ประสิทธิภาพการดูดกลืนเสียงสูง	-0.7-	

ประสิทธิภาพ

การดูดกลืนเสียง		
		-ฝ้าเพดานที่มีความพรุนสูง
	-0.6-	-นวมหุ้มเก้าอี้ในห้องประชุม
	-0.5-	-ม่านหนา
		-กระจก
		-เบาะหุ้มเก้าอี้
	-0.4-	
		-พื้นดินที่เรียบ
		-ผู้ฟังที่นั่งเก้าอี้ไม้หรือโลหะ
มีประสิทธิภาพ		
ดูดกลืนเสียงปานกลาง	-0.3-	-พรมหนานบนพื้นคอนกรีต

	-0.2-	NRC	วัสดุที่ใช้
		-	-เก้าอี้ไม้หรือเหล็กที่ไม่มีคนนั่ง
			-พรมที่มีน้ำหนักเบา
	-0.1-	-	-ต้นไม้
			-ม่านบาง
สะท้อนเสียง		-	-หน้าต่างกระจก, ขอบหน้าต่างไม้
		-	-ปูนปลาสเตอร์, แผ่นยิปซัมบอร์ด
	-0-	-	-คอนกรีตฉาบเรียบ, อิฐเคลือบสี, หินอ่อน
		-	-กระเบื้องแก้ว, ฝวน้ำ

ภาพที่ 2.8 ลักษณะทั่วไปของสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงของวัสดุต่าง ๆ

15) สัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง สัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง (Noise Reduction Coefficient; NRC) การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดกลืนเสียงของวัสดุต่างชนิดกัน สามารถระบุได้ด้วยค่า NRC ซึ่ง Thumann และ Miller กล่าวไว้ว่า ค่า NRC คือค่าเฉลี่ยเลขคณิตของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงที่ความถี่ 250, 500, 1,000, 2,000 Hz ดังสมการ 2.10

$$NRC = \frac{(\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000})}{4} \quad \dots \text{สมการ (2.10)}$$

โดย $NRC =$ สัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง

$\alpha_x =$ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง ที่ความถี่ x Hz

ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงจากสมการนี้จะใช้ได้ดีสำหรับการดูดกลืนเสียงที่มีความถี่ในช่วงเดียวกับเสียงพูดของมนุษย์หรือเสียงที่มีความถี่หลักอยู่ในช่วง 250 ถึง 2,000 Hz เท่านั้น ในกรณีที่เสียงที่พิจารณาไม่ได้เป็นเสียงพูดของมนุษย์เพียงอย่างเดียวเท่านั้นหรือมีความถี่อยู่นอกช่วงความถี่ระหว่าง 250 ถึง 2,000 Hz จะต้องออกแบบวัสดุดูดกลืนเสียงให้มีประสิทธิภาพในการดูดกลืนเสียงในช่วงความถี่ที่ต้องการมากกว่าการพิจารณาจากค่า NRC

ภาพที่ 2.8 แสดงช่วงของค่า NRC ของวัสดุที่มีค่า NRC สูงกว่า 0.4 จัดได้ว่ามีความสามารถในการดูดกลืนเสียงสูง วัสดุที่ใช้ในสำนักงานหรือที่อยู่อาศัยส่วนมากจะมีค่า NRC อยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.6 ซึ่งเพียงพอที่จะก่อให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแก่การทำงานหรืออยู่อาศัย

วัสดุที่มีค่า NRC สูงกว่า 0.8 โดยทั่วไปจะมีราคาแพง และมีความจำเป็นต้องใช้ในห้องที่มีวัตถุประสงค์เฉพาะเท่านั้น เช่น สตูดิโอ ห้องทดลอง หรือห้องบรรยายขนาดใหญ่

16) *Specific acoustic impedance (Z)* (Albers, 1972) ในการศึกษาทางด้านการควบคุมเสียง จำเป็นต้องมีการเชื่อมความสัมพันธ์ของปริมาณที่แน่นอนของตัวกลางและคลื่นที่เดินทางผ่านตัวกลาง หนึ่งในค่าพารามิเตอร์ซึ่งใช้กันในทุกการศึกษาทางด้านเสียง คือ “Specific acoustic impedance” ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของความดัน (p) ต่อความเร็วอนุภาค (u) ดังสมการ 2.11

$$Z = p/u = R + jX \quad \dots \text{สมการ 2.11}$$

Z เป็นค่าเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยค่า Real resistive component (R) และค่า Imaginary reactive component (X)

ถ้าคลื่นระนาบ (Plane progressive wave) เดินทางไปทางขวาในตัวกลางที่ยาวไม่มีที่สิ้นสุดโดยไม่มีคลื่นสะท้อนกลับ ค่า Specific acoustic impedance ทุกจุดในคลื่นก็คือ ปริมาณจริง (real quantity) นั่นคือ $\rho_0 c$ เป็นบวกเมื่อคลื่นเดินทางไปทางขวา และเป็นลบเมื่อคลื่นเดินทางในทางตรงกันข้าม เมื่อคุณสมบัติการเดินทางของคลื่นขึ้นกับคุณสมบัติของตัวกลาง $\rho_0 c$ หรือ Characteristic acoustic impedance (Z_0) เป็นลักษณะพิเศษทางกายภาพของตัวกลาง แทนค่าด้วย $Z_0 = \rho_0 c$

ในการศึกษาด้านเสียงมีความจำเป็นต้องเชื่อมความสัมพันธ์ให้เท่ากับ ค่าอนุลือกทางไฟฟ้า ในกรณีที่ความดันเสียงที่แตกต่างกัน ก็เหมือนกับความแตกต่างในค่าอนุลือกทางไฟฟ้าเช่นกัน ขณะที่ระบบไฟฟ้ายังสัมพันธ์กับปริมาณที่เรียกว่า ความเร็วปริมาตรของเสียง (Volume velocity in acoustic) อัตราส่วนระหว่างความแตกต่างของความดันกับค่าความเร็วปริมาตรเรียกว่า “Acoustic impedance” และเป็นค่า อนุลือกทางไฟฟ้าที่เรียก “Electrical impedance”

เมื่อคลื่นเสียงระนาบตกกระทบบิวสัมผัส จะแยกตัวกลางหนึ่งของ Characteristic acoustic impedance Z_1 ออกจากตัวกลางอีกตัวหนึ่งของ Impedance Z_2 ความดันเสียงทั้งสองด้านของบิวสัมผัสจะเท่ากัน และความเร็วอนุภาคที่ตั้งฉากกับบิวสัมผัสต้องเท่ากันด้วย เมื่อตัวกลางทั้งสองเป็นของแข็ง และคลื่นตกกระทบบังจากกับระนาบของบิวสัมผัส เมื่อแทนค่าสภาวะนี้ลงในสมการสำหรับการตกกระทบบ การสะท้อน และการส่งผ่านคลื่น จะให้ความสัมพันธ์ของค่า Specific acoustic impedance (Z) ที่บิวของของแข็ง ดังสมการ 2.12

$$Z = [(A1+B1) \rho_1 c_1] / (A1-B1) \quad \dots \text{สมการ 2.12}$$

A1 คือ แอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบ (Real quantity)

A2 คือ แอมพลิจูดของคลื่นสะท้อน (Complex quantity)

$\rho_1 c_1$ คือค่า Characteristic acoustic impedance ของตัวกลางในของไหลที่ติดกับ
พื้นผิวสัมผัส

(Beranek, 1988) ค่า Specific impedance ratio ($Z/\rho_0 c$) เป็นอัตราส่วนระหว่างค่า
Specific acoustic impedance (Z_s) กับค่า Characteristic acoustic impedance ($\rho_0 c$) ของตัวกลาง

ค่า Specific impedance ratio ($Z/\rho_0 c$) หรือ Impedance ratio สามารถคำนวณได้จากค่า
สัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียงดังสมการ 2.13 (ASTM C384-98)

$$\text{Impedance Ratio} = \frac{Z}{\rho_0 c} = \frac{(1+\Gamma)}{(1-\Gamma)} \quad \dots \text{สมการ 2.13}$$

Γ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียง ที่คำนวณได้จาก สมการ 2.7

$\rho_0 c$ คือค่า Characteristic acoustic impedance ($\rho_0 c$) ของตัวกลาง ซึ่งตัวกลางในที่นี้คือ
อากาศ ความหนาแน่นของอากาศจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ซึ่งสามารถคำนวณค่า
Characteristic acoustic impedance ได้จากสมการ 2.14 (ISO 10534-1 : 1996(E))

$$Z_0 = \rho_0 c = \frac{7064}{\sqrt{T}} \quad \dots \text{สมการ 2.14}$$

T คือ ค่าอุณหภูมิ ณ เวลาที่ตรวจวัด หน่วยเป็นเคลวิน

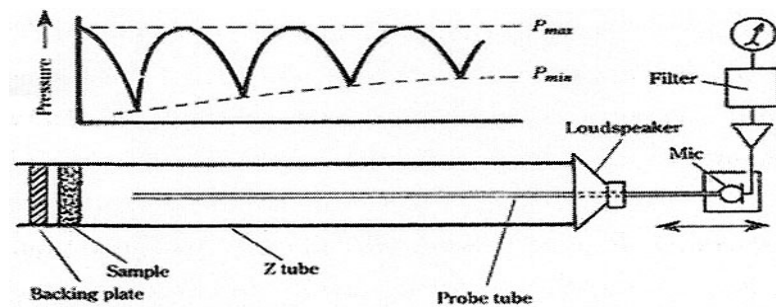
เมื่อนำค่า Characteristic acoustic impedance ($\rho_0 c$) ของตัวกลาง จากสมการ 2.14 ไป
คูณกับ ค่า Impedance Ratio จากสมการ 2.13 ผลลัพธ์จากการคูณทำให้เราสามารถคำนวณค่า
Specific acoustic impedance ของวัสดุตัวอย่างได้ มีหน่วยเป็น mks rayl หรือ Pa.s/m

White 1975 เมื่อคลื่นเสียงในอากาศตกกระทบกับน้ำหรือกำแพง พลังงานส่วนใหญ่จะ
ถูกสะท้อนกลับออกมาเนื่องจากความแตกต่างของค่า Acoustic impedance เมื่อตัวกลางที่เสียงเดิน
ทางผ่านมีความแน่นและความยืดหยุ่นแตกต่างกันจะเกิดการสะท้อนของเสียง ได้มีการนำเอาค่า
Acoustic impedance ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น การเคลือบผิวเรือดำน้ำด้วยยางสังเคราะห์
เพื่อป้องกันการสะท้อนคลื่นโซนาร์ หรือนำไปใช้ในการหั่งความลึกได้ทะเล

17). Impedance tube Everest (1994) และ Blackstock (2000) Kundt tube
หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า Standing wave tube , Standing wave apparatus หรือท่ออิมพีแดนซ์
(Impedance tube) ได้ถูกดัดแปลงมาเพื่อใช้วัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงและค่า Specific
acoustic impedance ของวัสดุ เป็นวิธีที่ต้องการแค่ตัวอย่างขนาดเล็ก มีความสะดวก เหมาะสำหรับ

ใช้ตรวจวัดวัสดุพอร์นซึ่งต้องมีเรื่องของพื้นที่เข้ามาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดูดกลืนของมัน การทำงานของท่ออิมพีแดนซ์ (Impedance tube) แผ่นวัสดุจะถูกวางไว้ที่ปลายด้านหนึ่งของท่อ อีกด้านหนึ่งจะเป็นแหล่งกำเนิดเสียงที่จะปล่อยเสียง Pure tone ที่ความถี่ต่างๆ ออกมา ส่งคลื่นเสียงมาตกกระทบกับแผ่นวัสดุตัวอย่างในแนวตั้งฉาก (Normal incidence) คลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนจากแผ่นวัสดุตัวอย่างจะรวมตัวกันทำให้เกิดคลื่นนิ่ง (Standing wave) โดยมีหัวไมโครโฟนที่เคลื่อนที่ได้เป็นตัววัดค่า แอมพลิจูดต่ำสุด และแอมพลิจูดสูงสุด เพื่อนำไปคำนวณหาค่า อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing wave ratio) ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง (Absorption coefficient) และค่า Specific acoustic impedance ของวัสดุ

ความดันเสียงจะมีค่ามากที่สุดที่พื้นผิวของตัวอย่าง เมื่อไมโครโฟนเคลื่อนออกจากแผ่นวัสดุตัวอย่าง ความดันเสียงจะตกลงถึงค่าต่ำสุดที่จุดแรก เมื่อไมโครโฟนเคลื่อนที่ออกไปอีกก็ จะพบค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดสลับกันไปดังรูป



ภาพที่ 2.9 การตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัสดุด้วยวิธี Standing wave tube ที่มา: Everest, F.A. (1994). *The master handbook of acoustics*. 3rd ed. New York : Tab Books.

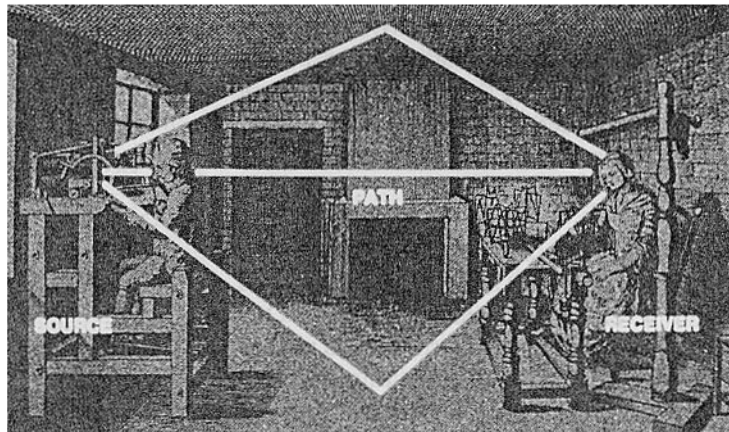
1.1.2 การควบคุมเสียง

หลักในการควบคุมเสียงมี 3 ด้านดังนี้

1. การควบคุมเสียงที่แหล่งกำเนิด (Source) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่สุด สามารถดำเนินการได้ตั้งแต่เริ่มออกแบบเครื่องจักร อุปกรณ์ต่างๆก่อนที่จะนำไปใช้งาน หรือหลังจากที่ใช้เครื่องจักร อุปกรณ์ต่างๆแล้ว เช่น การออกแบบอุปกรณ์ เครื่องจักรให้ทำงานเงียบ การจัดหาที่ปิดล้อมเครื่องจักร (enclosure) การติดตั้งเครื่องจักรให้อยู่ในตำแหน่งที่มั่นคง การบำรุงรักษาอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องจักรอยู่เสมอ เป็นต้น

2. การควบคุมเสียงที่ทางผ่าน (Path) สิ่งที่ควรคำนึงถึงคือ เสียงดังที่จะมาถึงหูผู้ปฏิบัติงานนั้นมีแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่า 1 แหล่งทั้งนี้เพราะผนังและเพดานซึ่งเป็นจุดที่ทำให้เกิด

การสะท้อนของเสียงก็ถือเป็นแหล่งกำเนิดเสียงด้วยเช่นกัน ในบางกรณีเสียงสะท้อนจะผสมผสานกับเสียงจากแหล่งกำเนิดโดยตรงกลายเป็นเสียงที่มีระดับเสียงดังมากขึ้นกว่าเดิม วิธีการควบคุมเสียงที่ทางผ่านทำได้ดังนี้



ภาพที่ 2.10 Source, Path and Receiver

ที่มา: David A. Harris (1991). *Noise Control Manual (Guidelines for Problem-solving in the Industries/ Commercial Acoustical Environment)*. New York : Van Nostrand Reinhold, USA.

- การเพิ่มระยะทางระหว่างแหล่งที่กำเนิดเสียงกับจุดที่ปฏิบัติงาน
- การกั้นห้องหรือทำฉากกำบังขวางกั้นทางเดินของเสียง
- ติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงที่ผนังและเพดาน

3. การควบคุมเสียงที่ผู้ปฏิบัติงาน (Receiver) เป็นวิธีสุดท้ายที่จะนำมาใช้ในการควบคุมเสียง เนื่องจากไม่สามารถควบคุมด้วยวิธีอื่นได้ วิธีการควบคุมทำได้ดังนี้คือ

ให้ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสกับเสียงดังให้น้อยที่สุด เช่น จัดให้มีการหมุนเวียนกันทำงาน

การใช้ที่อุดหู (ear plug) หรือ ที่ครอบหู (ear muff) ซึ่งการเลือกใช้ที่อุดหูหรือที่ครอบหู

จะต้องเลือกใช้เฉพาะที่เหมาะสมกับลักษณะของเสียงดังในที่ทำงานหนึ่ง ๆ เท่านั้น

ความแตกต่างของปลั๊กอุดหูและครอบหูลดเสียง คือ ปลั๊กอุดหูสามารถลดเสียงที่ผ่านใบหูเข้ามายังหูชั้นกลางไปยังหูชั้นใน ส่วนครอบหูลดเสียงมีคุณสมบัติป้องกันเสียงที่เข้าทางใบหูและยังลดเสียงที่ผ่านเข้ามาทางกกหูซึ่งผ่านไปยังประสาทรับฟังได้โดยตรง ปลั๊กอุดหูสามารถลด

ระดับความดังของเสียงได้ไม่น้อยกว่า 15 เดซิเบล (เอ) ส่วนกรอบหูคเสียงสามารถลดระดับความดังของเสียงได้ไม่น้อยกว่า 25 เดซิเบล (เอ)

1.2 พอลิเอสเตอร์

1.2.1 เส้นใย

โดยนิยามของคำว่า “เส้นใย” นั้นได้มีการกำหนดเอาไว้ว่า เส้นใยคือ วัสดุที่มีมิติตามความยาวมากกว่ามิติตามภาพตัดขวาง (เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดที่เป็นวงกลม) ไม่น้อยกว่า 100 เท่า เส้นใยที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอถือได้ว่าเป็นวัตถุดิบขั้นพื้นฐานที่สุดของการผลิตผ้าฝ้ายซึ่งมีผลต่อสมบัติของการใช้งานโดยตรง

ตารางที่ 2.2 การแบ่งชนิดของเส้นใย

เส้นใยธรรมชาติ			
เซลลูโลส(เส้นใยพืช)	โปรตีน(เส้นใยสัตว์)	แร่	ยาง
ฝ้าย (cotton)	ขนสัตว์ (wool)	แร่ใยหิน (asbestos)	ยาง (rubber)
ลินิน (linen)	ไหม (silk)		
ปอ (jute)	ผม (hair)		
รามี่(ramie)			
ป่าน (hemp)			
นุ่น (kapok)			
เส้นใยประดิษฐ์			
เซลลูโลส	พอลิเมอร์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส		แร่ และ เหล็ก
เรยอน(rayon)	โอเลฟินส์ (olefins)	อะคริลิก(acrylic)	โลหะ (metallic)
ไลโอเซลล์ (lyocell)	พอลิเอสเตอร์ (polyester)	มอดอะคริลิก (modacrylic)	แก้ว (glass)
แอซีเตต (acetate)	ซาราน (saran)	อะรามิด (aramid)	เซรามิก(ceramic)
ไตรแอซีเตต(triacetate)	สแปนแดกซ์(spandex)	ไนลอน (nylon)	กราไฟต์ (graphite)
	ไวเนียน(vinyon)	โนโวลอยด์ novoloid)	

1) โครงสร้างของเส้นใย (fiber structure) โครงสร้างของเส้นใยนับจากส่วนที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า คือ โครงสร้างภายนอก เช่น ความยาวของเส้นใย ความหนา ความละเอียด ลักษณะของผิวเส้นใย ซึ่งล้วนแล้วแต่มีผลต่อสมบัติทางด้านความรู้สึกอันเกิดจากการสัมผัส ความนุ่มนวล ความสามารถในการทึงตัว

สมบัติของเส้นใย (fiber properties)

สมบัติของเส้นใยจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์สิ่งทอ เช่น เส้นใยที่มีความแข็งแรงสูงนำมาทำเป็นผ้าที่มีความทนทานต่อการฉีก เส้นใยที่มีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดีเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสื้อผ้าที่ต้องสัมผัสผิวของผู้สวมใส่ เป็นผ้าเช็ดตัวหรือเป็นผ้าอ้อม เส้นใยที่มีสมบัติในการไม่ติดไฟหรือดับไฟได้ด้วยตัวเองเหมาะกับผลิตภัณฑ์สำหรับเด็กอ่อน เป็นต้น

เส้นใยสิ่งทอจะแบ่งการเรียกเส้นใยสั้น และเส้นใยยาวด้วยการอิงเส้นใยธรรมชาติเป็นหลัก คือ

เส้นใยสั้น (staple fiber) หมายถึง เส้นใยที่มีขนาดความยาวสั้นๆ วัดกันด้วยหน่วยที่เป็นนิ้ว หรือ สัดส่วนของนิ้วไปจนถึงฟุต เส้นใยธรรมชาติทุกชนิดยกเว้นเส้นใยไหมล้วนเป็นเส้นใยสั้นทั้งสิ้น

เส้นใยยาว (filament) หมายถึง เส้นใยที่มีความยาวมากๆ ซึ่งเส้นใยธรรมชาติมีเพียงเส้นใยไหมเท่านั้นที่จัดเป็นเส้นใยยาว

การผลิตเส้นใยประดิษฐ์โดยหลักการแล้วก็เพื่อใช้ทดแทนเส้นใยธรรมชาติ ดังนั้นหากต้องการใช้งานเพื่อทดแทนขนสัตว์ ฝ้ายหรือลินินก็ดี เส้นใยประดิษฐ์จะถูกผลิตในรูปแบบของเส้นใยสั้น แต่หากวัตถุประสงค์นั้นเป็นไปเพื่อการใช้ทดแทนเส้นใยไหม หรือลอกเลียนสมบัติเส้นใยไหม เส้นใยประดิษฐ์ก็จะถูกผลิตมาในรูปแบบของเส้นใยยาว โดยใช้ทำเป็นเส้นด้ายชนิดเส้นเดี่ยว (monofilament) หรือเส้นใยยาวควบตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไป (multifilaments)

เส้นใยประดิษฐ์จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่สามารถควบคุมได้ค่อนข้างแน่นอน ในกระบวนการผลิตเส้นใยโดยมากในการวัดความละเอียดนอกจากวัดจากความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางแล้วยังอาจใช้หน่วยที่เป็นการวัดความหนาแน่นเชิงเส้น (linear density) ซึ่งเป็นการวัดน้ำหนักของเส้นใยต่อความยาวที่กำหนดโดยหน่วยที่ใช้ในสิ่งทอมี 2 หน่วย คือ แดเนียร์ (denier) และ เทกซ์ (tex) กำหนดนิยามดังนี้

Denier คือ หน่วยที่ใช้วัดความละเอียดของเส้นใยจากน้ำหนักที่เป็นกรัมในความยาว 9,000 เมตร

Tex คือ หน่วยที่ใช้วัดความละเอียดของเส้นใยจากน้ำหนักที่เป็นกรัมในความยาว 1 กิโลเมตร

ความแข็งแรงของเส้นใย (fiber strength)

เส้นใยที่สามารถนำมาใช้งานได้ต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะนำไปปั่นเป็นเส้นด้าย และทอเป็นผ้าฝ้ายโดยไม่ขาดจากกัน ความแข็งแรงของเส้นใยหาได้จากการวัดปริมาณแรงดึงคงที่ที่ทำให้เส้นใยขาดจากกัน หน่วยที่ใช้ คือ ปริมาณแรงดึงให้ขาดมีหน่วยเป็นกรัม ถ้าหากต้องการเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยต่อเส้นใยหน่วยที่ใช้วัดต้องเป็นหน่วยสัมพัทธ์ คิดเป็นปริมาณแรงดึงให้ขาดต่อความละเอียดของเส้นใย คือ กรัมต่อแดเนียร์ (gram per denier, gpd) ซึ่งอาจเรียกกันว่า tenacity หรือ ความทนแรงดึง ณ จุดขาด

ความสม่ำเสมอ (uniformity)

เส้นใยประดิษฐ์จะมีความสม่ำเสมอดีมาก เพราะสามารถควบคุมกระบวนการผลิตเส้นใยได้แน่นอน ทั้งขนาดของพื้นที่หน้าตัด รูปทรง ตลอดจนความยาว

ความหนาแน่น (density)

ความหนาแน่นซึ่งก็คือมวลต่อปริมาตรของวัสดุ มักใช้หน่วยของกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) หรือ ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต (lb/cu.ft.) เส้นใยสิ่งทอทุกชนิดจะมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ยกเว้นเส้นใยประดิษฐ์ในกลุ่มของโอเลฟินส์ (เช่น PP และ PE) ที่ลอยบนน้ำได้ เส้นใยแก้วมีความหนาแน่นสูง ในขณะที่เส้นใยพอลิเอสเตอร์และไนลอนมีความหนาแน่นต่ำ เป็นสมบัติที่มีความสำคัญต่อผ้าฝ้าย

2) พอลิเอสเตอร์ (Polyester) พื้นฐานของการพัฒนาพอลิเอสเตอร์เริ่มจาก

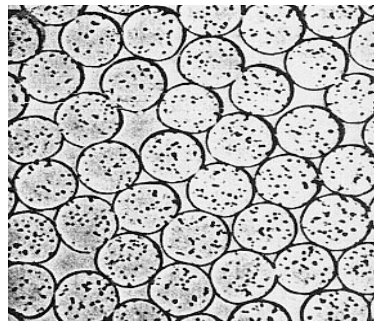
โครงการวิจัยพอลิเมอร์ของ Dr. W.H. Carothers ในช่วงต้นของปี พ.ศ.2473 (ค.ศ.1930) แต่เนื่องจากระยะเวลาเดียวกันนี้เองงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาไนลอนกำลังเป็นที่สนใจอย่างยิ่งทำให้เกิดการชะลอลง ในขณะที่นักวิทยาศาสตร์ในอังกฤษได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าต่อไป จนในช่วงของปี พ.ศ. 2482 - 2489 (ค.ศ.1939 - ค.ศ.1946) ก็ได้พัฒนาพอลิเอสเตอร์ขึ้น โดยใช้ชื่อเรียกว่า Terylene ปี พ.ศ. 2489 (ค.ศ.1946) บริษัทดูปองท์ของสหรัฐอเมริกาได้ซื้อลิขสิทธิ์ของการผลิตพอลิเอสเตอร์เข้าไปในสหรัฐอเมริกา และสามารถผลิตออกสู่ตลาดในชื่อทางการค้าว่า Dacron นับเป็นเส้นใยที่รู้จักและใช้กันกว้างขวางมากที่สุดในบรรดาเส้นใยสังเคราะห์ทั้งหมด อีกทั้งเมื่อเป็นเส้นใยสั้นพอลิเอสเตอร์สามารถผสมกับเส้นใยชนิดอื่น ๆ ได้แทบทุกชนิดโดยไม่ทำให้สมบัติที่ดีเด่นของเส้นใยที่ผสมนั้นเปลี่ยนแปลงไป จึงมีผู้เรียกพอลิเอสเตอร์ว่าเป็นผู้ยิ่งใหญ่ในการผสม (big mixer)

นอกจากนั้นแล้วด้านการวิจัยและพัฒนาของเส้นใยพอลิเอสเตอร์ก็มีการดำเนินงานอย่างต่อเนื่องมาตลอด โดยทั่วไปอาจกล่าวได้ว่าพอลิเอสเตอร์ที่ผลิตในปัจจุบันมีเพียงสองชนิดใหญ่ ๆ เท่านั้น คือ ที่

เรียกว่า PET [poly(ethylene terephthalate)] และ PCDT[poly(1,4 cyclohexylene-dimethylene terephthalate)] แต่ส่วนมากที่ผลิตมักเป็นชนิด PET โดยมีสมบัติคล้ายกันดังนี้

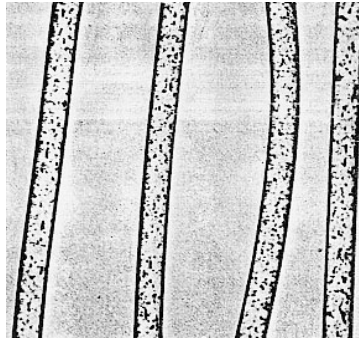
- สมบัติของการคืนตัวดี ทั้งในขณะเปียกและแห้ง เมื่อใช้ทำเป็นเครื่องนุ่งห่มแล้วดูแลรักษาได้ง่ายเหมาะต่อการใช้ประโยชน์ด้านทำการตกแต่งบ้าน
- เป็นผลิตภัณฑ์ที่รักษารูปทรงได้ดี สามารถซักด้วยเครื่องได้
- ทนทานต่อแสงแดด เหมาะกับการทำเป็นผ้าม่าน
- มีความคงทนต่อการขูดถู สามารถใช้งานเชิงอุตสาหกรรมได้ และอาจใช้ทำเป็นด้ายเย็บจักร ตลอดจนเสื้อผ้า
- ความสวยงามเหนือกว่าไนลอน สามารถผสมกับเส้นใยอื่นทั้งใยธรรมชาติและใยประดิษฐ์ มีลักษณะเหมือนไหม

3) สมบัติทางกายภาพ ลักษณะภายนอก เมื่อดูจากกล้องจุลทรรศน์เป็นเส้นใยผิวเรียบ พื้นหน้าตัดมีหลายแบบส่วนมากเป็นวงกลม ดังภาพที่ 2.11 ดังนั้นจึงดูเป็นแท่งยาว ดังภาพที่ 2.12 โดยมีความยาวแตกต่างกันไปตามความต้องการของการใช้งาน โดยทั่วไปมีสีเป็นสีขาวและมีความมันหลายระดับ ตั้งแต่ สว่าง กึ่งทึบ และทึบ



ภาพที่ 2.11 Photomicrograph of regular polyester fiber, cross section. (E. I. DuPont de Nemours Company)

ที่มา: Joseph, Marjory, L. (1976). *Essentials of textiles*. New York: CBS College Publishing.



ภาพที่ 2.12 Photomicrograph of regular polyester fiber, longitudinal view. (E. I. DuPont de Nemours Company)

ที่มา: Joseph, Marjory, L. (1976). *Essentials of textiles*. New York: CBS College Publishing.

ความแข็งแรง จัดได้ว่าเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรง และทนทานต่อการขัดถูดีไม่ว่าอยู่ในสภาพแห้งหรือสภาพเปียกก็ตาม พอลิเอสเตอร์ชนิด PET โดยทั่วไปมีความแข็งแรงดีกว่าชนิด PCDT การยี่ดรีนร้อนทำให้การเรียงตัวของโครงสร้างภายในที่เป็นผลึกมีความเป็นระเบียบมากขึ้น อันเป็นผลโดยตรงต่อการเพิ่มความแข็งแรงของเส้นใยให้สูงขึ้น ความทนแรงดึง ณ จุดขาดมีค่าอยู่ในช่วง 4.0 - 5.5 gpd สำหรับเส้นใยชนิดทั่วไป แต่สูงขึ้นไปอยู่ในช่วง 6.3 - 9.5 gpd ในเส้นใยชนิดความแข็งแรงสูง ในกรณีของเส้นใยสั้นมีค่า 2.5 - 5.5 gpd เส้นใยชนิดความแข็งแรงสูง มักใช้ในงานพิเศษเฉพาะด้าน เช่น ทำเป็นผ้าใบยางรถยนต์ และผ้าใบในงานอุตสาหกรรม

ด้วยสมบัติที่มีความแข็งแรงสูง ประกอบกับการที่ไม่มีการยืดหดตัวเมื่อถูกความร้อน และยังไม่เกิดผลจากสารเคมีที่ใช้ทำการตกแต่งสำเร็จ ทำให้การใช้พอลิเอสเตอร์ในการผลิตเส้นด้ายเย็บจักรประสบความสำเร็จ และแก้ปัญหาจากการใช้ฝ้ายได้เป็นอย่างดี ด้ายเย็บจักร หรือในตำราภาษาอังกฤษจะเขียนเป็น sewing thread ที่ใช้อาจแบ่งเป็นสองลักษณะใหญ่ ๆ คือ ชนิดผสมระหว่างพอลิเอสเตอร์และฝ้ายจะทำเป็นเส้นด้ายที่มีพอลิเอสเตอร์เป็นแกนและหุ้มห่อโดยรอบด้วยฝ้ายที่มีคุณภาพดี ทำให้เส้นด้ายที่ได้มีสมบัติดีเด่นของเส้นใยทั้งสองชนิดอยู่ด้วยกันคือเปลือกกรอบนอกของเส้นด้ายที่เป็นฝ้ายช่วยให้การใช้งานเย็บสะดวกและง่ายขึ้น ส่วนแกนที่เป็นพอลิเอสเตอร์ทำให้เกิดความแข็งแรงและการทนทานต่อการขัดถูดี ด้ายเย็บจักรอีกชนิดหนึ่งคือชนิดที่เป็นพอลิเอสเตอร์ทั้งเส้นทำจากเส้นใยสั้น ให้ความแข็งแรงดีกว่าฝ้ายและทนทานต่อสารเคมีที่ใช้ตามบ้าน เหมาะกับงานเย็บใช้งานทั่วไป

สภาพยืดหยุ่น อยู่ในระดับปานกลาง ไปจนถึงดี โดยทั่วไปพอลิเอสเตอร์เป็นเส้นใยที่ไม่มีสภาพยืดหยุ่น หรือการยืดตัวคืนกลับ โดยเฉพาะที่เปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงจะคืนกลับสภาพไม่ดี ในขณะที่ถ้ามีการยืดตัวเพียงเล็กน้อยจะสามารถคืนกลับตัวได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับไนลอน

การคืนตัวจากแรงอัด อยู่ในระดับดีถึงดีมากทนทานต่อการยับทั้งในสภาพแห้งและเปียก นับเป็นสมบัติเด่นที่เหมาะสมกับการนำเส้นใยพอลิเอสเตอร์ไปใช้บรรจุภายในผลิตภัณฑ์ หมอน และผ้าห่มที่ต้องการรับน้ำหนักโดยไม่เสียรูปทรง หรือสามารถคืนตัวกลับอยู่ในสภาพเดิมได้ดี ภายหลังการใช้งาน

ความสามารถในการดูดซึมความชื้น ค่อนข้างต่ำมาก โดยมีความสามารถในการดูดซึมความชื้นอยู่ระหว่าง 0.4 - 0.8 % เท่านั้นเอง ส่งผลในเชิงบวกต่อผลิตภัณฑ์ในลักษณะที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่แห้งเร็ว เหมาะกับการใช้งานที่ไม่ต้องการให้น้ำเกาะซึมได้มากและจับคราบต่าง ๆ ได้ยาก โดยเฉพาะคราบที่มากับน้ำสามารถกำจัดออกได้ง่ายเพียงเช็ดออกเท่านั้นเอง แต่ก็มีผลในเชิงลบ เช่นเดียวกันคือทำให้การนำมาใช้งานทำเป็นเสื้อผ้าแล้วมีความรู้สึกไม่สบายตัว อึดอัด เนื่องจากความชื้นจากเหงื่อ มีปัญหาการสะสมประจุไฟฟ้าและมีการจับเกาะของคราบที่มากับน้ำมันได้ง่าย ปัญหาของจุดอ่อนนี้มักแก้ด้วยการผสมกับเส้นใยชนิดอื่น เช่น ฝ้าย เป็นต้น

ผลจากความร้อน ขึ้นกับชนิดของพอลิเอสเตอร์ ซึ่งเริ่มเกิดการเหนียว หรืออ่อนตัวลงที่อุณหภูมิ 440 - 468 °F (227 - 242 °C) ดังนั้นหากต้องการรีดต้องใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าระดับนี้เสมอ ที่อุณหภูมิสูงขึ้นในช่วง 480 - 554 °F (249 - 290 °C) พอลิเอสเตอร์จะหลอมตัวและติดไฟ แต่ดับได้ด้วยตัวมันเอง ด้วยความที่พอลิเอสเตอร์เป็นวัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติกชนิดหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถทำให้อยู่ตัวด้วยความร้อนได้ ทำจีบถาวรในเสื้อผ้าได้รูปทรงที่สวยงามและทนทาน

การติดไฟ เมื่อพอลิเอสเตอร์ถูกเปลวไฟจะคล้ายไนลอน คือเกิดการหดหนีเปลวไฟเล็กน้อย แต่ไม่มีเปลวไฟติด จากนั้นเกิดการหลอมตัวและจับตัวเป็นหยด เมื่อเย็นตัวลงก็จะแข็งเป็นเม็ดดำ ข้อแตกต่างจากไนลอนก็คือกลิ่นที่ออกมา มีกลิ่นคล้ายน้ำมันเบนซิน และมีเขม่าดำเป็นผลเกิดขึ้นด้วย

ความถ่วงจำเพาะ แล้วแต่ชนิดของพอลิเอสเตอร์ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.22 - 1.38 (เช่น Kodel มีค่า 1.22 และ Dacron มีค่า 1.38) เป็นเส้นใยที่หนักกว่าไนลอน และอะคริลิก แต่ใกล้เคียงกับแอซีเตต

4) คุณสมบัติทางเคมี

กรดและด่าง โดยทั่วไปทนต่อสารเคมีทั้งกรดและด่างได้ แต่ในภาวะที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความทนทานจะลดลง เช่น กับกรดกำมะถันที่อุณหภูมิสูงเส้นใยเสื่อมสภาพลงได้ เหงื่อไม่มีผลต่อเส้นใย นอกจากนั้นแล้วพอลิเอสเตอร์ยังสามารถซักแห้งได้เช่นกัน

สารซักฟอก สามารถใช้สารซักฟอกทั้งชนิดออกซิไดส์และชนิดรีดิวส์ที่มีจำหน่ายในตลาดได้ทุกชนิด โดยไม่มีผลเสียแต่อย่างใด

ราและแมลง พอลิเอสเทอร์ทนทานต่อราและแมลงได้อย่างดี หากมีปัญหาบ้างก็เนื่องมาจากสารที่ใช้ทำการตกแต่งสำเร็จมากกว่าเส้นใยเอง

แสงแดด ภายใต้อากาศปกติพอลิเอสเทอร์ทนต่อแสงแดดได้ดี แต่ถ้าหากถูกแสงโดยตรงเป็นเวลานาน ๆ เส้นใยอาจมีสมบัติเสื่อมลงได้ ในกรณีที่รับแสงผ่านกระจก เช่น หน้าต่าง ประสิทธิภาพในการทนต่อแสงจะยืดยาวออกไป ดังนั้นจึงนิยมนำพอลิเอสเทอร์ทำเป็นผ้าม่านภายในบ้าน

การย้อมสี ที่เหมาะสมกับพอลิเอสเทอร์คือ สีประเภทดิสเพอร์สที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง นอกจากนั้นก็มีความพยายามในการดัดแปรเพื่อให้พอลิเอสเทอร์สามารถรับสีประเภทเบสิกได้

5) ใยพอลิเอสเทอร์ชนิดต่าง ๆ และชื่อการค้า ใยพอลิเอสเทอร์ที่ผลิตในสหรัฐอเมริกาปี พ.ศ. 2531 มีอยู่นับร้อยชนิดมีชื่อการค้าต่าง ๆ กัน ซึ่งที่แพร่หลายและรู้จักกันแล้ว เช่น เครรอน ฟอ์เทรล และโคเคล และที่ผลิตขึ้นใหม่ได้แก่

1. ชนิดใช้เฉพาะงาน ที่ผลิตโดยบริษัทอัลไลด์ (Allied) ตัวอย่างชื่อการค้าคือ A.C.E. ใช้ทำด้าย เชือก และยางรถยนต์ ที่ผลิตโดยบริษัทคูเปอร์ได้แก่ ใยที่มีชื่อการค้าว่าฮอลโลฟิล (Hollowfil) เป็นใยที่ใช้บรรจุเป็นไส้หมอน ผ้าห่มนวม หรือที่เรียกว่าใยไฟเบอร์ฟิล (Fiberfill) และเป็นใยชนิดใช้ทอขนาน มีชื่อการค้า เช่น รีเมย์ (Reemay) และซอนทารา (Sontara) เป็นใยที่ใช้ทำผ้าอัดและผ้าไมโทที่ผลิตโดยบริษัทเซลานีส (Celanese) มีชื่อการค้า เช่น แองเจเลตต์ (Angelette), อีเอสพี (ESP), ซีลอน (Ceylon), คอมฟอร์ตไฟเบอร์ (Comfort Fiber) ผลิตเป็นใยสั้น ใช้ในงานอุตสาหกรรม และชื่อแลมบ์ดา (Lambda), เซรีน (Serene), ซูเปอร์นีส (Supernese) และวันเดอร์นีส (Wondernese) มีลักษณะเป็นด้ายใยยาวและด้ายใยสั้น

2. ชนิดที่ผลิตโดยบริษัท BASF Fibers มีชื่อการค้าและมีลักษณะเฉพาะต่างๆ กัน และมีความหมายอยู่ในชื่อการค้า นั้น ๆ เช่น เครปซอฟต์ (Crepesoft) จึงมีเนื้อคล้ายเครปและนุ่ม เอนครอน 8 (Encron 8) และเอนคาเดรน (Enkadrain) ใช้ในงานอุตสาหกรรมแผ่นใยโกลเดนโกลว์ (Golden Glow) จึงมีเนื้อนุ่ม เป็นมัน และสดใส โกลเดนทัช (Golden Touch) จะมีผิวสัมผัสนุ่มและเนื้อละเอียดแมตต์ทัช (Matte Touch) เป็นใยยาว รูปร่างด้านหน้าตัดเป็นรูปหกเหลี่ยม เนเชอรัลทัช (Natural Touch) จะมีเนื้อมันอย่างธรรมชาติ ไม่ค่อยเห็นรอยเปื้อน และมีสมบัติด้านการเกิดไฟฟ้าสถิต ซิลคี่ทัช (Silky Touch) จะมีเนื้อนุ่มและมันคล้ายไหม สเตบลิเอนคา (Stablienka) เป็นด้ายใยยาวชนิดด้ายพิเศษหนาและบาง (thick and thin yarn) และอัลตราทัช (Ultra Touch) ซึ่งจะมีเนื้อนุ่ม

6) การนำไปใช้ใยพอลิเอสเตอร์ได้รับความนิยมอย่างมากและรวดเร็ว มีปริมาณการนำไปใช้มากเป็นอันดับสองรองจากฝ้าย ทั้งนี้เพราะใยพอลิเอสเตอร์มีคุณสมบัติดีมากหลายประการ เช่น ทนยับ คีนตัว คงรูปได้ดีมาก และดูแลรักษาง่าย ซักแล้วสวมได้เลย หรือรีดเพียงเล็กน้อย นอกจากนั้นใยพอลิเอสเตอร์ยังมีลักษณะคล้ายใยธรรมชาติ สามารถนำไปผสมกับใยชนิดอื่นได้ดีมาก โดยเฉพาะผสมกับฝ้าย ซึ่งฝ้ายจำนวนมากในท้องตลาดเป็นฝ้ายพอลิเอสเตอร์หรือฝ้ายผสมพอลิเอสเตอร์ การนำพอลิเอสเตอร์ไปผสมกับใยอื่นจะช่วยให้ฝ้ายผสมนั้นมีคุณสมบัติดีขึ้นหลายประการ เช่น เหนียว ทนทาน ทนยับหรือยับน้อยลง คงรูป และดูแลรักษาง่ายขึ้น ซึ่งการผสมนี้ นอกจากจะช่วยปรับปรุงคุณภาพให้ผู้น่าใช้ดังกล่าวแล้ว ยังสามารถทำให้ฝ้ายมีเนื้อและผิวสัมผัสแปลกใหม่ขึ้นอีกมากมาย

หากจะจัดความสำคัญของการนำใยพอลิเอสเตอร์ไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ นั้น สามารถจัดลำดับตามความนิยมและการนำไปใช้งานมากที่สุดดังนี้

1. ใช้ทำเป็นผ้าตัดเสื้อ เครื่องนุ่งห่ม ผ้าที่ใช้ในบ้าน และผ้าที่ใช้ตกแต่งบ้าน
2. ใช้ทำผ้าถัก ซึ่งผ้าที่ถักจากด้ายพอลิเอสเตอร์จะมีเนื้อสวยงาม นำใช้ใส่สบาย

คงรูป และดูแลรักษาง่าย

3. ใช้ทำแผ่นเส้นใยหรือใยที่ใช้บรรจุเป็นไส้เพื่อใช้เป็นไส้ผ้าห่ม ผ้านวม เสื้อแจ็กเก็ต เสื้อกันหนาว แผ่นรองไหล่ และไส้หมอน ซึ่งแผ่นเส้นใยและใยบรรจุที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั้งหมดจะเป็นใยพอลิเอสเตอร์ถึง 85 เปอร์เซ็นต์

4. ใช้ทำผ้าไม่ทอ คือผ้าประเภทผ้าอัดที่ใช้ทำผ้ารองในชนิดเย็บติดและผ้ารองในชนิดรีดหรืออัดติด เช่น ผ้าห่มที่นอน ใช้แทนผ้าอัดเรยอนในผ้ารองในกรณีที่ต้องการความเหนียวทนมากกว่า และไม่ต้องการให้น้ำซึม โดยผ้าจะคงรูป ไม่ยืดและไม่หด แผ่นผ้าอัดพอลิเอสเตอร์เป็นคู่แข่งสำคัญของผ้าอัดประเภทเดียวกันที่ทำจากใยโพลีเอสเตอร์ ซึ่งใช้ในงานอุตสาหกรรม

5. ใช้ในงานอุตสาหกรรมและงานทางการแพทย์ เช่น อุตสาหกรรมยางรถยนต์ พรมรถยนต์ ผ้าขน เต็นท์ เชือก สายระโยง ผ้าห่ม วัสดุที่ใช้ทำผ้าอ้อมชนิดใช้แล้วทิ้ง ผ้าใบ สายคาดเบาะที่นั่ง ผ้ากรอง ผ้าที่ใช้ในงานสร้างถนน ถุงใส่เมล็ดพันธุ์ ตลอดจนไปถึงอวัยวะเทียม เช่น เส้นเลือดเทียม ลิ้นหัวใจเทียม และด้ายเย็บแผล เป็นต้น

ตอนที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยในประเทศ

นิรันดร์ ได้ศึกษาสมรรถนะในการลดระดับเสียงของวัสดุพูน 3 ชนิด ได้แก่ แกลบ จีบ และใยมะพร้าว โดยใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวเชื่อมประสาน มีความหนา 1, 2, 3, 4 และ 5 เซนติเมตร ทำการทดลองโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงทั้งแบบความถี่เดียวและเสียงรบกวนที่มีระดับเสียง 90 เดซิเบลเอ ในชุดกล่องเก็บเสียงที่สร้างขึ้นเอง จากการทดลองพบว่าวัสดุทั้ง 3 ชนิดมีสมรรถนะในการลดระดับเสียงที่แตกต่างกัน ทั้งในแง่ความสามารถในการส่งผ่านเสียง และการดูดกลืนเสียง เมื่อวัสดุพูนมีความหนาเท่ากัน ความสามารถในการส่งผ่านเสียงของวัสดุพูนจะแปรผกผันกับความถี่เสียง ส่วนความสามารถในการดูดกลืนเสียงของวัสดุจะแปรผันตรงกับความถี่เสียง ยกเว้นเสียงที่มีความถี่ในช่วง 1,000-2,000 Hz พบว่าวัสดุพูนทั้ง 3 ชนิด สามารถส่งผ่านเสียงได้ดีกว่าการดูดกลืนเสียง เนื่องจากเกิดปรากฏการณ์การกักกอนในช่วงความถี่นั้น ๆ และพบว่าวัสดุพูนที่มีความหนา 5.0 เซนติเมตร ที่ระยะห่าง 60 เซนติเมตร จากแหล่งกำเนิด ที่ใช้แกลบ จีบ และใยมะพร้าว เป็นส่วนประกอบมีประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงเท่ากับ 98.56, 96.39 และ 37.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสำหรับสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงของวัสดุพูนต่อเสียงชนิดความถี่เดียวพบว่าวัสดุพูนที่ใช้แกลบ จีบ และใยมะพร้าวเป็นส่วนประกอบมีค่าเท่ากับ 0.91, 0.89 และ 0.46 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแกลบมีประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงได้ดีที่สุด

บัณฑิต ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดกลืนเสียงของแผ่นวัสดุที่ทำขึ้นจากผงยางรถยนต์ใช้แล้ว ผสมปูนซีเมนต์และทราย โดยมีการเปลี่ยนแปลงความหนา อัตราส่วนผสมและขนาดของผงยางรถยนต์ การศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วน ในส่วนที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดกลืนเสียงของแผ่นวัสดุเมื่อผสมวัสดุ ปูนซีเมนต์ ทราย ผงยางรถยนต์และน้ำรวมเข้าด้วยกัน ตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของแผ่นวัสดุตัวอย่างด้วยเครื่องมือ Standing wave apparatus จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงรวมมากที่สุดของแผ่นตัวอย่างที่ใช้ผงยางทั้งสามขนาด คือขนาดเล็ก กลางและใหญ่ เท่ากับ 5:10:4 มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงเฉลี่ยระหว่าง 0.24 – 0.27 ในช่วงความถี่สูงระหว่าง 2000 – 4000 Hz และทดสอบประสิทธิภาพในการดูดกลืนเสียงของแผ่นวัสดุเมื่อจัดให้มีการเรียงตัวของชั้นผงยางแยกจากซีเมนต์เพสต์ออกเป็นชั้นต่าง ๆ โดยใช้ผงยางขนาดใหญ่ในการผสม พบว่าเมื่อจัดเรียงผงยางรถยนต์ ที่ผิวหน้า, ด้านหลัง, ที่กึ่งกลาง และผิวหน้าและด้านหลังของแผ่นวัสดุพบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงรวมเท่ากับ 0.23, 0.24, 0.25 และ 0.26 ตามลำดับ

บุรฉัตร ทำการศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับเสียงของวัสดุพีชแห้งและเส้นใยแก้ว โดยศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของแผ่นวัสดุพีชแห้งผสมเส้นซีเมนต์ และแผ่นวัสดุเส้นใยแก้วผสมซีเมนต์ หลังจากนำมาผลิตเป็นวัสดุดูดซับเสียงขนาด 1 ตารางเมตร โดยตัวแปรหลักในการศึกษาประกอบด้วย วัสดุพีชแห้ง ได้แก่ ขานอ้อยและกามมะพร้าว, อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์(W/C

ratio) 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 ที่ความหนาแผ่นวัสดุ 5, 7.5 และ 10 เซนติเมตร โดยทดลองในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α), ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (NRC) และค่าการสูญเสียพลังงานขณะส่งผ่าน (TL) โดยใช้แผ่นวัสดุทั้งสิ้น 36 แผ่น จากผลการศึกษาพบว่าวัสดุซีเมนต์ผสมเส้นใยแก้วและวัสดุคานมะพร้าวผสมเส้นใยแก้วมีสัมประสิทธิ์การลดลงของระดับเสียงใกล้เคียงกันคือมีค่าอยู่ในช่วง 0.4-0.7 ซึ่งเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงได้ดี ในขณะที่แผ่นวัสดุขานอ้อยผสมซีเมนต์มีค่าอยู่ในช่วง 0.03-0.09 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.2 จึงสามารถสรุปได้ว่าเป็นวัสดุสะท้อนเสียง โดยอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์และชนิดของเส้นใยมีผลต่อกลไกในการดูดซับเสียง นอกจากนี้ยังสามารถกล่าวได้ว่าการผสมวัสดุผสมเส้นใยแก้วด้วยเครื่องผสมคอนกรีตมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการใช้ Putzmeister concentric spraygun ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิต

พัฒนา ได้ทำการศึกษาความสามารถในการลดระดับเสียง ของวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น และมีราคาถูก 3 ชนิด คือ ขี้เลื่อย เศษหนัง และขุยมะพร้าว โดยได้ออกแบบการทดลองเป็นแบบกล่องปิด 2 ชั้น ครอบต้นกำเนิดเสียงและวัดระดับเสียงที่ลดลง โดยให้ความหนาเท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 5 นิ้ว และที่ความหนาแน่นของวัสดุ 2 ระดับ คือระดับที่ใช้แรงอัด และระดับที่ไม่ใช้แรงอัด พบว่า วัสดุทั้ง 3 ชนิด จะมีประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงได้มากขึ้น เมื่อเสียงมีความถี่สูงขึ้น

วิจัย ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและวัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ลดเสียงประเภท Plenum chamber ชนิดที่มีและไม่มีไส้ดูดซับเสียงภายใน ได้ออกแบบ Plenum chamber ขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 1.5 เมตร และสูง 2.5 เมตร มีวัสดุดูดซับเสียงติดตั้งบริเวณผนังภายในทุกด้าน หนา 50 มิลลิเมตร ความหนาแน่น 48 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พร้อมไส้ดูดซับเสียงขนาดกว้าง 900 มิลลิเมตร ยาว 1,400 มิลลิเมตร หนา 200 มิลลิเมตร จำนวน 7 ชั้น และวางเรียงซ้อนกัน ห่าง 125 มิลลิเมตร พบว่า มีความแตกต่างของระดับเสียงก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียงประเภท Plenum chamber ชนิดที่มีไส้และไม่มีไส้ และพบว่าชนิดที่มีไส้สามารถลดเสียงที่ความถี่ต่ำได้มากกว่าแต่ที่ความถี่สูงไม่สามารถลดเสียงได้มากกว่า Plenum chamber ชนิดที่ไม่มีไส้

วิโรจน์ ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงของใยมะพร้าว ใยแก้ว และจิป เพื่อเลือกวัสดุป้องกันเสียงที่เหมาะสมสำหรับเครื่องจักรนิวเมติกผลิตลูกบอล โดยทำการวัดระดับเสียงที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง 0 เมตร 0.5 เมตร และ 1.0 เมตร ที่ความดันลม 70, 80 และ 100 Psi และที่ความถี่ต่าง ๆ จากการทดลองพบว่าที่ตัวแหล่งกำเนิดเสียง (ระยะ 0 เมตร) และความดันลม 85 Psi นั้น ไชเลนเซอร์ที่ทำจากใยมะพร้าว ใยแก้ว และจิปสามารถลดระดับเสียงได้ 23.87 %, 21.57 % และ 21.01 % ตามลำดับ และที่ระยะ 1.0 เมตรจากแหล่งกำเนิดเสียง ที่ความ

ต้นลมเดียวกันสามารถลดระดับเสียงได้ 20.92%, 17.04% และ 16.43% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงของวัสดุทั้ง 3 ชนิด ในทุกความถี่ ทุกความดันลม และทุกระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง พบว่าใยมะพร้าวเป็นวัสดุลดระดับเสียงที่ดีที่สุด

ศักดิ์ชัย ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการลดเสียงของวัสดุคูกลิ้นเสียงที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ เถ้าลิกไนต์ และวัสดุเหลือใช้ 3 ชนิด คือ แกลบ, ขี้เถ้า และขุยมะพร้าว โดยตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นตัวอย่าง ที่อัตราส่วนผสมและความหนาต่าง ๆ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นตัวอย่าง ไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุเหลือใช้ อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ เถ้าลิกไนต์ และวัสดุเหลือใช้ และความหนาแน่นของแผ่นตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแผ่นตัวอย่างที่ทำแกลบ, ขี้เถ้า และขุยมะพร้าว ตามลำดับดังนี้ 0.70, 0.69 และ 0.71

สุทัศน์ ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงของเศษวัสดุพืชแห้ง ซึ่งได้แก่ ฟางข้าว ผักตบชวา และกาบมะพร้าว โดยการนำเศษวัสดุพืชแห้งที่ทราบค่าความหนาแน่น และความหนาขวางกันทางผ่านของเสียง หาค่าประสิทธิภาพการลดระดับความดังของเสียง ด้วยการวัดความแตกต่างของระดับเสียงที่จุดเดียวกันในขณะที่มีและไม่มีเศษวัสดุพืชแห้งขวางกัน จากการทดลองพบว่าที่ความหนาแน่น และความหนาเดียวกัน กาบมะพร้าวจะมีประสิทธิภาพในการลดระดับของเสียงได้ดีที่สุด รองลงมาคือผักตบชวา และฟางข้าว ตามลำดับ และเมื่อความหนาแน่นคงที่ การเพิ่มความหนาของวัสดุพืชแห้งจะทำให้ประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงเพิ่มมากขึ้น

อดิศักดิ์ ได้ศึกษาหาวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืน และมีการสูญเสียพลังงานขณะมีการส่งผ่านของเสียงสูง ง่ายในการประยุกต์ติดตั้ง มีราคาถูก และจัดหาได้ง่าย เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุป้องกันเสียงซึ่งเกิดจากการจราจรบนทางด่วนพิเศษ โดยวัสดุที่นำมาใช้ในการทดลอง ได้แก่ กระเบื้องแผ่นเรียบ แผ่นสังกะสี ไม้เนื้อแข็ง และแผ่นเซลโลกรีต ที่มีเนื้อที่หน้าตัดเท่ากัน แต่มีความหนาต่าง ๆ กัน เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง และค่าสูญเสียพลังงานขณะส่งผ่านเสียงของวัสดุ โดยใช้เครื่องมือ Standing Wave Apparatus และใช้ความถี่ของเสียงในการทดลองตั้งแต่ 315 จนถึง 8,000 Hz จากการทดลองพบว่า กระเบื้องแผ่นเรียบ หนา 8 และ 6 เซนติเมตร และแผ่นเซลโลกรีตหนา 0.5 นิ้ว มีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเป็นกำแพงกั้นเสียงสำหรับทางด่วนพิเศษมากที่สุด

Tanasri ศึกษาความสามารถในการดูดกลืนเสียงของแผ่นใยไม้อัดซึ่งทำมาจากก้านใบปาล์มน้ำมัน โดยใช้เครื่องมือตรวจคลื่นนิ่ง (Standing wave apparatus) พบว่าความหนาแน่นที่ทำให้เกิดการดูดกลืนเสียงสูงสุดคือ 0.27 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรและพบว่าที่ความถี่ต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของแผ่นตัวอย่างขนาดความหนา $\frac{3}{4}$ นิ้ว สูงกว่าขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว และเมื่อเพิ่มความหนา

เป็น 1 นิ้ว ความสามารถในการดูดกลืนเสียงลดลงในทุกความถี่ยกเว้นความถี่ที่ 4000 Hz ดังนั้นวัสดุที่สร้างขึ้นจะดูดกลืนเสียงที่ความถี่สูงได้ดีกว่าความถี่ต่ำ

2.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Irwin และ Graf ได้พิจารณาวัสดุที่ใช้ในระบบดูดกลืนเสียงถึงคุณสมบัติทางกายภาพ กลไกที่ใช้สำหรับการดูดกลืนเสียงและช่วงความถี่ที่ใช้ พบว่าวัสดุที่เป็นรูพรุนใช้ป้องกันการสะท้อนเสียง จะเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างภายในเชื่อมต่อกันด้วยรูพรุน ซึ่งภายในโครงสร้างที่ต่อกันแบบ Open-cell นี้ พลังงานสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน และพลังงานที่สูญหายไปในช่วงการเคลื่อนที่ คือ

- 1) การสูญหายเนื่องจากความหนืดของการไหล ซึ่งมีสาเหตุจากการแพร่ของคลื่นในวัสดุ และ
- 2) การสูญหายเนื่องจากความเสียดทาน ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่ผ่านเส้นใย นอกจากนี้ยังได้อธิบายไว้ว่า การดูดกลืนเสียงของวัสดุขึ้นอยู่กับความหนา ความหนาแน่น ความเป็นรูพรุน ความต้านทานอัตราการไหล ทิศทางของเส้นใย และคุณสมบัติอื่น ๆ ของวัสดุ โดยทั่วไปแล้ววัสดุพรุนที่ใช้ในการดูดกลืนเสียงจะทำจากเส้นใยพีช แร่ โฟมยืดหยุ่น หรือโฟมอื่น ๆ

Vikrant, Arun และ Bose ได้ศึกษาผลการเติม Cenosphere (Hollow ceramic-micro balloon : เม็ดเซรามิกกลวงขนาดเล็ก ทำด้วย อลูมินัมซิลิเกต ซึ่งเป็นขยะจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน) ลงในซีเมนต์และแอสฟัลต์คอนกรีตในสัดส่วนต่าง ๆ กันตั้งแต่ 0-70 % โดยปริมาตร และทดสอบสมบัติทางเสียงโดยใช้ Standing wave apparatus ในช่วงความถี่ 0-4000 Hz. แล้วพบว่า อัตราส่วนที่มี Cenosphere 40 % โดยปริมาตรผสมในซีเมนต์ จะช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงลงได้ถึง 100 % เมื่อเพิ่มสัดส่วนของ Cenosphere จาก 40 % เป็น 60 % และ 70 % พบว่าการดูดกลืนเสียงจะลดลง แสดงให้เห็นว่าการดูดกลืนเสียงจะมีค่าสูงสุดเมื่อสัดส่วนของ Cenosphere เป็น 40 %

Yerges พบว่าวัสดุทั่วไปที่ใช้ในการตกแต่ง เช่น พรหมปูพื้นเป็นวัสดุที่ดูดกลืนเสียง (Absorbent) ได้ดี ซึ่งวัสดุเหล่านี้โครงสร้างภายในประกอบด้วยรูพรุน และช่องว่างที่ต่อกัน โครงสร้างแบบ Open-cell เท่านั้นที่เป็นตัวดูดกลืนเสียงที่มีประสิทธิภาพ ส่วนโฟมพลาสติก แก้วและเซรามิกส่วนใหญ่จะเป็น Close-cell และไม่ได้ต่อกันหรือเชื่อมต่อกันด้วยช่องว่าง ดังนั้นการเคลื่อนที่ของอากาศภายในโครงสร้างของวัสดุเหล่านี้จะถูกจำกัด และวัสดุเหล่านี้จะมีการดูดกลืนเสียงได้น้อยมาก หรือไม่มีการดูดกลืนเสียงเลย

บทที่ 3

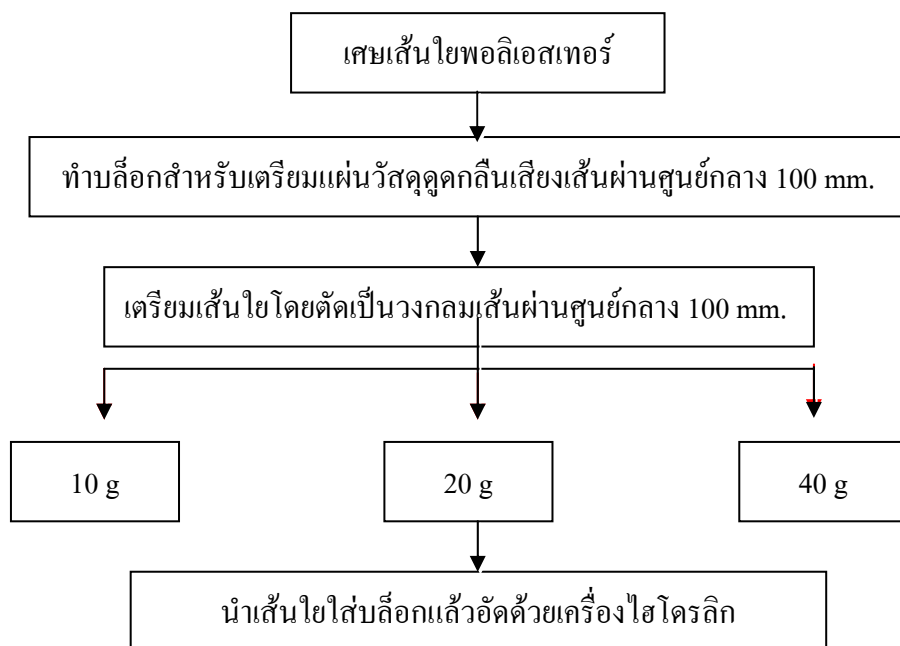
วิธีดำเนินการวิจัย

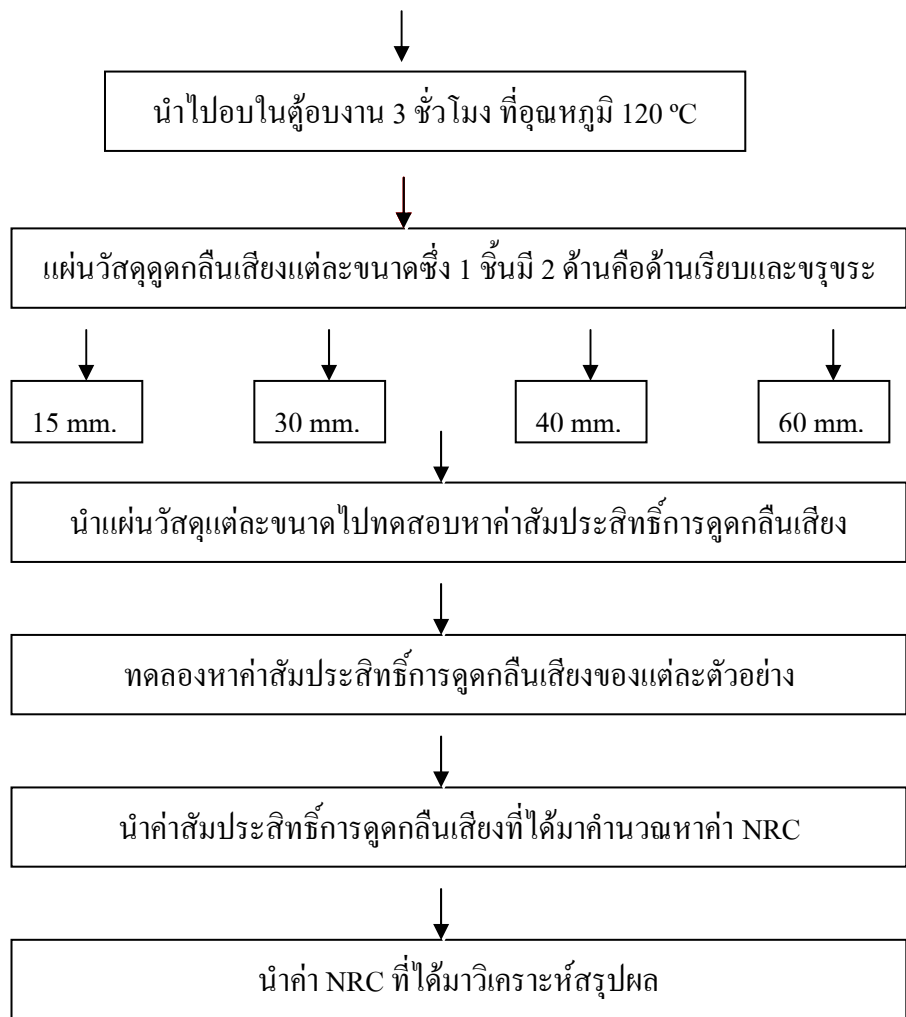
การวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของเศษเส้นใยพอลิเอสเตอร์ในการลดระดับเสียง เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ออกแบบโดยใช้วัสดุที่เป็นของเสียนำกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์ และทดสอบวัดระดับการลดเสียง โดยมีบล็อกอัดด้วยเศษใยพอลิเอสเตอร์ ได้ดำเนินการวิจัยภายในห้องทดลอง ห้องปฏิบัติการเสียงสถาบันมาตรวิทยา กรุงเทพมหานคร โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
 2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
 3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
 4. การวิเคราะห์ข้อมูล
- ดังมีรายละเอียดของวิธีดำเนินการวิจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 การสร้างแผ่นวัสดุดูดกลืนเสียง(เศษเส้นใยพอลิเอสเตอร์)



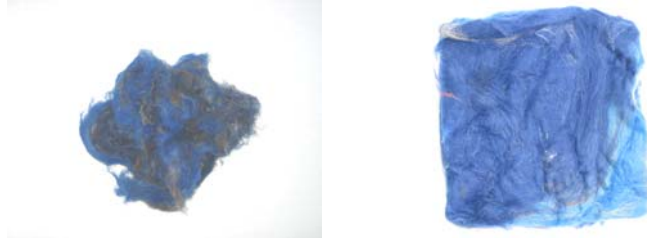


1.1.1 จัดทำบล็อกโลหะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร เพื่อเป็นแม่แบบในการอัดตั้งภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แม่แบบบล็อกโลหะ

1.1.2 เตรียมเศษเส้นใยพอลิเอสเตอร์ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 เศษเส้นใยพอลิเอสเตอร์

โดยนำมาตัดเป็นรูปวงกลมตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร จากนั้นนำเส้นใยที่ตัดเป็นรูปวงกลมซึ่งน้ำหนักที่ 10 กรัม, 20 กรัม และ 40 กรัม แล้วนำมาจัดเรียงลงในแม่แบบบล็อกโลหะ

1.1.3 เมื่อจัดเรียงแผ่นวัสดุเศษเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ในแม่แบบบล็อกโลหะตามน้ำหนักแล้ว โดยใช้เครื่องไฮดรอลิกอัดเส้นใยในแม่แบบบล็อกโลหะตามความหนาที่กำหนดไว้ ด้วยแรงอัดไฮดรอลิก 20 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.1.4 ความหนาของแผ่นวัสดุคูกกลิ้งเสียงที่เลือกใช้ในการทดลองครั้งนี้มีขนาดต่าง ๆ ดังนี้ คือ 15, 30, 40 และ 60 มิลลิเมตร ตามลำดับ

1.1.5 นำบล็อกอัดแผ่นวัสดุที่อัดเรียบร้อยแล้วเข้าอบในตู้อบงานเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส รอให้บล็อกเย็นตัวลง แล้วนำแผ่นตัวอย่างออกจากบล็อกเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป ซึ่งจะได้แผ่นวัสดุหลังเตรียมที่แต่ละความหนาของวัสดุ 1 ชิ้นมีผิวด้านเรียบ และผิวด้านขรุขระ ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 วัสดุคูกกลิ้งเสียงตัวอย่างหลังจากการเตรียมแผ่น

1.1.6 คำนวณหาความหนาแน่นของแผ่นวัสดุตัวอย่าง

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักของแผ่นตัวอย่าง}}{\text{ปริมาตรของแผ่นตัวอย่าง}} \quad \dots\text{สมการ(3.1)}$$

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 เครื่อง Sine Generator 1023 (ภาพที่ 3.5)

2.2 เครื่อง Heterodyne Slave Filter 2010 (ภาพที่ 3.6)

2.3 Microphone : (Crystal type) (ภาพที่ 3.7) เป็นอุปกรณ์ที่ตอบสนองต่อความดันของเสียงและสร้างสัญญาณไฟฟ้าขึ้น

2.4 ไม้บรรทัดวัดระยะทาง Stainless Hardened(Made in Japan)Standard At 20°C(68°F) 0-1000 mm (ภาพที่ 3.8)

2.5 เครื่อง Standing Wave Apparatus Type 4002(with Large tube and Small tube) ยี่ห้อ Brüel & Kjøer ภาพที่ 3.9

2.6 Calibrador Vernier (ภาพที่ 3.10) ใช้วัดขนาดความหนาของแผ่นวัสดุตัวอย่าง

2.7 เครื่อง Measuring Amplifier 2606

2.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก MC-000 รุ่น SS&E 0125-36

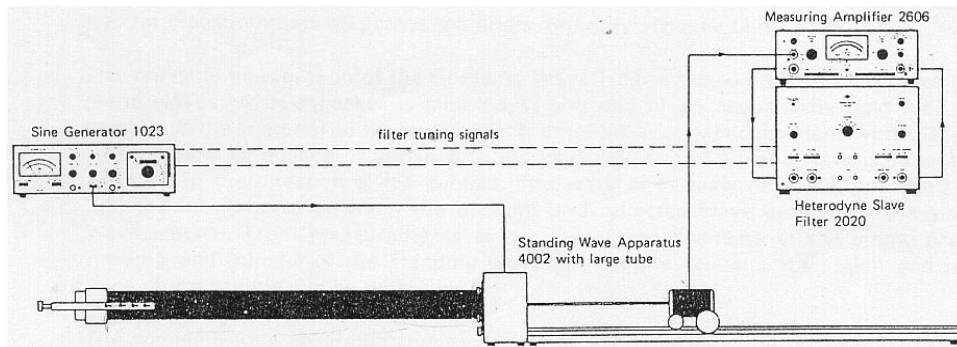
2.9 เครื่องวัดอุณหภูมิ, ความชื้นและความดันบรรยากาศ

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การตรวจวัดและรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient)

ดำเนินการทดลองตามขั้นตอนต่อไปนี้

3.1 จัดเครื่องมือต่าง ๆ ให้พร้อมดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ผังการติดตั้งอุปกรณ์ Standing wave apparatus

ชุด Measuring Amplifier 2606 และ Heterodyne Slave Filter 2020 คือชุด Heterodyne Slave Filter 2010

3.2 ใส่ตัวอย่างที่จะทำการทดลองในแบบจำลอง Standing Wave Apparatus ในหลอดทดลองที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร โดยใส่แผ่นวัสดุตัวอย่างลงในช่องว่าง ด้านปลายท่อซึ่งเป็นที่ใส่แผ่นตัวอย่าง แล้วปิดปลายท่อชั้นนอียดชิดให้แน่นกับหลอดทดลอง

3.3 เช็กรูปร่างกำเนิดคลื่นความถี่และเครื่องวัดพร้อมทั้งปรับค่าความถี่(Frequency Increment) ที่ Sine Generator ตามค่าศูนย์กลางความถี่แบบ one-third Octave

3.4 ในแต่ละความถี่ ปรับค่า BFO Output Voltage ปรับระยะไมโครโฟนในท่อแบบจำลอง Standing Wave Apparatus เพื่อให้ได้ค่าระดับสูงสุดและต่ำสุด โดยอ่านค่าความดังเป็น dB(A) จาก Measuring Amplifier และจกระยะที่ตำแหน่งของไมโครโฟนห่างจากแผ่นวัสดุที่นำมาทดลอง ซึ่งค่าระดับความดังสูงสุดและต่ำสุดที่ได้นี้จะนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง (Absorbtion Coefficient) ของแผ่นตัวอย่าง

3.5 ปรับความถี่ถัดไปตามตำแหน่งของศูนย์กลางความถี่แบบ One-third Octave Band และดำเนินการวัดข้อมูลตามข้อ 4 จนครบทุก ๆ ความถี่ที่ต้องการ

3.6 ทำการทดลองวัสดุซ้ำตามวิธีการตั้งแต่ 3.2 ใหม่อีก 2 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง เพื่อหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง

3.7 ทำการบันทึกข้อมูลและคำนวณค่าความสามารถในการดูดกลืนเสียง(Absorption Coefficient)

3.8 ทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 เมื่อจัดทำตัวอย่างวัสดุ เสร็จแล้วนำมาทดสอบโดยอ่านค่าทดสอบจากเครื่องมือ

4.2 ค่าที่อ่านได้จากการทดลอง รวบรวมข้อมูล จัดเป็นหมวดหมู่ บันทึกในตาราง

บันทึกข้อมูล ดังเอกสารแนบในภาคผนวก

4.3 หาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงจากบันทึกการทดลอง

4.4 หาค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง โดยการนำตัวเลขที่เป็นตัวแทนของการวัดระดับของเสียงที่ได้จากบันทึกการทดลอง ไปแทนค่าในสูตร

$$NRC = \frac{(\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000})}{4} \quad \dots \text{สมการ (3.2)}$$

โดย NRC = สัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง

α_x = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง ที่ความถี่ x Hz

เมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงได้แล้ว อ่านค่าตัวเลขที่ได้ ตัวเลขประสิทธิภาพการลดระดับความดังของเสียง จะเป็นตัวชี้ว่าวัสดุขนาดใด สามารถลดระดับความดังของเสียงได้ดีที่สุด การลดระดับเสียงลงได้ดีก็หมายความว่า เศษวัสดุนั้นดูดกลืนเสียงไว้ได้มาก ซึ่งจะนำไปสู่การสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะต่อไป



ภาพที่ 3.5 เครื่อง Sine Generator 1023



ภาพที่ 3.6 เครื่อง Heterodyne Slave Filter 2010



ภาพที่ 3.7 Microphone:(Crystal type)



ภาพที่ 3.8 ไหม้บรทัดวัดระยะทาง Stainless Hardened



ภาพที่ 3.9 ชุด Standing Wave Apparatus Type 4002



ภาพที่ 3.10 Calibrador Vernier

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. สถานภาพของประชากรหรือกลุ่มตัวอย่าง

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของแผ่นวัสดุ (Absorption Coefficient, α) จากผลการตรวจวัด เมื่อนำผลการทดลองดังกล่าว มาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง (Absorption Coefficient, α) และค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) พบว่ามีผลการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหนาและความหนาแน่นของแผ่นวัสดุดูดกลืนเสียง

ลำดับที่	แผ่นวัสดุขนาด ความหนา(mm.)	ลักษณะ พื้นผิว	น้ำหนัก Weight (g)	เส้นผ่านศูนย์กลาง Diameter(cm.)	ความหนาแน่น Density (g/cm ²)
1	15	เรียบ	10	10	0.031
2	30	เรียบ	20	10	0.063
3	30	ขรุขระ	20	10	0.063
4	40	เรียบ	20	10	0.063
5	40	ขรุขระ	20	10	0.063
6	60	เรียบ	40	10	0.127
7	60	ขรุขระ	40	10	0.127

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 พบว่า ความหนาและความหนาแน่นของแผ่นวัสดุดูดกลืนเสียง จะเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักของเศษเส้นใยพอลิเอสเตอร์ มีการแยกตามลักษณะพื้นผิวเรียบและขรุขระ โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าเดิม

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง ของแผ่นวัสดุพอลิเอสเตอร์

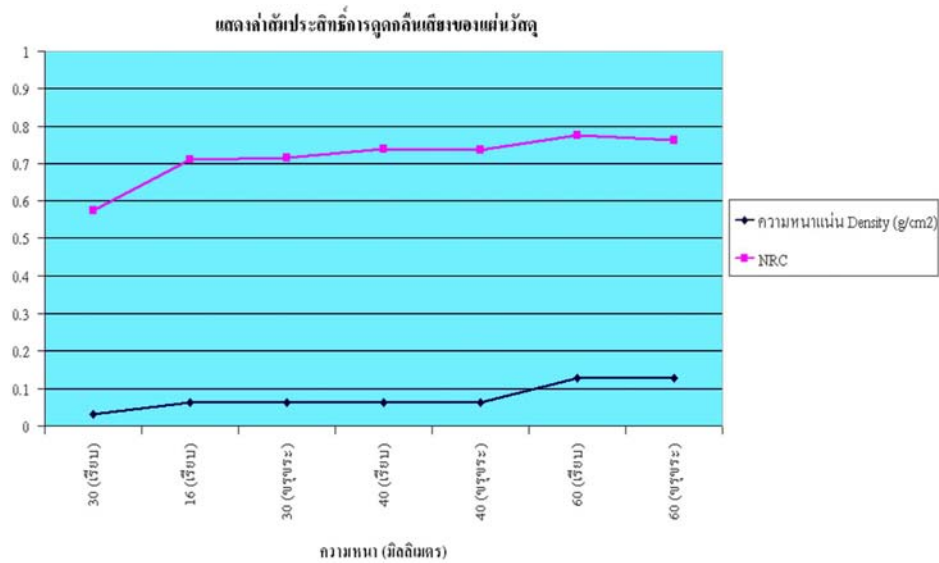
แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของแผ่นวัสดุ					
ความหนา (มิลลิเมตร)	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง (Absorption Coefficient)				NRC
	ความถี่ (Hz.)				
	250	500	1000	2000	
15 (เรียบ)	0.213	0.363	0.73	0.99	0.574
30 (เรียบ)	0.282	0.70	0.908	0.955	0.711
30 (ขรุขระ)	0.29	0.70	0.912	0.96	0.715
40 (เรียบ)	0.297	0.753	0.95	0.952	0.738
40 (ขรุขระ)	0.29	0.73	0.957	0.973	0.737
60 (เรียบ)	0.55	0.78	0.82	0.955	0.776
60 (ขรุขระ)	0.542	0.75	0.813	0.945	0.762

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่า เมื่อความหนาและความหนาแน่นของแผ่นวัสดุเพิ่มขึ้น จะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงเพิ่มขึ้นด้วย

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) อยู่ระหว่าง 0.574 – 0.776 แผ่นวัสดุดูดกลืนเสียงในช่วงที่ความหนา 15 – 60 มิลลิเมตร ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกัน

ความหนาของแผ่นวัสดุตั้งแต่ 30 มิลลิเมตรขึ้นไปจนถึง 60 มิลลิเมตร ไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญต่อค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง เนื่องจากค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน

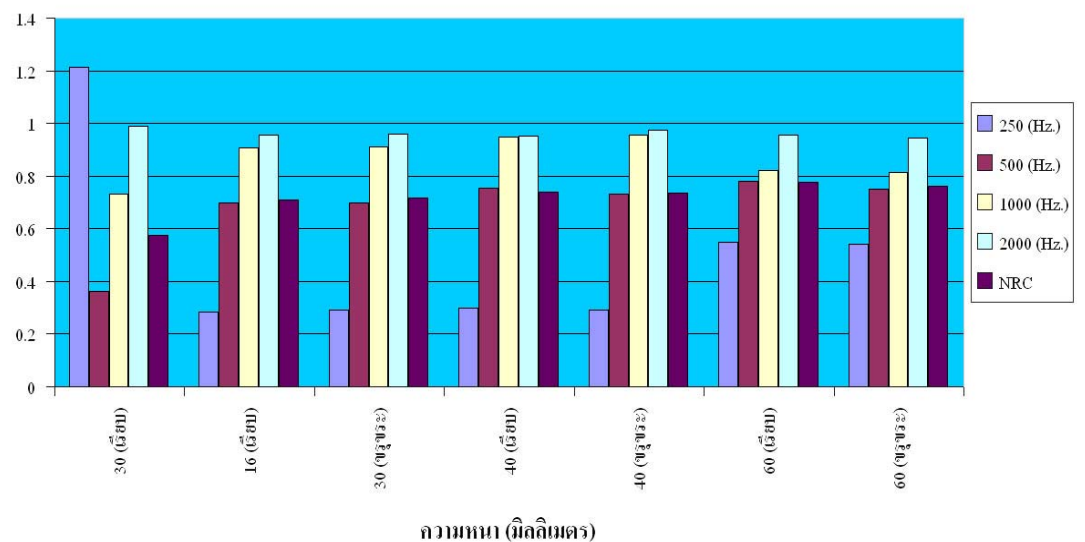
เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนากับความหนาแน่นของแผ่นวัสดุกับค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง (NRC) ของแผ่นตัวอย่าง จะได้กราฟดังแสดงในภาพที่ 4.1



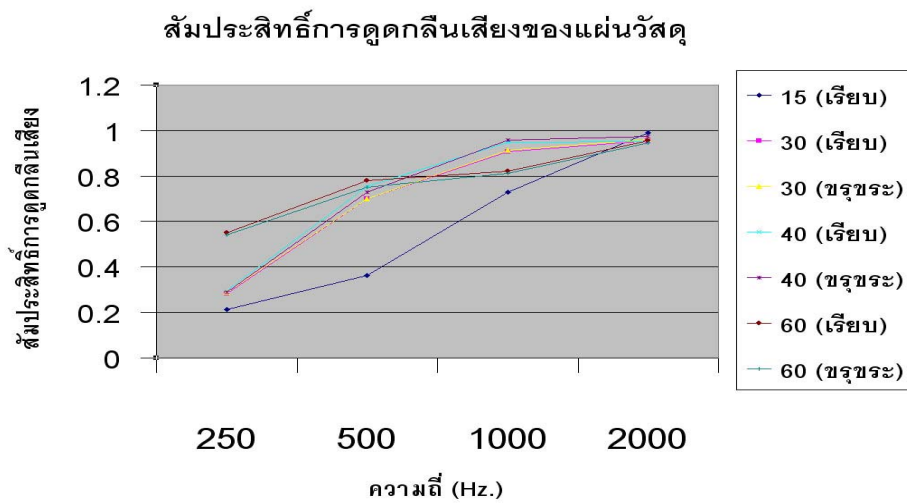
ภาพที่ 4.1 แสดงผลสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแผ่นวัสดุที่ความหนาและความหนาแน่นขนาดต่าง ๆ

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.2 มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของแผ่นวัสดุกับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงที่ความถี่ระดับต่าง ๆ จะได้กราฟดังแสดงในภาพที่ 4.2 และ 4.3

แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของแผ่นวัสดุ



ภาพที่ 4.2 แสดงผลสัมประสิทธิ์การดูดกลืนและการลดระดับเสียงของแผ่นวัสดุที่ความหนาขนาดต่าง ๆ



ภาพที่ 4.3 แสดงผลสัมประสิทธิ์การดูดกลืนและการลดระดับเสียงของแผ่นวัสดุที่ความถี่ระดับต่าง ๆ

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามสมมติฐานหรือประเด็นปัญหา

เมื่อทำการทดสอบความสัมพันธ์ วิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยกำหนดตัวแปรอิสระที่ทำการทดสอบดังนี้ ความหนาแน่น(Density), ความหนาของแผ่นวัสดุ (Thick) หาค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงของวัสดุเป็นตัวแปร ตามโดย Pearson Product Moment Coefficient โดยโปรแกรม SPSS for Windows Version 11.0 ปรากฏว่าได้ผลทดสอบดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความหนาแน่น ความหนากับค่า NRC ของวัสดุ

		ความหนาแน่น	ความหนา	NRC
ความหนาแน่น	Pearson Correlation	1	.958**	.777*
	Sig. (2-tailed)	.	.001	.040
	N	7	7	7
ความหนา	Pearson Correlation	.958**	1	.869*
	Sig. (2-tailed)	.001	.	.011
	N	7	7	7
NRC	Pearson Correlation	.777*	.869*	1
	Sig. (2-tailed)	.040	.011	.
	N	7	7	7

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างตัวแปรที่ใช้ในการศึกษากับค่า NRC พบว่า ความสัมพันธ์กับความหนาแน่นมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่า NRC (.777) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และความหนามีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่า NRC (.869) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในระหว่างตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ผลปรากฏว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 มีค่าเท่ากับ .958 ได้แก่ ความหนาและความหนาแน่น ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีค่าเท่ากับ .777

ซึ่งสรุปได้ว่า เป็นไปตามสมมติฐาน ที่ตั้งไว้แต่แรกคือ วัสดุคูกกลืนเสียงที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ชนิดเดียวกัน จะมีประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงเพิ่มขึ้น เมื่อมีความหนาเพิ่มขึ้นและวัสดุคูกกลืนเสียงที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ชนิดเดียวกัน จะมีประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงเพิ่มขึ้น เมื่อมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

บทที่ 5

สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. สรุปการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เรื่อง “ประสิทธิภาพของเสาเส้นใยพอลิเอสเตอร์ในการลดระดับเสียง” ที่ความหนา 15, 30, 40 และ 60 มิลลิเมตร โดยใช้อุปกรณ์ Standing Wave Apparatus ทำการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของแผ่นตัวอย่างที่มีความถี่ 4 ระดับ คือ 250, 500, 1000 และ 2,000 Hz และนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงของวัสดุที่อัตราความหนาและความหนาแน่นต่าง ๆ

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงของเสาเส้นใยพอลิเอสเตอร์ และ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้ทำวัสดุดูดกลืนเสียง

1.2 สมมติฐานการวิจัย

วัสดุดูดกลืนเสียงที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ชนิดเดียวกัน จะมีประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงเพิ่มขึ้น เมื่อมีความหนาเพิ่มขึ้น

1.3 วิธีดำเนินการวิจัย(ประชากรหรือกลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล)

1.3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ แผ่นวัสดุอัดเสาใยพอลิเอสเตอร์

1.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) เครื่อง Heterodyne Slave Filter 2010
- 2) Microphone : (Crystal type)
- 3) ไม้บรรทัดวัดระยะทาง Stainless Hardened(Made in Japan)Standard At 20°C(68°F) 0-1000 mm
- 4) เครื่อง Standing Wave Apparatus Type 4002(with Large tube and Small tube) ยี่ห้อ Brüel & Kjaer
- 5) Calibrador Vernier
- 6) เครื่องชั่งน้ำหนัก MC-000 รุ่น SS&E 0125-36
- 7) เครื่องวัดอุณหภูมิ, ความชื้นและความดันบรรยากาศ

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การตรวจวัดและรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient)

ดำเนินการทดลองตามขั้นตอนต่อไปนี้

- 2.1 จัดเครื่องต่าง ๆ ให้พร้อม
- 2.2 ใส่ตัวอย่างที่จะทำการทดลองในแบบจำลอง Standing Wave Apparatus
- 2.3 เช็ครีจก้าเนติกคัลลิ่งความถี่และเครื่องวัดพร้อมทั้งปรับค่าความถี่ (Frequency Increment) ที่ Sine Generator ตามค่าศูนย์กลางความถี่แบบ one-third Octave
- 2.4 ในแต่ละความถี่ ปรับค่า BFO Output Voltage ปรับระยะไมโครโฟนในท่อแบบจำลอง Standing Wave Apparatus เพื่อให้ได้ค่าระดับสูงสุดและต่ำสุด โดยอ่านค่าความดังเป็น dB(A) จาก Measuring Amplifier และจกระยะที่ตำแหน่งของไมโครโฟนห่างจากแผ่นวัสดุที่นำมาทดลอง ซึ่งค่าระดับความดังสูงสุดและต่ำสุดที่ได้นี้จะนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง (Absorption Coefficient) ของแผ่นตัวอย่าง
- 2.5 ปรับความถี่ถัดไปตามตำแหน่งของศูนย์กลางความถี่แบบ One-third Octave Band และดำเนินการวัดข้อมูลตามข้อ 4 จนครบทุก ๆ ความถี่ที่ต้องการ
- 2.6 ทำการบันทึกข้อมูลและคำนวณค่าความสามารถในการดูดกลืนเสียง (Absorption Coefficient)
- 2.7 ทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC)

3. อภิปรายผล

เมื่อความหนาของแผ่นวัสดุเพิ่มขึ้น จะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงเพิ่มขึ้นด้วยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน ที่ตั้งไว้แต่แรกคือวัสดุดูดกลืนเสียงที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ชนิดเดียวกัน จะมีประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงเพิ่มขึ้นเมื่อมีความหนาเพิ่มขึ้น

ผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของนิรันดร์ ซึ่งศึกษาสมรรถนะในการลดระดับเสียงของวัสดุพูน 3 ชนิด คือ แกลบ ขี้กบ และโยมะพร้าว โดยใช้ปูนปลาสเตอร์เป็นสารเชื่อมประสาน ทำการทดลองโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงทั้งแบบความถี่เดียวและเสียงรบกวนที่มีความถี่เสียง 90 เดซิเบลเอ ในชุดกล่องเก็บเสียงที่สร้างขึ้นเอง ซึ่งพบว่าวัสดุพูนชนิดเดียวกัน ที่ความถี่เสียงเดียวกัน ความสามารถในการดูดกลืนเสียงของวัสดุพูนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อวัสดุนั้นหนามากขึ้น

ค่า NRC ของวัสดุที่มีค่า NRC สูงกว่า 0.4 จัดได้ว่ามีความสามารถในการดูดกลืนเสียงสูง วัสดุที่ใช้ในสำนักงานหรือที่อยู่อาศัยส่วนมากจะมีค่า NRC อยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.6 ซึ่งเพียงพอที่จะก่อให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแก่การทำงานหรืออยู่อาศัย วัสดุที่มีค่า NRC สูงกว่า 0.8 โดยทั่วไปจะมีราคาแพง และมีความจำเป็นต้องใช้ในห้องที่มีวัตถุประสงค์เฉพาะเท่านั้น เช่น สตูดิโอ ห้องทดลอง หรือห้องบรรยายขนาดใหญ่

ฉะนั้น จากผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงของแผ่นวัสดุที่มีค่าสูงกว่า 0.4 คือแผ่นวัสดุที่มีความหนาตั้งแต่ 15 มิลลิเมตรขึ้นไป เนื่องจากสามารถลดระดับเสียงได้ที่ 0.5 ขึ้นไป นอกจากนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำวัสดุดูดกลืนเสียงสร้างประโยชน์ได้อีก นอกเหนือจากเป็นขยะกากอุตสาหกรรม

เมื่อความหนาแน่นของแผ่นวัสดุเพิ่มขึ้น จะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงเพิ่มขึ้น ตัวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จากผลการทดลองพบว่า เป็นไปตามสมมติฐาน ที่ตั้งไว้แต่แรกคือ วัสดุดูดกลืนเสียงที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ชนิดเดียวกัน จะมีประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงเพิ่มขึ้น เมื่อมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

4. ข้อเสนอแนะ

4.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ในการนำวัสดุดูดกลืนเสียงที่ได้จากการวิจัยนี้ไปใช้งานจริง ควรจะศึกษาถึงวัตถุประสงค์ ลักษณะการนำไปใช้งานในลักษณะต่าง ๆ เช่น การทำเป็นทรงกระบอก ทรงกลม หรือทรงกรวย เพื่อนำไปใช้แขวนเพดานในห้องที่ต้องการลดการสะท้อนของคลื่นเสียง รวมทั้งทดสอบความแข็งแรงของวัสดุดูดกลืนเสียง น้ำหนัก ความสะดวกในการติดตั้ง ก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดงบประมาณในการควบคุมมลพิษทางอากาศของเสียอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

4.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

เนื่องจาก ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงที่ได้จากการทดลองครั้งนี้มีค่าใกล้ 0.8 ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการศึกษาทดลองถึงความเป็นได้ในการผลิตวัสดุดูดกลืนเสียงที่เกิดจากเศษเส้นใยพอลิเอสเตอร์ในเชิงอุตสาหกรรม และเนื่องจากการทดลองครั้งนี้ได้ทดลองวัสดุที่มีความหนาหลายๆ ขนาด แต่ไม่สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงได้ทั้งหมด ถ้าทดลองให้ครบความถี่ทั้งหมดแล้วสามารถนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงได้ และเตรียมวัสดุใหม่ให้ดีขึ้น อาจจะไปทดลองได้ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงที่ 0.8 ซึ่งอาจนำไปใช้ทดแทนวัสดุที่มีราคาแพงเช่นพวกใยหินได้

แนวทางหนึ่งในการพัฒนาให้วัสดุดูดกลืนเสียงที่สร้างขึ้นมีความสามารถในการลดระดับความดังของเสียงได้มากขึ้น คือการใช้ร่วมกับวัสดุดูดกลืนเสียงประเภทอื่น เช่น การนำ โพลียูรีเทนโฟมซึ่งจัดเป็นวัสดุพูนมาบุนวัสดุดูดกลืนเสียงที่สร้างขึ้น เป็นต้น

นอกจากนี้ ควรจะมีศึกษาวิจัยประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงของวัสดุเหลือใช้ชนิดอื่น ๆ ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการควบคุมมลภาวะทางเสียงแล้ว ยังช่วยลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้น และประหยัดงบประมาณที่จะต้องใช้ในการกำจัดขยะเหล่านี้ อีกด้วย

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ (2544) *มลพิษทางเสียง* กรุงเทพมหานคร ซีลค์คลับ
- นवलแข ปาลิวณิช (2542) *ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย(ฉบับปรับปรุงใหม่)* กรุงเทพมหานคร ซีเอ็ด
ยูเคชั่น
- นิรันดร์ วิทิตอนันต์ (2535) “สมรรถนะในการลดระดับความดังเสียงของวัสดุพูน” วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- บัณฑิต ศิริชนารัตนกุล (2547) “วัสดุดูดกลืนเสียงจากผงบยารถยนต์ใช้แล้วผสมปูนซีเมนต์”
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิต
วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- บุรฉัตร วิริยะ (2544) “การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของวัสดุพูนแห้งและ
เส้นใยแก้ว” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- “ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการประกอบกิจการ
โรงงานเกี่ยวกับสถานะแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ.2546” (2546, 6 พฤศจิกายน) ราช
กิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 120 ตอนพิเศษ 138ง หน้า 1-11
- พจมาน ท่าจิ้น (2545) *มลภาวะทางเสียงในสิ่งแวดล้อม* พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร เมเซอร์
โทรนิคส์
- พัฒนา บุญญาประภา (2526) “การศึกษาประสิทธิภาพของการลดเสียงของวัสดุป้องกันเสียงที่หาได้
ง่ายในท้องถิ่น” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัย
สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
- วิชัย ราชรัตน์ “การออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์ลดเสียงประเภท Plenum chamber เพื่อการดูดซับ
เสียง” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและ
ความปลอดภัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
- วิโรจน์ เชาว์จิรพันธ์ (2537) “การศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ลดเสียงในเครื่องจักรนิวแมติก
โดยใช้วัสดุป้องกันเสียงที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยมหิดล

วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา (2543) *วิทยาศาสตร์เส้นใย* พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร โรงพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศักดิ์ชัย อมรศักดิ์ชัย (2541) “การศึกษาประสิทธิภาพในการลดเสียงของวัสดุเหลือใช้เมื่อใช้ซีเมนต์
และเส้นลวดเหล็กไนต์เป็นสารเชื่อมประสาน” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
ศูนย์ความปลอดภัยในการทำงานพื้นที่ 1 กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน (2547) “เสียงดังกับ
การทำงาน” (จุลสาร).

สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ (2544) *ความรู้สิ่งทอเบื้องต้น* ม.ป.ท.

สราวุธ สุธรรมอาสา (2547) *การจัดการมลพิษทางเสียงจากอุตสาหกรรม* กรุงเทพฯ เรียงสาม
กราฟฟิค ดีไซน์

สุทัศน์ สุทธิฤทธิ์ (2533) “ประสิทธิภาพการลดระดับความดังของเสียงจากเศษวัสดุพีชแห้ง”
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิต
วิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุธีรา ตูลยะเสถียร โกศล วงศ์สวรรค์ และสถิต วงศ์สวรรค์ (2544) *มลพิษสิ่งแวดล้อม(ปัญหา
สังคมไทย* รวมสาส์น(1977)

อดิศักดิ์ นัยนาภากรณ์ (2524) “วัสดุเพื่อใช้ทำสิ่งกีดขวางเสียงสำหรับทางด่วนพิเศษ” วิทยา
นิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัจฉราพร ไสละสูต และชิงรุ วาดานาเบ (2520) *วิศวกรรมสิ่งทอ* สมาคมส่งเสริมความรู้ด้าน
เทคนิคระหว่างประเทศ

เอี่ยมพร มัชฌิมวงศ์ (2543) *การควบคุมมลพิษทางเสียง คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล*

Antony Barber Msc, Ceng, FIMechE, MRAes, ACI Arb., *Handbook of noise and Vibration
control*, 6th ed. UK. : n.p.

American Society for Testing and Materials. (1998). *Standard test method for impedance and
absorption of acoustical materials by the impedance tube method.* n.p.

Bell, L.H. (1982). *Industrial noise control.* New York : Marcel Dekker.

Beranek, L.L. (1988). *Acoustical measurements* ; Revised edition. Acoustical Society of America.
USA : American Institute of Physics.

- Chapman and Hill (1991). *Noise Control in Industry*, 3rd ed. Sound Research Laboratories third edition.
- Daniel A. Russell (2005) "Absorption Coefficients and Impedance" Retrieved January 12, 2005, from <http://www.gmi.edu/~drussell/GMI-Acoustics/Absorption.html>
- David A. Harris (1991). *Noise Control Manual (Guidelines for Problem-solving in the Industries/ Commercial Acoustical Environment)*. New York : Van Nostrand Reinhold, USA.
- Everest, F.A. (1994). *The master handbook of acoustics* ; 3rd ed. New York : Tab Books.
- Foreman, J.E.K. (1990). *Sound analysis and noise control*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Faulkner L.L. (1976). *Handbook of Industrial Noise Control*. New York : Industrial Press Inc.
- George D. Clayton (1996). *Industrial noise manual* ; 2nd ed. USA. American Conference of governmental Industrial Hygienists.
- Howard K. Pelton (1993). *Noise Control Management*. New York : Van Nostrand Reinhold.
- International Standard ISO 10534-1 (1996) *Acoustics-Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes; Part 1: Method using standing wave ratio*. Geneve: n.p.
- Irwin J.D. And Graf E.R. (1979). *Industrial Noise and vibration Control*. New Jersey: Prentice hall.
- James P. Cowan. (1994). *Handbook of Environmental Acoustics*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Joseph, Marjory, L. (1976). *Essentials of textiles*. New York: CBS College Publishing.
- Mitutoyo. (2004). *Calibrador Vernier User's Manual*. Mitutoyo: n.p.
- Norma Hollen (1988). *Textiles* ; 6th ed., Macmillan Publishing, a division of Macmillan
- Occupational Safety & Health Administration (1980). *Noise control : A guide for workers and employers*, Eula Bingham, U.S. Department of Labor.
- Paul N. Cheremisinoff and Fred Ellerbusch. (1982) *Guide for Industrial Noise Control*. Ann Arbor Science Publishers,
- Tanasri Sihabut. (1999). Noise control efficiency of fiberboard made from oil palm frond. Master Thesis, Department of Industrial Hygiene and Safety, Graduate School, Mahidol University

- Vikrant Tiwari, Arun Sukla and Bose A. 2004. Acoustic properties of cenosphere reinforced cement and asphalt concrete. *Applied acoustics*. 65(2004):263-275
- White, F.A. (1975). *Our acoustic environment*. New York : A Wiley-Interscience.
- Yerges LF. (1969). *Sound, noise and vibration control*. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Z. Tao, D.W.Herrin and A.F.Seybert (2003). *Measuring Bulk Properties of Sound-Absorbing Materails using the Two-Source Method*. University of Kentucky : Society of Automotive Engineers.

ภาคผนวก

วัน/เดือน/ปี29/3/2548.....สถานที่ทดลอง ห้องทดลองด้านเสียงสถาบันมาตรวิทยา ห้องปฏิบัติการเสียง

อุณหภูมิ ...24.6..... องศาเซลเซียส

ความชื้น...46.7..... %

ความกดอากาศ ...1003..... hPa

Frequency (Hz.)	125				250				500				1 K				2 K			
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
Input Section Attenuation(mV)	100	100	100		100	100	100		100	100	100		100	100	100		100	100	100	
Output Section Attenuation	0.3	0.3	0.3		0.3	0.3	0.3		0.3	0.3	0.3		0.01	0.01	0.01		0.003	0.003	0.003	
Sents.	-	-	-		-	-	-		-	-	-		-	-	-		-	-	-	
Frequency Increment	-	-	-		-	-	-		-	-	-		-	-	-		-	-	-	
BFO Output Voltage	2	2	2		2	2	2		2	2	2		1	1	1		2	2	2	
Max.(absorbitivity)	100	100	100		100	100	100		100	100	100		100	100	100		100	100	100	
ระยะทาง Max(mm.)	0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
Min.(absorbitivity)	17	16.5	16	16.5	22	21	21	21.3	36	36	37	36	70	72	77	73	99.5	99.5	98	99
ระยะทาง Min(mm.)	649	652	651	650.7	307	303	306	305	134	133	135	134	51	46	60	52.3	15	14	8	12.3

Tube x Large Tube Diameter.....100.....mm. Size ...15.... mm. พื้นผิวหน้า...เรียบ.... Weight.....10 g.....
 Small Tube Density.....0.031..... g/cm²

วัน/เดือน/ปี29/3/2548.....สถานที่ทดลอง ห้องทดลองด้านเสียงสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ห้องปฏิบัติการเสียง

อุณหภูมิ ...24.4..... องศาเซลเซียส

ความชื้น...47.4..... %

ความกดอากาศ1004..... hPa

Frequency (Hz.)	125			250			500			1 K			2 K							
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
Input Section Attenuation(mV)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100					
Output Section Attenuation	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.01	0.01	0.01	0.003	0.003	0.003				
Sents.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Frequency Increment	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
BFO Output Voltage	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2				
Max.(absorbitivity)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
ระยะทาง Max(mm.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Min.(absorbitivity)	19	18	18.0	18.3	28	28	28.5	28.2	70	70	70	70	90.5	91	91	90.8	95.5	95	96	95.5
ระยะทาง Min(mm.)	639	631	635	635.0	291	290	292	291	126	126	127	126.3	55	53	56	54.7	28	28	31	29.0

62

Tube x Large Tube
Small Tube

Diameter.....100.....mm.

Size ...30.... mm.

พื้นผิวเรียบ.....

Density.....0.063..... g/cm²

Weight.....20 g.....

วัน/เดือน/ปี29/3/2548.....สถานที่ทดลอง ห้องทดลองด้านเสียงสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ห้องปฏิบัติการเสียง

อุณหภูมิ ...24.5..... องศาเซลเซียส

ความชื้น...46.9.... %

ความกดอากาศ1003..... hPa

Frequency (Hz.)	125			250			500			1 K			2 K							
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
Input Section Attenuation(mV)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100					
Output Section Attenuation	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.01	0.01	0.01	0.003	0.003	0.003				
Sents.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Frequency Increment	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
BFO Output Voltage	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2				
Max.(absorbitivity)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
ระยะทาง Max(mm.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Min.(absorbitivity)	19	18.5	18	18.5	29	29	29	29	70	70	70	70	91	91.5	91.0	91.2	96	96	96	96.0
ระยะทาง Min(mm.)	639	636	636	637.0	290	287	291	289.3	124	123	122	123.0	57	49	51	52.3	28	29	28	28.3

63

Tube x Large Tube
Small Tube

Diameter.....100.....mm.

Size ...30... mm.

พื้นที่ผิวหน้ารูขรุขระ.....

Density.....0.063..... g/cm2

Weight20 g.....

วัน/เดือน/ปี29/3/2548.....สถานที่ทดลอง ห้องทดลองด้านเสียงสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ห้องปฏิบัติการเสียง

อุณหภูมิ ...24..... องศาเซลเซียส

ความชื้น...48.0..... %

ความกดอากาศ1006..... hPa

Frequency (Hz.)	125			250			500			1 K			2 K							
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
Input Section Attenuation(mV)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100					
Output Section Attenuation	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.01	0.01	0.01	0.003	0.003	0.003				
Sents.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Frequency Increment	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
BFO Output Voltage	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2				
Max.(absorbitivity)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
ระยะทาง Max(mm.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Min.(absorbitivity)	20	20	19.5	19.8	30	30	29	29.7	75	75	76	75.33	95	95	95	95	95.5	95	95	95.2
ระยะทาง Min(mm.)	623	628	618	623.0	284	283	282	283	116	122	124	120.7	49	54	50	51	33	32	33	98.0

64

Tube x Large Tube
Small Tube

Diameter.....100.....mm.

Size ...40... mm.

พื้นผิวหน้าเรียบ.....

Density.....0.063..... g/cm2

Weight20 g.....

วัน/เดือน/ปี29/3/2548.....สถานที่ทดลอง ห้องทดลองด้านเสียงสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ห้องปฏิบัติการเสียง

อุณหภูมิ ...24.1..... องศาเซลเซียส

ความชื้น...47.7.... %

ความกดอากาศ1004..... hPa

Frequency (Hz.)	125			250			500			1 K			2 K							
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
Input Section Attenuation(mV)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100					
Output Section Attenuation	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.01	0.01	0.01	0.003	0.003	0.003				
Sents.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Frequency Increment	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
BFO Output Voltage	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2				
Max.(absorbitivity)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
ระยะทาง Max(mm.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Min.(absorbitivity)	21	19	19	19.7	29	29	29	29	73	73	73	73	96	95.5	95.5	95.7	97.5	97.5	97	97.3
ระยะทาง Min(mm.)	636	627	628	630.3	278	280	278	278.7	118	116	118	117.3	48	51	50	49.7	34	31	30	31.7

65

Tube x Large Tube
Small Tube

Diameter.....100.....mm.

Size ...40... mm.

พื้นผิวหน้าขรุขระ.....

Density.....0.063..... g/cm²

Weight20 g.....

วัน/เดือน/ปี29/3/2548..... สถานที่ทดลอง ห้องทดลองด้านเสียงสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ห้องปฏิบัติการเสียง
 อุณหภูมิ ...23.8..... องศาเซลเซียส ความชื้น...48.7..... % ความกดอากาศ1007..... hPa

Frequency (Hz.)	125			250			500			1 K			2 K							
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
Input Section Attenuation(mV)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100					
Output Section Attenuation	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.01	0.01	0.01	0.003	0.003	0.003					
Sents.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Frequency Increment	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
BFO Output Voltage	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2					
Max.(absorbitivity)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100					
ระยะทาง Max(mm.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Min.(absorbitivity)	31	31	31	31	55	56	54	55	78	78	78	78	82	82	82	82	96	95	95.5	95.5
ระยะทาง Min(mm.)	633	628	637	632.7	288	290	289	289	140	135	139	138	65	61	63	63	23	29	29	27.0

99

Tube x Large Tube Diameter.....100.....mm. Size ...60.... mm. พื้นผิวหน้าเรียบ.....
 Small Tube Density.....0.127..... g/cm² Weight40 g.....

วัน/เดือน/ปี29/3/2548.....สถานที่ทดลอง ห้องทดลองด้านเสียงสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ห้องปฏิบัติการเสียง

อุณหภูมิ ...24..... องศาเซลเซียส

ความชื้น...48.2..... %

ความกดอากาศ1006..... hPa

Frequency (Hz.)	125			250			500			1 K			2 K							
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
Input Section Attenuation(mV)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100					
Output Section Attenuation	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.01	0.01	0.01	0.003	0.003	0.003					
Sents.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Frequency Increment	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
BFO Output Voltage	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2					
Max.(absorbivity)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100					
ระยะทาง Max(mm.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Min.(absorbivity)	29	29	28.5	28.8	54	54	54.5	54.2	75	75	75	75	81	80	83	81.3	94.5	94.5	94.5	94.5
ระยะทาง Min(mm.)	629	631	629	629.7	291	290	294	291.7	142	138	139	139.7	56	60	70	62.0	29	28	30	29

67

Tube x Large Tube
Small Tube

Diameter.....100.....mm.

Size ...60.... mm.

พื้นผิวหน้ารูขรุขระ.....

Density.....0.127..... g/cm²

Weight40 g.....

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวภัทรพร ศรีบูรณะพิทักษ์
วัน เดือน ปีเกิด	16 พฤศจิกายน 2519
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี
ประวัติการศึกษา	บริหารธุรกิจบัณฑิต มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พ.ศ. 2541
สถานที่ทำงาน	บริษัท อภิฤดีอุตสาหกรรม จำกัด เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร
ตำแหน่ง	ผู้จัดการฝ่ายพัฒนาระบบและส่งเสริม TQM