

การศึกษาและพัฒนาวัสดุป้องกันเสียงที่ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรม
ที่มีสารพิษเป็นองค์ประกอบเพื่อลดระดับเสียงรบกวนจากการจราจร

นายบรรณัตร์ วิริยะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2551

**A STUDY AND DEVELOPMENT OF NOISE REDUCTION
MATERIALS FROM INDUSTRIAL WASTE AND
BITUMEN FOR TRAFFIC NOISE REDUCTION**

Burachat Viriya

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Doctor of Philosophy in Environmental Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2008

การศึกษาและพัฒนาวัสดุป้องกันเสียงที่ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรม
ที่มีสารพิษเป็นองค์ประกอบเพื่อลดระดับเสียงรบกวนจากการจราจร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.สุจิตต์ กระจิต)

ประธานกรรมการ

(อ. ดร. วุฒิ ตำนกิตติกุล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ดร. ศักดิ์ กองสุวรรณ)

กรรมการ

(ผศ. ดร. จิรียา ยิ้มรัตนบวร)

กรรมการ

(อ. ดร. มลลิกา สังข์สนิท)

กรรมการ

(ศ. ดร. ไพโรจน์ สัตยธรรม)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร. วรพจน์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

บรรณานุกรม : การศึกษาและพัฒนาวัสดุป้องกันเสียงที่ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรม
ที่มีสารบิทูเมนเป็นองค์ประกอบเพื่อลดระดับเสียงรบกวนจากการจราจร (A STUDY
AND DEVELOPMENT OF NOISE REDUCTION MATERIALS FROM INDUSTRIAL
WASTE AND BITUMEN FOR TRAFFIC NOISE REDUCTION) อาจารย์ที่ปรึกษา:
อ. ดร. วุฒิ คำนาคิตติกุล, 100 หน้า.

ปัจจุบันปัญหามลพิษทางเสียงจากการจราจรได้ทวีความรุนแรงมากขึ้น วัสดุป้องกันเสียงที่ใช้กันเสียงรบกวนจากการจราจรนั้นมีราคาสูงและมีข้อจำกัดด้านอายุการใช้งาน การศึกษาและพัฒนาวัสดุป้องกันเสียงที่ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรมที่มีสารบิทูเมนเป็นองค์ประกอบจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุป้องกันเสียงที่มีประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงและมีต้นทุนต่ำในการผลิต การศึกษาในครั้งนี้เลือกพัฒนาตัวอย่างวัสดุป้องกันเสียงจากวัสดุผสมระหว่างสารบิทูเมนกับวัสดุเศษชนบัตร วัสดุเก้าอี้โรงงานน้ำตาลและวัสดุเก้าอี้โรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยนำวัสดุตัวอย่างทั้งสามชนิดดังกล่าวมาตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง (NRC) และค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (TL) ตามมาตรฐาน ASTM C384-98 และ ASTM E90-97 รวมทั้งความสามารถในการรับแรงอัด ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างวัสดุเศษชนบัตร มีกลไกในการดูดซับเสียงแบบเมมเบรน ในขณะที่ตัวอย่างวัสดุเก้าอี้ทั้งสองชนิด มีกลไกในการดูดซับเสียงแบบรูพรุน โดยตัวอย่างวัสดุเศษชนบัตร วัสดุเก้าอี้โรงงานน้ำตาล และวัสดุเก้าอี้โรงไฟฟ้าถ่านหิน ที่ความหนา 2.5 cm มีค่า NRC ในช่วง 0.52-0.57, 0.36-0.46 และ 0.31-0.39 และมีค่า TL ในช่วง 19.6-27.7 dBA, 19.2-27.7 dBA และ 19.7-26.8 dBA ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างวัสดุที่ความหนา 5.0 cm มีค่า NRC มากกว่า 0.4 และมีค่า TL อยู่ในช่วง 22.1-30.6 dBA, 20.9-31.5 dBA และ 22.6-30.6 dBA ตามลำดับ ซึ่งวัสดุทั้งสามชนิดจัดอยู่ในกลุ่มวัสดุดูดซับเสียงประสิทธิภาพสูงและประสิทธิภาพปานกลาง โดยสามารถรับแรงอัดมากกว่า 1.5 kN ตามที่มาตรฐานกำหนด และการนำมาใช้งานจะไม่ก่อปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม ผลการวิเคราะห์พบว่าสามารถนำของเสียอุตสาหกรรม ได้แก่ วัสดุเศษชนบัตร วัสดุเก้าอี้โรงงานน้ำตาลและวัสดุเก้าอี้โรงไฟฟ้าถ่านหินกลับมาใช้ได้คิดเป็นร้อยละ 11.4, 0.001 และ 0.001 ของปริมาณของเสียอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาสามารถนำไปพัฒนาวัสดุป้องกันเสียงต้นแบบสำหรับกำแพงกันเสียงจากการจราจรได้ในระดับอุตสาหกรรม

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

BURACHAT VIRIYA : A STUDY AND DEVELOPMENT OF NOISE
REDUCTION MATERIALS FROM INDUSTRIAL WASTE AND
BITUMEN FOR TRAFFIC NOISE REDUCTION. THESIS ADVISOR :
WUT DANKITTIKUL, D. Eng., 100 PP.

NOISE BARRIER/ INDUSTRIAL WASTE/ SOUND ABSORPTION COEFFICIENT/
NOISE REDUCTION COEFFICIENT/ SOUND TRANSMISSION LOSS

Presently, the problem of traffic noise pollution has become increasingly widespread. While the use of noise protection material for traffic noise barrier is introduced, the matters of its high cost and its short life span are a growing concern. Therefore, the primary purpose of the present study is to develop effective noise protection materials with low investment cost by using the mixtures of bitumen and other industrial wastes -fragmented banknote, bagasse fly ash, and coal fly ash. According to the measurements of Sound Absorption Coefficient, Noise Reduction Coefficient (NRC), Transmission Loss (TL) of ASTM C384-98 and ASTM E90-97, and the compressive resistant capacity of the mixing materials, the study revealed that the mixture of fragmented banknote and bitumen had membrane mechanism and the bagasse fly ash and coal fly ash mixed with bitumen had porous absorber mechanism. While the NRC of these three mixing materials with the thickness of 2.5 cm. were 0.52-0.57, 0.36-0.46, and 0.31-0.39, respectively; the TL ranges were 19.6-27.7 dBA, 19.2-27.7 dBA, and 19.7-26.5 dBA, respectively. Also, in case that the thickness of the mixing materials was 5 cm. and the NRC was more than 0.4, the TL ranges were 22.1-30.6 dBA, 20.9-31.5 dBA, and 22.6-30.6 dBA, respectively.

While all three mixing materials were classified as noise absorption materials with high and medium efficiencies, the study revealed that they could resist the compression more than the suggested standard at 1.5 kN and also were shielded from the issue of heavy metal contamination in the environment. While the recyclable uses of these three industrial wastes -fragmented banknote, bagasse fly ash, and coal fly ash- were at 11.4, 0.001 and 0.001 percents of totals, respectively; the findings of the present study were expected to use for developing an industrial prototype of noise protection materials for traffic noise barrier.

School of Environmental Engineering

Academic Year 2008

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

Co-advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้า นายบุรฉัตร วิริยะ ผู้วิจัยขอขอบคุณ บุคคลและหน่วยงานต่าง ๆ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำในด้านต่าง ๆ ทั้งทางด้านข้อมูลที่ใช้ประกอบการทำวิจัย อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย สถานที่ดำเนินการวิจัย และอื่น ๆ ได้แก่

- อ. ดร. วุฒิ คำนกิตติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณา และให้คำปรึกษาแนะนำที่ดีมาโดยตลอด
- รศ. ดร. ศักดิ์ กองสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น
- ผศ. ดร. สุธจิต คุรุจิต หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการมาโดยตลอด และให้คำแนะนำในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น
- ผศ. ดร. จริยา ยิ้มรัตนบวร และ อ. ดร. มลลิกา สังข์สนธิ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการมาโดยตลอด และให้คำแนะนำในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น
- ขอขอบคุณ คุณนารี กลิ่นกลาง ที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการศึกษาวิจัยมาโดยตลอด
- ขอขอบคุณ ดร. นิรันดร์ คงฤทธิ์ คุณพวงพริ้ม วิริยะ ค.ช.ค.มณัฏฐา วิริยะ และคุณแม่สมพิศ บุญเหมือน ที่ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งมาโดยตลอด
- ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี F4, F5 และ F8 สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย
- ขอขอบคุณ ธนาคารแห่งประเทศไทย การทางพิเศษแห่งประเทศไทย กรมทางหลวง, โรงงานน้ำตาลนครบุรี และ โรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เมาะ ที่ให้การสนับสนุนด้านวัสดุคิบ ข้อมูล และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

นอกจากนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่ออัครพร วิริยะ คุณแม่หทัยรัตน์ วิริยะ คุณตาสมบุญ-คุณยายสงวน รักอักษร และ คุณปู่พรพัฒน์-คุณย่ายุพา วิริยะ ที่ให้ความรัก ความกรุณา อบรมสั่งสอน ผลักดัน และให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านมาโดยตลอด

บุรฉัตร วิริยะ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ปรัชญ่วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	4
2.1.1 กรุงเทพมหานคร.....	4
2.1.2 พื้นที่ต่างจังหวัด.....	5
2.1.3 สถานประกอบการ.....	7
2.2 ผลกระทบจากมลภาวะทางเสียง.....	7
2.3 ปรัชญาการณัฏฐศาสตร์ของคลื่นเสียง.....	10
2.3.1 การสะท้อนของเสียง.....	10
2.3.2 การหักเหของเสียง.....	11
2.3.3 การแทรกสอดของเสียง.....	11
2.3.4 การเลี้ยวเบนของเสียง.....	11
2.3.5 ปรัชญาการณัฏฐศาสตร์ดอปเปลอร์.....	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.6	เสียงกลบ.....	12
2.3.7	ปรากฏการณ์กำทอน.....	12
2.3.8	การส่งผ่านเสียง.....	12
2.3.9	การดูดซับเสียง.....	13
2.4	ดัชนีระบุมรรถนะในการลดระดับเสียง.....	16
2.4.1	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง.....	16
2.4.2	สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง.....	17
2.4.3	ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน.....	19
2.5	คุณลักษณะของวัสดุป้องกันเสียงในปัจจุบัน.....	19
2.6	วัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากของเสียอุตสาหกรรม.....	23
2.6.1	ถ้ำลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน.....	23
2.6.2	ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล.....	25
2.6.3	เศษชนบัตรหลังผ่านกระบวนการย่อยทำลาย.....	26
2.6.4	สารบิทูเมน.....	27
2.7	การศึกษา และผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	35
3.1	การเตรียมแผ่นวัสดุป้องกันเสียง.....	36
3.2	เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	37
3.3	การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	37
3.3.1	การเก็บรวบรวมข้อมูลเสียง.....	37
3.3.2	การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุของเสีย อุตสาหกรรมผสมบิทูเมน.....	39
3.4	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	41
3.4.1	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง.....	41
3.4.2	สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง.....	42
3.4.3	ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน.....	42

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.4	การวิเคราะห์ผลการทดสอบ Marshall Test.....	43
3.4.5	การศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาด.....	44
3.4.6	การศึกษาความคุ้มค่าทางด้านสิ่งแวดล้อม.....	44
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และการอภิปรายผล.....	46
4.1	รายงานผลการวิจัย.....	46
4.1.1	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นวัสดุ.....	46
4.1.2	ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน.....	52
4.2	การอภิปรายผล.....	55
4.2.1	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นวัสดุ.....	55
4.2.2	ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง.....	60
4.2.3	ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน.....	64
4.2.4	การศึกษาเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ แต่ละอัตราส่วน โดยใช้หลักการทางสถิติ.....	67
4.2.5	การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุป้องกันเสียงรบกวน จากการจราจร.....	69
4.3	การศึกษาความคุ้มค่าทางด้านสิ่งแวดล้อม.....	71
4.4	การศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาด.....	73
5	บทสรุป.....	76
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	76
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	78
	รายการอ้างอิง.....	79
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก.....	84
	ประวัติผู้เขียน.....	89

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 24 ชั่วโมง ในพื้นที่กรุงเทพฯ จำแนกตามสถานีตรวจวัด.....5
2.2	ระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 24 ชั่วโมง ในพื้นที่ต่างจังหวัด จำแนกตามสถานีตรวจวัด.....6
2.3	จำแนกชนิดของวัสดุป้องกันเสียง จากค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง.....18
2.4	คุณสมบัติทางเคมีแก้ลรอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน.....25
2.5	คุณสมบัติทางเคมีแก้ลรอยขานอ้อย.....26
2.6	องค์ประกอบ และคุณสมบัติทางกายภาพของเศษชนบัตรฯ.....27
2.7	ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงที่เกิดจากการจราจรของสารบิทูเมน.....30
2.8	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ SUPERBLOCK.....32
2.9	ผลการทดสอบชิ้นงานกาบมะพร้าว ฟางข้าวขนาดใหญ่ และฟางข้าวขนาดเล็ก.....32
3.1	รายละเอียดในการเตรียมแผ่นวัสดุป้องกันเสียง.....36
3.2	ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Gauge reading และ Load ในหน่วยต่าง ๆ.....43
4.1	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุเศษชนบัตรฯ ผสมบิทูเมน.....47
4.2	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุแก้ลรอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน.....47
4.3	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุแก้ลรอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน.....48
4.4	ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน วัสดุเศษชนบัตรฯ ผสมบิทูเมน.....52
4.5	ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน วัสดุแก้ลรอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน.....53
4.6	ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน วัสดุแก้ลรอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน.....54
4.7	จำแนกชนิดของวัสดุป้องกันเสียง ที่ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรม.....61
4.8	ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน และรูปแบบกลไก.....65
4.9	ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ (Marshall Method of Mix Design).....70
4.10	ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์วัสดุป้องกันเสียง.....71
4.11	ความคุ้มค่าทางสิ่งแวดล้อม จากการนำของเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์.....72
4.12	ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์วัสดุป้องกันเสียง.....74
4.13	ตารางพยากรณ์ส่วนแบ่งทางการตลาด.....75

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ปรากฏการณ์ สะท้อน คูดกลืน และส่งผ่านเสียงของวัตถุ.....10
2.2	การดูดซับเสียงของวัสดุที่มีกลไกการดูดซับเสียงแบบต่าง ๆ.....14
2.3	กลไกการสลายพลังงานเสียงเนื่องจากความหนืด และแรงเสียดทาน.....15
2.4	Standing Wave Ratio ที่เกิดขึ้นภายในหลอดอิมพีแดนซ์.....17
2.5	กำแพงป้องกันเสียงรบกวนประเภท คอนกรีต และ Brick Block.....19
2.6	กำแพงป้องกันเสียงรบกวนประเภท Masonry Block และ โลหะผสม.....20
2.7	กำแพงป้องกันเสียงรบกวนประเภท ไม้ และ วัสดุโปร่งแสง.....21
2.8	กำแพงป้องกันเสียงรบกวนประเภท พลาสติก Polyethylene PVC.....21
2.9	กำแพงป้องกันเสียงรบกวนประเภท Recycled Rubber และ วัสดุผสม.....22
2.10	ลักษณะถ้ำลอยถ่านหิน ทรงกลมกลาง และทรงกลมแข็ง.....24
2.11	การเผาชนอ้อย และการจัดการถ้ำลอยที่เกิดจากการเผา.....25
2.12	ระดับเสียงจากการจราจรจำแนกตามความถี่บนถนนที่ใช้สารบิทูเมนเป็นวัสดุผิวทาง.....29
3.1	ขั้นตอนกระบวนการวิจัย.....35
3.2	ลักษณะเครื่องมือ และอุปกรณ์ทดสอบความสามารถในการดูดซับเสียง.....38
3.3	ลักษณะเครื่องมือ และอุปกรณ์ทดสอบการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน.....39
3.4	เครื่องวัดเสียง RION รุ่น NL-21 และรูปแบบการใช้งาน.....39
3.5	อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงอัตราส่วนผสมระหว่าง วัสดุมวลรวม และ วัสดุบิทูเมน.....40
3.6	ลักษณะเครื่องมือ และการอ่านค่า Amplitude (V_0).....41
3.7	ลักษณะกราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง ระยะ (X) และ Amplitude (V).....42
3.8	Calibration chart for load measuring ring.....44
4.1	รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุเศษชนบัตร์ฯ ผสมบิทูเมน ความหนา 2.5 เซนติเมตร.....49
4.2	รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุเศษชนบัตร์ฯ ผสมบิทูเมน ความหนา 5.0 เซนติเมตร.....49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3	รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุถ้ำลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน ความหนา 2.5 เซนติเมตร.....50
4.4	รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุถ้ำลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน ความหนา 5.0 เซนติเมตร.....50
4.5	รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุถ้ำลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน ความหนา 2.5 เซนติเมตร.....51
4.6	รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุถ้ำลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน ความหนา 5.0 เซนติเมตร.....51
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียง และความยาวคลื่น.....56
4.8	ลักษณะการแทรกสอดของเสียง เนื่องจากการแทรกสอดแบบเสริมกัน และการแทรกสอดแบบหักล้างกัน.....57
4.9	ลักษณะ โครงสร้างภายในวัสดุเศษหินบัตร์ฯ ผสมบิทูเมน และภาพตัดขวาง.....58
4.10	ลักษณะ โครงสร้างภายในวัสดุถ้ำลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน.....59
4.11	ลักษณะ โครงสร้างภายในวัสดุถ้ำลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน.....60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายโครงข่ายการจราจร และการคมนาคมขนส่ง เพื่อรองรับและตอบสนองต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม อาทิเช่น โครงการรถไฟฟ้า 9 สาย โครงการทางพิเศษ กรุงเทพฯ-นครราชสีมา และอื่น ๆ ซึ่งผลจากการขยายตัวของโครงข่ายการจราจรดังกล่าว ก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหามลพิษทางเสียง ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในเขตเมืองใหญ่หรือบริเวณชุมชนหนาแน่นทั่วโลกโดยประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ประสบปัญหามลพิษทางเสียงจากการจราจรดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร และ ปริมณฑล ซึ่งจากผลการตรวจวัดระดับเสียงในพื้นที่ กรุงเทพมหานคร 6 เขตพื้นที่ ได้แก่ ลาดพร้าว ดินแดง และ อินทรีพิทักษ์ พบว่ามีระดับเสียงเกินกว่า 70 dBA ในขณะที่เขตพื้นที่ ห้วยขวาง บางขุนเทียน และการเคหะชุมชนแห่งชาติ มีระดับเสียงเกินกว่า 60 dBA (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

จากปัญหามลพิษทางเสียงที่เกิดขึ้น จึงทำให้มีการหาแนวทางและมาตรการในการป้องกัน และแก้ไขปัญหานั้นอย่างมากมาย โดยมาตรการหนึ่งที่ได้รับการนิยมนั้น ได้แก่ การใช้วัสดุป้องกันเสียง ซึ่งเป็นวัสดุความหนาแน่นสูง อาทิเช่น วัสดุซีเมนต์ผสมเส้นใยแก้ว ซึ่งมีค่าความหนาแน่น 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อีกทั้งมีราคาสูง ทำให้มีการใช้ในวงจำกัด อีกทั้งเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงเมื่อเกิดการเฉี่ยวชน โดยจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่าของเสียในอุตสาหกรรมชนิดต่าง ๆ เช่น เศษกระดาษธนบัตรฯ มีปริมาณถึง 93,890 กิโลกรัมต่อปี (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2548) แก้วลอยจากโรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เมาะ มีปริมาณถึง 8,000 ตันต่อวัน (โครงการจัดการธุรกิจ วัตถุประสงค์ได้โรงไฟฟ้าแม่เมาะ, 2549) และปริมาณขานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล 192 โรงงานทั่วประเทศ ที่ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมีปริมาณถึง 20 ล้านตันต่อปี ซึ่งก่อให้เกิดแก้วลอยโรงงานน้ำตาลทั้งสิ้น 1-2 ล้านตันต่อปี (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549) โดยมีความเป็นไปได้ที่จะนำของเสียอุตสาหกรรมเหล่านี้มาใช้เป็นวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรร่วมกับสารบิโทเมนที่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน ซึ่งเป็นสารที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียมดิบ ในลักษณะของวัสดุป้องกันเสียงที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งช่วยลดระดับความเสียหายซึ่งเกิดจากการเฉี่ยวชน

ในการศึกษานี้ได้พัฒนาวัสดุป้องกันเสียง ที่ผลิตจากเศษธนบัตรหลังผ่านกระบวนการย่อยทำลาย จากธนาคารแห่งประเทศไทย แก้วลอยโรงงานน้ำตาล และ แก้วลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เมาะ โดยใช้บิทูเมนเป็นสารเชื่อมประสาน เพื่อลดระดับเสียงรบกวนจากการจราจร ซึ่งปัจจุบันยังไม่พบว่ามีมีการนำวัสดุผสม (Composite Material) ในรูปแบบดังกล่าวมาพัฒนาเป็นวัสดุป้องกันเสียงจากการจราจร และทำการประเมินประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง และค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านของวัสดุดังกล่าว โดยผลที่ได้จะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการแก้ไขปัญหาผลกระทบทางเสียงจากการจราจร และลดปัญหาของเสียงจากภาคธุรกิจอุตสาหกรรมซึ่งก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังสามารถเป็นแนวทางในการผลิตวัสดุป้องกันเสียงที่มีราคาถูกลง เพื่อลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง และค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านของ วัสดุของเสียงในภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ เศษธนบัตรหลังผ่านกระบวนการย่อยทำลาย จากธนาคารแห่งประเทศไทย วัสดุแก้วลอยโรงงานน้ำตาล และ วัสดุแก้วลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยใช้บิทูเมนเป็นสารเชื่อมประสาน

1.2.2 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความทนทานในการใช้งานของวัสดุป้องกันเสียงรบกวนที่ประดิษฐ์ขึ้น

1.2.3 ศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาดของวัสดุผสมบิทูเมนที่พัฒนาขึ้น

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.3 เศษธนบัตรหลังผ่านกระบวนการย่อยทำลาย วัสดุแก้วลอยโรงงานน้ำตาล และ วัสดุแก้วลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน มีคุณสมบัติที่เหมาะสมตามมาตรฐาน ASTM C384 ในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุป้องกันเสียงในรูปแบบของวัสดุผสม (Composite Material)

1.3.2 สารบิทูเมน AC 80-100 ตามมาตรฐาน ASTM D1559 ที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียมดิบ มีคุณลักษณะที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารเชื่อมประสาน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 แผ่นตัวอย่างที่ใช้มีความหนา 2.5 และ 5.0 cm มีองค์ประกอบหลักเป็นของเสียอุตสาหกรรม 3 ชนิด ประกอบด้วย เศษธนบัตรหลังผ่านกระบวนการย่อยทำลายจากธนาคารแห่งประเทศไทย วัสดุเก่าลอยโรงงานน้ำตาล และวัสดุเก่าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยมีสารบิโอมิเมนเป็นสารเชื่อมประสาน

1.4.2 ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง และค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน ตามข้อกำหนด ASTM C384 และ ASTM E90 โดยทำการทดลองในช่วงความถี่ 250-4,000 Hz แบบ 1/3 Octave Band ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ไวต่อการได้ยินของมนุษย์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 วัสดุป้องกันเสียงราคาถูกที่มีประสิทธิภาพในการลดปัญหาเสียงรบกวนจากการจราจร

1.5.2 สามารถลดปริมาณของเสียจากภาคอุตสาหกรรม ที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุโดยนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.5.3 สามารถทดแทนการนำเข้าวัสดุป้องกันเสียงจากต่างประเทศ

1.5.4 เป็นแนวทางในการศึกษาวัสดุป้องกันเสียงที่ผลิตจากของเสียในภาคอุตสาหกรรม

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหามลพิษทางเสียงเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ได้ทวีความรุนแรงขึ้นพร้อม ๆ กับการขยายตัวของเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ โดยมีสาเหตุมาจาก การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของภาคธุรกิจอุตสาหกรรม การคมนาคมขนส่ง และอื่น ๆ อีกมากมาย โดยมีผลการศึกษาศึกษาปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.1 สถานการณ์มลภาวะทางเสียง

2.1.1 กรุงเทพมหานคร

ผลการตรวจวัดในปี พ.ศ. 2538 พบว่า ค่าระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 24 ชั่วโมง บริเวณริมถนนมีค่าสูงสุดของแต่ละเดือนอยู่ในช่วง 67.9-81.6 dBA โดยบริเวณหน้าโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ถนนพระราม 4 และบริเวณหน้ากรมขนส่งทางบก ถนนพหลโยธิน มีระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 24 ชั่วโมงสูงสุดเกิน 70 dBA ทุกวันที่ตรวจวัด บริเวณหน้ากระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ถนนพระราม 6 มีจำนวนวันที่ระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 24 ชั่วโมงสูงสุดเกิน 70 dBA เป็นร้อยละ 45 ของจำนวนวันที่ตรวจวัดทั้งหมด ส่วนบริเวณวงเวียนโอเดียนพบว่าเกินเกณฑ์น้อยมาก และเมื่อเปรียบเทียบกับปีที่ผ่านมาพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะเดียวกันค่าระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 24 ชั่วโมง ค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 63.3-73.1 dBA โดยมีค่าสูงสุดที่บริเวณพิพิธภัณฑสถานจิตรกรรมเช่นเดียวกัน ซึ่งค่าที่ได้ใกล้เคียงกับปี พ.ศ. 2537 และ 2538 (ประธาน อารีพล, 2541)

ผลการตรวจวัดในปี พ.ศ. 2544 พบว่าระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 24 ชั่วโมง บริเวณริมถนนและพื้นที่ทั่วไปในเขตกรุงเทพมหานคร ในช่วงปี พ.ศ. 2539-2543 มีระดับเสียงบนถนนสายหลักอยู่ในช่วง 73.9-79.7 dBA ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ระดับความดังของเสียงชี้ให้เห็นว่า มีผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวันของผู้ที่อาศัยในพื้นที่ดังกล่าวประกอบด้วยผลการวิเคราะห์ระดับเสียง กลางวัน-กลางคืน (Ldn) พบว่ามีผลทำให้ประชาชน 40-70% ของกลุ่มตัวอย่าง รู้สึกไม่สบาย ในขณะที่เดียวกันผลการตรวจวัด จากถนนสายรองพบว่า 20% ของข้อมูลมีระดับสูงกว่าค่ามาตรฐาน (70 dBA) แต่ค่าต่ำกว่าระดับเสียงบนถนนสายหลัก คือมีค่าอยู่ที่ 74.3-76.7 dBA และจากการตรวจวัดในพื้นที่ห่างจากแนวถนนมากกว่า 50 m พบว่าระดับเสียงต่ำกว่าบริเวณถนนแต่มี

ข้อมูล 12% ที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน คือ 64.2-87.8 dBA ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดเสียงที่ก่อให้เกิดมลภาวะ ได้แก่ การจราจร, พื้นที่ก่อสร้าง และโรงงานอุตสาหกรรม ในขณะที่ระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 24 ชั่วโมง บริเวณพื้นที่ริมคลอง มีค่าอยู่ในช่วง 57.5-69.1 dBA ซึ่งไม่เกินกว่าค่ามาตรฐานโดยค่าระดับเสียงดังกล่าวจะสูงขึ้น 10 dBA ในช่วงเวลาเร่งด่วนซึ่งก่อให้เกิดความรำคาญต่อผู้พักอาศัยในพื้นที่ใกล้เคียง (ประธาน อารีพล, 2541)

ผลการตรวจวัดในช่วงเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2548 และ มกราคม ปี พ.ศ. 2551 ใน 6 พื้นที่ตรวจวัด ได้แก่ ลาดพร้าว ดินแดง อินทรพิทักษ์ ห้วยขวาง บางขุนเทียน และการเคหะชุมชนแห่งชาติ พบว่า ค่าระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 24 ชั่วโมง สูงเกินกว่า 70 dBA ตลอดทั้งเดือนจำนวน 3 พื้นที่ ได้แก่ ลาดพร้าว ดินแดง และอินทรพิทักษ์ ในส่วนของพื้นที่ ห้วยขวาง บางขุนเทียน และการเคหะชุมชนแห่งชาติมีค่าระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 24 ชั่วโมง สูงเกินกว่า 55 dBA โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.1 (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

ตารางที่ 2.1 ระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 24 ชั่วโมง ในพื้นที่กรุงเทพฯ จำแนกตามสถานีตรวจวัด

พื้นที่ตรวจวัด	ระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 24 ชั่วโมง	
	มกราคมพ.ศ. 2548	มกราคม พ.ศ. 2551
ลาดพร้าว	72.8-74.5 dBA	73.8-72.5 dBA
ดินแดง	72.1-71.0 dBA	74.8-72.0 dBA
อินทรพิทักษ์	74.5-71.5 dBA	72.4-70.8 dBA
ห้วยขวาง	71.8-64.9 dBA	69.8-65.1 dBA
บางขุนเทียน	65.3-60.1 dBA	67.2-61.1 dBA
การเคหะชุมชนแห่งชาติ	67.4-55.2 dBA	66.9-61.6 dBA

2.1.2 พื้นที่ต่างจังหวัด

กรมควบคุมมลพิษได้ตรวจวัดระดับเสียงแบบต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและเสียงแบบกึ่งถาวร จำนวน 12 สถานี ตลอดปี พ.ศ. 2544-2548 ในพื้นที่ต่างจังหวัดรวม 11 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ ลำปาง สระบุรี พระนครศรีอยุธยา ระยอง ชลบุรี ขอนแก่น นครราชสีมา สุราษฎร์ธานี ภูเก็ต และสงขลา โดยแบ่งพื้นที่เป็น 2 ลักษณะพื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ทั่วไป และพื้นที่ใกล้ถนน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

ตารางที่ 2.2 ระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 24 ชั่วโมง ในพื้นที่ต่างจังหวัด จำแนกตามสถานีตรวจวัด พ.ศ. 2544-2548

พื้นที่	สถานีตรวจวัด/จังหวัด	ระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 24 ชั่วโมง (dBA)				
		2544	2545	2546	2547	2548
ทั่วไป	● ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่ อ. เมือง	-	52.2 - 68.0	51.6 - 66.3	53.4 - 71.0	51.8 - 67.5
	● มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ วิทยาเขตลำปาง อ. เมือง	52.0 - 63.8	52.6 - 59.6	53.2 - 71.6	52.2 - 73.4	51.5 - 71.8
	● สถานีดับเพลิงเขาน้อย อ. เมือง จ. สระบุรี	57.9 - 65.9	53.2 - 66.6	56.8 - 64.9	56.5 - 69.3	52.7 - 75.3
	● โรงเรียนอยุธยาวิทยาลัย อ. พระนครศรีอยุธยา	-	51.7 - 68.8	52.6 - 71.3	55.5 - 65.6	-
	● ชุมสายโทรศัพท์จังหวัดระยอง อ. เมือง	55.4 - 77.0	-	-	59.1 - 75.9	55.6 - 73.6
	● สำนักงานสามัญศึกษาจังหวัดชลบุรี อ. เมือง	-	-	-	-	58.0 - 83.3
	● องค์การบริหารส่วนตำบลหน้าพระลาน จ. สระบุรี	-	-	-	-	54.3 - 74.3
ใกล้ถนน	● โรงเรียนหน้าพระลาน อ. เมือง จ. สระบุรี	69.4 - 74.0	68.7 - 81.7	68.6 - 77.3	68.0 - 84.9	63.8 - 89.8
	● โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย อ. เมือง จ. เชียงใหม่	62.4 - 74.2	60.4 - 74.0	61.8 - 76.0	61.0 - 76.6	58.6 - 68.8
	● บ้านพักปลัดอำเภอ อ. เมือง จ. ขอนแก่น	64.9 - 72.2	64.4 - 74.0	64.4 - 83.8	64.0 - 69.5	63.2 - 68.0
	● บ้านพักมณฑลทหารบกที่ 21 อ. เมือง จ. นครราชสีมา	59.7 - 72.0	59.3 - 67.3	57.5 - 70.6	58.6 - 68.2	58.9 - 71.5
	● สำนักงานเทศบาลตำบลแหลมฉบัง อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี	57.1 - 74.6	-	57.0 - 69.5	49.3 - 67.3	45.7 - 73.3
	● ศูนย์เยาวชนเทศบาลตำบลศรีราชา อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี	59.8 - 70.2	62.0 - 75.6	58.8 - 68.4	57.9 - 70.3	57.6 - 66.1
	● ที่ว่าการอำเภอเมือง จ. สุราษฎร์ธานี	55.2 - 69.0	54.9 - 65.4	-	-	-
	● ศูนย์บริการสาธารณสุข อ. เมือง จ. ภูเก็ต	63.3 - 66.1	61.1 - 74.8	59.7 - 79.5	60.5 - 79.0	57.2 - 85.9
	● เทศบาลนครหาดใหญ่ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา	64.5 - 86.8	65.2 - 76.1	54.0 - 90.5	63.4 - 85.2	58.4 - 88.9

2.1.3 สถานประกอบการ

จากการศึกษาพบว่าระดับเสียงในสถานประกอบการขึ้นอยู่กับ ประเภทโรงงาน และเครื่องจักรที่ใช้ จึงมีระดับเสียงที่แตกต่างกันไป ดังนี้ (พวงแก้ว กิจกรรม และคณะ, 2538)

โรงงานซ่อมสร้างรถยนต์

- เคาะตัวถังรถยนต์ 95.6-100.0 dBA
- ทดสอบเครื่องยนต์ 83.0-97.0 dBA
- เครื่องตัดโลหะ 95.8-96.7 dBA
- เครื่องเจียรโลหะ 87.0-98.0 dBA
- เครื่องเชื่อมโลหะ 76.5-80.0 dBA

โรงงานทอผ้า

- แพนกทอผ้า 94.0 dBA
- แพนกกรอผ้า 91.0 dBA
- แพนก Reaching 98.0 dBA

โรงงานทำโลหะเป็นภาชนะ

- แพนกขึ้นรูปโลหะ 90.0-110.0 dBA

โรงงานผลิตอุปกรณ์วงจรไฟฟ้า

85.9 dBA

2.2 ผลกระทบจากมลภาวะทางเสียง

จากผลการศึกษาพบว่า การพักอาศัย หรือทำงานอยู่ในพื้นที่ใกล้แหล่งกำเนิดเสียงเป็นเวลานานย่อมส่งผลเสียต่อสุขภาพ โดยระดับความรุนแรงขึ้นอยู่กับสภาพลักษณะของเสียงและระดับความดังของเสียงที่บุคคลสัมผัส ประกอบกับระยะเวลาในการสัมผัสเสียงนั้น (Cowan J.P., 1994) ซึ่งอันตรายของเสียงแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

2.2.1 อันตรายของเสียงต่อระบบการได้ยิน

ส่วนใหญ่เป็นอันตรายที่เกิดขึ้นกับหูชั้นในที่อวัยวะรับเสียง ซึ่งเป็นอวัยวะที่ละเอียดอ่อนและเปราะบางมาก โดยจะมีการเคลื่อนไหวสั้นสะเทือนอยู่ตลอดเวลาที่ได้ยินเสียง ยิ่งดังมากก็ยิ่งทำให้เกิดการสั้นสะเทือนของอวัยวะรับเสียงมากขึ้น อันเป็นเหตุให้เกิดการฉีกขาดของเนื้อเยื่อ หรือเกิดการทำลายเซลล์ประสาท ทำให้เกิดอาการหูตึง หรือหูหนวกได้ (เกษมจันทร์แก้ว, 2541) โดยการสูญเสียการได้ยิน แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะที่ปรากฏในประเทศไทย ได้แก่

1. การสูญเสียการได้ยินแบบชั่วคราว (Temporary Hearing Loss) เกิดขึ้นเมื่อหูได้รับเสียงดังสม่ำเสมอและต่อเนื่องกัน ที่มีระดับความเข้มข้นสูงถึงระดับอันตราย 100 dBA (หรือ

สูงกว่า) ความถี่ของเสียงที่พบมาก่อนให้เกิดการสูญเสียการได้ยินชั่วคราวเป็นส่วนใหญ่ คือ ที่ความถี่ 4,000 Hz และ 6,000 Hz นอกจากนี้ระยะเวลาในการรับเสียงจะต้องนานพอควร โดยอาการหูตึงหรือหูอื้อชั่วคราวอาจกลับคืนเป็นปกติได้ หลังจากพัก 2-3 ชั่วโมง หรือในภายหลังจากได้ออกจากบริเวณที่มีเสียงดัง (เกษม จันทรแก้ว, 2541)

2. การสูญเสียการได้ยินแบบถาวร (Permanent Hearing Loss) เกิดขึ้นเมื่อหูได้รับเสียงที่มีความเข้มสูงมากเป็นประจำ และเป็นระยะเวลานานหลายปี ๆ โดยการสูญเสียการได้ยินแบบถาวรนี้ไม่มีโอกาสกลับคืนสู่สภาพการได้ยินเป็นปกติได้ และไม่มีทางรักษาให้หายได้เลย ช่วงความถี่ที่ทำให้เกิดการสูญเสียการได้ยินแบบถาวรอยู่ระหว่าง 3,000-6,000 Hz และส่วนใหญ่จะพบที่ความถี่ 4,000 Hz ที่ระดับความเข้ม 65 dBA หรือสูงกว่า (เกษม จันทรแก้ว, 2541)

2.2.2 อันตรายของเสียงต่อสุขภาพทั่วไป และ ผลกระทบทางด้านอื่น ๆ

กล่าวคือ อาจทำให้เกิดอาการความดันโลหิตสูง โรคกระเพาะอาหาร เกิดแผลในกระเพาะอาหาร โรคหัวใจ ความเครียดสูง เป็นต้น (ประธาน อารีพล, 2541) ในขณะเดียวกันอาจก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านอื่น ๆ อาทิเช่น รบกวนการนอนหลับพักผ่อน สร้างความรำคาญ (Annoyance) รบกวนการทำงาน และทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานลดลง รบกวนการติดต่อสื่อสาร และอื่น ๆ (Harmelink, M.D., 1970) ดังมีรายงานผลการศึกษาถึงผลกระทบของมลภาวะทางเสียง (Noise Pollution) ในกรณีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. การศึกษาสุขภาพคนงานในโรงงานซึ่งมีความถี่เสียงในช่วง 250-4,000 Hz ระดับ 82-89 dBA และคนงานในโรงงานที่มีระดับเสียง 92-99 dBA พบว่ามีความผิดปกติในการทำงานของระบบประสาท กล่าวคือ ทำให้เกิดการอ่อนเพลีย กินอาหารไม่ได้ ไม่ค่อยรู้สึกตัว โดยกลุ่มแรกมีจำนวน 29.4% และกลุ่มหลังมีจำนวน 43% (Welch, B.L, 1970) โดยมีรายงานผลของเสียงรบกวนต่อการทำงานที่ระบุว่า เสียงที่มีระดับตั้งแต่ 90 dBA ขึ้นไปจะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน โดยระดับเสียงที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจะรบกวนการทำงานตามลักษณะของการเปลี่ยนแปลง โดยจะไม่ทำความเร็วในการทำงานลดลงแต่จะทำให้ขาดความถูกต้องแม่นยำ ในขณะที่การอ่านหนังสือจะอ่านจำนวนหน้าได้มากขึ้นแต่ความเข้าใจ และการจับใจความจะน้อยลง

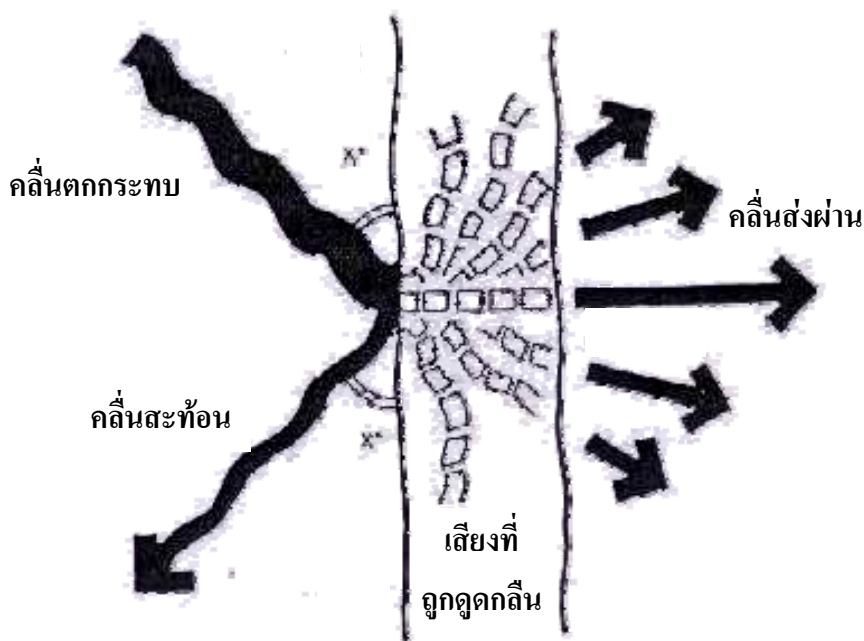
2. การศึกษาระดับเสียงรบกวนจากการจราจรที่ก่อให้เกิดความรำคาญในเขตพื้นที่พาณิชย์กรรม และที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเสียงจากการจราจรกับการตอบสนองของประชาชนในชุมชน เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดมาตรฐานเสียงรบกวนที่เกิดจากการจราจรในย่านพาณิชย์กรรม และที่อยู่อาศัยความหนาแน่นมากในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ โดยการเก็บข้อมูลใช้เครื่องตรวจวัดเสียง (Sound Level Meter) วัดระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 15 ชั่วโมง และระดับเสียง percentile ที่ 10 (L_{10})

รวม 6 จุด โดยแต่ละจุดจะวัดทั้งวันธรรมดา และวันหยุดราชการ ในช่วงระยะเวลา 07.00-22.00 น. และขณะวัดเสียงในชุมชนจะสัมภาษณ์ประชาชนที่อาศัยอยู่รอบพื้นที่ศึกษาจำนวน 246 คน เกี่ยวกับลักษณะประชากร บ้านพักอาศัย ความไวต่อเสียง โรคประจำตัว โรคทางหู ผลกระทบด้านความรำคาญจากเสียง และสุขภาพจิต ผลการศึกษาพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความรำคาญกับระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 15 ชั่วโมง เป็นแบบแปรผันตรงด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.8292 และจากการวิเคราะห์ด้วยสถิติพหุคูณพบปัจจัยเพิ่มความรำคาญ ได้แก่ การประกอบอาชีพลูกจ้าง หรือนักเรียนนักศึกษา แหล่งเสียงภายนอกบ้าน ความคิดเห็นว่าเสียงเป็นมลภาวะระดับมาก และมากที่สุด ได้แก่ เสียงจราจรที่รบกวนการทำงานและการนอนหลับ ส่วนปัจจัยลดความรำคาญ ได้แก่ ลักษณะที่พักอาศัยแบบตึกแถว แต่ปัจจัยอื่น ๆ ไม่มีผล เมื่อนำความน่าจะเป็นที่ได้จากสมการปรับปรุงเพื่อลดอิทธิพลตัวแปรกวนต่าง ๆ มาทำการหาค่าความสัมพันธ์กับระดับความรำคาญ โดยใช้แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายพบว่า ระดับเสียงที่ทำให้คนร้อยละ 20 เกิดความรู้สึกรำคาญมีค่า 68.2 dBA (ศรีบุญญา ชูพูล, 2547)

3. การศึกษาระดับมลภาวะทางเสียงจากการจราจร (Traffic Noise Pollution) พบว่าระดับมลภาวะทางเสียงจากการจราจรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 3 ประการ ได้แก่ ปริมาณจราจร ความเร็วรถ และจำนวนรถบรรทุก โดยปกติระดับเสียงจากการจราจรจะเพิ่มขึ้นในกรณีที่มีจำนวนรถมากขึ้น ความเร็วเพิ่มขึ้น และจำนวนรถบรรทุกมากขึ้น โดยมีระดับความสัมพันธ์กล่าวคือ เมื่อเสียงที่เกิดจากการจราจร 2,000 คัน จะสูงกว่าเสียงจากการจราจร 200 คัน เป็น 2 เท่า เสียงที่เกิดจากความเร็วรถ 65 ไมล์/ชั่วโมง จะสูงกว่าเสียงจากความเร็ว 30 ไมล์/ชั่วโมง เป็น 2 เท่า เสียงที่เกิดจากรถบรรทุก 1 คัน ที่ความเร็ว 55 ไมล์/ชั่วโมง จะมีระดับเสียงเท่ากับ เสียงที่เกิดจากรถนั่งส่วนบุคคล 28 คัน ที่ความเร็ว 55 ไมล์/ชั่วโมง โดยเสียงที่เกิดขึ้นเป็นเสียงที่เกิดจาก เครื่องยนต์ ท่อไอเสีย และแรงเสียดสีของยางรถยนต์กับพื้นถนนซึ่งระดับเสียงอาจสูงขึ้นหากมีความผิดปกติเกิดขึ้นกับท่อเก็บเสียง และชิ้นส่วนต่างๆของรถยนต์ ในขณะที่เดียวกันพบว่าผู้ที่อยู่ห่างจากถนนสายหลักเป็นระยะทางไม่น้อยกว่า 500 ฟุต และถนนสายรองไม่น้อยกว่า 100 ถึง 200 ฟุต จะไม่ได้รับผลกระทบจากเสียงที่เกิดจากการจราจร (Federal Highway Administration, www, 2007)

ด้วยอันตรายจากมลภาวะทางเสียงดังกล่าว จึงได้มีการนำกำแพงกันเสียงเข้ามาใช้ในการแก้ปัญหา โดยกำแพงกันเสียงที่ใช้ในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ชนิดกระจายเสียง (Dispersive Type) เป็นแผ่นที่บดเสียงที่มีการสะท้อนเสียงแบบแพร่กระจายตามทิศทางมุมของกำแพงที่ออกแบบไว้ ชนิดสะท้อนเสียง (Reflective Type) เป็นแผ่นที่บดเสียงซึ่งจะมีการสะท้อนของเสียงในทิศทางตรงกันข้ามกับแผ่นกันเสียง และชนิดดูดซับเสียง (Absorptive Type) ซึ่ง

เป็นชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากเป็นแผ่นทึบเสียงที่ประกอบด้วยวัสดุดูดซับเสียงซึ่งมีอัตราการสะท้อนเสียงต่ำ ทำให้บริเวณที่อยู่ตรงข้ามไม่ได้รับผลกระทบจากเสียงดัง (Lewis, H.B., and Douglas, H.B., 1994) ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการทดลองนำวัสดุต่าง ๆ มาใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียง โดยสาเหตุที่วัสดุสามารถดูดซับเสียงได้เนื่องจากเมื่อเสียงตกกระทบวัตถุใด ๆ ก็ตาม เสียงส่วนหนึ่งจะเกิดการสะท้อน อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน และส่งผ่านเข้าไปในวัตถุทำให้พลังงานลดลง เนื่องจากถูกเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ และลักษณะของวัตถุอันนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ทวิสุข พันธุ์เพ็ง, 2529)



รูปที่ 2.1 ปราบการณั้สะท้อน ดูดกลืน และส่งผ่านเสียงของวัตถุ (Webb, J.D., 1976)

2.3 ปราบการณั้ธรรมชาติของคลื่นเสียงที่มีผลต่อการลดระดับความดังของเสียง

2.3.1 การสะท้อนของเสียง (Reflection of Sound)

เมื่อคลื่นเสียงแผ่กระจายจากแหล่งกำเนิดมากระทบกับสิ่งกีดขวาง หรือบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติอย่างรวดเร็วของตัวกลาง จะทำให้เกิดปรากฏการณั้ ที่เรียกว่า การสะท้อน ขึ้นที่ผิวของตัวกลางหรือสิ่งกีดขวางที่คลื่นเสียงตกกระทบ เหมือนลูกบอลที่ตกกระทบกำแพงแล้วสะท้อนกลับออกมา (Merken, M., 1989) นอกจากกรณีที่ว่าวัสดุซึ่งเสียงตกกระทบเป็นวัสดุดูดซับเสียงตามที่ได้ผลิตมาให้เหมาะกับงานหนึ่ง ๆ โดยเฉพาะจึงมีการสะท้อนเสียงได้น้อย แม้ว่าผู้สังเกตต้องการรับเสียงตรงแต่ก็อาจมีเสียงสะท้อนออกมาบ้าง สำหรับชีวิตประจำวันนั้น ถ้า

เสียงสะท้อนเคลื่อนที่กลับมาถึงผู้สังเกตโดยมีช่วงเวลาห่างจากเสียงตรงน้อยกว่า 0.1 วินาที ผู้สังเกตจะได้ยินเสียงตรง และเสียงสะท้อนรวมกันเป็นเสียงเดียว แต่ถ้าเสียงสะท้อนเคลื่อนที่กลับมาถึงผู้สังเกตใช้เวลามากกว่า 0.1 วินาที ผู้สังเกตจะได้ยินเสียงสะท้อนแยกกับเสียงตรงในลักษณะที่ซ้ำกัน ซึ่งเรียกว่า เสียงก้อง (สมพงษ์ ใจดี, 2523)

2.3.2 การหักเหของเสียง (Deflection of Sound)

เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดผ่านไปยังบริเวณรอยต่อของตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็ว และทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียง ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การหักเห (Merken, M., 1989) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาอากาศที่ระดับต่าง ๆ ที่มีความแตกต่างกันในเรื่อง อุณหภูมิ ความชื้น ความหนาแน่น อันเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของเสียงทำให้แนวทางการเคลื่อนที่ และรูปร่างของคลื่นเสียงเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลต่อการได้ยินคือ ในเวลากลางคืน จะได้ยินเสียงได้ไกลกว่าเวลากลางวัน ทั้งนี้เนื่องจากในเวลากลางวันอากาศที่บริเวณใกล้พื้นดินร้อนกว่าอากาศระดับสูงขึ้นไป เมื่อตกกลางคืนพื้นโลกเกิดการคลายความร้อน ทำให้อากาศบริเวณใกล้พื้นดินเย็นกว่าอากาศในระดับสูง จากเหตุผลดังกล่าว ดังนั้นในเวลากลางวันคลื่นเสียงจึงหักเหขึ้นไปเหนือพื้นดิน เนื่องจากที่ระดับความสูงใกล้พื้นดินเสียงเดินทางได้เร็วในเวลากลางคืน ในทางตรงกันข้ามเวลากลางคืนเดินทางโค้งลงสู่พื้นดิน (ราพิง มังคละสวัสดิ์, 2530)

2.3.3 การแทรกสอดของเสียง (Interference of Sound)

เมื่อคลื่นเสียงตั้งแต่ 2 แหล่งกำเนิดขึ้นไปเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งเดียวกันคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะรวมกันเป็นคลื่นเสียงเดียว ซึ่งเรียกว่า การแทรกสอด (Merken, M., 1989) ซึ่งเป็นไปตามหลัก การรวมกันได้ของคลื่น ทั้งนี้ถ้าคลื่นเสียงตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไปที่มีความถี่แตกต่างกันเล็กน้อยมาแทรกสอดกัน ในบางครั้งคลื่นเสียงเหล่านี้จะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกัน (Constructive Interference) ทำให้เกิดการสั่นตัวของตัวกลางมากขึ้นจึงได้ยินเสียงดังมากกว่าปกติ และในบางครั้งคลื่นเสียงเหล่านี้จะแทรกสอดกันแบบหักล้าง (Destructive Interference) ทำให้การสั่นตัวของตัวกลางน้อยลง จึงได้ยินเสียงค่อยจนบางครั้งไม่ได้ยินเลย ดังนั้นเมื่อเกิดการแทรกสอดจึงทำให้ได้ยินเสียงดัง และค่อยเป็นจังหวะและเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า บีตส์ (Giancoli, D.C., 1980) โดยแอมพลิจูดของคลื่นจะสูงสุดเมื่อเกิดเสียงดัง และต่ำสุดเมื่อเกิดเสียงค่อย

2.3.4 การเลี้ยวเบนของเสียง (Diffraction of Sound)

การเลี้ยวเบนของเสียงเกิดจากการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียง เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่มากระทบสิ่งกีดขวาง เช่น กรณีการเลี้ยวเบนของเสียงที่มุมตึก ทำให้สามารถได้ยินเสียงของคนที่อยู่กันอยู่อีกด้านหนึ่งของตึกโดยไม่ต้องเห็นตัวคนพูด เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงทิศทางโดยการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียงนี้แตกต่างจากการสะท้อนและการหักเหของเสียงเนื่องจาก

ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นในตัวกลางเดียวกันจากผลการเลี้ยวเบนของเสียงนี้ทำให้ไม่สามารถสร้างมุมหรือบริเวณที่อับเสียงได้อย่างสมบูรณ์ เพราะกำแพงกั้นเสียงหรืออุปสรรคที่เป็นสิ่งกีดขวางใด ๆ ถ้าหากมีช่องเปิดหรือขอบเปิดไปสู่อีกด้านหนึ่งจะทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของเสียงขึ้นบริเวณช่องเปิดหรือขอบเขตเปิดนั้น ๆ ได้เช่นกัน (Merken, M., 1989)

2.3.5 ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler Effect)

หากแหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกตมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ต่อกันในตัวกลางที่อยู่นิ่ง ความถี่ของเสียงที่ปรากฏต่อผู้สังเกตจะแตกต่างกันไปจากความถี่ของคลื่นเสียงที่ส่งออกมา ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Giancoli, D.C., 1980) เช่น การได้ยินเสียงแตรรถหรือเสียงหวูดรถไฟ ขณะวิ่งผ่านผู้สังเกตจะทำให้ได้ยินเสียงสูงหรือต่ำผิดไปจากปกติ หรืออาจกล่าวได้ว่า ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ คือ ปรากฏการณ์ที่ระดับความถี่ของเสียงเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียง และผู้สังเกต โดยถ้าทั้งแหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหากันระดับเสียงที่ผู้สังเกตได้รับจะสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าหากทั้งคู่เคลื่อนที่ออกจากกันระดับเสียงที่ผู้สังเกตได้รับจะลดต่ำลง

2.3.6 เสียงกลบ (Masking Noise)

ในชีวิตประจำวันมีบางขณะที่เรากำลังสนทนาอยู่จะเกิดมีเสียงจากสภาพแวดล้อมที่มีระดับเสียงดังกว่าเสียงที่กำลังสนทนาจนไม่สามารถติดต่อสื่อสารเป็นที่เข้าใจได้ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์เสียงกลบ (Irwin, J.D., and Graf, E.R., 1979) ขณะที่ฟังเสียงหนึ่งอยู่แล้วมีอีกเสียงหนึ่งค่อย ๆ มีความเข้มข้น หรือระดับความดังมากขึ้น พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ จะไม่ได้ยินเสียงแรก แต่จะได้ยินเสียงที่สองแทน เหตุการณ์นี้เรียกว่า เสียงที่มีความเข้มข้นหรือความดังมากกว่าได้กลบเสียงแรก และจากการทดลองพบว่าเสียงที่มีความถี่ต่ำและมีความเข้มพอสมควร จะกลบเสียงสูงได้ง่ายกว่า (ราพิง มังคละสวัสดิ์, 2530)

2.3.7 ปรากฏการณ์กำทอน (Resonance)

การกำทอน หมายถึง ปรากฏการณ์ที่วัตถุหรือสิ่งใดสิ่งหนึ่งเกิดการสั่นตัว เมื่อได้รับการกระตุ้น โดยคลื่นที่มีความถี่เดียวกับความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของวัตถุหรือสิ่งของนั้น ๆ (พิเชษฐ จันทรวพงศ์, 2522) ทั้งนี้ถ้าคลื่นความถี่ทั้งสองตรงกันจะทำให้เกิดการสั่นตัวอย่างรุนแรงของวัตถุนั้น กล่าวคือ แอมพลิจูดของการสั่นตัวจะกว้างขึ้น และทำให้เกิดเสียงดังขึ้น

2.3.8 การส่งผ่านเสียง (Sound Transmission)

เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบวัตถุกั้นเสียงวัตถุนั้นจะเกิดการสั่นตัว เช่น กำแพงหรือผนัง ซึ่งการสั่นตัวในลักษณะนี้เป็นสาเหตุให้อากาศที่อยู่ใกล้เคียงวัตถุดังกล่าวทั้งสองด้าน เกิดการสั่นตัวตามไปด้วยส่งผลให้วัตถุที่คลื่นเสียงตกกระทบประพุดตัวเหมือนแหล่งกำเนิดเสียงอันใหม่

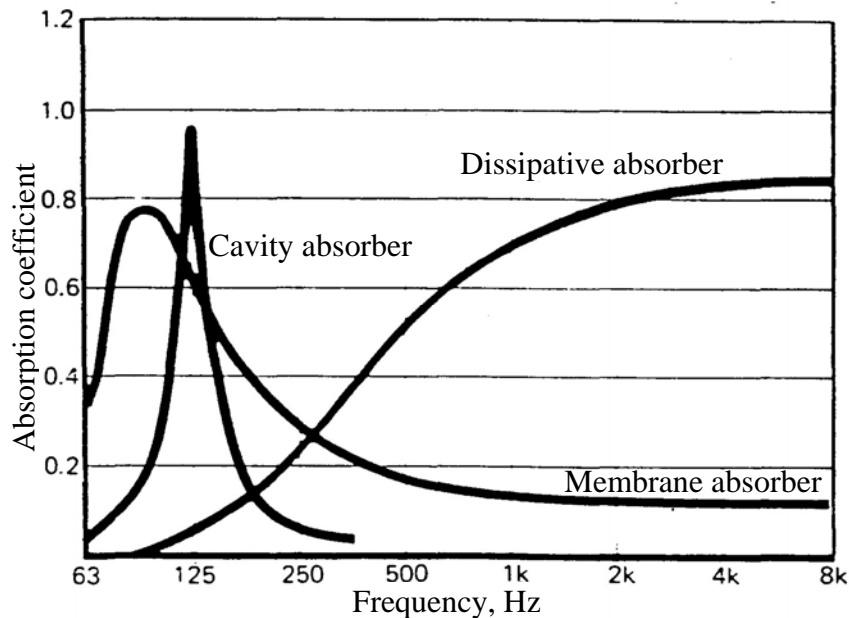
ซึ่งสนามเสียงใหม่อันเกิดจากวัสดุนี้ จะมีพลังงานน้อยกว่าเสียงแรก ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้ในการทำให้วัสดุนั้นเกิดการสั่นตัวโดยสมบัติของวัสดุกันเสียงนั้น สามารถแบ่งออกได้ด้วย ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss, TL) ซึ่งค่านี้เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุแต่ละชนิด (Thumann, A., and Miller, R.M., 1986)

2.3.9 การดูดซับเสียง (Sound Absorption)

การดูดซับเสียง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงผลรวมของพลังงานเสียงที่ลดน้อยลงเมื่อผ่านตัวกลางใด ๆ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า การดูดซับเสียง คือ ความสามารถของวัสดุในการดูดกลืนพลังงานเสียงและเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน (Olivo, C.T., and Olivo, T.P., 1978) โดยวัสดุที่สามารถดูดซับเสียงได้ดีจะเป็นวัสดุจำพวกเส้นใย (Fibrous) และวัสดุพรุน (Porous) เมื่อเสียงกระทบวัสดุใด ๆ เสียงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและส่งผ่านเข้าไปในวัสดุนั้นทั้งนี้จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและคุณลักษณะของวัสดุนั้นเป็นสำคัญ (ทวิสุข พันธุ์เพ็ง, 2529) คณิตที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงของวัสดุแต่ละชนิด คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficients, α) คลื่นเสียงที่ผ่านเข้าไปในวัสดุที่เสียงนั้นตกกระทบจะมีพลังงานลดลง เนื่องจากพลังงานส่วนหนึ่งถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปแบบอื่น อาทิเช่น พลังงานความร้อน โดยองค์ประกอบที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุ ได้แก่ ความหนา ความหนาแน่น ความพรุน ความต้านทานการไหล ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (Coefficient of Elasticity) และค่าความต้านทานเสียง (David, A.H., 1991) โดยสามารถจำแนกประเภทของวัสดุดูดซับเสียงออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. วัสดุดูดซับเสียงประเภทเมมเบรน (Membrane Absorber) อาทิเช่น กระจาช ยิปซัมบอร์ด ไม้อัด เป็นต้น โดยวัสดุเหล่านี้จะเกิดการสั่นตัวด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของเสียงที่ตกกระทบและเนื่องจากวัสดุเหล่านี้ไม่สามารถยืดหยุ่นได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปเนื่องจากการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นเสียงไปเป็นพลังงานความร้อนให้แก่วัสดุนั้น ๆ ซึ่งวัสดุนี้นี้จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงได้ดีที่ความถี่ต่ำ (David, A.H., 1991) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 หรืออาจกล่าวได้ว่าที่ความถี่ต่ำพลังงานเสียงจะทำให้เมมเบรนเคลื่อนที่ได้ดีกว่าที่ความถี่สูง ในขณะที่คลื่นความถี่สูงมักสะท้อนออกจากเมมเบรนทำให้มีการสูญเสียพลังงานให้กับเมมเบรนน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตาม หากนำวัสดุเมมเบรนมาใช้ร่วมกับวัสดุพรุน ก็จะทำให้สามารถดูดกลืนคลื่นเสียงที่มีความถี่กว้างได้ดีมากขึ้น นอกจากนี้ ค่าความสามารถในการดูดซับเสียงสูงสุดของเมมเบรนยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นเสียง ไปเป็นพลังงานความร้อนของวัสดุอีกด้วย กล่าวคือ ถ้าความสามารถในการถ่ายเทพลังงานความร้อนของวัสดุมีค่าสูง

จะทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับเสียงสูงสุดของเมมเบรนลดลงแต่จะครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างมากขึ้น (Walker, M.B., 1995)

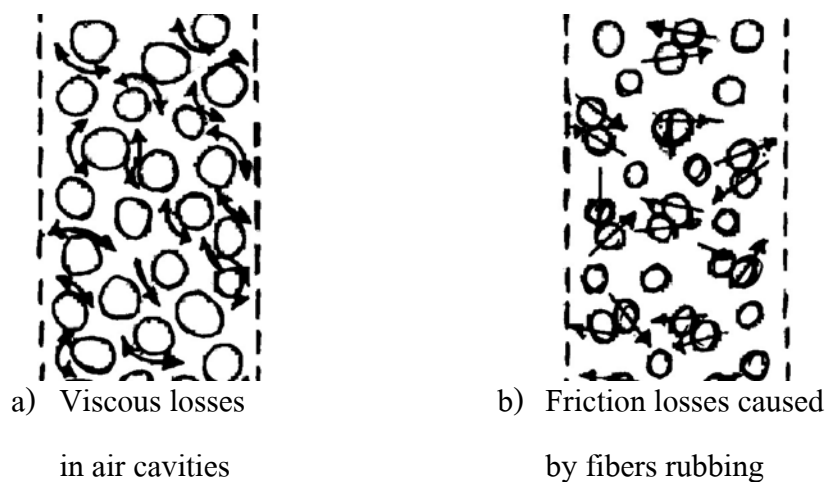


รูปที่ 2.2 การดูดซับเสียงของวัสดุที่มีกลไกการดูดซับเสียงแบบต่าง ๆ
(Sound Research Laboratories Ltd., 1991)

2. วัสดุดูดซับเสียงประเภทโพรง/ช่อง (Resonator of Cavity Absorber) เป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นช่อง/โพรงที่ขนาดแตกต่างกันในผนัง หรือ โครงสร้างของวัสดุ ซึ่งแต่ละช่องเรียกว่า “Soundbox” โดยถ้าโพรงอากาศมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับความยาวของคลื่นเสียงที่ตกกระทบบนช่องเปิดเรโซเนเตอร์ (Resonator) ก็จะปรับให้มีความจำเพาะกับความถี่นั้นทำให้การสั่นตัวของปริมาณอากาศในโพรงอากาศเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่เข้าออกของอากาศผ่านรูเปิดของโพรงอากาศ โดยวัสดุประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 1,000 Hz โดยจะสามารถดูดซับเสียงได้สูงสุดในช่วงความถี่ 100-300 Hz และประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น (Doelle, L.L., and Arch, M., 1972) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 แต่หากมีการผสมวัสดุดูดซับเสียงชนิดอื่น เช่น ใยแก้วหรือใยหินลงไปในช่องว่างภายใน Soundbox จะทำให้ความสามารถในการดูดซับเสียงมีช่วงความถี่ที่กว้างขึ้น (Yerges, L.F., 1969)

3. วัสดุดูดซับเสียงประเภทรูพรุน (Porous or Dissipative Absorber) โดยวัสดุเหล่านี้จะมีช่องว่างภายในซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ซึ่งต่ำกว่าขนาดความยาว

ของคลื่นเสียงมาก ดังนั้นวัสดุชนิดนี้จึงเป็นตัวกลางทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานได้เป็นอย่างดีโดยกลไกการเปลี่ยนแปลงพลังงานของวัสดุพอร์น คือ เมื่อเสียงตกกระทบบนวัสดุเหล่านี้โมเลกุลของอากาศจะเกิดการสั่นตัวภายในช่องว่างของวัสดุพอร์น โดยมีความถี่ของการสั่นเท่ากับความถี่ของเสียงที่ตกกระทบ ซึ่งการสั่นตัวของโมเลกุลของอากาศนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเสียงเนื่องจากการเสียดทานและความหนืด (Frictional and Viscous Loss) โดยมีการสูญเสียพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงกลไกการสลายพลังงานเสียงเนื่องจากความหนืด (a) และแรงเสียดทาน (b) (Malcolm, J.C., and Frederick M.K., 1982)

นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ รวมทั้งการอัดและการขยายของคลื่นเสียงในระหว่างการเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างภายในวัสดุพอร์น เป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง ปรากฏการณ์ทั้ง 2 ชนิดนี้ จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเป็นจำนวนมากเมื่อเสียงที่ตกกระทบมีความถี่สูง ในขณะที่คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำ จะมีการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อน เนื่องจากอากาศภายในช่องว่างของวัสดุพอร์นจะถูกอัดและขยายอย่างเป็นจังหวะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานความร้อน คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำจะทำให้ระยะเวลาในการสั่นตัวของโมเลกุลอากาศในแต่ละครั้งยาวนานขึ้น ประกอบกับคุณสมบัติของวัสดุพอร์น ซึ่งมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมากและความสามารถในการนำความร้อนของเส้นใยค่อนข้างสูง จึงทำให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญของวัสดุพอร์นเมื่อคลื่นเสียงมีความถี่ต่ำ (Beranek, L.L., and Ver, I.L., 1992)

2.4 ดัชนีระบุสมรรถนะในการลดระดับเสียง

จากแนวความคิดต่าง ๆ เกี่ยวกับการดูดซับและส่งผ่านคลื่นเสียงของวัสดุ สามารถนำมาประยุกต์เพื่อควบคุมระดับความดังของเสียง โดยพบว่าหากต้องการลดระดับความรุนแรงของปัญหามลพิษทางเสียงในบริเวณใด สามารถทำได้โดยการนำวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงได้ดี หรือ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการส่งผ่านเสียงได้ไม่ดี อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้ง 2 อย่างมาติดตั้งเพื่อทำเป็นวัสดุควบคุมเสียง โดยดัชนีที่ใช้เพื่อการบ่งบอกถึงสมรรถนะในการลดระดับความดังเสียง ประกอบด้วย

2.4.1 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient, α)

ความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุสามารถอธิบายได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงซึ่งขึ้นกับพลังงานเสียงที่ตกกระทบและถูกดูดกลืนของวัสดุนั้น ๆ (John, G. W., 1998) ทั้งนี้ Reynolds., 1981 กล่าวว่าเมื่อคลื่นเสียงตกกระทบผิวของวัสดุดูดซับเสียงจะมีพลังงานส่วนหนึ่งสะท้อนออกไปและอีกส่วนหนึ่งถูกดูดกลืนที่ผิวหน้าของวัสดุนั้น โดยพลังงานเสียงที่ถูกดูดกลืนที่ผิวหน้าของวัสดุนั้น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงานไปเป็นพลังงานรูปแบบอื่น อาทิเช่น พลังงานความร้อน โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient, α) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 (ASTM C384, 1998)

$$\alpha = 1 - |T|^2 \quad (2.1)$$

เมื่อ

α คือ สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient)

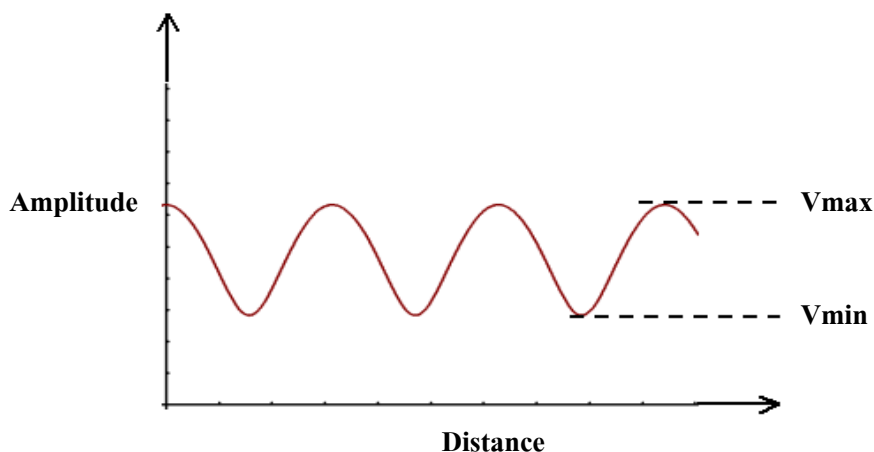
T คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียง (Reflection Coefficient)

โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียง (Reflection Coefficient) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$|T| = \frac{[SWR - 1]}{[SWR + 1]} \quad (2.2)$$

เมื่อ

SWR คือ Standing Wave Ratio ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าการอัดสูงสุดและการขยายสูงสุดของเสียงภายในหลอดอิมพีแดนซ์ V_{max}/V_{min} ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามหลักการ การแทรกสอดของเสียง



รูปที่ 2.4 Standing Wave Ratio (V_{max}/V_{min}) ที่เกิดขึ้นภายในหลอดอิมพีแดนซ์

2.4.2 สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC)

ค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุต่างชนิดกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.3 โดยค่า NRC คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในช่วงความถี่ 250, 500, 1000 และ 2000 Hz สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

$$NRC = \frac{(\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000})}{4} \quad (2.3)$$

เมื่อ

NRC คือ สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง

α คือ สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในช่วงความถี่

250, 500, 1000, และ 2000 Hz

ตารางที่ 2.3 จำแนกชนิดของวัสดุป้องกันเสียง จากค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง

(Noise Reduction Coefficient, NRC) (Cowan, J.P., 1994)

ประสิทธิภาพการดูดซับเสียง	NRC	วัสดุชนิดต่าง ๆ
มีประสิทธิภาพการดูดซับเสียงสูง	1.0	
	0.9	● วัสดุที่ได้รับการออกแบบพิเศษ
	0.8	
	0.7	
	0.6	● ฝ้าเพดานที่มีความพรุนสูง
		● นวมหุ้มเก้าอี้ในห้องประชุม
	0.5	● ม่านหนา
		● กระจก
		● เบาะหุ้มเก้าอี้
		0.4
มีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงปานกลาง		● พื้นดินที่เรียบ
	0.3	● ผู้ฟังที่นั่งเก้าอี้ไม้หรือโลหะ
		● พรหมนอนบนพื้นคอนกรีต
	0.2	
สะท้อนเสียง		● เก้าอี้ไม้หรือเหล็กที่ไม่มีคนนั่ง
		● พรหมที่มีน้ำหนักเบา
	0.1	● ต้นไม้
		● ม่านบาง
		● หน้าต่างกระจก ขอบหน้าต่างไม้
	0	● ปูนปลาสเตอร์ แผ่นยิปซัมบอร์ด
		● คอนกรีตฉาบเรียบ อิฐเคลือบสี
		● หินอ่อน
	● กระจ่างแก้ว ผิวน้ำ	

2.4.3 ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss, TL)

ในการควบคุมคลื่นเสียง สามารถทำได้โดยนำกำแพงมากขึ้นแหล่งกำเนิดเสียงออกจากบริเวณที่ต้องการความสงบ โดยการลดระดับความดังของเสียงสามารถอธิบายได้ด้วย ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.4 (ASTM E90, 1998)

$$TL = L_1 - L_2 \quad (2.4)$$

เมื่อ

TL คือ ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน, dBA

L_1 คือ ค่าเฉลี่ยระดับความดังของเสียงในส่วนกำเนิดเสียง, dBA

L_2 คือ ค่าเฉลี่ยระดับความดังของเสียงในส่วนรับเสียง, dBA

2.5 คุณลักษณะของวัสดุป้องกันเสียงในปัจจุบัน

2.5.1 คอนกรีต

คอนกรีต เป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในวงการก่อสร้าง โดยมีองค์ประกอบพื้นฐานประกอบด้วย ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ส่วนผสมหยาบและละเอียด น้ำ และสารผสมเพิ่มอื่น ๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติซึ่งในปัจจุบันมีการใช้งานในรูปแบบของกำแพงกันเสียงอย่างแพร่หลายในแถบอเมริกาเหนือ โดยมีความหนา 12 mm ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กำแพงป้องกันเสียงรบกวน ประเภท คอนกรีต และ Brick Block ตามลำดับ

2.5.2 อิฐ และวัสดุผสมคอนกรีต (Brick and Masonry Block)

อิฐ (Brick) เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด ได้แก่ ดินเหนียว และทราย โดยทำการผสมและเผาที่อุณหภูมิสูง เพื่อเพิ่มความแข็งแรง โดยขนาดที่นิยมใช้คือ 70x95x200 mm ดังแสดงในรูปที่ 2.5

วัสดุผสมคอนกรีต (Masonry block) ผลิตโดยมีส่วนผสมของคอนกรีต โดยขนาดที่นิยมใช้ กว้าง 200-300 mm ยาว 200-250 mm และ สูง 355-460 mm ดังแสดงในรูปที่ 2.6

2.5.3 โลหะ

โลหะที่นิยมนำมาใช้เป็นกำแพงป้องกันเสียงรบกวนประกอบด้วย เหล็ก (Steel) ซึ่งเป็นวัสดุโลหะที่มีราคาต่ำที่สุดโดยมีส่วนผสมของ Ironore, Carbon และโลหะอื่น ๆ อลูมิเนียม (Aluminum) คือ Alloy น้ำหนักเบาผลิตจาก Bauxite, Anodized และอื่น ๆ Stainless Steel เป็นโลหะผสมที่มีความแข็งแรง และทนทานต่อการกัดกร่อนสูง มีส่วนประกอบของ Steel, Carbon, Nickel และ Chrome ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กำแพงป้องกันเสียงรบกวน ประเภท Masonry Block และ โลหะผสม

2.5.4 ไม้

ไม้ที่นิยมนำมาใช้เป็นกำแพงกันเสียง คือ ไม้ที่ผ่านกระบวนการ Pressure Preservative Treated ได้แก่ ไม้แผ่น ไม้อัด เป็นต้น โดยพันธุ์ของต้นไม้มีผลต่อศักยภาพในการป้องกันเสียงซึ่งไม้ที่นิยมใช้ในการเป็นกำแพงกันเสียง อาทิเช่น White Fir, Lodgepole Pine, White Spruce และอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.7

2.5.5 วัสดุโปร่งแสง

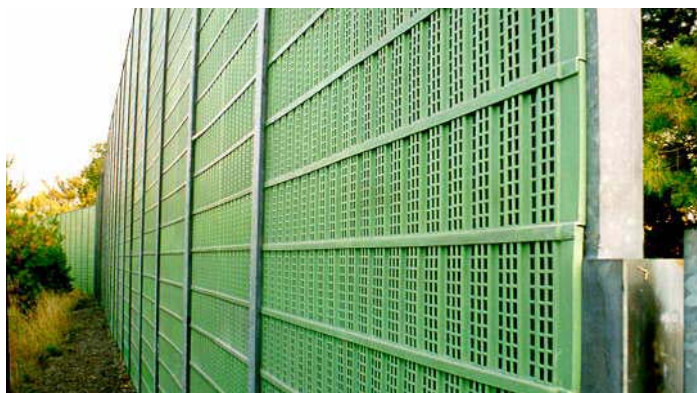
วัสดุโปร่งแสงผลิตจาก กระดาษ และพลาสติกใส ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และมีผลทำให้ในกรณีที่เกิดการแตกของวัสดุโปร่งแสงจะไม่ก่อให้เกิดคมมี ทั้งแบบใส และแบบฝ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กำแพงป้องกันเสียงรบกวน ประเภท ไม้ และ วัสดุโปร่งแสง ตามลำดับ

2.5.6 พลาสติก

พลาสติกที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตกำแพงกันเสียง ประกอบด้วย Polyethylene PVC และ Fiberglass ด้วยเหตุผลที่ พลาสติกขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูป ได้หลายรูปร่าง และสามารถทำการประกอบด้วยมือได้โดยง่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กำแพงป้องกันเสียงรบกวน ประเภท พลาสติก Polyethylene PVC

2.5.7 ยางรถยนต์เก่า (Recycled Rubber)

กำแพงป้องกันเสียงที่ผลิตจากยางรถยนต์เก่า โดยวัสดุที่นำมาใช้มี 2 ลักษณะ คือ อย่างไม่ผ่านมาตรฐานการผลิต และยางที่หมดอายุการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2.9

2.5.8 วัสดุผสม (Composites)

เป็นวัสดุที่ผสมวัสดุหลาย ๆ ชนิดเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้คุณสมบัติในการป้องกันเสียงตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กำแพงป้องกันเสียงรบกวน ประเภท Recycled Rubber และวัสดุผสม

โดยวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรในประเทศไทย สามารถจำแนกออกตามรูปแบบการใช้งานได้ 2 รูปแบบ ได้แก่

1. วัสดุชนิดดูดซับเสียง ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง หรือ Noise Reduction Coefficient, NRC สูงกว่า 0.4 โดยมีความเหมาะสมในการใช้งานในบริเวณพื้นที่ซึ่งมีที่พักอาศัยและอาคารสูง อยู่อย่างหนาแน่น อาทิเช่น พื้นที่กรุงเทพฯ ชั้นในซึ่งเป็นย่านธุรกิจ และที่พักอาศัยในรูปแบบคอนโดมิเนียมเนื่องจากมีค่าการสะท้อนของเสียงต่ำ จึงไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อพื้นที่ในทิศตรงข้ามกำแพงป้องกันเสียง โดยวัสดุชนิดดูดซับเสียงที่นิยมใช้ในประเทศไทยเป็นวัสดุดูดซับเสียงแบบเมมเบรน (Membrane Absorber) ได้แก่ วัสดุซีเมนต์ผสมเส้นใยแก้ว หรือ GRC (Glassfibre Reinforced Concrete) ซึ่งเป็นการนำเส้นใยแก้วมาผสมในซีเมนต์ มีส่วนประกอบ คือ ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และ ใยแก้ว ในอัตราส่วนประมาณ 4.5-5% ต่อน้ำหนักที่ความยาว fiber ประมาณ 34-38 mm มีค่าการลดระดับความดังของเสียง (NRC) 0.85 โดยดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่ต่ำ และสามารถลดเสียงได้ประมาณ 30-35 dBA (Graham, T., 1986) ซึ่งมี

การใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย อาทิเช่น โครงการพระราชดำรินระหว่าง ถนนวิภาวดีรังสิต-ถนนพหลโยธิน โครงการส่วนเพิ่มเติมดอนเมือง-Tollway และ โครงการถนนยกระดับ ถนนรามคำแหง คิดเป็นพื้นที่ 8,225 ตารางเมตร (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2548)

2. วัสดุชนิดกระจายเสียง ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าการลดระดับความดังของเสียง หรือ NRC ต่ำกว่า 0.4 โดยมีความเหมาะสมในการใช้งานในบริเวณพื้นที่พักอาศัย ซึ่งไม่มีอาคารสูง เนื่องจากวัสดุชนิดกระจายเสียงเป็นวัสดุซึ่งมีค่าการสะท้อนเสียงสูงกว่าวัสดุชนิดดูดซับเสียง หรือ อาจกล่าวได้ว่า วัสดุชนิดกระจายเสียง มีกลไกการสะท้อนเป็นกลไกหลักที่ใช้ในการป้องกันเสียง ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมหากจะนำไปใช้ในพื้นที่ยังมีอาคารสูงอยู่อย่างหนาแน่น เนื่องจากอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อเนื่องแก่ผู้พักอาศัยในทิศตรงข้ามกำแพงป้องกันเสียง โดยวัสดุชนิดกระจายเสียงที่นิยมใช้ ได้แก่ วัสดุซีเมนต์บล็อกผสมโฟม และวัสดุ SUPERBLOCK มีค่าการลดระดับความดังของเสียง (NRC) 0.37 และ 0.17 ตามลำดับ โดยมีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านอยู่ในช่วง 22-30 dBA และ 20-28 dBA ตามลำดับ นอกจากนี้ วัสดุซีเมนต์บล็อกผสมโฟมยังได้รับความนิยมในการใช้งานในอาคารที่พักอาศัยเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการป้องกันเสียง และความร้อน

2.6 วัสดุป้องกันเสียงรบกวน จากของเสียอุตสาหกรรม

นอกจากวัสดุดังกล่าวข้างต้นแล้ว จากการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำวัสดุที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันมาใช้ร่วมกันในลักษณะของวัสดุผสม (Composites) เพื่อใช้เป็นวัสดุป้องกันเสียงรบกวน อาทิเช่น เถ้าลอย (Fly Ash) ถ่านหิน เถ้าลอย (Fly Ash) โรงงานน้ำตาล และเศษขนสัตว์หลังผ่านการย่อยทำลายซึ่งเกิดจากอุตสาหกรรมการผลิตต่าง ๆ โดยใช้วัสดุปิโตรเมนเป็นสารเชื่อมประสาน ดังมีรายงานผลการศึกษาดังต่อไปนี้

2.6.1 เถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน

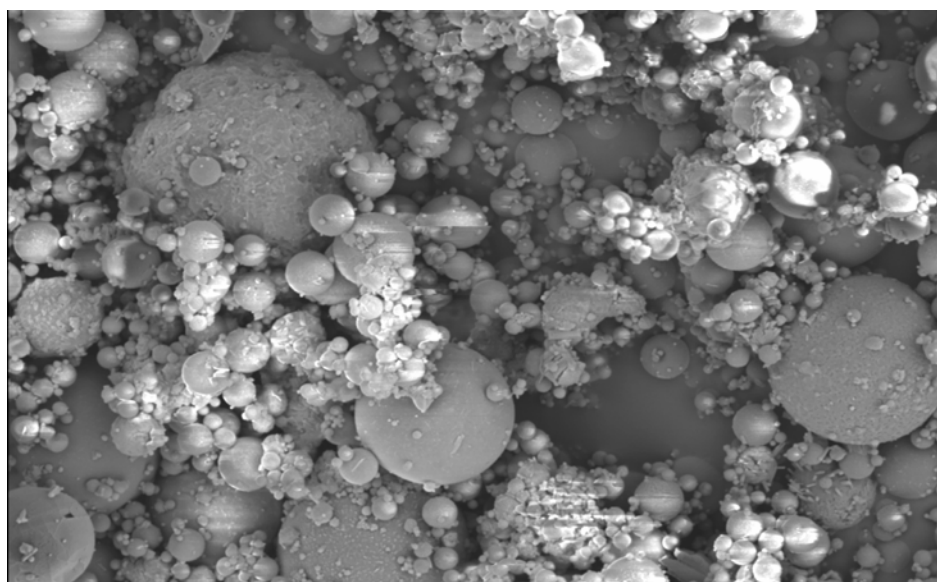
ปัจจุบันเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า มีปริมาณถึง 8,000 ตันต่อวัน ซึ่งเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน เป็นเถ้าที่ถูกแยกออกจากลมร้อนโดยอุปกรณ์ควบคุมฝุ่นชนิดไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) ซึ่งคิดเป็น 82% ของเถ้าถ่านหินที่เกิดขึ้นทั้งหมด ส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปของเถ้าหนัก (Bottom Ash) 18% (โครงการจัดการธุรกิจวัตถุพลอยได้โรงไฟฟ้าแม่เมาะ, 2549)

คุณสมบัติทางกายภาพ ลักษณะของอนุภาค (Particle Shape) รูปร่างของอนุภาคเถ้าลอยแตกต่างกันไปตามชนิดของถ่านหินที่เผา อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา สภาพในการเผา และวิธีการเก็บเถ้าลอย โดยเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าถ่านหินมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ซิลิกา (Silica) คิดเป็นสัดส่วน 55-65% และอลูมินา (Alumina) คิดเป็นสัดส่วน 25-35% มีลักษณะโครงสร้างเป็นทรงกลม ดังแสดง

ในรูปที่ 2.10 โดยทรงกลมแข็งที่ประกอบไปด้วยทรงกลมเล็กหลายอันรวมกัน เรียกว่า Plerospheres และทรงกลมกลวงขนาดใหญ่ซึ่งภายในเต็มไปด้วยช่องว่างอากาศ และมีน้ำหนักเบา เรียกว่า Cenospheres (Trivedi, A., and Sud, V. K., 2004)

ค่าความละเอียด (Fineness) โดยทั่วไปจะมีขนาดตั้งแต่ 1 ไมโครเมตร-1 มิลลิเมตร ซึ่งใน ASTM C 311 ได้กำหนดให้ค่าความละเอียดของเถ้าลอยคือ ปริมาณเถ้าลอยที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 (45 ไมโครเมตร) โดยทั่วไปปริมาณของเถ้าลอยที่ค้างบนตะแกรงขนาด 80, 50, และ 45 ไมโครเมตร จะมีปริมาณเท่ากับ 6-25%, 16-40% และ 3-14% ตามลำดับ (โครงการจัดการธุรกิจวัตถุพลอยได้โรงไฟฟ้าแม่เมาะ, 2549)

ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) เถ้าลอยที่ได้จากการเก็บโดยเครื่องมือดักจับ (Electrostatic Precipitators) จะมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง 4,000-12,000 cm^2/g โดยทั่วไปพื้นที่ผิวจำเพาะหาได้จากเครื่องมือทดสอบความซึมอากาศเบลน (Blaine Air-Permeability Apparatus) โดยใช้วิธีให้อากาศจำนวนหนึ่งไหลผ่านชั้นของเถ้าลอย และคำนวณอัตราของอากาศที่ผ่าน หรือเวลาที่ต้องการสำหรับปริมาตรที่กำหนดของอากาศผ่านชั้นเถ้าลอย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค และพื้นที่ผิวจำเพาะ ซึ่งจากวิธีการดังกล่าว พบว่าเถ้าลอยถ่านหินมีพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง 2,500-5,500 cm^2/g (Trivedi, A., and Sud, V. K., 2004)



รูปที่ 2.10 ลักษณะเถ้าลอยถ่านหิน a) ทรงกลมกลวง Cenospheres และ
b) ทรงกลมแข็ง Plerospheres

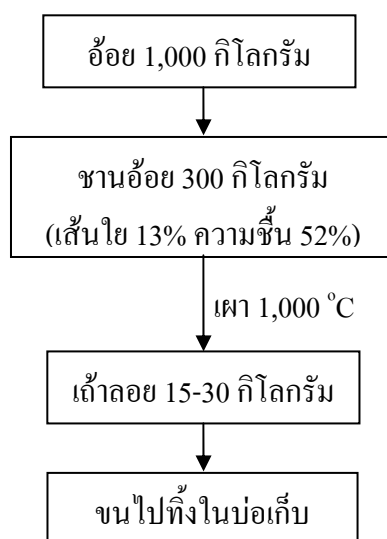
คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.4 (Katsutoshi Yamada and Bussakorn P. Wongsiri, 2003)

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางเคมีเถ้าลอยถ่านหิน (Chemical Characteristics of Coal Fly Ash)

Content (% by weight)								
Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
0.36	1.89	25.15	51.17	2.73	5.82	0.69	0.067	8.57

2.6.2 เถ้าลอยโรงงานน้ำตาล

เถ้าลอยโรงงานน้ำตาล หรือเถ้าลอยขานอ้อย (Bagasse Fly Ash) เป็นผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล โดยอ้อยที่ถูกสกัดน้ำออกแล้ว จะได้ขานอ้อยร้อยละ 30 ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำอ้อยที่สกัดออกมาด้วยอุณหภูมิการเผา 1,000°C จะได้เถ้าลอยขานอ้อยร้อยละ 5-10 เถ้าลอยที่เกิดขึ้นนี้จะถูกดักด้วยเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet Collectors) มีลักษณะเป็นการจับน้ำเป็นฝอยซึ่งใช้แยกอนุภาคขนาด 0.1-20 ไมโครเมตร ก่อนเข้าเปียกจะถูกลำเลียงนำไปทิ้งในบ่อเก็บที่เตรียมไว้ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2.11 (สถาบันวิจัยพลังงาน, 2541) โดยจากการศึกษาข้อมูลพบว่า ปริมาณเถ้าลอยที่เกิดจากโรงงานน้ำตาล 192 โรงงานทั่วประเทศ คิดเป็นปริมาณเถ้าลอยทั้งสิ้นประมาณ 1-2 ล้านตันต่อปี (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)



รูปที่ 2.11 การเผาขานอ้อยและการจัดการเถ้าลอยที่เกิดจากการเผา (สถาบันวิจัยพลังงาน, 2541)

คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอยขานอ้อย ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของเถ้าลอยขานอ้อย ได้แก่ SiO_2 , Al_2O_3 , MgO และ CaO ส่วนประกอบทางเคมีเหล่านี้มีความแตกต่างกันในเชิงปริมาณตามแหล่งที่มาของเถ้าลอยขานอ้อย ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้คิดเป็นร้อยละ 60-75 โดยน้ำหนัก (สุเมธ เศษกุลวิโรจน์, 2546) โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางเคมีเถ้าลอยขานอ้อย (Chemical characteristics of Bagasse fly ash)

Content (% by weight)												
Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	CuO
0.89	1.74	1.37	51.96	1.11	0.11	0.03	1.32	7.26	0.10	0.10	0.82	0.01

ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) และความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) จากการทดสอบด้วยแอร์เพอร์มิอ์บิลิตี (Air Permeability Test) หรือเทอร์บิดิมิเตอร์ (Terbidimeter Test) วัดค่าพื้นที่ผิวจำเพาะเป็นตารางเซนติเมตรต่อกรัม พบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยขานอ้อย มีค่าอยู่ในช่วง 1.65-2.26 (สุวิมล สัจจวานิชย์ และ อาทิตมา ดวงจันทร์, 2547) และค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ที่มีหน่วยเป็นพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักของเถ้าลอยขานอ้อย มีค่าเท่ากับ 4,121 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม (กฤษณ์ จารุทะวีย์, 2545)

2.6.3 เศษธนบัตรหลังผ่านกระบวนการย่อยทำลาย

เศษธนบัตรหลังผ่านกระบวนการย่อยทำลายจากโรงพิมพ์ธนบัตร ธนาคารแห่งประเทศไทย มีแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน 3 แหล่งที่มา ประกอบด้วย

1. ธนบัตรที่เก็บคืนจากท้องตลาด
2. ธนบัตรที่มีความผิดพลาดจากกระบวนการพิมพ์
3. ขอบกระดาษธนบัตร

โดยมีองค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเศษธนบัตรฯ (โรงพิมพ์ธนบัตร ธปท, 2548) ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพของเศษธนบัตรฯ

Property*	Unit	Requirements	
		Minimum	Maximum
Fiber Composition	%	100% Cotton Fiber	
Grammage of paper	g/m ²	78.85	87.15
Tear Strength			
• Cross Direction	g	50	-
• Machine Direction	g	50	-
Tensile Strength			
• Cross Direction	kg/15 mm	4.5	-
• Machine Direction	kg/15 mm	9.5	-
Thickness	micron	98	118
Wet Tensile Strength			
• Cross Direction	kg/15 mm	1.7	-
• Machine Direction	kg/15 mm	3.3	-
ราคา (เศษธนบัตรฯ)**	บาท/kg	1.6	3.6
ปริมาณ (เศษธนบัตรฯ)**	kg	93,890	-

หมายเหตุ : * TAPPI Test Method: Technology Park, Atlanta, U.S.A,

** ประจําปีงบประมาณ พ.ศ. 2547

จากข้อมูลในตารางที่ 2.6 พบว่า เศษธนบัตรหลังผ่านกระบวนการย่อยทำลาย มีองค์ประกอบเป็นเส้นใยฝ้าย โดยจากการศึกษาพบว่า เส้นใยฝ้ายถูกใช้เป็นส่วนประกอบในการป้องกันเสียงรบกวนในหลายลักษณะ อาทิเช่น Earmuffs Earplugs วัสดุบุพื้น วัสดุบุผนัง และอื่น ๆ

2.6.4 สารปิโตรเมเนน

สารปิโตรเมเนน (สารที่ประกอบด้วยโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbons) มีคุณสมบัติติดประสาณ อยู่ในสถานะของแข็ง กึ่งของแข็ง หรือหนืด สีดำหรือค่อนข้างดำ ละลายในคาร์บอนไดซัลไฟด์, CS₂) เป็นส่วนประกอบหลักของวัสดุแอสฟัลท์ (Asphalt) คือ วัสดุผสมสีน้ำตาลถึงดำ ซึ่งได้จากการกลั่นปิโตรเลียมดิบ (Crude Petroleum)

คุณสมบัติ ของแอสฟัลท์ (Asphalt Properties)

1. ความข้นเหลว (Consistency) แอสฟัลท์เป็นวัสดุเทอร์โมพลาสติก ดังนั้น ความข้นเหลวของแอสฟัลท์ซีเมนต์จึงเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยความเหลวของวัสดุเทอร์โมพลาสติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อนสูงขึ้น และกลับคืนสู่สภาพกึ่งของแข็งที่อุณหภูมิปกติ สามารถทำการวัดค่าความข้นเหลวของแอสฟัลท์ซีเมนต์โดยใช้การทดสอบหาความหนืด (Viscosity Test) หรือการทดสอบหาการทะลวง (Penetration Test)

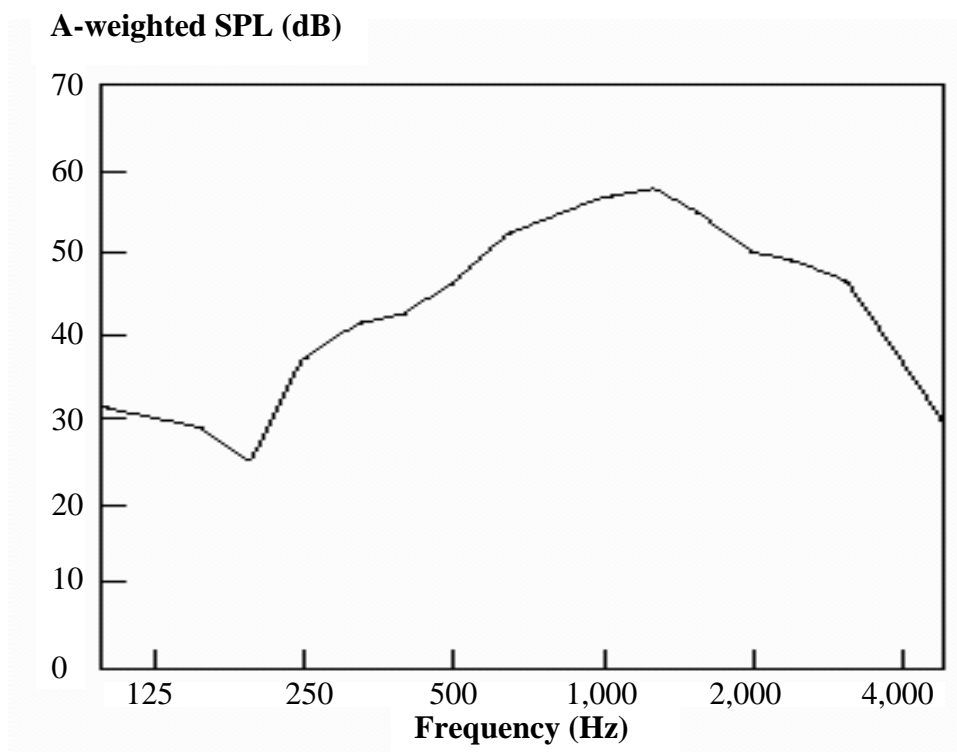
2. ความบริสุทธิ์ (Purity) ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของแอสฟัลท์ซีเมนต์ เป็นบิทูเมนซึ่งละลายได้ในคาร์บอนไดซัลไฟด์ แอสฟัลท์จากการกลั่นประกอบด้วยบิทูเมนบริสุทธิ์เกือบทั้งหมด และมากกว่าร้อยละ 99.5 ละลายในคาร์บอนไดซัลไฟด์ นอกจากนั้นสิ่งเจือปน (Impurities) ที่มีอยู่เป็นพวกสารเฉื่อย (Inert) ซึ่งโดยปกติแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ได้จากการกลั่นจะไม่มีน้ำหรือความชื้นปนอยู่ อย่างไรก็ตามในการบรรทุกขนส่งอาจมีความชื้นปะปนได้จากภาชนะบรรจุ โดยหากมีน้ำปะปนจะมีผลทำให้แอสฟัลท์เดือดเป็นฟอง เมื่อได้รับความร้อนมากกว่า 100°C

3. ความปลอดภัย (Safety) การเดือดเป็นฟองของแอสฟัลท์เป็นการเสี่ยงต่อความปลอดภัย ข้อกำหนดจึงระบุไว้ว่าแอสฟัลท์ต้องไม่เดือดเป็นฟอง เมื่อมีอุณหภูมิสูงถึง 175°C โดยแอสฟัลท์ซีเมนต์เมื่อได้รับความร้อนจนอุณหภูมิสูงจะเกิดไอ (Fumes) ที่สูดดมได้เมื่อสัมผัสกับประกายไฟ (Spark) หรือ เปลวไฟ (Flame) แต่อุณหภูมิที่ทำให้เกิดจุดวาบไฟนี้มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้ทั่ว ๆ ไปในทางปฏิบัติงานมาก

จากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นจึงมีความเป็นไปได้ในการนำสารบิทูเมนมาประยุกต์ใช้เป็น “วัสดุฉนวนกันเสียง” ในรูปของกำแพงป้องกันเสียงรบกวน โดยในปัจจุบันสารบิทูเมนถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในรูปของวัสดุผิวทาง และพบว่ามีคุณสมบัติในการลดปัญหาเสียงรบกวนจากการจราจร

2.7 การศึกษา และผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลการศึกษาระดับเสียงจากการจราจร จำแนกตามความถี่บนถนนที่ใช้วัสดุบิทูเมน เป็นวัสดุผิวทาง สามารถแสดงค่าระดับความดังของเสียงได้ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ระดับเสียงจากการจราจร จำแนกตามความถี่บนถนนที่ใช้สารบิทูเมนเป็นวัสดุผิวทาง

การลดระดับเสียงรบกวนจากการจราจรของวัสดุ Rubberized Asphalt ซึ่งประกอบด้วยวัสดุผสม ยางรถยนต์เก่า และสารผสมเพิ่ม เปรียบเทียบกับ Conventional (non-rubberized) โดยจากผลการศึกษาเป็นระยะเวลา 6 ปี พบว่า Rubberized Asphalt มีผลต่อการลดระดับเสียงจากการจราจรเฉลี่ยประมาณ 4 dBA เมื่อเปรียบเทียบกับถนนที่ใช้ Conventional (non-rubberized) และระดับเสียงดังกล่าวลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลา 6 ปี คิดเป็น 60% ของพลังงานเสียงที่ลดลง ในขณะที่ระดับเสียงลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยความสามารถของ Rubberized Asphalt จะแปรผันตามพื้นที่ ฤดูกาล ปริมาณรถบรรทุก และสิบล้อที่วิ่งบนท้องถนน (Department of Environmental Review and Assessment, 1999)

จากการทดสอบค่าคุณสมบัติในการดูดซับเสียง ของผิวทางที่ผลิตจากสารบิทูเมน พบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงที่เกิดจากการจราจร แปรผันกับ ความหนาแน่นในการบดอัด ขนาดมวลรวมหยาบที่ใช้ ความหนา ดังแสดงใน ตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงที่เกิดจากการจราจร ของสารบิทูเมน

Surface Type	Stone Size Grading	Thickness (mm)	Frequency of Maximum Absorbance (Hz)	Max. Absorbance %
● dense	0-16	-	-	-
● porous	6-16	55	840	89
● porous	4-8	60	810	95
● porous double layer	4-8 (top)	25 (top) 40 (bottom)	600	92
● porous	8-11	50	900	87

การศึกษาถึงประสิทธิภาพในการใช้ Drainasphalt (Asphalt-Rubber Open Graded Hot Mix) บนผิวทางในประเทศเยอรมัน พบว่า Drainasphalt สามารถลดเสียงได้ ประมาณ 8-10 dB หรือคิดเป็น 75% ของระดับเสียงที่ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า ความหนาของ Drainasphalt มีผลต่อความสามารถในการลดระดับเสียง คือ ที่ความหนา 4 cm สามารถลดระดับเสียงได้มากกว่าที่ความหนา 2 cm ไม่ต่ำกว่า 3 dB หรืออาจกล่าวได้ว่าระดับเสียงจะลดลง 50% เมื่อความหนาเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (Nakkel, E., 1981) ในขณะเดียวกันพบว่าจากการทดลองใช้ Drainasphalt ณ กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส พบว่า ระดับเสียงลดลง 3-5 dB ในกรณีที่ไม่มีการจราจร และลดลง 2-3 dB ในกรณีที่มีการจราจร 5% บนท้องถนน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 50-75% ของระดับเสียงที่ลดลง ซึ่งเป็นผลของการใช้ Drainasphalt เป็นวัสดุคลุมทับบนผิวทาง (Michel, A., 1988)

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงจากการจราจรในประเทศเบลเยียม ของผิวทางแบบ Drainasphalt ซึ่งเป็น Asphalt-Rubber Open Graded Hot Mix เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของ Dense Asphalt Concrete พบว่า Drainasphalt สามารถลดระดับเสียงได้ 3.5 dB ที่ความหนา 6 cm ในขณะที่ลดลงได้ถึง 9 dB เมื่อเทียบกับถนนคอนกรีต ณ ความเร็วรถเฉลี่ย 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (Heerkens., 1989) นอกจากนี้ได้มีการนำไปใช้ในการแก้ปัญหาเสียงรบกวนจากการจราจรบนถนนคอนกรีต โดยการทับผิวหน้าด้วย Asphalt-Rubber พบว่าสามารถลดระดับความ

ดังของเสียงจากระดับเสียงเดิม 80.4 dB เหลือเพียง 73.7 dB หรือคิดเป็นระดับเสียงที่ลดลง 6.7 dB (Arizona Department of Transportation, 1989)

จากความหลากหลายของวัสดุป้องกันเสียงรบกวนที่มีในปัจจุบัน จึงได้มีการศึกษาอายุการใช้งานของวัสดุป้องกันเสียง โดยพบว่า ไม้ และผลิตภัณฑ์จากโลหะ มีอายุการใช้งาน 25 ปี ในขณะที่ Earth Berms คอนกรีต และไฟเบอร์กลาส มีอายุการใช้งาน 50 ปี ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ ต้นทุนต่ออายุการใช้งาน พบว่า Earth Berms เป็นวัสดุที่มีราคาต่ำที่สุด ในขณะที่วัสดุโลหะ เป็นวัสดุที่มีราคาสูงที่สุด ในขณะที่เดียวกันพบว่า คอนกรีต ไม้ และ ไฟเบอร์กลาส มีราคาเป็น 2 เท่าของ earth berms แต่ผลการศึกษาในครั้งนี้ยังมีอานามาใช้เป็นข้อสรุปในการเลือกวัสดุได้เนื่องจากขาดข้อมูลด้าน ความถี่ของการบำรุงรักษา และเปลี่ยนแผ่นวัสดุ (Dianne, K., 2000)

การไฟฟ้าฝ่ายผลิต ได้นำถ่านลอยลิกไนต์ไปใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กหลายแห่ง เช่น งานคอนกรีตเสริมเหล็กของรางระบบสายไฟใน โรงไฟฟ้า ถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก นอกจากนี้ยังมีการนำถ่านลอยลิกไนต์ไปใช้เป็นสารเร่งการตกตะกอน ด้วยการนำไปผสมกับกรด โดยผลการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปรากฏว่าจากการทดลองในห้องทดสอบปริมาณสาร โลหะหนักที่ปนเปื้อนออกมามีปริมาณน้อยมากไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับมนุษย์ และปริมาณรังสีของถ่านลอยลิกไนต์ที่วัดได้อยู่ในระดับเดียวกับปริมาณรังสีที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม (Background Radiation) (การไฟฟ้าฝ่ายผลิต, 2548)

จากการทดสอบคุณสมบัติของซีเมนต์บล็อกผสมโพลีเมอร์ ด้านความสามารถในการดูดซับเสียง และ คุณสมบัติการทนไฟ ตามมาตรฐาน ASTM 423 และ มอก. 549-2528 พบว่าที่ความหนาของวัสดุ 10 cm ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงซีเมนต์บล็อกผสมโพลีเมอร์ได้ค่าเฉลี่ย 0.37 และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงอิฐมอญได้ค่าเฉลี่ย 0.09 จากค่าที่ได้จะเห็นว่าซีเมนต์บล็อกผสมโพลีเมอร์มีความสามารถในการดูดซับเสียงได้ดีกว่าอิฐมอญตั้งแต่ความถี่ที่ 125 Hz ถึง 4,000 Hz เท่ากับ 75.5% ในขณะเดียวกันพบว่า ซีเมนต์บล็อกผสมโพลีเมอร์เกิดไฟลุกไหม้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 731°C โดยจะติดไฟมากกว่า 5 วินาทีซึ่งถือเป็นวัสดุติดไฟตาม มาตรฐานอุตสาหกรรม และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมวลเฉลี่ยร้อยละ 14.6 (จารุวัฒน์ โนริณาย และ คณะ, 2549)

จากการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของ SUPERBLOCK พบว่ามีความหนาแน่นประมาณ 550-600 kg/m³ ซึ่งเบากว่าน้ำประมาณ 2 เท่า เบากว่าคอนกรีตประมาณ 4 เท่า และเบากว่าอิฐมอญประมาณ 3 เท่า โดยจากผลการทดลองค่าการส่งผ่านเสียง และ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง พบว่า ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน ของวัสดุความหนา 9, 15 และ 20 cm มีค่า 42, 43 และ 46 dBA ตามลำดับ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) และค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียงในระดับใกล้เคียงกัน (Superblock, www, 2007) ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ของวัสดุ SUPERBLOCK

ความถี่ (Frequency, Hz)	125	250	500	1,000	2,000	4,000	NRC
α	0.05	0.10	0.15	0.25	0.20	0.25	0.17

จากการศึกษาวัสดุดูดซับเสียงจากไยกก (Sound Absorbing Material from Papyrus Fiber) เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยกกผสมกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ในอัตราส่วน 1 : 1 ความหนา 2.5 และ 5.0 cm และ ความหนาแน่น 100, 150 และ 200 kg/m³ มาใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียง และได้ทำการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) และค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (NRC) โดยจากผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงจากไยกกที่ ความหนา และ ความหนาแน่นต่าง ๆ จะเปลี่ยนไปตามความถี่เหมือนกันทั้งหมด โดยพบว่าเมื่อวัสดุดูดซับเสียงหนาขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (NRC) จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดที่ความถี่ 500 Hz และต่ำสุดที่ 1,000 Hz ยกเว้นในบางกรณี กล่าวคือ เมื่อวัสดุดูดซับเสียง เกิดการก้ำทอน (Resonance) เนื่องจากความถี่ของเสียงที่ตกกระทบมีค่าตรงกับความถี่ธรรมชาติของวัสดุดูดซับเสียง มีผลทำให้เกิดการสั่นตัวอย่างรุนแรงทำให้เกิดการส่งผ่านเสียงออกจากชิ้นงาน ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงลดลง (แกศ ศรีวิวัฒนพล และคณะ, มปป)

จากการศึกษา การผลิตวัสดุติดผนังภายในด้วยวัสดุเหลือใช้จาก เป็นการศึกษาถึงศักยภาพวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่หาได้ง่ายในประเทศไทย ได้แก่ กาบมะพร้าวและฟางข้าว โดยทำการอัดแบบเปียกร่วมกับเยื่อกระดาษ 2 ชนิด คือ เยื่อกระดาษชานอ้อยสำเร็จรูปชนิดฟอกเยื่อ และเยื่อกระดาษเตรียมขึ้นเองเพื่อเป็นตัวผสม หลักเบื้องการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยจากการทดสอบค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss) พบว่า ชิ้นงานที่มีส่วนของฟางขนาดเล็กกว่าจะมีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน ที่สูงกว่าที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน (ในพื้น แว่วสอน และ คณะ, 2546) ดังแสดงในตาราง 2.9

ตารางที่ 2.9 ผลการทดสอบชิ้นงานกาบมะพร้าว ฟางข้าวขนาดใหญ่ และฟางข้าวขนาดเล็ก

คุณสมบัติ	กาบมะพร้าว	ฟางข้าวขนาดใหญ่	ฟางข้าวขนาดเล็ก
อัตราส่วน : เยื่อกระดาษ	2 : 1	1 : 1	1 : 1
น้ำหนักผสมรวม	100 กรัม	120 กรัม	120 กรัม
Transmission Loss (TL)	3.7-4.6 dBA	1.45-2.55 dBA	3.08-3.32 dBA

การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับเสียงของแผ่นกระดาษอัดจากกระดาษใช้แล้ว มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติการดูดซับเสียงของ แผ่นกระดาษอัดจากกระดาษใช้แล้ว 2 ชนิด คือกระดาษขาวดำและกระดาษหนังสือพิมพ์ ด้วยการขึ้นรูปแบบ (1) กระดาษใช้แล้วล้วน และ (2) กระดาษใช้แล้วผสมวัสดุเหลือใช้ 3 ชนิด ได้แก่ ฐูปถุยาณี แกลบ และฟางข้าว ที่อัตราส่วนผสมของกระดาษต่อ วัสดุเหลือใช้ 4 : 1, 7 : 1 และ 9 : 1 โดยน้ำหนัก กระดาษใช้แล้วถูกทำให้เปียก โดยแช่ในน้ำประปา หรือในกรดบอริก 3% w/v จากนั้นนำมาขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัด แผ่นกระดาษอัดแต่ละแบบศึกษาที่ระดับความหนา 5, 8 และ 10 mm ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นกระดาษอัดที่ความถี่ของเสียง 250, 500, 1,000 และ 2,000 Hz คำนวณได้จากค่าการสะท้อนเสียงที่ตรวจวัดโดยใช้ ชุดอุปกรณ์ "เครื่องมือตรวจสอบคลื่นนิ่ง" ผลการศึกษาพบว่า กระดาษที่แช่ในกรดบอริกเปียกเร็วกว่าเมื่อแช่ใน น้ำประปาเพราะ กรดมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนมากกว่า และกระดาษขาวดำเปียกเร็วกว่ากระดาษหนังสือพิมพ์ กรณีแผ่นกระดาษอัดจากกระดาษล้วน ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นกระดาษอัดไม่ขึ้นกับความหนา แต่มีคุณสมบัติคล้ายเมมเบรน โดยเมื่อความถี่ของเสียงที่ตกกระทบมีค่าสูงขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจะลดลง และค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงของ แผ่นกระดาษอัดจากกระดาษหนังสือพิมพ์ล้วนมีค่าสูงกว่าของกระดาษขาวดำล้วนเสมอ กรณีแผ่นกระดาษอัดจากกระดาษผสมวัสดุเหลือใช้พบว่า คุณสมบัติการดูดซับเสียงมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับแผ่นกระดาษอัดจากกระดาษล้วน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงไม่ขึ้นกับอัตราส่วนผสมของวัสดุเหลือใช้ โดยทั่วไปแล้วกระดาษขาวดำหรือกระดาษหนังสือพิมพ์เมื่อผสมแกลบ จะมีคุณสมบัติการดูดซับเสียงดีกว่า เมื่อผสมฟางข้าวหรือฐูปถุยาณี เมื่อเปรียบเทียบทั้งสองกรณีพบว่า แผ่นกระดาษอัดจากกระดาษผสมวัสดุเหลือใช้มีคุณสมบัติการดูดซับเสียง และลดระดับเสียงดีกว่าแผ่นกระดาษอัดจากกระดาษล้วน ทั้งนี้เนื่องจากแผ่นกระดาษอัดจากกระดาษผสมวัสดุเหลือใช้มีช่องว่างภายในมากกว่าแผ่นกระดาษอัดจากกระดาษล้วน (วิมลพร โสภณ, 2546)

การศึกษาความคุ้มค่าทางด้านสิ่งแวดล้อมของสถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยเพื่อใช้ในการประเมินความคุ้มค่าของการดำเนินโครงการทางด้านสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น เทคโนโลยีสะอาด กรณีศึกษา : โรงพยาบาลเลิดสิน (โรงพยาบาลในสังกัดกระทรวงสาธารณสุข ขนาด 485 เตียง) มีการนำเทคโนโลยีสะอาด หรือ CT เข้ามาใช้ในการแก้ไขปัญหา การรั่วของหม้อไอน้ำ และการเกิดตะกอนในท่อไอน้ำ โดยการนำกลับมาใช้ใหม่ของไอน้ำ ซึ่งจากการประเมินความคุ้มค่าจากการดำเนินการปรับปรุงทางเทคโนโลยีสะอาด พบว่า การรั่วของหม้อไอน้ำและการเกิดตะกอนในท่อไอน้ำ ทำการแก้ไขโดยนำระบบการกลั่นตัว (Condensation) เข้ามาใช้ซึ่งช่วยทดแทนปริมาณน้ำประปาซึ่งป้อนเข้าหม้อไอน้ำได้ 1,971 ลูกบาศก์เมตร/ปี (67.5%) คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ 19,710 บาท/ปี และสามารถลดปริมาณน้ำมันเตาได้ 14,965 ลิตร/ปี (15%) คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ 97,272 บาท/ปี โดยรวมเป็นค่าใช้จ่ายที่

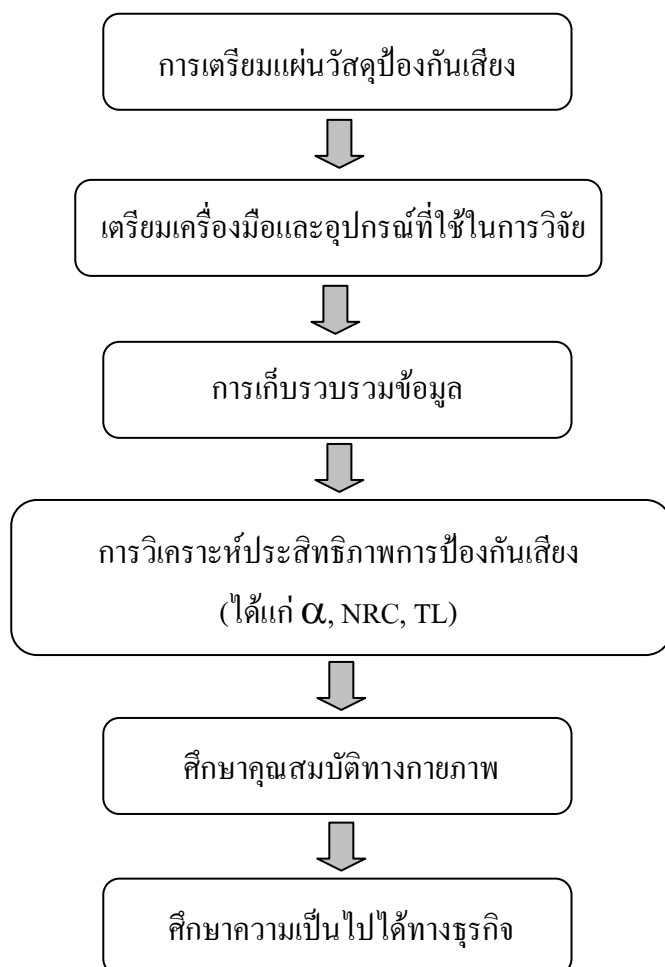
ประหยัดได้ 116,982 บาท/ปี ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 2 ปี 10 เดือน (สำนักงานสิ่งแวดล้อม, 2542)

ด้วยหลักการ และเหตุผลดังกล่าวข้างต้น การศึกษาและพัฒนาวัสดุป้องกันเสียง ที่ผลิตจากเศษธนบัตรหลังผ่านการย่อยทำลาย จากธนาคารแห่งประเทศไทย ถ้าวลอยโรงงานน้ำตาล และถ้าวลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เมาะ ซึ่งเป็นของเสียอุตสาหกรรม โดยมีสารบิทูเมนเป็นองค์ประกอบ เพื่อลดระดับเสียงรบกวนจากการจราจร จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการแก้ปัญหาซึ่งเกิดจากมลภาวะทางเสียง ที่ได้ทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเป็นการให้องค์ความรู้เกี่ยวกับการพัฒนาวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจร ซึ่งมีต้นทุนต่ำ และลดการนำเข้าวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากต่างประเทศ อีกทั้งยังเป็นวิธีหนึ่งในการบรรเทาปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากของเสียอุตสาหกรรมโดยการนำมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่าง ๆ ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาและพัฒนาวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจร ที่ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรม 3 ชนิด ได้แก่ เศษธนบัตรหลังผ่านกระบวนการย่อยทำลายๆ ถ้ำล่อยโรงไฟฟ้าถ่านหิน และถ้ำล่อยโรงงานน้ำตาล โดยมีสารบิโทเมนเป็นวัสดุเชื่อมประสานและดำเนินการทดลองตามมาตรฐาน ASTM C384-98 ASTM E90-97 และ ASTM D1559-98 โดยมีขั้นตอนกระบวนการวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนกระบวนการวิจัย

3.1 การเตรียมแผ่นวัสดุป้องกันเสียง

การเตรียมแผ่นตัวอย่างวัสดุป้องกันเสียงที่ใช้ในการศึกษา ใช้บริเวณพื้นที่ศูนย์เครื่องมือ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยวัสดุป้องกันเสียงที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็น “วัสดุผสม” (Composites Material) ซึ่งมีองค์ประกอบพื้นฐานประกอบด้วย วัสดุของเสียดูดสาหกรรม 3 ชนิด ได้แก่ เศษธนบัตรหลังผ่านกระบวนการย่อยทำลายจาก โรงพิมพ์ธนบัตร ธนาคารแห่งประเทศไทย ถ้าวัดออกจากโรงงานน้ำตาล และถ้าวัดออกจาก โรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยใช้สารบิโทเมนในรูปของแอสฟัลต์ ซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานที่ระดับความหนา 2 ระดับได้แก่

1. ความหนา 5.0 cm ซึ่งเป็นระดับความหนาของวัสดุป้องกันเสียงจากการจราจรที่ใช้ในปัจจุบันในบริเวณซึ่งมีการจราจรคับคั่ง หรือการจราจรติดขัดเป็นเวลานาน ๆ และมีค่าระดับความดังของเสียงสูงเกินกว่าระดับมาตรฐาน 70 dBA และบางครั้งมากกว่า 90 dBA เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวัสดุป้องกันเสียงที่ใช้ในปัจจุบัน

2. ความหนา 2.5 cm ซึ่งเป็นระดับความหนา 0.5 เท่าของวัสดุป้องกันเสียงจากการจราจรที่ใช้ในปัจจุบัน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพโดยมุ่งเน้นการนำไปใช้งานในพื้นที่ต่างจังหวัดซึ่งมีระดับมลภาวะทางเสียงจากการจราจรเกินกว่าระดับมาตรฐาน 70 dBA แต่ไม่เกิน 85 dBA ซึ่งต่ำกว่าในเขตพื้นที่กรุงเทพ ฯ และปริมณฑล อีกทั้งเป็นแนวทางในการลดความหนาของวัสดุป้องกันเสียงจากการจราจรในอนาคต

โดยมีรายละเอียดการเตรียมแผ่นวัสดุป้องกันเสียง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดในการเตรียมแผ่นวัสดุป้องกันเสียง

ของเสียดูดสาหกรรม	วัสดุเชื่อมประสาน	อัตราส่วนที่ใช้*	ความหนา (cm)	จำนวนตัวอย่าง
เศษธนบัตรฯ	สารบิโทเมน	1 : 0.86	2.5 และ 5.0	45
		1 : 1.23	2.5 และ 5.0	45
		1 : 1.45	2.5 และ 5.0	45
ถ้าวัดโรงงานน้ำตาล	สารบิโทเมน	1 : 0.50	2.5 และ 5.0	45
		1 : 0.60	2.5 และ 5.0	45
		1 : 0.70	2.5 และ 5.0	45
ถ้าวัดโรงไฟฟ้าถ่านหิน	สารบิโทเมน	1 : 0.12	2.5 และ 5.0	45
		1 : 0.15	2.5 และ 5.0	45
		1 : 0.20	2.5 และ 5.0	45

หมายเหตุ : * อัตราส่วนที่ใช้ ได้จากการทดสอบ Marshall Test ตามมาตรฐาน ASTM D1559-98

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. หลอดอิมพีแดนซ์ (Impedance Tube)
2. เครื่องกำเนิดคลื่นความถี่ (Function Generator)
3. Oscilloscope
4. เครื่องขยายสัญญาณ (Amplifier)
5. ลำโพง (Loudspeaker)
6. เครื่องวัดเสียง (Sound Level Meter)
7. อุปกรณ์ขึ้นรูปวัสดุ
8. อุปกรณ์ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

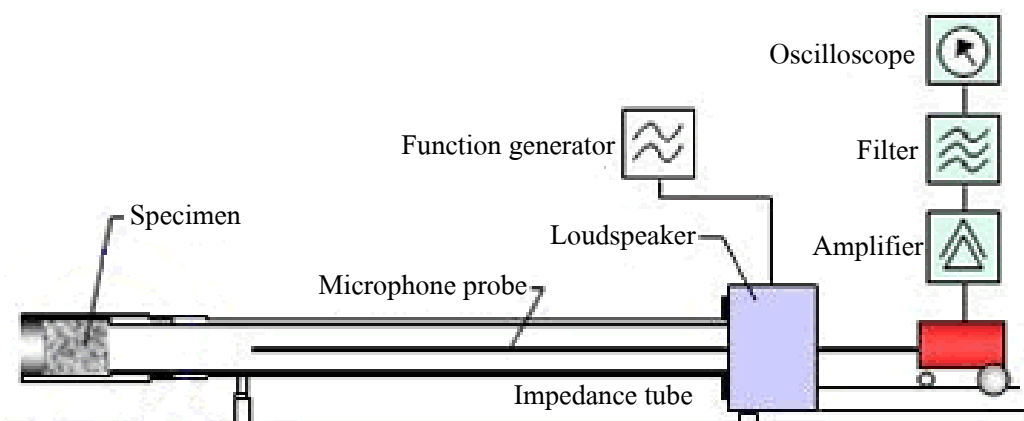
3.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลเสียง

การตรวจวัดและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

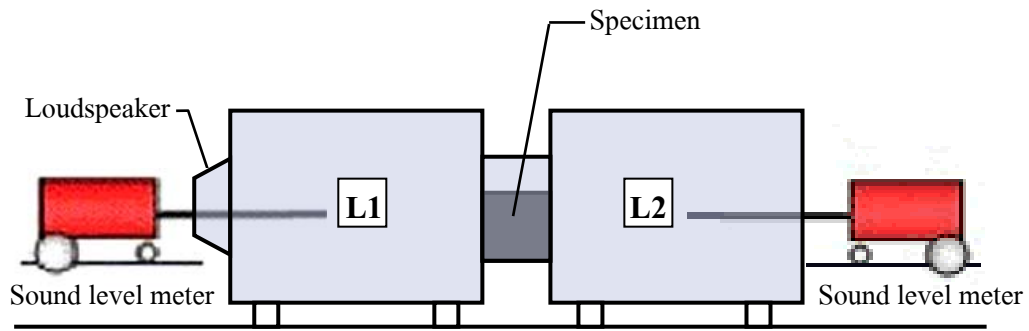
1. ทำการปรับเทียบ (Calibrate) เครื่องวัดเสียง RION NL-21
2. ทำการติดตั้งไมโครโฟนเครื่องวัดเสียง ภายในหลอดอิมพีแดนซ์ และทำการต่อเชื่อมสัญญาณเข้าสู่ Oscilloscope
3. ทำการติดตั้งแผ่นวัสดุตัวอย่างที่ปลายของหลอดอิมพีแดนซ์
4. เปิดเครื่องอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความถี่ พร้อมทั้งปรับค่าความถี่ 250 Hz
5. เริ่มทำการวัดการอัดขยายของเสียงภายในหลอด โดยเริ่มทำการวัดจากปลายข้างที่ติดตั้งแผ่นวัสดุ (X_0) และลดระยะลงช่วงละ 1 cm พร้อมทั้งบันทึกค่า Amplitude ต่อระยะทาง ซึ่งอ่านค่าได้จาก Oscilloscope ตลอดความยาวหลอดอิมพีแดนซ์
6. ทำการหาค่า Standing Wave Ratio, SWR โดยนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 5 มาทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Amplitude และระยะทาง ทำการคำนวณค่า V_{max}/V_{min} ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์
7. ทำตามขั้นตอนที่ 4 ถึง 7 อีกครั้งโดยเปลี่ยนค่าความถี่เป็น 315, 400, 500, 630, 800, 1,000, 1,250, 1,600, 2,000, 2,500, 3,150 และ 4,000 Hz ตามลำดับ
8. ทำการเปลี่ยนแผ่นวัสดุ และทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 1-8
9. ทำการคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient, α) และค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC)

การตรวจวัดและรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss) ของแผ่นวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

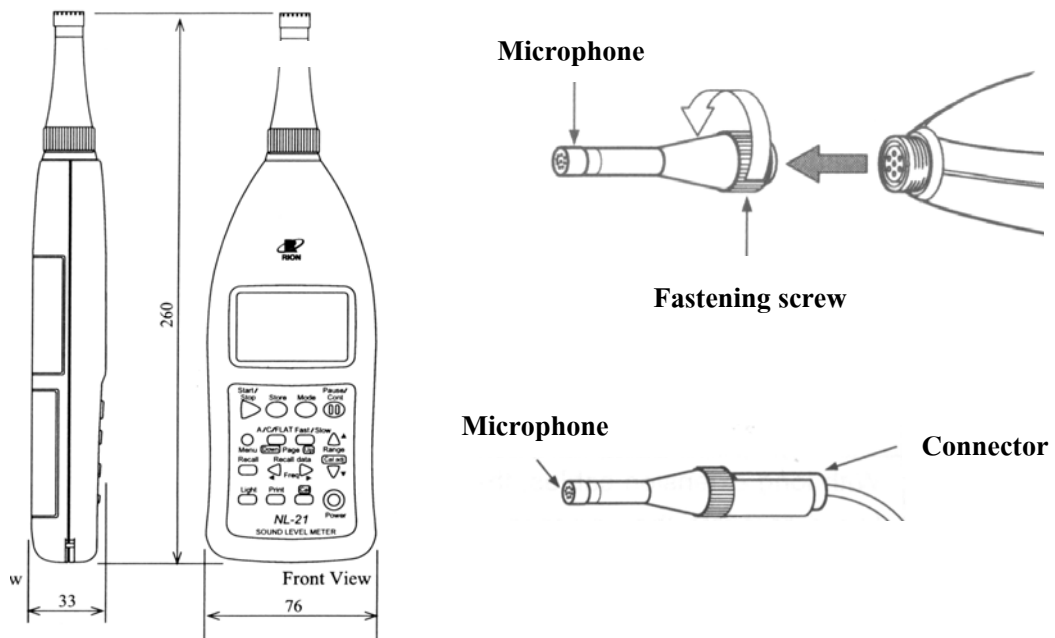
1. ทำการปรับเทียบเครื่องวัดเสียง RION รุ่น NL-21 ดังแสดงในรูปที่ 3.4
2. ทำการติดตั้งแผ่นวัสดุ ภายในกล่องสะท้อนเสียง
3. ทำการติดตั้งเครื่องวัดเสียงภายในกล่องที่ติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียง (L1) และกล่องรับเสียง (L2) พร้อมทั้งเริ่มบันทึกค่าระดับความดังของเสียง
4. เปิดอุปกรณ์กำเนิดคลื่นความถี่พร้อมทั้งปรับค่าความถี่ 250 Hz
5. รอให้เสียงภายในกล่องซึ่งติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียงอิมมิตัว ต่อจากนั้นทำการบันทึกค่าระดับความดังของเสียงทั้งสองด้าน
6. ปิดเครื่องขยายสัญญาณและรอให้ความดังของเสียงลดลงจนถึงระดับเสียงพื้นฐาน (Background Noise) และทำการปรับค่าความถี่เป็น 315 Hz
7. เริ่มเปิดเครื่องขยายสัญญาณอีกครั้งหลังจากระดับเสียงกลับลงมาถึงระดับเสียงพื้นฐาน และรอให้เสียงอิมมิตัวเต็มกล่องซึ่งติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียง
8. ทำตามขั้นตอนที่ 4 และขั้นตอนที่ 7 อีกครั้ง โดยเปลี่ยนค่าความถี่เสียงเป็น 400, 500, 630, 800, 1,000, 1,250, 1,600, 2,000, 2,500, 3,150 และ 4,000 Hz ตามลำดับ
9. คำนวณค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss, TL)



รูปที่ 3.2 ลักษณะเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบความสามารถในการดูดซับเสียง



รูปที่ 3.3 ลักษณะเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน

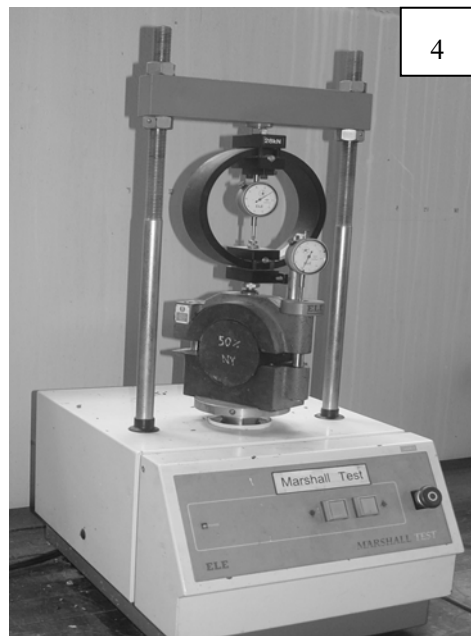
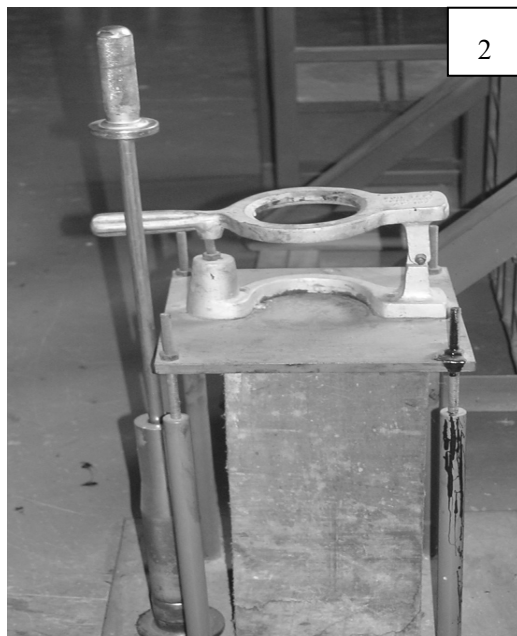
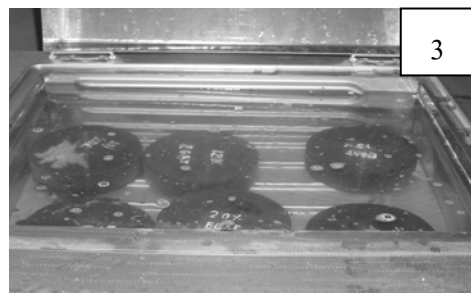
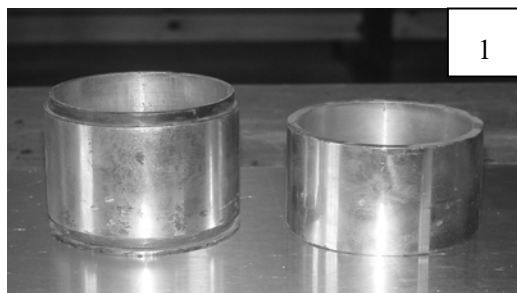


รูปที่ 3.4 เครื่องวัดเสียง RION รุ่น NL-21 และ รูปแบบการใช้งาน

3.3.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุของเสียอุตสาหกรรมผสมบิทูเมน

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอุดซับเสียงที่สร้างขึ้น ด้วยวิธีการตามมาตรฐาน ASTM D1559-98 : Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixture using Marshall Apparatus หรือ Marshall Method of Mix Design ซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐานในการตรวจสอบความแข็งแรงอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุมวลรวม (Aggregate) และ บิทูเมน (Bitumen) โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ขนาดแบบทดสอบ (Molds) เส้นผ่าศูนย์กลาง 10.16 cm และสูง 6.35 cm ดังแสดงในรูปที่ 3.5 [1]
2. ทำการผสมวัสดุมวลรวม (Aggregate) และวัสดุบิทูเมน (Bitumen) ที่อุณหภูมิ ประมาณ 155°C (311°F)
3. ขนาดค้อนที่ใช้ในการบดอัด (Hammer for Specimens Compaction) กำหนดให้ใช้ ค้อนน้ำหนัก 4.54 kg ที่ความสูงการปล่อย 45.72 cm จำนวน 75 ครั้ง ที่อุณหภูมิ ประมาณ 145°C (293°F) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 [2]
4. การเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบ Marshall Test หลังจากนำตัวอย่างออกจากแบบทดสอบและทิ้งให้เย็นเป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ทำการต้มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 60°C (140°F) ก่อนนำเข้าทดสอบในเครื่อง Marshall Test ดังแสดงในรูปที่ 3.5 [3] และ [4]



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงอัตราส่วนผสม

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient, α)

ความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุ กล่าวคือ เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบผิวของวัตถุดูดซับเสียงจะมีพลังงานส่วนหนึ่งสะท้อนออกไปและอีกส่วนหนึ่งถูกดูดกลืนที่ผิวหน้าของวัสดุนั้น โดยพลังงานเสียงที่ถูกดูดกลืนที่ผิวหน้าของวัสดุอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงานไปเป็นพลังงานรูปแบบอื่น และส่งผ่านพลังงานบางส่วนออกจากวัสดุนั้นซึ่งมีวิธีการคำนวณ และวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

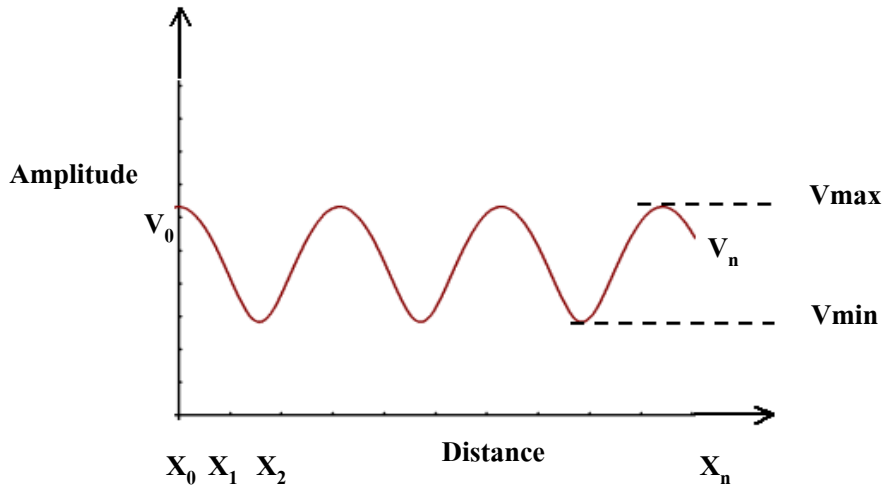
1. ทำการวัดการอัดขยายภายในหลอดอิมพีแดนซ์ที่ละความถี่ เริ่มจาก 250 Hz โดยเริ่มต้นที่ปลายด้านที่ติดตั้งแผ่นวัสดุ (X_0) อ่านค่าเป็น Amplitude (V_0) ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะเครื่องมือ และวิธีการอ่านค่า Amplitude (V_0)

2. ทำการอ่านค่า Amplitude (V_0) จากปลายด้านติดตั้งแผ่นวัสดุ (X_0) และทำการลดระยะไมโครโฟนลงครั้งละ 1 cm จนถึงด้านที่ติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียง (X_n) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 พร้อมทำการบันทึกค่า $X_0V_0, X_1V_1, X_2V_2, \dots, X_nV_n$ ของแต่ละชุดความถี่เริ่มจาก 250 Hz

3. ทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะ (X) และ Amplitude (V) ตั้งแต่ $X = 0$ ถึง $X = n$ ซึ่งจะได้กราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยค่าอัตราส่วนระหว่าง V_{\max}/V_{\min} เรียกว่า SWR โดยจากสมการที่ 2.2 $|T| = \frac{[SWR - 1]}{[SWR + 1]}$ และเมื่อนำค่า $|T|$ มาทำการคำนวณตามสมการที่ 2.1 $\alpha = 1 - |T|^2$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ของแต่ละความถี่ ดังนั้น 1 แผ่นวัสดุ จึงประกอบด้วยค่า SWR จำนวน 13 ค่า ได้แก่ 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1,000, 1,250, 1,600, 2,000, 2,500, 3,150 และ 4,000 Hz และค่า α จำนวน 13 ค่า เช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างระยะ (X) และ Amplitude (V)

4. อธิบายรูปแบบปกติในการดูดซับเสียงจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ (Frequency) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ที่ได้

3.4.2 สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC)

คือค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุต่างชนิดกัน โดยค่า NRC คือค่าเฉลี่ยเลขคณิตของสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ความถี่ 250, 500, 1,000, และ 2,000 Hz ซึ่งมีวิธีการคำนวณ และวิเคราะห์ข้อมูล โดยการนำค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ที่ความถี่ 250, 500, 1,000 และ 2,000 Hz ของวัสดุแต่ละชนิดมาทำการแทนค่าในสมการที่ 2.3
$$NRC = \frac{(\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000})}{4}$$
 ดังนั้น 1 แผ่นวัสดุจึงมีค่า NRC 1 ค่า

3.4.3 ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss, TL) ในการควบคุม

คลื่นเสียงเพื่อไม่ให้มีการเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดไปยังบริเวณอื่น ซึ่งสามารถทำได้โดยนำกำแพงมาขึ้นเพื่อแยกแหล่งกำเนิดเสียงออกจากบริเวณที่ต้องการความสงบทั้งนี้การลดระดับความดังเสียงเนื่องจากการส่งผ่านคลื่นเสียงสามารถอธิบายได้ด้วยค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (TL) ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกำแพงกันเสียงแต่ละชนิด โดยมีวิธีการคำนวณ และวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. ทำการติดตั้งแผ่นตัวอย่างระหว่างกล่องที่ติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียง L1 และกล่องรับเสียง L2 พร้อมทำการบันทึกค่า L1 และ L2 ดังนั้น 1 แผ่นวัสดุจึงมีค่า L1 จำนวน 13 ค่า และมีค่า L2 จำนวน 13 ค่า ได้แก่ 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1,000, 1,250, 1,600, 2,000, 2,500, 3,150 และ 4,000 Hz

2. นำค่าที่บันทึกได้ L₁ และ L₂ ในแต่ละช่วงความถี่มาทำการแทนค่าในสมการที่ 2.4 $TL = L_1 - L_2$ ดังนั้น 1 แผ่นวัสดุจึงมีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน TL จำนวน 13 ค่า ซึ่งจะนำมาหาค่าการสูญเสียพลังงานเสียงสูงสุดและต่ำสุด นอกจากนั้นสามารถนำมาวิเคราะห์ร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) เพื่อบ่งชี้ถึงสาเหตุการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน

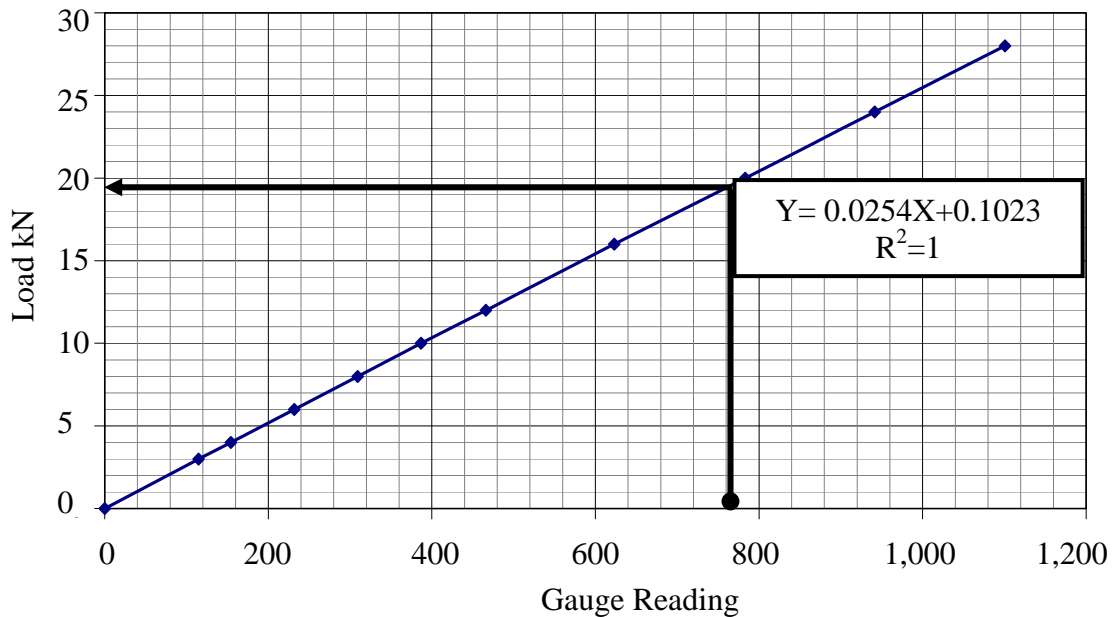
3.4.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ Marshall Test

สามารถทำได้โดยนำค่าที่ได้ซึ่งเป็นค่าความสามารถในการรับแรงอัด ณ จุดวิบัติ ในหน่วย Gauge Reading มาทำการอ่านค่าจากกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่าง Gauge Reading และ Load (kN) ซึ่งได้จากข้อมูลในตารางที่ 3.2 ตามมาตรฐาน ASTM D 1559-98 โดยมีวิธีการอ่านค่าจากกราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 3.8

ตารางที่ 3.2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Gauge reading และ Load ในหน่วยต่าง ๆ

Load kN	Gauge Reading	Load kgf	Gauge Reading	Load lbf	Gauge Reading
0	0.0	0	0.0	0	0.0
3	114.8	300	112.5	675	114.9
4	154.2	400	151.2	900	154.3
6	231.8	600	227.3	1,350	232.0
8	309.2	800	303.2	1,800	309.4
10	386.8	1,000	379.4	2,250	387.2
12	466.1	1,200	457.1	2,700	466.5
16	623.1	1,600	611.1	3,600	623.6
20	783.1	2,000	767.9	4,500	783.7
24	941.4	2,400	923.2	5,400	942.2
28	1,100.8	2,800	1,079.5	6,300	1,101.8

ที่มา : ELE international limited, 1995



รูปที่ 3.8 Calibration Chart for Load Measuring Ring (ELE international limited, 1995)

3.4.5 ศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาดของวัสดุผสมบิทูเมนที่พัฒนาขึ้น

โดยศึกษาระดับความต้องการใช้งานวัสดุป้องกันเสียงจากการจราจรภายในประเทศในระยะเวลา 5 ปีข้างหน้า โดยใช้ข้อมูลสถิติจากหน่วยงานภาครัฐและเอกชนเพื่อแสดงถึงแนวโน้มของอุตสาหกรรมวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจร และความเป็นไปได้ทางการตลาดในการนำเสนอวัสดุป้องกันเสียงที่พัฒนาขึ้น โดยใช้วิธีการคำนวณส่วนแบ่งการตลาดของโครงการส่งเสริมอุตสาหกรรมขนาดย่อม (SSIPP) โดย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

3.4.6 ศึกษาความคุ้มค่าทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการนำของเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์

โดยวิธีการที่ใช้ในการศึกษาเป็นวิธีการของสถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ใช้ในการประเมินความคุ้มค่าของการดำเนินโครงการทางด้านสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น เทคโนโลยีสะอาด และอื่น ๆ มาใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมของหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐ และเอกชน โดยทำการพิจารณาในประเด็นต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณการนำของเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้
2. มูลค่าที่เกิดจากการนำของเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้
3. มูลค่าเพิ่มที่เกิดจากการแปรรูปของเสียอุตสาหกรรมเป็นวัสดุป้องกันเสียง

รบกวนจากการจราจร

4. การใช้ประโยชน์ของเสียอุตสาหกรรมในอดีต ก่อนมีโครงการวัสดุป้องกัน
เสียงรบกวนจากการจราจร

5. ปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว และแคดเมียม) ซึ่งอาจเกิดจากการใช้งาน โดยทำ
การตรวจวิเคราะห์ด้วย Atomic Absorption Spectrometric Method ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำ
ทางกายภาพและเคมี ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี F1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

4.1 รายงานผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง (Absorption Coefficient, α) และค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss, TL) ของวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรซึ่งผลิตจากของเสียอุตสาหกรรมประกอบด้วย เศษชนบัตรหลังผ่านกระบวนการย่อยทำลายจากโรงพิมพ์ธนบัตร ธนาคารแห่งประเทศไทย วัสดุเก้าอี้โรงงานน้ำตาล และวัสดุเก้าอี้โรงงานไฟฟ้าถ่านหิน โดยมีวัสดุบิทูเมนเป็นสารเชื่อมประสานและทำการศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน ASTM C384-98 : Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance Tube Method และ ASTM E90-97 : Standard Test Method for Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions and Elements ตามลำดับ

การศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพของวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรตามมาตรฐาน ASTM D1559-98 : Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixture using Marshall Apparatus

การศึกษาคือความเป็นไปได้ในทางการตลาดของวัสดุป้องกันเสียงจากการจราจรที่ผลิตจากวัสดุเศษชนบัตรฯ ผสมบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 1.45 ความหนา 5 cm ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงสูงสุดและอีกทั้งมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม

4.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นวัสดุ (Absorption Coefficient, α)

จากผลการตรวจวัดค่าความต่างศักย์ของพลังงานเสียง (Standing Wave Ratio, SWR) ซึ่งเกิดขึ้นภายในหลอดอิมพีแดนซ์ (Impedance Tube) เมื่อนำผลการทดลองดังกล่าวมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient, α) และค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) มีผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.1-4.3

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุเศษชนบัตรฯ ผสมบิทูเมน

ความถี่ (เฮิรตซ์, Hz)	ความหนา 2.5 cm			ความหนา 5.0 cm		
	1 : 0.86	1 : 1.23	1 : 1.45	1 : 0.86	1 : 1.23	1 : 1.45
250	0.43	0.46	0.48	0.49	0.53	0.53
315	0.47	0.48	0.49	0.54	0.54	0.55
400	0.52	0.53	0.52	0.64	0.63	0.61
500	0.73	0.77	0.80	0.82	0.84	0.86
630	0.78	0.82	0.90	0.85	0.89	0.94
800	0.71	0.76	0.83	0.78	0.80	0.90
1,000	0.56	0.53	0.57	0.62	0.64	0.64
1,250	0.45	0.43	0.39	0.49	0.54	0.53
1,600	0.40	0.40	0.38	0.45	0.44	0.42
2,000	0.36	0.37	0.43	0.43	0.38	0.44
2,500	0.42	0.43	0.38	0.48	0.46	0.40
3,150	0.38	0.43	0.42	0.39	0.48	0.49
4,000	0.40	0.47	0.42	0.44	0.47	0.48
NRC	0.52	0.53	0.57	0.59	0.60	0.62

ที่มา : จากวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ในหัวข้อที่ 3.4.1 และ 3.4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล ผสมบิทูเมน

ความถี่ (เฮิรตซ์, Hz)	ความหนา 2.5 cm			ความหนา 5.0 cm		
	1 : 0.50	1 : 0.60	1 : 0.70	1 : 0.50	1 : 0.60	1 : 0.70
250	0.35	0.34	0.41	0.45	0.49	0.54
315	0.37	0.39	0.42	0.46	0.49	0.58
400	0.33	0.36	0.50	0.44	0.48	0.58
500	0.34	0.39	0.45	0.43	0.49	0.53
630	0.38	0.42	0.49	0.48	0.48	0.57
800	0.39	0.36	0.42	0.46	0.50	0.59
1,000	0.33	0.36	0.46	0.43	0.49	0.54

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุฝ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน (ต่อ)

ความถี่ (เฮิรตซ์, Hz)	ความหนา 2.5 cm			ความหนา 5.0 cm		
	1 : 0.50	1 : 0.60	1 : 0.70	1 : 0.50	1 : 0.60	1 : 0.70
1,250	0.34	0.36	0.49	0.43	0.45	0.52
1,600	0.35	0.32	0.42	0.45	0.45	0.54
2,000	0.44	0.41	0.53	0.54	0.52	0.57
2,500	0.60	0.65	0.69	0.73	0.75	0.77
3,150	0.64	0.71	0.84	0.74	0.78	0.90
4,000	0.64	0.70	0.77	0.75	0.84	0.90
NRC	0.36	0.37	0.46	0.46	0.50	0.55

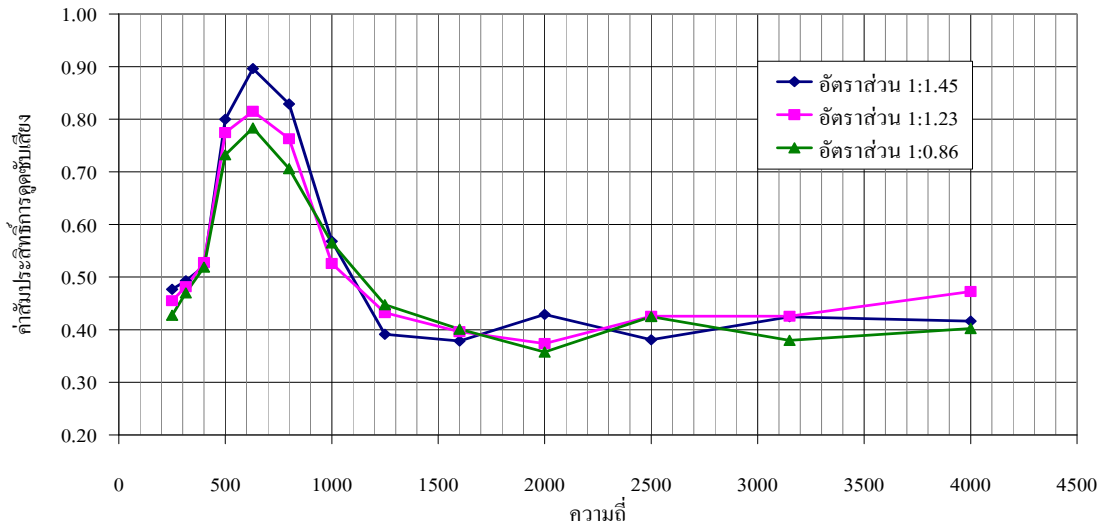
ที่มา : จากวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ในหัวข้อที่ 3.4.1 และ 3.4.2

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุฝ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน

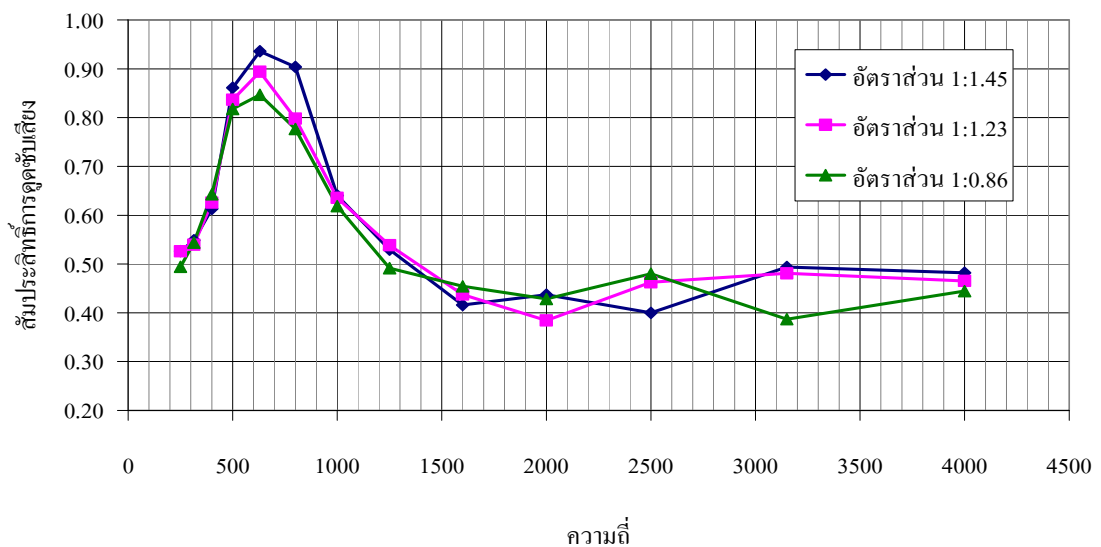
ความถี่ (เฮิรตซ์, Hz)	ความหนา 2.5 cm			ความหนา 5.0 cm		
	1 : 0.12	1 : 0.15	1 : 0.20	1 : 0.12	1 : 0.15	1 : 0.20
250	0.27	0.35	0.37	0.35	0.41	0.46
315	0.32	0.34	0.42	0.41	0.45	0.46
400	0.33	0.42	0.41	0.36	0.45	0.43
500	0.28	0.39	0.39	0.35	0.47	0.43
630	0.26	0.44	0.36	0.37	0.48	0.45
800	0.28	0.37	0.43	0.37	0.45	0.45
1,000	0.28	0.43	0.37	0.35	0.47	0.44
1,250	0.33	0.42	0.38	0.35	0.43	0.42
1,600	0.26	0.42	0.35	0.28	0.45	0.39
2,000	0.43	0.50	0.43	0.47	0.56	0.50
2,500	0.56	0.66	0.61	0.66	0.76	0.74
3,150	0.67	0.77	0.75	0.77	0.85	0.84
4,000	0.75	0.82	0.83	0.83	0.90	0.93
NRC	0.31	0.42	0.39	0.38	0.48	0.46

ที่มา : จากวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ในหัวข้อที่ 3.4.1 และ 3.4.2

จากค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงวัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนที่แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง อยู่ในช่วง 0.52-0.57 และ 0.59-0.62 ที่ความหนาแผ่นวัสดุ 2.5 และ 5.0 cm ตามลำดับ โดยมีรูปแบบความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2

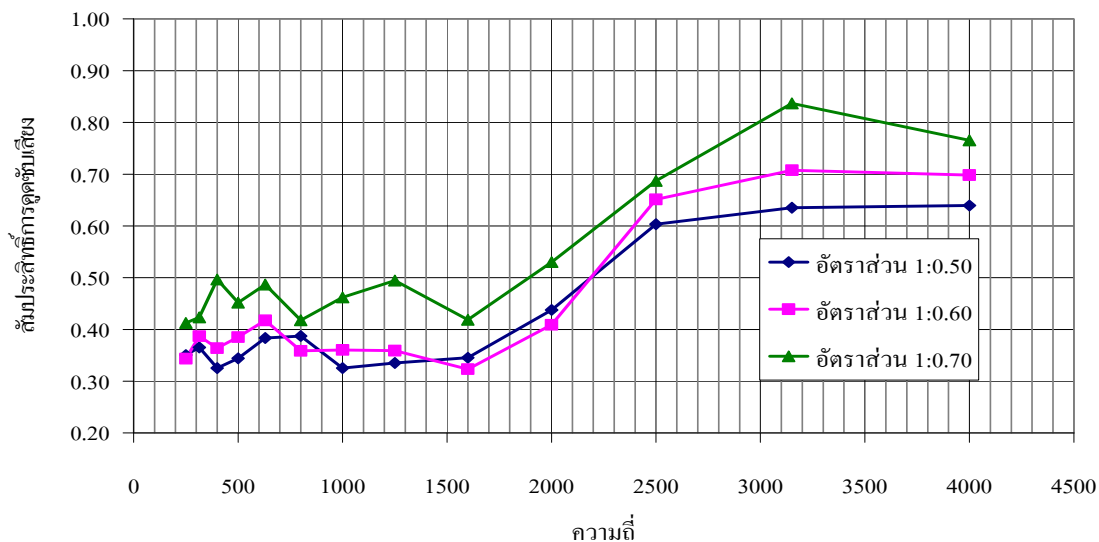


รูปที่ 4.1 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุเศษชนบัตรฯ ผสมบิทูเมน ความหนา 2.5 cm

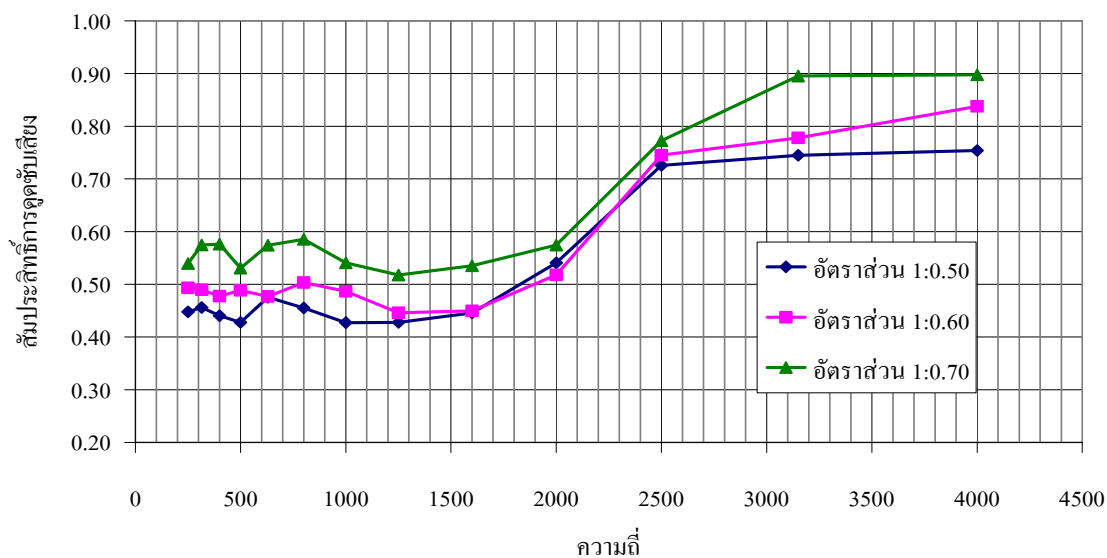


รูปที่ 4.2 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุเศษชนบัตรฯ ผสมบิทูเมน ความหนา 5.0 cm

จากค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงวัสดุถ้อยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมนที่แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (NRC) อยู่ในช่วง 0.36-0.46 และ 0.46-0.55 ที่ความหนาแผ่นวัสดุ 2.5 และ 5.0 cm โดยมีรูปแบบความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4

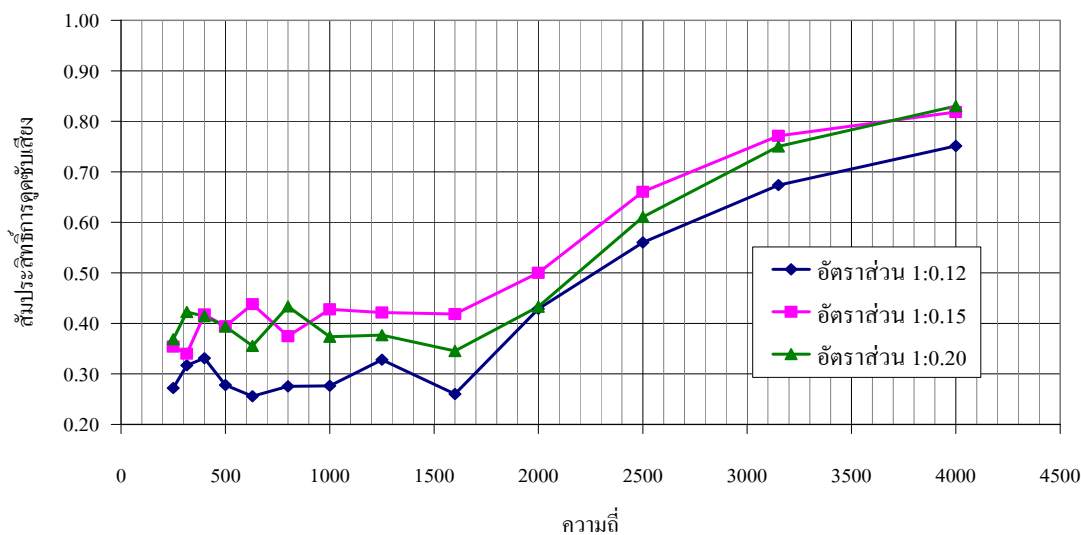


รูปที่ 4.3 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุถ้อยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน ความหนา 2.5 cm

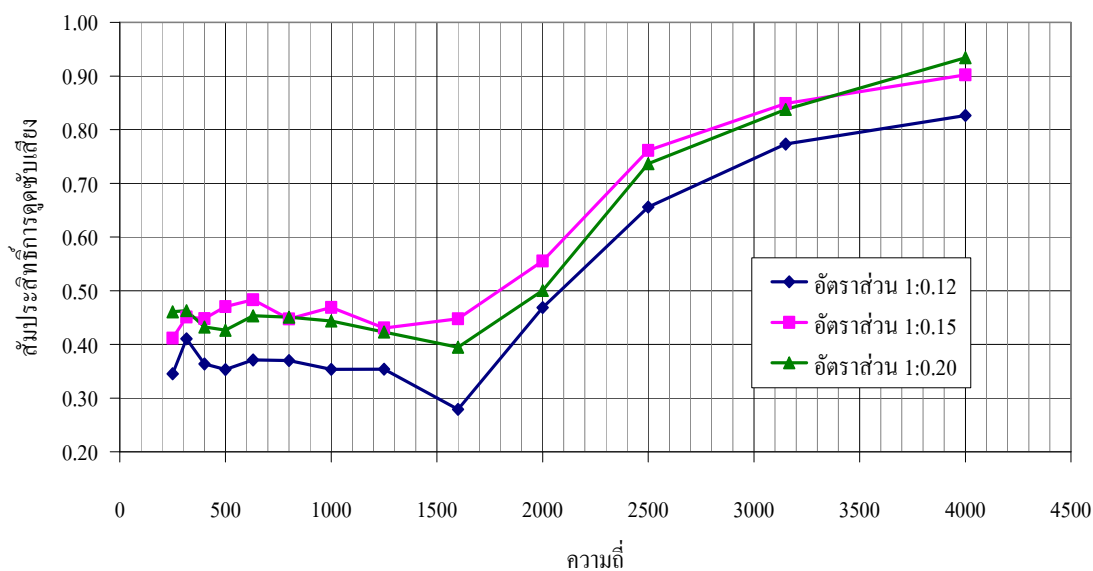


รูปที่ 4.4 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุถ้อยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน ความหนา 5.0 cm

จากค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงวัสดุถ้ำลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมนที่แสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (NRC) อยู่ในช่วง 0.31-0.42 และ 0.38-0.46 ที่ความหนาของแผ่นวัสดุ 2.5 และ 5.0 cm โดยมีรูปแบบความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุถ้ำลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน ผสมบิทูเมน ความหนา 2.5 cm



รูปที่ 4.6 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุถ้ำลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน ผสมบิทูเมน ความหนา 5.0 cm

4.1.2 ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss, TL)

จากผลการตรวจวัดค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss, TL) ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างของระดับเสียงระหว่าง กล้องที่ติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียง (L1) และกล้องรับเสียง (L2) โดยมีวัสดุป้องกันเสียงรบกวนกั้นขวางระหว่างทั้ง 2 ด้าน เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน พบว่ามีผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.4-4.6

ตารางที่ 4.4 ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน วัสดุเศษหินบดทราย ผสมบิทูเมน

ความถี่ (เฮิรตซ์, Hz)	ความหนา 2.5 cm			ความหนา 5.0 cm		
	1 : 0.86	1 : 1.23	1 : 1.45	1 : 0.86	1 : 1.23	1 : 1.45
250	25.4	23.6	22.1	27.7	25.8	23.1
315	24.6	22.7	20.7	27.3	25.5	23.2
400	26.3	24.5	22.7	29.6	28.3	25.5
500	27.3	25.2	22.9	30.3	28.7	25.5
630	27.2	24.6	22.2	30.0	27.0	24.9
800	27.7	24.3	22.0	30.6	27.9	24.6
1,000	25.0	23.4	21.5	28.1	26.1	23.5
1,250	24.2	21.2	19.6	26.6	24.6	22.1
1,600	23.4	21.8	20.4	27.3	23.9	22.2
2,000	25.2	22.3	21.4	26.8	25.5	23.8
2,500	25.1	23.1	20.2	28.4	26.5	23.2
3,150	24.5	22.8	19.7	28.6	25.6	22.6
4,000	25.0	23.5	20.0	28.1	25.0	22.2

ที่มา : จากวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลในหัวข้อที่ 3.4.3

จากค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน วัสดุเศษหินบดทราย ผสมบิทูเมนที่แสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ความหนา 2.5 cm ที่อัตราส่วนผสม 1 : 0.86, 1 : 1.23 และ 1 : 1.45 มีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านในช่วงความถี่ 250-4,000 Hz อยู่ในช่วง 23.4-27.7 dBA, 21.2-25.2 dBA และ 19.6-22.9 dBA ตามลำดับ โดยความหนา 5.0 cm ที่อัตราส่วนผสม 1 : 0.86, 1 : 1.23 และ 1 : 1.45 มีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (TL) ในช่วงความถี่ 250-4,000 Hz อยู่ในช่วง 26.6-30.6 dBA, 23.9-28.7 dBA และ 22.1-25.5 dBA ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านวัสดุฝ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน

ความถี่ (เฮิรตซ์, Hz)	ความหนา 2.5 cm			ความหนา 5.0 cm		
	1 : 0.50	1 : 0.60	1 : 0.70	1 : 0.50	1 : 0.60	1 : 0.70
250	19.3	22.1	24.1	21.7	24.0	25.3
315	20.0	21.6	24.8	21.3	23.3	26.0
400	21.8	23.8	26.6	23.2	26.6	28.4
500	22.2	24.6	25.8	25.1	27.5	28.5
630	20.2	22.8	23.7	22.1	24.5	25.7
800	20.1	23.1	25.9	22.2	25.5	29.2
1,000	19.2	22.8	24.6	20.9	24.8	26.6
1,250	20.8	23.6	25.4	22.2	25.8	27.4
1,600	20.8	22.8	26.2	23.0	26.1	28.7
2,000	20.5	24.1	26.5	23.8	27.1	29.7
2,500	21.9	24.8	27.0	24.6	28.4	30.7
3,150	22.7	26.8	27.7	25.1	29.4	31.5
4,000	22.1	26.1	27.6	24.3	29	31.1

ที่มา : จากวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ในหัวข้อที่ 3.4.3

จากค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน วัสดุฝ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน ที่แสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าความหนา 2.5 cm ที่อัตราส่วนผสม 1 : 0.50, 1 : 0.60 และ 1 : 0.70 มีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (TL) ในช่วงความถี่ 250-4,000 Hz อยู่ในช่วง 19.2-22.7 dBA, 21.6-26.8 dBA และ 23.7-27.7 dBA ตามลำดับ และความหนา 5.0 cm ที่อัตราส่วนผสม 1 : 0.50, 1 : 0.60 และ 1 : 0.70 มีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านในช่วงความถี่ 250-4,000 Hz อยู่ในช่วง 20.9-25.1 dBA, 23.3-29.4 dBA และ 25.3-31.5 dBA ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านวัสดุฉนวนห้องไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน

ความถี่ (เฮิรตซ์, Hz)	ความหนา 2.5 cm			ความหนา 5.0 cm		
	1 : 0.12	1 : 0.15	1 : 0.20	1 : 0.12	1 : 0.15	1 : 0.20
125	20.1	22.8	24.4	22.9	25.8	27.3
315	20.2	23.5	24.9	23.6	26.6	28.5
400	19.8	22.6	25.0	23.3	26.2	28.3
500	20.1	22.2	24.7	22.6	25.6	27.5
630	19.7	22.3	24.7	22.8	26.5	28.6
800	20.7	23.8	26.0	23.5	26.7	29.2
1,000	21.3	24.4	25.6	23.6	27.6	29.2
1,250	20.5	23.5	25.6	22.9	27.2	29.6
1,600	21.3	23.3	26.5	24.4	26.4	30.3
2,000	21.7	23.5	25.4	25.4	27.3	29.4
2,500	22.5	24.5	26.8	24.6	27.6	30.6
3,150	22.6	24.5	26.4	25.3	28.3	29.7
4,000	22.2	24.8	26.3	24.6	27.8	29.6

ที่มา : จากวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ในหัวข้อที่ 3.4.3

จากค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน วัสดุฉนวนห้องไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมนที่แสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าความหนา 2.5 cm ที่อัตราส่วนผสม 1 : 0.12, 1 : 0.15 และ 1 : 0.20 มีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านในช่วงความถี่ 250-4,000 Hz อยู่ในช่วง 19.7-22.6 dBA, 22.2-24.8 dBA และ 24.4-26.8 dBA ตามลำดับ และความหนา 5.0 cm ที่อัตราส่วนผสม 1 : 0.12, 1 : 0.15 และ 1 : 0.20 มีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านในช่วงความถี่ 250-4,000 Hz อยู่ในช่วง 22.6-25.4 dBA, 25.6-28.3 dBA และ 27.3-30.6 dBA ตามลำดับ

4.2 การอภิปรายผล

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient, α) และค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss, TL) ของแผ่นวัสดุป้องกันเสียงที่ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรม 3 ชนิด ได้แก่ เศษธนบัตรหลังผ่านกระบวนการย่อยทำลายจากโรงพิมพ์ธนบัตร ธนาคารแห่งประเทศไทย วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาล และวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยมีวัสดุบิทูเมนเป็นสารเชื่อมประสานที่ความหนา 2.5 และ 5.0 cm ที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกัน 9 อัตราส่วน ประกอบด้วย

1. วัสดุเศษธนบัตรฯ และบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 0.86 โดยน้ำหนัก
2. วัสดุเศษธนบัตรฯ และบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 1.23 โดยน้ำหนัก
3. วัสดุเศษธนบัตรฯ และบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 1.45 โดยน้ำหนัก
4. วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาล และบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 0.50 โดยน้ำหนัก
5. วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาล และบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 0.60 โดยน้ำหนัก
6. วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาล และบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 0.70 โดยน้ำหนัก
7. วัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน และบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 0.12 โดยน้ำหนัก
8. วัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน และบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 0.15 โดยน้ำหนัก
9. วัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน และบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 0.20 โดยน้ำหนัก

จากรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่เสียงและค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ดังแสดงในรูปที่ 4.1-4.6 มีลักษณะกลไกในการดูดซับเสียงแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะได้แก่

1. กลไกการดูดซับเสียงแบบเมมเบรน (Membrane Absorption) ได้แก่ วัสดุเศษธนบัตรผสมบิทูเมน ดังแสดงในรูปที่ 2.2

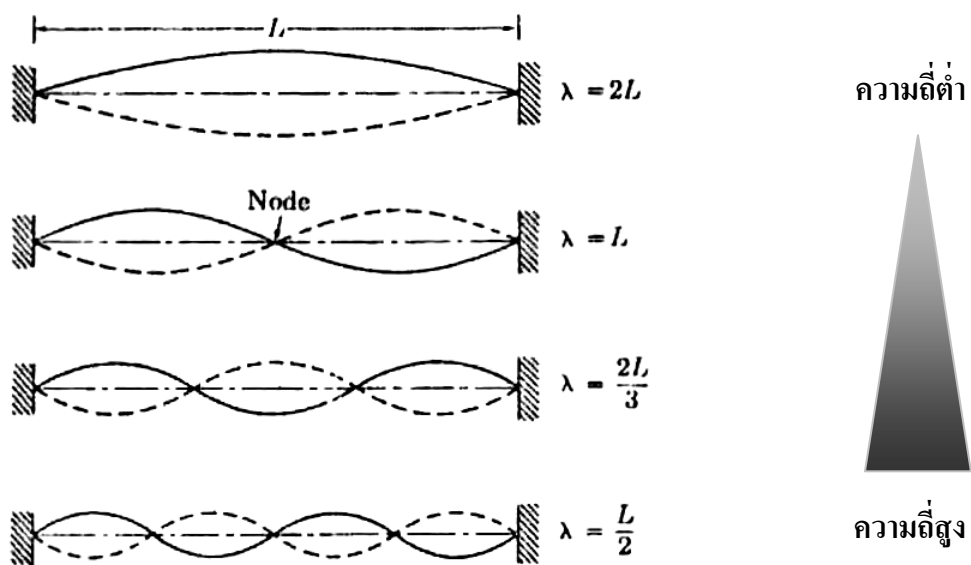
2. กลไกการดูดซับเสียงแบบรูพรุน (Porous Absorption) ได้แก่ วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน และวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เกาะผสมบิทูเมน ดังแสดงในรูปที่ 2.2

ดังรายงานผลการศึกษาโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient, α)

1. วัสดุเศษธนบัตรผสมบิทูเมนมีความสามารถในการดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่ต่ำและลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น โดยมีลักษณะกลไกหลักในการดูดซับเสียงในช่วงความถี่ต่ำแบบเมมเบรน (Membrane Absorber) ซึ่งกลไกในการดูดซับเสียงแบบเมมเบรนเกิดจากการที่วัสดุเมมเบรนเกิดการสั่นตัวด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของเสียงที่ตกกระทบแต่เนื่องจากวัสดุเมมเบรนเป็นวัสดุที่ไม่สามารถยืดหยุ่นได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีการสูญเสียพลังงานเสียงบางส่วนไปในรูปการถ่ายเทพลังงานคลื่นเสียงไปเป็นพลังงานความร้อนให้แก่วัสดุนั้น ๆ (David, A.H., 1991) หรือ

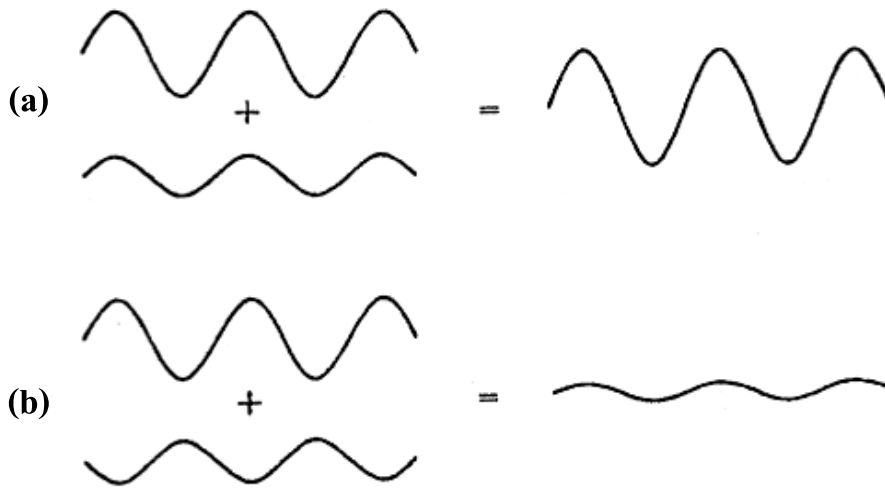
อาจกล่าวได้ว่า เนื่องจากที่ความถี่ต่ำพลังงานเสียงจะทำให้เมมเบรนเคลื่อนที่ได้ดีกว่าที่ความถี่สูง ในขณะที่คลื่นความถี่สูงมักสะท้อนออกจากเมมเบรนทำให้มีการสูญเสียพลังงานให้กับเมมเบรนน้อยมากซึ่งส่งผลให้วัสดุเมมเบรนมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง ได้ดีที่ความถี่ต่ำ (Walker, M.B., 1995) ประกอบกับในช่วงความถี่ต่ำ ความยาวของคลื่นเสียง (λ) มีค่าสูง เนื่องจากความยาวของคลื่นเสียงมีค่าผกผันกับค่าความถี่ ($\lambda=1/f$) ส่งผลให้วัสดุเมมเบรนมีระยะเวลาที่มากพอในการเปลี่ยนพลังงานเสียงส่วนใหญ่เป็นพลังงานความร้อนก่อนคลื่นเสียงชุดต่อไปจะเข้ากระทบ (Beiser, A., 1964) ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่เสียง และ ความยาวคลื่น (Beiser, A., 1964)

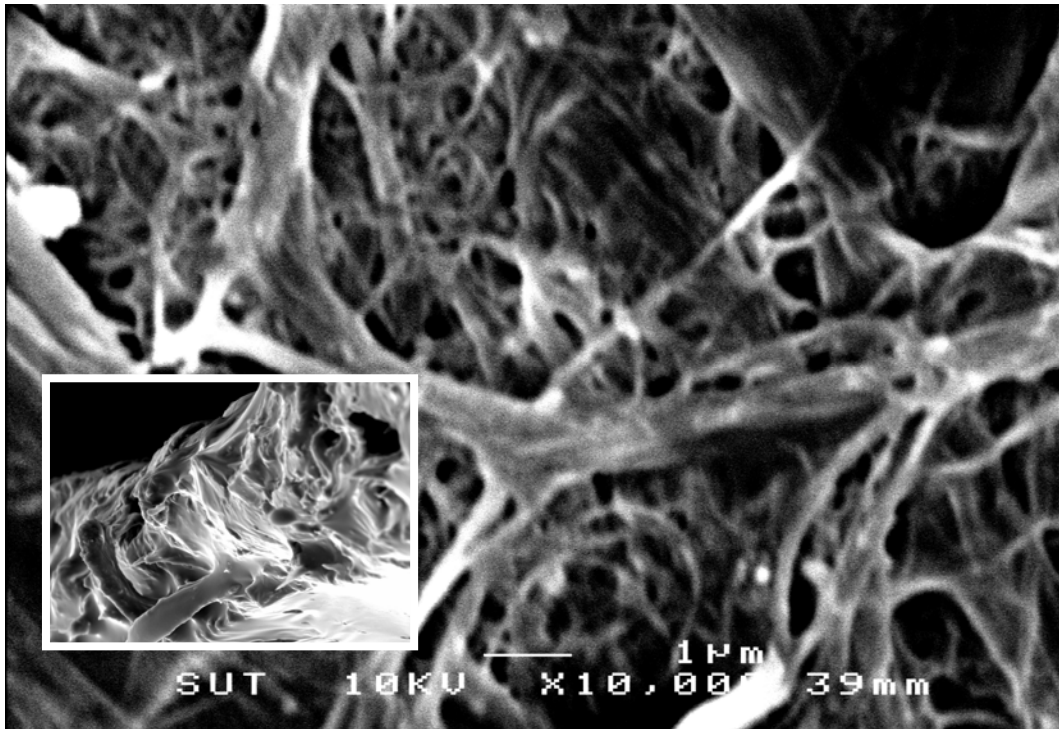
ในขณะที่คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง คลื่นเสียงชุดแรกจะเกิดการแทรกสอดกับคลื่นเสียงชุดต่อไปอย่างต่อเนื่อง ตามหลักการการแทรกสอดของเสียง กล่าวคือ เมื่อคลื่นเสียงตั้งแต่ 2 แหล่งกำเนิดขึ้นไปเกิดขึ้นและเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งเดียวกัน คลื่นเสียงที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะรวมกันเป็นคลื่นเสียงเดี่ยว ซึ่งเรียกว่า การแทรกสอด (Merken, M., 1989) ซึ่งเป็นไปตามหลัก การรวมกันได้ของคลื่น ทั้งนี้ถ้าคลื่นเสียงตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไปที่มีความถี่แตกต่างกันเล็กน้อยมาแทรกสอดกัน ในบางครั้งคลื่นเสียงเหล่านี้จะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกัน (Constructive Interference) ทำให้เกิดการสั่นตัวของตัวกลางมากขึ้น ส่งผลให้พลังงานเสียงมีระดับพลังงานสูงเกินกว่าความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานเสียงเป็นพลังงานความร้อนของวัสดุเมมเบรน และในบางครั้งคลื่นเสียงเหล่านี้จะแทรก

สอดกันแบบหักล้าง (Destructive Interference) ทำให้การสั่นตัวของตัวกลางน้อยลงจึงเป็นช่วงที่ไม่มีผลกระทบต่อกรเปลี่ยนรูปแบบพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.8



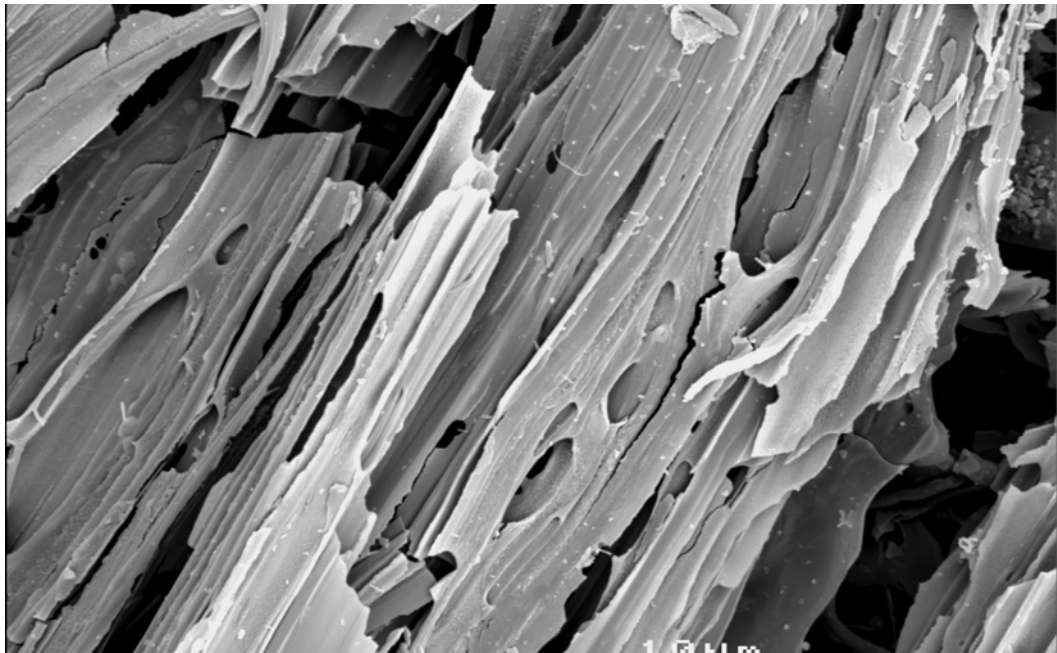
รูปที่ 4.8 ลักษณะการแทรกสอดของเสียง (a) การแทรกสอดแบบเสริมกัน Constructive Interference (b) การแทรกสอดแบบหักล้าง Destructive Interference

ด้วยเหตุนี้ ในช่วงคลื่นความถี่สูงวัสดุดูดซับเสียงแบบเมมเบรน (Membrane Absorber) จึงมีค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับเสียง (Absorption Coefficient, α) ต่ำกว่าระดับ 0.2 ดังแสดงในรูปที่ 2.2 แต่จากผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ที่แสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ของวัสดุป้องกันเสียงซึ่งผลิตจากเศษธนบัตรผสมบิทูเมน แสดงให้เห็นถึงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุในช่วงความถี่สูง (มากกว่า 1,000 Hz) ที่ระดับ 0.36-0.47 และ 0.38-0.54 ที่ระดับความหนาแผ่นวัสดุ 2.5 และ 5.0 cm ตามลำดับ ซึ่งค่าความแตกต่างดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากกลไกความหนืด (Viscous Loss) ของวัสดุบิทูเมน (Bitumen) ซึ่งเข้าไปแทนที่อากาศภายในช่องว่างระหว่างวัสดุเศษธนบัตร ดังแสดงในรูปที่ 4.9 มีผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการอัดและขยายอันเป็นผลจากปรากฏการณ์การแทรกสอดของคลื่นมากกว่าปรกติ โดยปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นได้ในช่วงความถี่สูงเนื่องจากในช่วงความถี่สูงความยาวของคลื่นเสียงมีค่าต่ำ ซึ่งมีผลทำให้โอกาสในการเกิดการแทรกสอดภายในช่องว่างสูงขึ้นโดยการอัดขยาย (เสียงดังค่อย) สลับกันซึ่งลักษณะที่เกิดขึ้นดังกล่าว เรียกว่า ปรากฏการณ์การเกิดบีตส์ (Giancoli, D.C., 1980) ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.9 ลักษณะโครงสร้างภายในวัสดุผสมบิตูเมน และภาพตัดขวาง

2. วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิตูเมน มีช่องว่างภายในซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1 mm ซึ่งต่ำกว่าขนาดความยาวของคลื่นเสียงมาก ดังนั้นวัสดุชนิดนี้จึงเป็นตัวกลางทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานได้เป็นอย่างดีโดยเกิดจากกลไกการเปลี่ยนแปลงพลังงานของวัสดุพูน คือ เมื่อเสียงตกกระทบบนวัสดุเหล่านี้โมเลกุลของอากาศจะเกิดการสั่นตัวภายในช่องว่างของวัสดุพูน ดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยมีความถี่ของการสั่นเท่ากับความถี่ของเสียงที่ตกกระทบบ การสั่นตัวของโมเลกุลอากาศทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเสียดทาน และความหนืด (Frictional and Viscous Loss) (Malcolm, J.C., and Frederick, M.K., 1982) และมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่รวมทั้งการอัดและการขยายของคลื่นเสียงในระหว่างการเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างภายในวัสดุพูน เป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงประกอบกับการเข้าแทนที่ช่องว่างภายในวัสดุพูนของวัสดุบิตูเมน (Bitumen) ซึ่งส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานเสียงเนื่องจากความหนืด (Viscous Losses) มีค่าสูงขึ้นโดยปรากฏการณ์ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ การเสียดทานและความหนืด (Frictional and Viscous Loss) นี้จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเป็นจำนวนมากเมื่อเสียงที่ตกกระทบบมีความถี่สูง

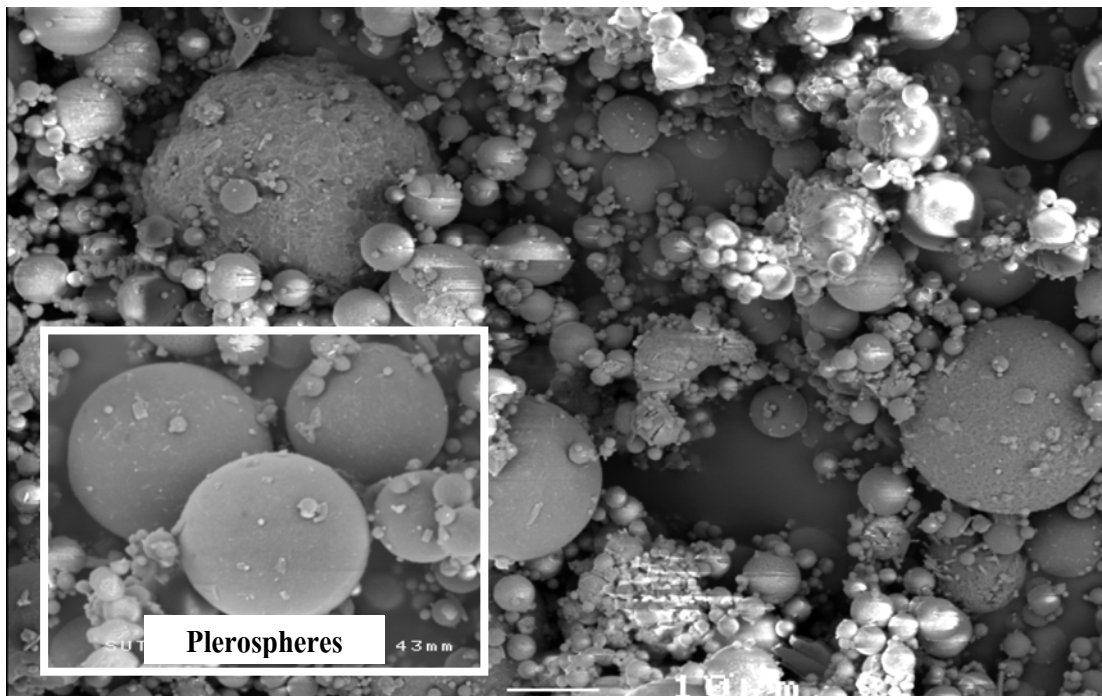


รูปที่ 4.10 ลักษณะ โครงสร้างภายในวัสดุเส้นใยโรงงานน้ำตาล ผสมบิทูเมน

ในขณะที่คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำจะมีการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อน เนื่องจากอากาศภายในช่องว่างของวัสดุพรุนจะถูกอัดและขยายอย่างเป็นจังหวะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานความร้อน คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำจะทำให้ระยะเวลาในการสั่นตัวของโมเลกุลอากาศในแต่ละครั้งยาวนานขึ้นประกอบกับคุณสมบัติของวัสดุพรุน ซึ่งมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมากและความสามารถในการนำความร้อนของเส้นใยค่อนข้างสูง จึงทำให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญของวัสดุพรุนเมื่อคลื่นเสียงมีความถี่ต่ำ (Beranek, L.L., and Ver, I.L., 1992)

3. วัสดุเส้นใยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมนมีช่องว่างภายใน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1 mm ซึ่งต่ำกว่าขนาดความยาวของคลื่นเสียงมากดังนั้นวัสดุชนิดนี้จึงเป็นตัวกลางทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานได้เป็นอย่างดี โดยเกิดจากกลไกการเปลี่ยนแปลงพลังงานของวัสดุพรุนเช่นเดียวกับวัสดุเส้นใยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน แต่มีค่าความแตกต่าง ซึ่งเกิดจากคุณสมบัติที่แตกต่างกันของลักษณะทางกายภาพ ของวัสดุเส้นใยโรงงานน้ำตาล และวัสดุเส้นใยโรงไฟฟ้าถ่านหิน ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ ซึ่งเส้นใยจากโรงไฟฟ้าถ่านหินมีลักษณะโครงสร้างเป็นทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยทรงกลมแข็งตันที่ประกอบไปด้วยทรงกลมเล็กหลาย ๆ อันรวมกันจะเรียกว่า Plerospheres และทรงกลมกลวงขนาดใหญ่ซึ่งภายในเต็มไปด้วย

ด้วยช่องว่างอากาศ และมีน้ำหนักเบาเรียกว่า Cenospheres (Trivedi, A., and Sud, V. K., 2004) ด้วยเหตุนี้ทำให้บางส่วนของวัสดุฉนวนไฟฟ้่าถ่านหิน ได้แก่ Plerospheres มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงต่ำเนื่องจากเป็นวัสดุทรงกลมแข็งจึงก่อให้เกิดการสะท้อนเสียงออกจากแผ่นวัสดุป้องกันเสียงฉนวนไฟฟ้่าถ่านหินผสมบิทูเมนมากกว่าวัสดุฉนวนไฟฟ้่าถ่านหินน้ำตาลผสมบิทูเมน



รูปที่ 4.11 ลักษณะโครงสร้างภายในวัสดุฉนวนไฟฟ้่าถ่านหินผสมบิทูเมน

4.2.2 สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC)

จากตารางจำแนกชนิดของวัสดุป้องกันเสียง จากค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง ซึ่งแบ่งวัสดุออกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ วัสดุซึ่งมีค่า NRC ต่ำกว่า 0.2 เป็นวัสดุสะท้อนเสียง, วัสดุซึ่งมีค่า NRC ระหว่าง 0.2 ถึง 0.4 เป็นวัสดุดูดซับเสียงประสิทธิภาพปานกลาง และวัสดุซึ่งมีค่า NRC สูงกว่า 0.4 เป็นวัสดุดูดซับเสียงประสิทธิภาพสูง โดยจากผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (NRC) ของวัสดุป้องกันเสียงทั้ง 3 ชนิดพบว่า วัสดุเศษชนบ้ตรผสมบิทูเมน มีค่า NRC เท่ากับ 0.52-0.57 และ 0.59-0.62 ที่ความหนา 2.5 และ 5.0 cm ตามลำดับ วัสดุฉนวนไฟฟ้่าถ่านหินน้ำตาลผสมบิทูเมน มีค่า NRC เท่ากับ 0.36-0.46 และ 0.46-0.55 ที่ความหนา 2.5 และ 5.0 cm ตามลำดับ และวัสดุฉนวนไฟฟ้่าถ่านหินผสมบิทูเมน มีค่า NRC เท่ากับ 0.31-0.39 และ 0.38-0.46 ที่ความหนา 2.5 และ 5.0 cm ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 จำแนกชนิดของวัสดุป้องกันเสียง ที่ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรม

จากค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC)

ประสิทธิภาพ	NRC	วัสดุชนิดต่าง ๆ	
		ความหนา 2.5 cm	ความหนา 5 cm
ประสิทธิภาพการดูดซับเสียงสูง	1.00		
	0.90		
	0.80		
	0.70		
	0.62		● วัสดุเศษธนบัตรฯ 1 : 1.45
	0.60		● วัสดุเศษธนบัตรฯ 1 : 1.23
	0.59		● วัสดุเศษธนบัตรฯ 1 : 0.86
	0.57	● วัสดุเศษธนบัตรฯ 1 : 1.45	
	0.55		● ใต้อลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.70
	0.53	● วัสดุเศษธนบัตรฯ 1 : 1.23	
	0.52	● วัสดุเศษธนบัตรฯ 1 : 0.86	
	0.50		● ใต้อลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.60
	0.48		● ใต้อลอยถ่านหิน 1 : 0.15
	0.46	● ใต้อลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.70	● ใต้อลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.50
	0.42	● ใต้อลอยถ่านหิน 1 : 0.15	และ ใต้อลอยถ่านหิน 1 : 0.20
	ประสิทธิภาพการดูดซับเสียงปานกลาง	0.40	
0.39		● ใต้อลอยถ่านหิน 1 : 0.20	
0.38			● ใต้อลอยถ่านหิน 1 : 0.12
0.37		● ใต้อลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.60	
0.36		● ใต้อลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.50	
0.31		● ใต้อลอยถ่านหิน 1 : 0.12	
0.30			
สะท้อนเสียง	0.20		
	0.10		

จากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient, α) และค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) พบว่า

1. วัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนมีกลไกการดูดซับเสียงแบบเมมเบรน (Membrane Absorption) เป็นกลไกหลักที่ทำให้เกิดการดูดซับเสียง โดยวัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงสุดในช่วงความถี่ 800 Hz โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงอยู่ในช่วง 0.71-0.83 ที่ความหนา 2.5 cm และพบว่าเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นเป็น 5.0 cm วัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 0.78-0.90 ในช่วงความถี่ 800 Hz ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่ต่ำ จึงเหมาะสมในการนำมาใช้ในการป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจร เนื่องจากเสียงรบกวนจากการจราจรมีค่าความถี่ต่ำกว่า 1,000 Hz (ประชาชน อารีพล, 2541) นอกจากนี้จากผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง หรือ NRC พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียงมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนผสมเศษชนบัตรต่อบิทูเมน 1 : 1.45 โดยมีค่าเท่ากับ 0.57 และ 0.62 และต่ำสุดที่อัตราส่วนผสมเศษชนบัตรต่อบิทูเมน 1 : 0.86 โดยมีค่าเท่ากับ 0.52 และ 0.59 ที่ความหนา 2.5 และ 5.0 cm ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า NRC มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของแผ่นวัสดุเพิ่มขึ้น

2. วัสดุถ้ำลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนภายในวัสดุถ้ำลอยโรงงานน้ำตาลอยู่ในช่วง 4-10 μm โดยมีกลไกการดูดซับเสียงแบบรูพรุน (Porous Absorption) เป็นกลไกหลักที่ทำให้เกิดการดูดซับเสียง โดยวัสดุถ้ำลอยโรงงานน้ำตาลมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงสุดในช่วงความถี่ 3,150 Hz โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงอยู่ในช่วง 0.64-0.84 ที่ความหนา 2.5 cm และพบว่าเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นเป็น 5.0 cm วัสดุถ้ำลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมนมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 0.74-0.90 ในช่วงความถี่ 3,150 Hz ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุถ้ำลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมนมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่สูง นอกจากนี้จากผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง หรือ NRC พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียงมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนผสมวัสดุถ้ำลอยโรงงานน้ำตาลต่อบิทูเมน 1 : 0.70 โดยมีค่าเท่ากับ 0.46 และ 0.55 และต่ำสุดที่อัตราส่วนผสมวัสดุถ้ำลอยโรงงานน้ำตาลต่อบิทูเมน 1 : 0.50 โดยมีค่าเท่ากับ 0.36 และ 0.46 ที่ความหนา 2.5 และ 5.0 cm ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า NRC มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของแผ่นวัสดุเพิ่มขึ้น

3. วัสดุเฝ้าลรอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนภายในวัสดุเฝ้าลรอยถ่านหินอยู่ในช่วง 10-20 μm โดยมีกลไกการดูดซับเสียงแบบรูพรุน (Porous Absorption) เช่นเดียวกับวัสดุเฝ้าลรอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน โดยวัสดุเฝ้าลรอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมนมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงสุดในช่วงความถี่ 4,000 Hz โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงอยู่ในช่วง 0.75-0.83 ที่ความหนา 2.5 cm และพบว่าเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นเป็น 5.0 cm วัสดุเฝ้าลรอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมนมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเพิ่มขึ้น อยู่ในช่วง 0.83-0.93 ในช่วงความถี่ 4,000 Hz ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุเฝ้าลรอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมนมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่สูงเช่นเดียวกับวัสดุเฝ้าลรอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน เนื่องจากมีกลไกการดูดซับเสียงแบบรูพรุนเป็นกลไกหลักในการดูดซับเสียง เช่นเดียวกัน นอกจากนี้จากผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง หรือ NRC พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียงมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนผสมวัสดุเฝ้าลรอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน 1 : 0.15 โดยมีค่าเท่ากับ 0.42 และ 0.48 และต่ำสุดที่อัตราส่วนผสมวัสดุเฝ้าลรอยโรงงานน้ำตาลต่อบิทูเมน 1 : 0.12 โดยมีค่าเท่ากับ 0.31 และ 0.38 ที่ความหนา 2.5 และ 5.0 cm ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า NRC มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของแผ่นวัสดุเพิ่มขึ้น

4. จากค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง หรือ NRC ของวัสดุทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ วัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมน วัสดุเฝ้าลรอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน และวัสดุเฝ้าลรอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน โดยค่า NRC เป็นค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง หรือ α ที่ความถี่ 250, 500, 1,000 และ 2,000 Hz พบว่า

- ที่ระดับความหนา 2.5 cm วัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนอัตราส่วน 1 : 1.45 เป็นวัสดุซึ่งมีค่า NRC สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.57 ในขณะที่วัสดุเฝ้าลรอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมนที่อัตราส่วน 1 : 0.12 เป็นวัสดุซึ่งมีค่า NRC ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.31 จัดอยู่ในกลุ่มวัสดุดูดซับเสียงซึ่งมีประสิทธิภาพการดูดซับเสียงสูงและปานกลาง ตามลำดับ

- ที่ระดับความหนา 5.0 cm วัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนอัตราส่วน 1 : 1.45 เป็นวัสดุซึ่งมีค่า NRC สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.62 ในขณะที่วัสดุเฝ้าลรอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมนที่อัตราส่วน 1 : 0.12 เป็นวัสดุซึ่งมีค่า NRC ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.38 จัดอยู่ในกลุ่มวัสดุดูดซับเสียงซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงสูงและปานกลาง ตามลำดับ

- จากผลการทดลองที่ได้เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวัสดุป้องกันเสียงที่นิยมใช้งานในปัจจุบันพบว่า วัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนที่อัตราส่วนผสม 1 : 1.45 มีกลไกในการดูดซับเสียงแบบเมมเบรน ซึ่งสามารถดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่ต่ำจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจร เนื่องจากเสียงรบกวนจากการจราจรมีค่าความถี่เสียงอยู่ในช่วง 400-1,000 Hz

ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวสอดคล้องกับคุณสมบัติของวัสดุเส้นใยแก้วผสมซีเมนต์ (GRC) ซึ่งเป็นวัสดุดูดซับเสียงรบกวนจากการจราจรที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยวัสดุพิเศษชนิดผสมบิทูเมนและวัสดุเส้นใยแก้วผสมซีเมนต์ มีค่า NRC เท่ากับ 0.62 และ 0.85 ตามลำดับ ที่ความหนา 5.0 cm ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มวัสดุซึ่งมีการสะท้อนเสียงต่ำและมีความสามารถในการดูดซับเสียงสูง ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งในการใช้งานในพื้นที่ซึ่งมีที่พักอาศัยและอาคารสูงอยู่อย่างหนาแน่น อาทิเช่น พื้นที่กรุงเทพฯชั้นในซึ่งเป็นย่านธุรกิจและที่พักอาศัยในรูปแบบคอนโดมิเนียม ในขณะที่เดียวกันพบว่า วัสดุพิเศษชนิดผสมบิทูเมนที่อัตราส่วนดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับวัสดุ Echo Bloc ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในบริเวณอุโมงค์ต่าง ๆ อาทิเช่น รถไฟฟ้าใต้ดิน มีค่า NRC เท่ากับ 0.65 ที่ความหนา 5.0 cm นอกจากนั้นจากผลการศึกษาพบว่าวัสดุพิเศษชนิดผสม บิทูเมน อัตราส่วน 1 : 1.45 มีค่า NRC เท่ากับ 0.62 และ 0.57 ที่ความหนา 5.0 และ 2.5 cm โดยค่า NRC ดังกล่าวมีค่าสูงกว่าวัสดุซีเมนต์บล็อกผสมโฟม และ SUPERBLOCK ซึ่งมีค่า NRC เท่ากับ 0.37 และ 0.17 ตามลำดับ ที่ระดับความหนา 5.0 cm ด้วยเหตุนี้จึงมีความเป็นไปได้ในการนำวัสดุพิเศษชนิดผสมบิทูเมน ความหนา 2.5 cm ซึ่งมีค่า NRC เท่ากับ 0.57 มาใช้ทดแทนวัสดุซีเมนต์บล็อกผสมโฟม และ SUPERBLOCK ในบริเวณพื้นที่ที่พักอาศัย ซึ่งไม่มีอาคารสูง

4.2.3 ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss, TL)

ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านเป็นค่าที่ใช้ระบุประสิทธิภาพในการป้องกันเสียงรบกวนของวัสดุป้องกันเสียง โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (TL) ร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง(α) และค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) ของวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรที่ผลิตจากวัสดุของเสียอุตสาหกรรม 3 ชนิด ได้แก่ วัสดุพิเศษชนิดผสมบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 0.86, 1 : 1.23 และ 1 : 1.45 วัสดุถ้ำลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 0.50, 1 : 0.60 และ 1 : 0.70 วัสดุถ้ำลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 0.12, 1 : 0.15 และ 1 : 0.20 ที่ระดับความหนา 2.5 และ 5.0 cm สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss) และ รูปแบบกลไก (การดูดซับ และการสะท้อน) ที่ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน

วัสดุ	ประสิทธิภาพ			การดูดซับ (NRC)	การสะท้อน
	TL (dBA)	สูงสุด (Hz)	ต่ำสุด (Hz)		
เศษชนบัตรผสมบิทูเมน					
1 : 0.86 (2.5 cm)	23.4-27.7	800	1,600	0.52	0.48
1 : 1.23 (2.5 cm)	21.2-25.2	500	1,250	0.53	0.47
1 : 1.45 (2.5 cm)	19.6-22.9	500	1,250	0.57	0.43
1 : 0.86 (5.0 cm)	26.6-30.6	800	1,250	0.59	0.41
1 : 1.23 (5.0 cm)	23.9-28.7	500	1,600	0.60	0.40
1 : 1.45 (5.0 cm)	22.1-25.5	400, 500	1,250	0.62	0.38
ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน					
1 : 0.50 (2.5 cm)	19.2-22.7	3,150	1,000	0.36	0.64
1 : 0.60 (2.5 cm)	21.6-26.8	3,150	315	0.37	0.63
1 : 0.70 (2.5 cm)	23.7-27.7	3,150	630	0.46	0.54
1 : 0.50 (5.0 cm)	20.9-25.1	500,3,150	1,000	0.46	0.54
1 : 0.60 (5.0 cm)	23.3-29.4	3,150	315	0.50	0.50
1 : 0.70 (5.0 cm)	25.3-31.5	3,150	125	0.55	0.45
ถ้ำลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน					
1 : 0.12 (2.5 cm)	19.7-22.6	3,150	630	0.31	0.69
1 : 0.15 (2.5 cm)	22.2-24.8	4,000	500	0.42	0.58
1 : 0.20 (2.5 cm)	24.4-26.8	2,500	125	0.39	0.61
1 : 0.12 (5.0 cm)	22.6-25.4	2,000	500	0.38	0.62
1 : 0.15 (5.0 cm)	25.6-28.3	3,150	500	0.48	0.52
1 : 0.20 (5.0 cm)	27.3-30.6	2,500	125	0.46	0.54

จากการศึกษาค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss, TL) และรูปแบบกลไก (การดูดซับเสียง และ การสะท้อนเสียง) ที่ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่า

1. วัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมน ความหนา 5 cm เป็นวัสดุซึ่งมีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านอยู่ในช่วง 22.1-30.6 dBA และเมื่อทำการพิจารณาร่วมกับค่า NRC ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.59-0.62 จึงแสดงให้เห็นว่าวัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนมีกลไกการดูดซับเสียงแบบเมมเบรนเป็นกลไกหลักซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน ในขณะที่วัสดุฝ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน และวัสดุฝ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน มีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (TL) อยู่ในช่วง 20.9-31.5 dBA และ 22.6-30.6 dBA ตามลำดับ โดยมีค่า NRC อยู่ในช่วง 0.46-0.55 และ 0.38-0.46 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุฝ้าลอยผสมบิทูเมนทั้งสองชนิดมีกลไกการสะท้อนเป็นกลไกหลักซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน ดังนั้นหากเป็นการใช้งานในพื้นที่ซึ่งมีที่พักอาศัยและอาคารสูงอยู่อย่างหนาแน่นวัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนจึงมีความเหมาะสมในการใช้งานมากกว่า เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดผลกระทบจากการสะท้อนของเสียง นอกจากนี้หากทำการเปรียบเทียบกับวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรที่นิยมใช้ในปัจจุบันพบว่า วัสดุซีเมนต์ผสมเส้นใยแก้วมีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านอยู่ในช่วง 30-35 dBA โดยมีกลไกการดูดซับเสียงเป็นกลไกหลักเช่นเดียวกับวัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมน ในขณะที่วัสดุวัสดุซีเมนต์บล็อกผสม โฟม และ SUPERBLOCK มีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน อยู่ในช่วง 22-30 dBA และ 20-28 dBA ตามลำดับ โดยมีกลไกการสะท้อนเป็นกลไกหลักที่ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน

2. วัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมน ที่ความหนา 2.5 และ 5.0 cm มีกลไกการดูดซับเป็นกลไกหลักที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน ในขณะที่วัสดุฝ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน และวัสดุฝ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน มีกลไกการสะท้อนเป็นกลไกหลักที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน ที่ความหนา 2.5 และ 5.0 cm จากรูปแบบกลไกในการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าระดับการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านเกิดจากประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงและประสิทธิภาพในการสะท้อนเสียงของแผ่นวัสดุ

3. วัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมน วัสดุฝ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน และวัสดุฝ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน ความหนา 5.0 cm มีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านมากกว่าความหนา 2.5 cm จากผลการศึกษาแสดงว่าความหนาของแผ่นวัสดุมีผลต่อค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน โดยแผ่นวัสดุที่มีความหนามากกว่ามีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านวัสดุมากกว่าแผ่นวัสดุที่มีความหนาน้อยกว่า

4. วัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนที่มีอัตราส่วนผสมบิทูเมนน้อยมีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านมากกว่าแผ่นวัสดุที่มีอัตราส่วนผสมบิทูเมนมากกว่า ในขณะที่วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน และวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมนที่มีอัตราส่วนผสมบิทูเมนมากมีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านวัสดุมากกว่าแผ่นวัสดุที่มีอัตราส่วนผสมบิทูเมนน้อยกว่า จากผลการศึกษาแสดงว่าอัตราส่วนผสมของวัสดุที่ใช้และบิทูเมนมีผลต่อค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน มากกว่าแผ่นวัสดุแตกต่างกัน

4.2.4 การศึกษาเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุแต่ละอัตราส่วน โดยใช้หลักการทางสถิติด้วยวิธี T-test (Paired Sample Test)

มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุแต่ละอัตราส่วนว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ Sig T เท่ากับ 0.05 (ความเชื่อมั่น 95%) โดยมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1. สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนความหนา 2.5 cm พบว่าอัตราส่วนผสม 1 : 1.23 กับ 1 : 1.45 มีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
2. สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนความหนา 5.0 cm อัตราส่วนผสมทั้ง 3 อัตราส่วน คือ 1 : 0.86, 1 : 1.23 และ 1 : 1.45 มีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
3. สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมนความหนา 2.5 cm ทุกอัตราส่วนผสมมีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
4. สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมนความหนา 5.0 cm ทุกอัตราส่วนผสมมีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
5. สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมนความหนา 2.5 cm อัตราส่วนผสม 1 : 0.15 กับ 1 : 0.20 มีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
6. สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมนความหนา 5.0 cm อัตราส่วนผสม 1 : 0.15 กับ 1 : 0.20 มีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

7. สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนความหนา 2.5 cm ที่อัตราส่วน 1 : 0.86, 1 : 1.23 และ 1 : 1.45 มีความแตกต่างกับความหนา 5.0 cm ที่อัตราส่วนผสมเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

8. สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของเก้าอี้ลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมนความหนา 2.5 cm ที่อัตราส่วน 1 : 0.5, 1 : 0.6 และ 1 : 0.7 มีความแตกต่างกับความหนา 5.0 cm ที่อัตราส่วนผสมเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

9. สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุเก้าอี้ลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมนความหนา 2.5 cm ที่อัตราส่วน 1 : 0.12, 1 : 0.15 และ 1 : 0.20 มีความแตกต่างกับความหนา 5.0 cm ที่อัตราส่วนผสมเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

10. สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนความหนา 2.5 cm อัตราส่วนผสม 1 : 1.45 มีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับวัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนความหนา 5.0 cm ที่อัตราส่วนผสม 1 : 0.86

11. สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุเก้าอี้ลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมนความหนา 2.5 cm อัตราส่วนผสม 1 : 0.70 มีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับวัสดุเก้าอี้ลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมนความหนา 5.0 cm อัตราส่วนผสม 1 : 0.50 และ 1 : 0.60

12. สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุเก้าอี้ลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน ความหนา 2.5 cm อัตราส่วนผสม 1 : 0.15 และ 1 : 0.20 มีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับวัสดุเก้าอี้ลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน ความหนา 5.0 cm อัตราส่วนผสม 1 : 0.12

จากการศึกษาเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุแต่ละอัตราส่วนโดยใช้หลักการทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า

1. วัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนที่อัตราส่วนผสม 1 : 1.23 มีความเหมาะสมในการนำมาใช้มากที่สุดที่ความหนา 2.5 cm เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับวัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนที่อัตราส่วนผสม 1 : 1.45 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่ประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงสูงสุด แต่หากความหนาของวัสดุเพิ่มขึ้นเป็น 5.0 cm ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงสูงขึ้นพบว่าอัตราส่วนผสมทั้ง 3 อัตราส่วนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้อัตราส่วนผสม 1 : 0.86 เป็นอัตราส่วนผสมที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากวัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนอัตราส่วน 1 : 1.45 อีกทั้งมีการใช้บิทูเมนน้อยที่สุด

2. วัสดุเกล็ดลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน ทั้ง 3 อัตราส่วนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งที่ระดับความหนา 2.5 และ 5.0 cm ดังนั้นอัตราส่วนผสม 1 : 0.70 จึงเป็นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงสูงสุด

3. วัสดุเกล็ดลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมนที่อัตราส่วน 1 : 0.15 และ 1 : 0.20 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทั้งที่ระดับความหนา 2.5 และ 5.0 cm ดังนั้นอัตราส่วนผสม 1 : 0.15 จึงเป็นอัตราส่วนผสมที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงสุดอีกทั้งมีอัตราการใช้บิทูเมนน้อยกว่าที่อัตราส่วนผสม 1 : 0.20

4. วัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมน วัสดุเกล็ดลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน และวัสดุเกล็ดลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน ทั้ง 3 ชนิด ที่ระดับความหนา 2.5 และ 5.0 cm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงของแผ่นวัสดุมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับความหนาของแผ่นวัสดุมีค่าเพิ่มขึ้น

5. วัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมน ที่อัตราส่วนผสม 1 : 1.45 ความหนา 2.5 cm สามารถใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียงแทนวัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมน ที่อัตราส่วนผสม 1 : 0.86 ความหนา 5.0 cm ได้เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

6. วัสดุเกล็ดลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมนที่อัตราส่วนผสม 1 : 0.70 ความหนา 2.5 cm สามารถใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียงแทนวัสดุเกล็ดลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมนที่อัตราส่วนผสม 1 : 0.50 และ 1 : 0.60 ความหนา 5.0 cm ได้เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

7. วัสดุเกล็ดลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน ที่อัตราส่วนผสม 1 : 0.15 และ 1 : 0.20 ความหนา 2.5 cm สามารถใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียงแทนวัสดุเกล็ดลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมนที่อัตราส่วนผสม 1 : 0.12 ความหนา 5.0 cm ได้เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.2.5 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจร

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรที่สร้างขึ้น ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1559-98 : Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixture using Marshall Apparatus หรือ Marshall Method of Mix Design ซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐานในการตรวจสอบความแข็งแรงของอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุบิทูเมน (Bitumen) และ วัสดุมวลรวม (Aggregate) ได้แก่ เศษชนบัตรหลังผ่านกระบวนการย่อยทำลายเกล็ดลอยโรงงานน้ำตาล และเกล็ดลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยมีผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ (Marshall Method of Mix Design)

อัตราส่วน	2.5 cm		5.0 cm	
	Gauge Reading Average	kN*	Gauge Reading Average	kN*
วัสดุเศษหินบดผสมบิทูเมน				
1 : 0.86	45	2.07	85	3.32
1 : 1.23	60	2.72	128	4.92
1 : 1.45	65	2.92	143	5.48
วัสดุเกล็ดลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน				
1 : 0.50	62	2.78	125	4.82
1 : 0.60	85	3.77	169	6.45
1 : 0.70	90	3.99	190	7.24
วัสดุเกล็ดลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน				
1 : 0.12	150	6.53	228	8.65
1 : 0.15	265	11.40	315	11.90
1 : 0.20	275	11.84	355	13.40

หมายเหตุ : ทำการปรับแก้ด้วยวิธี Volume Metric Calibration

จากผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ โดยวิธี Marshall Method of Mix Design พบว่า

- วัสดุซึ่งมีความสามารถในการรับแรงอัดสูงสุดได้แก่ วัสดุเกล็ดลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 0.20 โดยมีความสามารถในการรับแรงอัด 11.84 kN และ 13.40 kN ที่ความหนา 2.5 และ 5.0 cm ตามลำดับ ในขณะที่วัสดุซึ่งมีความสามารถในการรับแรงอัดต่ำสุด ได้แก่ วัสดุเศษหินบดผสมบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 0.86 โดยมีความสามารถในการรับแรงอัด 2.07 kN และ 3.32 kN ที่ความหนา 2.5 และ 5.0 cm ตามลำดับ
- วัสดุซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงสูงสุดได้แก่ วัสดุเศษหินบดผสมบิทูเมนที่อัตราส่วน 1 : 1.45 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง 0.57 และ 0.62 ที่ความหนา 2.5 และ 5.0 cm โดยมีค่าความสามารถในการรับแรงอัด 2.92 kN และ 5.48 kN ตามลำดับ ซึ่งค่าความสามารถในการรับแรงอัดดังกล่าวสูงกว่ามาตรฐานที่ 1.5 kN
- จากผลการทดสอบหาค่าโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่วและแคดเมียม ที่เกิดจากน้ำชะวัสดุเศษหินบดผสมบิทูเมน วัสดุเกล็ดลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน และวัสดุเกล็ดลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน พบว่ามีปริมาณโลหะหนักต่ำกว่า 0.05 µg/l และ 0.002 µg/l ตามลำดับ

4.3 การศึกษาความคุ้มค่าทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการนำของเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์

การศึกษาความคุ้มค่าทางด้านสิ่งแวดล้อม เป็นการศึกษาเพื่อบอกถึงระดับความสามารถในการนำของเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์ โดยวิธีการที่ใช้ในการศึกษาเป็นวิธีการของสถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ใช้ในการประเมินความคุ้มค่าของการดำเนินโครงการทางด้านสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น เทคโนโลยีสะอาด และอื่น ๆ มาใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมของหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน

จากการพยากรณ์ยอดขายพบว่าปริมาณการขายรวม 3 ปี คิดเป็นพื้นที่ทั้งสิ้น 1,514 ตารางเมตร โดยมีปริมาณการนำของเสียอุตสาหกรรมต่าง ๆ กลับมาใช้ต่อการผลิตแผ่นวัสดุป้องกันเสียง 1 ตารางเมตร ที่ความหนา 5.0 cm ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ปริมาณของเสียอุตสาหกรรมต่อการผลิตวัสดุป้องกันเสียง 1 ตารางเมตร

	เศษชนบัตร	ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล	ถ้ำลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน
ปริมาณ (กิโลกรัม)	21.25	44.16	82.50
มูลค่า (บาท)*	63.75	4.41	24.75
บิทูเมน (กิโลกรัม)	30.80	30.90	16.50
มูลค่า (บาท)**	479.00	481.10	256.90

หมายเหตุ : * เศษชนบัตร 3,000 บาท ต่อ 1,000 กิโลกรัม
ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล 100 บาท ต่อ 1,000 กิโลกรัม
ถ้ำลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน 300 บาท ต่อ 1,000 กิโลกรัม
** บิทูเมน 15,570 บาท ต่อ 1,000 กิโลกรัม

จากข้อมูลในตารางที่ 4.10 สามารถสรุปผลการศึกษาความคุ้มค่าทางด้านสิ่งแวดล้อม จากการนำของเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ความคุ้มค่าทางสิ่งแวดล้อม จากการนำของเสียอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์

ของเสีย อุตสาหกรรม	ปริมาณ ของเสีย (กิโลกรัม)	ปริมาณ ที่นำมาใช้ (กิโลกรัม)	ร้อยละ ของการใช้	มูลค่า* (บาท)	มูลค่าเพิ่ม** (บาท)	การใช้ประโยชน์ในอดีต	ปริมาณโลหะหนัก****	
							ตะกั่ว (mg/l)	แคดเมียม (mg/l)
เศษธนบัตรฯ	281,670	32,172.50	11.4	96,517.50	155,393.17	จำหน่ายให้บริษัทเอกชนเพื่อ นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง	ไม่พบ	ไม่พบ
ถ้ำลอย โรงงานน้ำตาล	6,000,000,00 0	66,858.24	0.001	6,685.82	10,764.17	จำหน่ายเป็นปุ๋ยให้แก่ผู้ปลูก อ้อยน้ำตาล***	ไม่พบ	ไม่พบ
ถ้ำลอย โรงไฟฟ้าถ่านหิน	8,760,000,00 0	124,905	0.001	37,471.50	60,329.11	ใช้เป็นสารผสมเพิ่มใน อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์***	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ : * แสดงในตารางที่ 4.10

** จากอัตราผลตอบแทนต่อทุน (Benefit Cost Ratio: B/C ratio) $B/C = \frac{PV \text{ of benefit}}{PV \text{ of Cost}}$ เท่ากับ 1.61

*** มีปริมาณเกินกว่าความต้องการของตลาดเป็นจำนวนมาก

**** ตรวจวิเคราะห์ด้วย Atomic Absorption Spectrometric Method ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมี ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี F1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ปริมาณตะกั่วและแคดเมียม จะตรวจไม่พบในกรณีที่มีค่าต่ำกว่า 0.05 µg/l และ 0.002 µg/l ตามลำดับ)

4.4 ศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาดของวัสดุป้องกันเสียงรบกวนที่สร้างขึ้น

จากผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงพบว่าวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงสูงสุด คือ วัสดุเศษชนับตรผสมบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 1.45 ความหนา 5.0 cm โดยมีค่าความสามารถในการรับแรงอัด 5.48 kN ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานที่ 1.5 kN อีกทั้งเป็นวัสดุซึ่งมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ 375 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งน้อยกว่าวัสดุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ วัสดุ GRC ซึ่งมีค่าความหนาแน่น 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ด้วยเหตุนี้วัสดุเศษชนับตรผสมบิทูเมน อัตราส่วน 1 : 1.45 ความหนา 5.0 cm จึงเป็นวัสดุที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.1 ความต้องการของตลาด

นับจากอดีตถึงปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณการใช้วัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรเฉลี่ยประมาณ 6,000 ตารางเมตรต่อปี ใน 3 ลักษณะ ได้แก่

1. การติดตั้งกำแพงกันเสียงควบคู่กับการสร้างเส้นทางจราจรในพื้นที่ไวเสียง อาทิเช่น โรงพยาบาล โรงเรียน และอื่น ๆ
2. การติดตั้งกำแพงกันเสียงเมื่อมีประเด็นร้องเรียนและทำการตรวจวัดแล้วพบว่า มีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐาน 70 dBA
3. การเปลี่ยนตามอายุการใช้งาน ทุก ๆ 5 ปี

โดยหน่วยงานหลักที่มีการนำวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรมาใช้ ได้แก่

1. การทางพิเศษแห่งประเทศไทย มีอัตราการใช้ประมาณ 65%
2. กรมทางหลวง มีอัตราการใช้ประมาณ 30%
3. อื่น ๆ อาทิเช่น รถไฟฟ้า มีอัตราการใช้ประมาณ 5%

จากรายงานโครงการประสานแผนระบบจราจร สำนักงานคณะกรรมการจัดการระบบการจราจรทางบก ซึ่งให้เห็นถึงความต้องการวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรที่เพิ่มขึ้น ในช่วง 5 ปีข้างหน้า คิดเป็นพื้นที่กำแพงป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรประมาณ 35,400 ตารางเมตรต่อปีเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. จากแผนการพัฒนาระบบขนส่งมวลชนระบบราง (โครงการรถไฟฟ้าฯ) ของหน่วยงานภาครัฐ ในช่วงปี พ.ศ. 2551-2553 มีระยะทางทั้งสิ้น 247 กิโลเมตร จำแนกออกเป็นใต้ดิน 47 กิโลเมตร ระดับผิวดิน 53 กิโลเมตร และยกระดับ 147 กิโลเมตร คิดเป็นพื้นที่กำแพงป้องกันเสียงรบกวน ประมาณ 50,000 ตารางเมตร

2. จากแผนโครงข่ายทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (กรุงเทพ ฯ-นครราชสีมา) แบบเสียดำเนินการผ่านทาง หรือมอเตอร์เวย์ของกรมทางหลวง ในช่วงปี พ.ศ. 2550-2554 ซึ่งมี ส่วนที่ผ่านพื้นที่ใกล้เคียงอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ คิดเป็นระยะทางทั้งสิ้น 123 กิโลเมตร โดยต้องมีการติดตั้งกำแพงป้องกันเสียงเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสัตว์ป่า คิดเป็นพื้นที่กำแพงป้องกันเสียงรบกวน ประมาณ 97,000 ตารางเมตร

3. จากแผนการเปลี่ยนกำแพงกันเสียงตามอายุการใช้งาน ประจำปี 2551 ช่วง 6 เดือนแรก บริเวณทางด้านศรีรัช บริเวณทางขึ้น-ลง พื้นที่พหลโยธิน และบริเวณต่างระดับพญาไท คิดเป็นพื้นที่ทั้งสิ้น 3,188 ตารางเมตร และ 2,310 ตารางเมตร ตามลำดับ

4.4.2 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

1. การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์วัสดุป้องกันเสียงที่ผลิตขึ้นกับวัสดุป้องกันเสียงที่ใช้ในปัจจุบันโดยทำการพิจารณาในประเด็นต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ปัจจัยภายใน ได้แก่ ปัจจัยภายในองค์กรซึ่งสามารถควบคุมได้ ประกอบด้วย จุดแข็งและจุดอ่อน

- ปัจจัยภายนอก ได้แก่ ปัจจัยภายนอกองค์กรซึ่งไม่สามารถควบคุมได้แต่มีผลกระทบต่อการดำเนินโครงการ ประกอบด้วย โอกาสและอุปสรรค

โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์วัสดุป้องกันเสียง

จุดแข็ง	โอกาส
1. มีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงและมีความยืดหยุ่นสูง จึงช่วยลดอันตรายเมื่อเกิดอุบัติเหตุ 2. ราคาถูก เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ 3. เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการพัฒนาเทคโนโลยี (นวัตกรรมใหม่)	1. ตลาดมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากการขยายตัวของโครงข่ายการจราจร 2. ประชาชนให้ความสำคัญกับการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและมลภาวะทางเสียงมากขึ้น
จุดอ่อน	อุปสรรค
1. เป็นผู้ประกอบการรายใหม่จึงยังไม่เป็นที่รู้จักของตลาด	1. มีบริษัทเอกชนขนาดใหญ่เป็นผู้ครองส่วนแบ่งการตลาด

2. ผู้ครองส่วนแบ่งการตลาดส่วนใหญ่ ประกอบด้วย
 - บริษัท เชนเนอร์ล เอนิเนียริง จำกัด (มหาชน)
 - บริษัท พรีเมียร์ โพรคักส์ จำกัด
3. ลูกค้าเป้าหมาย
 - ลูกค้าหลัก บริษัทรับเหมาก่อสร้างขนาดใหญ่ กิจการร่วมค้าระหว่างประเทศ ที่นำผลิตภัณฑ์ไปใช้ในโครงการขนาดใหญ่ อาทิเช่น ทางพิเศษ ทางหลวง ฯลฯ
 - ลูกค้ารอง บริษัทรับเหมาก่อสร้างอาคารที่ทำในพื้นที่ใกล้เคียง บริเวณที่มีปัญหาเสียงรบกวน
4. การพยากรณ์ส่วนแบ่งทางการตลาด
 - ความต้องการซื้อรวมเฉลี่ย 6,000 ตารางเมตรต่อปี (กรมทางหลวง และ การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2550)
 - ส่วนครองตลาดร้อยละ 8 หรือ 480 ตารางเมตรต่อปี (ตารางที่ 4.13)

ตารางที่ 4.13 ตารางพยากรณ์ส่วนแบ่งทางการตลาด

จำนวนคู่แข่ง	ขนาดคู่แข่ง	ผลิตภัณฑ์	ส่วนแบ่งการตลาด (%)
มาก	ใหญ่	เหมือน	0-2.5
น้อย	ใหญ่	เหมือน	0-2.5
1 ราย	ใหญ่	เหมือน	0-5
มาก	ใหญ่	ไม่เหมือน	0-5
น้อย	ใหญ่	ไม่เหมือน	5-10
มาก	เล็ก	เหมือน	5-10
น้อย	เล็ก	เหมือน	10-15
มาก	เล็ก	ไม่เหมือน	10-15
1 ราย	ใหญ่	ไม่เหมือน	10-15
น้อย	เล็ก	ไม่เหมือน	20-30
1 ราย	เล็ก	เหมือน	30-50
1 ราย	เล็ก	ไม่เหมือน	40-80
ไม่มีคู่แข่ง	-	-	100

ที่มา : โครงการส่งเสริมอุตสาหกรรมขนาดย่อม (SSIPP) โดย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง (Absorption Coefficient, α) และค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss, TL) ของวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรซึ่งผลิตจากของเสียอุตสาหกรรม ประกอบด้วย เศษธนบัตรหลังผ่านกระบวนการย่อยทำลายจากโรงพิมพ์ธนบัตร ธนาคารแห่งประเทศไทย วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาล และวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยมีวัสดุบิโทเมนเป็นสารเชื่อมประสาน ตามมาตรฐาน ASTM C384-98 และ ASTM E90-97 ตามลำดับ

การศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพของวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจร ตามมาตรฐาน ASTM D1559-98

การศึกษาค่าความเป็นไปได้ในทางการตลาดของวัสดุป้องกันเสียงจากการจราจรที่ผลิตจากเศษธนบัตรผสมบิโทเมน

สามารถสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1. วัสดุเศษธนบัตรผสมบิโทเมน มีความสามารถในการดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่ต่ำและลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น โดยมีลักษณะกลไกหลักในการดูดซับเสียงในช่วงความถี่ต่ำแบบเมมเบรน (Membrane Absorber) ในขณะที่วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิโทเมน และวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิโทเมน มีช่องว่างภายในซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1 mm ซึ่งต่ำกว่าขนาดความยาวของคลื่นเสียงมาก จึงมีความสามารถในการดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่สูง ดังนั้นวัสดุชนิดนี้จึงเป็นตัวกลางทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานได้เป็นอย่างดี โดยเกิดจากกลไกการเปลี่ยนแปลงพลังงานของวัสดุพรุน (Porous Absorber) ด้วยเหตุนี้วัสดุเศษธนบัตรผสมบิโทเมนจึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจร เนื่องจากเสียงจากการจราจรเป็นเสียงความถี่ต่ำ อยู่ในช่วงระหว่าง 400-1000 Hz

2. จากผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (NRC) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในช่วงความถี่ 250, 500, 1,000 และ 2,000 Hz พบว่า วัสดุเศษธนบัตรผสมบิโทเมน วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิโทเมน และวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสม

บิฑูเมน ที่ระดับความหนา 2.5 cm มีค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง อยู่ในช่วง 0.52-0.57, 0.36-0.46 และ 0.31-0.39 ตามลำดับ ในขณะที่วัสดุเศษชนบัตรฯ ผสมบิฑูเมน วัสดุเถ้าลอยโรงงาน น้ำตาลผสมบิฑูเมน และวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิฑูเมน ที่ความหนา 5.0 cm มีค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียงอยู่ในช่วง 0.59-0.62, 0.46-0.55 และ 0.38-0.46 ตามลำดับ ซึ่งวัสดุเศษชนบัตรผสม บิฑูเมนที่อัตราส่วนผสม 1 : 1.45 มีค่า NRC สูงที่สุดเท่ากับ 0.57 และ 0.62 ที่ความหนา 2.5 และ 5.0 cm ตามลำดับ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับวัสดุซีเมนต์ผสมเส้นใยแก้วซึ่งนิยมใช้ในปัจจุบันพบว่ามิกลไกในการดูดซับเสียงแบบเมมเบรนเช่นเดียวกัน และดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่ต่ำ โดยวัสดุซีเมนต์ผสมเส้นใยแก้วมีค่า NRC เท่ากับ 0.85

3. จากผลการทดสอบค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (TL) พบว่าวัสดุเศษชนบัตรผสมบิฑูเมน วัสดุเถ้าลอยโรงงาน น้ำตาลผสมบิฑูเมน และวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิฑูเมน ความหนา 2.5 cm มีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านในช่วง 19.6-27.7 dBA, 19.2-27.7 dBA และ 19.7-26.8 dBA ตามลำดับ ในขณะที่วัสดุเศษชนบัตรผสมบิฑูเมน วัสดุเถ้าลอยโรงงาน น้ำตาลผสมบิฑูเมน และวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิฑูเมน ความหนา 5.0 cm มีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน ในช่วง 22.1-30.6 dBA, 20.9-31.5 dBA และ 22.6-30.6 dBA ตามลำดับ โดยวัสดุเศษชนบัตรผสมบิฑูเมนมีกลไกการดูดซับเสียง ในขณะที่วัสดุเถ้าลอยโรงงาน น้ำตาลผสมบิฑูเมน และวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิฑูเมนมีกลไกการสะท้อนเสียงเป็นกลไกหลักที่ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับวัสดุซีเมนต์ผสมเส้นใยแก้วซึ่งนิยมใช้ในปัจจุบันพบว่ามีการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านอยู่ในช่วง 30-35 dBA โดยมีกลไกการดูดซับเสียงแบบเมมเบรนเป็นกลไกหลักซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านเช่นเดียวกับวัสดุเศษชนบัตรผสมบิฑูเมน

4. จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุป้องกันเสียงด้วยวิธี Marshall Method of Mix Design พบว่าวัสดุเศษชนบัตรผสมบิฑูเมน วัสดุเถ้าลอยโรงงาน น้ำตาลผสมบิฑูเมน และวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิฑูเมน ความหนา 2.5 cm มีค่าความสามารถในการรับแรงอัดในช่วง 1.24-1.75 kN, 1.68-2.39 kN และ 3.91-7.09 kN ตามลำดับ ในขณะที่วัสดุเศษชนบัตรผสมบิฑูเมน วัสดุเถ้าลอยโรงงาน น้ำตาลผสมบิฑูเมน และวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิฑูเมน ความหนา 5.0 cm มีค่าความสามารถในการรับแรงอัด ในช่วง 2.26-3.73 kN, 3.28-4.93 kN และ 5.89-9.12 kN ตามลำดับ โดยวัสดุเศษชนบัตรผสมบิฑูเมน อัตราส่วน 1 : 1.45 ซึ่งมีค่า NRC สูงที่สุด มีค่าความสามารถในการรับแรงอัดสูงสุด เท่ากับ 2.92 และ 5.48 kN ที่ความหนา 2.5 และ 5.0 cm ตามลำดับ ซึ่งความสามารถในการรับแรงอัดสูงกว่ามาตรฐานกำหนดที่ 1.5 kN

5. จากผลการศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาด วัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนพบว่า มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ทดแทนวัสดุป้องกันเสียงรบกวนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เนื่องจาก ในช่วง 5 ปี ข้างหน้าตลาดมีความต้องการวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรเป็นอย่างมาก ประกอบกับวัสดุเศษชนบัตรผสมบิทูเมนมีคุณลักษณะเฉพาะด้านความปลอดภัยที่ดีกว่าวัสดุที่ใช้ในปัจจุบัน

6. จากผลการศึกษาความคุ้มค่าทางด้านสิ่งแวดล้อม พบว่าวัสดุเศษชนบัตร วัสดุเถ้าลอย โรงงานน้ำตาล และวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน ที่ปริมาณการนำกลับมาใช้ใหม่ทั้งสิ้น 32,172.50 กิโลกรัม 66,858.24 กิโลกรัม และ 124,905 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 11.4, 0.001 และ 0.001 ของปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น ตามลำดับ โดยเป็นการนำกลับมาใช้ในการผลิตระยะเวลา 3 ปี คิดเป็นพื้นที่ทั้งสิ้น 1,514 ตารางเมตร และสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ วัสดุเศษชนบัตร วัสดุเถ้าลอย โรงงานน้ำตาล และวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน คิดเป็นเงินทั้งสิ้น 155,393.17 บาท 10,764.17 บาท และ 60,329.11 บาท ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

จากผลการศึกษาและพัฒนาวัสดุป้องกันเสียงที่ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรมที่มีสารบิทูเมนเป็นองค์ประกอบเพื่อ ลดระดับเสียงรบกวนจากการจราจร พบว่ามีหัวข้อที่น่าสนใจนำไปทำการทดลองเพิ่มเติม ได้แก่

1. การศึกษาความทนทานต่ออุณหภูมิ และแรงกระแทก ในสภาวะแวดล้อมภายนอก
2. การพัฒนารูปแบบการใช้งานโดยไม่ใช้อุปกรณ์เสริม

รายการอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2548). **ระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในพื้นที่ต่างจังหวัดจำแนกตามสถานีตรวจวัด 2544-2548**. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2551). **ข้อมูลระดับเสียงรายวันในกรุงเทพมหานคร**. [ออนไลน์]. ได้จาก:
<http://gendb.pcd.go.th/NOISE/noiselevel.asp>
- กรมทางหลวง. (2550). **ปริมาณการใช้วัสดุกันเสียง**. กรุงเทพมหานคร.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2549). **การผลิตและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมน้ำตาล**. กรุงเทพมหานคร.
- กฤษณ์ จารุทะวีย์. (2545). **การใช้ถ้ำลอยเส้นปาล์มและถ้ำลอยชานอ้อยแทนที่ซีเมนต์บางส่วน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 49 หน้า
- การทางพิเศษแห่งประเทศไทย. (2550). **ปริมาณการใช้วัสดุกันเสียง**. กรุงเทพมหานคร.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิต. (2548). **การพัฒนาด้านสิ่งแวดล้อม**. กรุงเทพมหานคร.
- เกศ ศรีวัฒนพล, พิชายู สว่างวงศ์ และสมพร ศรีวัฒนพล. (มปป). **วัสดุดูดกลืนเสียงจากใยกก**. สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม : มหาวิทยาลัยบูรพา.
- เกษม จันทร์แก้ว. (2541). **เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม**. โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- โครงการจัดการวัตถุพลอยได้โรงไฟฟ้าแม่เมาะ. (2549). **การนำถ้ำลอยลิ้นไปใช้ประโยชน์**. โรงไฟฟ้าแม่เมาะ. ลำปาง.
- โครงการส่งเสริมอุตสาหกรรมขนาดย่อม : SSIPP. (2545). **แนวคิดเบื้องต้นทางการตลาด**. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.
- จารุวัฒน์ โนรีฉาย, ปริญญา โสภา และ พุทธิชัย พิมพระ. (2549). **การทดลองคุณสมบัติซีเมนต์บล็อกผสมโฟม**. เทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- ทวิสุข พันธุ์เพ็ง. (2529). การพัฒนาแก้ปัญหาภาวะมลพิษทางเสียง การป้องกัน และการแก้ไข. ใน รายงานการฝึกอบรมเรื่อง การจัดการด้านสิ่งแวดล้อม. กองวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. กรุงเทพมหานคร.
- ในฝัน แว่วสอน, ปองสุข พิพัฒน์ชลาลัย และ จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์. (2546). การผลิตวัสดุติดผนังภายในด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประชาชน อารีพล. (2541). การจัดการมลพิษทางเสียงและความสั่นสะเทือน. อ้างถึงใน พวงแก้ว กิจกรรม และคณะ, 2538 ปราณี ชวลิตกุลชัย และคณะ, 2527. นนทบุรี : บริษัท เอ็นไวร์ คอนเซ็ป จำกัด.
- ประชาชน อารีพล. (2541). การจัดการมลพิษทางเสียงและความสั่นสะเทือน. นนทบุรี : บริษัท เอ็นไวร์ คอนเซ็ป จำกัด.
- ประสิทธิ์ ดงยิ่งศิริ. (2545). การวางแผนการวิเคราะห์โครงการ. กรุงเทพมหานคร. ซีเอ็ดดูเคชั่น. 432 หน้า
- พิเชษฐ จันทรวงศ์. (2522). คลื่น เสียง แสง. กรุงเทพมหานคร : ผลิตภัณฑ์การพิมพ์.
- รำพึง มังคละสวัสดิ์. (2530). วิศวกรรมระบบเสียง. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- โรงพิมพ์ธนบัตร. (2548). องค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพกระดาษธนบัตร. โรงพิมพ์ธนบัตร: ธนาคารแห่งประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร.
- วิมลพร โสภณ. (2546). คุณสมบัติการดูดกลืนเสียงของแผ่นกระดาษอัดจากกระดาษใช้แล้ว. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- ศรีัญญา ชูพล. (2547). การศึกษาระดับเสียงดังจากการจราจรที่ก่อให้เกิดความรำคาญในพื้นที่พาณิชยกรรมและพื้นที่อยู่อาศัยหนาแน่น ในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม ปีที่ 26 เล่มที่ 1. กรุงเทพมหานคร.
- สถาบันวิจัยพลังงาน. (2541). รายงานการศึกษาเรื่องการใช้และประหยัดพลังงานในโรงงานน้ำตาล. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมพงษ์ ใจดี. (2523). คลื่น เสียง แสง. กรุงเทพมหานคร : กรุงเทพมหานครการพิมพ์.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2528). มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตทนไฟ : มอก. 549. กรุงเทพมหานคร. 30 หน้า.

สุเมธ เตชะกุลวิโรจน์. (2546). การใช้เถ้าลอยขานอ้อยมาบำบัดน้ำเสียสีย้อมแล้วนำมาทำคอนกรีต
บล็อก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 62 หน้า.

สุวิมล สัจจานิชย์ และ อาทิตมา ดวงจันทร์. (2547). ธรรมชาติความเป็นปอซโซลานของเถ้าลอยขาน
อ้อยและความต้องการน้ำ. การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ. ครั้งที่ 2, 26-27 ตุลาคม
2547. เชียงใหม่, หน้า 118-120.

อภิชาติ สิริผาคติ. (2549). คู่มือผู้ประกอบการยุคใหม่. Phisit Thaioffset Co., Ltd. บางรัก :
กรุงเทพมหานคร.

A. Trivedi and V.K. Sud. (2004). **Grain characteristics and engineering properties of coal ash.**
Springer Berlin. Granular Matter: Volume 4. pp 93-101.

American National Standard. (1998). **Annual Book of ASTM Standards: Sound Absorption
and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method: C 423.**
New York: Clearance Center.

American National Standard. (1998). **Annual Book of ASTM Standards: Standard Test
Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance
Tube Method: C384.** New York: Clearance Center.

American National Standard. (1998). **Annual Book of ASTM Standards: Standard Test
Method for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of
Building Partitions and Elements: E90.** New York: Clearance Center.

American National Standard. (1998). **Annual Book of ASTM Standards: Standard Test
Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixture using Marshall
Apparatus: D1559.** New York: Clearance Center.

Arizona Department of Transportation. (1989). **Asphalt Rubber the Quietest Ride.** Rubber
Pavements Association Noise Report.

Beiser, A. (1964). **The Foundations of Physics.** Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
Massachusetts. 594 pp.

Beranek L.L, and Ver I.L. (1992). **Noise and vibration control engineer:** Principles and
applications. New York: John Wiley & Sons.

Cowan, J.P. (1994). **Handbook of Environmental Acoustics.** Van Nostrand Reinhold :
International Thomson Publishing Company.

- David, A. Harris. (1991). **Noise Control Manual**. New York. Van Nostrand Reinhold.
- Department of Environmental Review and Assessment. (1999). **Rubberized Asphalt Traffic Noise Reduction Study**. California: U.S.A.
- Dianne Kay. (2000). **Evaluation of Service Life of Noise Barrier Walls**. The international journal of transportation-related environmental issues: issue 41. U.S.A.
- Doelle L.L and Arch.M. (1972). **Environmental Acoustic**. (n.p.) McGraw-Hill Book Company.
- E. Nakkel. (1981). **Noise Reduction with Asphalt-Rubber**. Germany.
- ELE international limited. (1995). **Calibration chart for load measuring ring**. England.
- Federal Highway Administration. (2000). **Highway Noise Barrier Design Handbook**. U.S. Department of Transportation. U.S.A.
- Federal Highway Administration. (2007). **Highway Traffic Noise**. [On-line].
<http://www.fhwa.dot.gov/environment/htnoise.htm>
- Giancoli D.C. (1980). **Physics, Principles with applications**. New Jersey: Prentice Hall.
- Graham, T. (1986). **GRC Production & Uses**. London. Palladian Publications Ltd.
- Harmelink, M.D. (1970). **Noise and Vibration Control for Transportation System**. D.H.O. Report No. RR 168, Canada: Ontario Department of Highways.
- Ir. J.C.P. Heerkens. (1989) **Open Graded Rubberized Asphalt for Traffic Noise Reduction in Urban Areas**. Belgium.
- Irwin JD and Graf ER. (1979). **Industrial noise and vibration control**. New Jersey: Pritices Hall.
- John Gerard Walker and Frank Fahy. (1998). **Fundamental of Noise and Vibration**. Taylor & Francis.
- Katsutoshi Yamada and Bussakorn P. Wongsiri. (2003). **Removal of Dyes from Aqueous Solution by Sorption with Coal Fly Ash**. International Ash Utilization Symposium. University of Kentucky. U.S.A.
- Lewis, H.Bell and Douglas, H.Bell. (1994). **Industrial Noise Control**. 2nd ed. New York. Marcel Dekker, Inc.
- Malcolm J. Crocker and Frederick M. Kessler. (1982). **Noise and Noise Control Volume 2**. Florida, CRC Press, Inc.

- Merken M. (1989). **Physical science with modern application**. 4th ed. Philadelphia: Saunders College.
- Michel Amilhat. (1988). **Asphalt Rubber Overlay Noise Study**. Acoustical Analysis Associates Inc.
- Olivo C.T and Olivo T.P. (1978). **Fundamentals of Applied Physics**. New York. Delmar Publishers.
- Reynolds. (1981). **Engineering Principles of Acoustics Noise and Vibration Control**. Boston: Allyn & Bacon, 1981. 641 pp.
- RION NL-21. (n.d.). **Instruction Manual Sound Level Meter NL-21**. Tokyo. Rion Co., LTD
- Sound Research Laboratories Ltd. (1991). **Noise Control in Industry**. 3rd. London: E&FN Spon.
- Superblock. (2007). **คู่มือปฏิบัติงานวางวิศวกรรมของ Superblock**. [On-line]. Available : http://www.superblock.co.th/sb_tech-t.htm
- Thumann A and Miller R.M. (1986). **Fundamental of noise control engineering**. Georgia: Fairmont Press.
- Walker M.B. (1995). **Larousse dictionary of science and technology**. Great Britain: Clays.
- Webb, J.D. (1976). **Physics of Sound**. In R.I. Woods MIHVE (ed). **Noise Control in Mechanical Service**. New York. John Wiley&Sons.
- Welch, B.L. (1970). **Physiological Effects of Noise**. New York-London: Plenum Press.
- Yerges LF. (1969). **Sound, Noise and Vibration Control**. New York: Van Nostrand Reinhold.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง
ของวัสดุผสมบิโพลิเมอร์แต่ละอัตราส่วน โดยใช้หลักการทางสถิติ
ด้วยวิธี T-test (Paired Sample Test)

ตารางที่ 1ก การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุผสมบิพูเมนแต่ละอัตราส่วน

กรณีศึกษา	Paired Differences			t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Mean Error			
1 เศษธนบัตรฯ 1 : 0.86 – เศษธนบัตรฯ 1 : 1.23 (2.5cm)	-.02000	.02801	.00749	-2.672	13	.019
2 เศษธนบัตรฯ 1 : 0.86 – เศษธนบัตรฯ 1 : 1.45 (2.5cm)	-.03214	.05352	.01430	-2.247	13	.043
3 เศษธนบัตรฯ 1 : 1.23 – เศษธนบัตรฯ 1 : 1.45 (2.5cm)	-.01214	.04353	.01163	-1.044	13	.316
4 เศษธนบัตรฯ 1 : 0.86 – เศษธนบัตรฯ 1 : 1.23 (5.0cm)	-.01643	.03433	.00918	-1.791	13	.097
5 เศษธนบัตรฯ 1 : 0.86 – เศษธนบัตรฯ 1 : 1.45 (5.0cm)	-.02857	.05347	.01429	-1.999	13	.067
6 เศษธนบัตรฯ 1 : 1.23 – เศษธนบัตรฯ 1 : 1.45 (5.0cm)	-.01214	.03886	.01039	-1.169	13	.263
7 ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.5 – ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.6 (2.5cm)	-.02000	.03397	.00908	-2.203	13	.046
8 ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.5 – ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.7 (2.5cm)	-.10643	.04717	.01261	-8.443	13	.000
9 ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.6 – ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.7 (2.5cm)	-.08643	.03478	.00929	-9.299	13	.000
10 ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.5 – ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.6 (5.0cm)	-.03286	.02813	.00752	-4.371	13	.001
11 ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.5 – ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.7 (5.0cm)	-.10214	.03725	.00995	-10.261	13	.000
12 ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.6 – ถ้ำลอยโรงงานน้ำตาล 1 : 0.7 (5.0cm)	-.06929	.02786	.00745	-9.304	13	.000

ตารางที่ 1ก การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุผสมบิทูเมนแต่ละอัตราส่วน (ต่อ)

กรณีศึกษา	Paired Differences			t	df	Sig. (2-tailed)	
	Mean	Std. Deviation	Std. Mean Error				
13	ถ้ำลอยโรงไฟฟ้า 1 : 0.12 – ถ้ำลอยโรงไฟฟ้า 1 : 0.15 (2.5cm)	-.10143	.04074	.01089	-9.317	13	.000
14	ถ้ำลอยโรงไฟฟ้า 1 : 0.12 – ถ้ำลอยโรงไฟฟ้า 1 : 0.20 (2.5cm)	-.08286	.03429	.00916	-9.041	13	.000
15	ถ้ำลอยโรงไฟฟ้า 1 : 0.15 – ถ้ำลอยโรงไฟฟ้า 1 : 0.20 (2.5cm)	.01857	.04881	.01305	1.424	13	.178
16	ถ้ำลอยโรงไฟฟ้า 1 : 0.12 – ถ้ำลอยโรงไฟฟ้า 1 : 0.15 (5.0cm)	-.09357	.03128	.00836	-11.192	13	.000
17	ถ้ำลอยโรงไฟฟ้า 1 : 0.12 – ถ้ำลอยโรงไฟฟ้า 1 : 0.20 (5.0cm)	-.07857	.02143	.00573	-13.717	13	.000
18	ถ้ำลอยโรงไฟฟ้า 1 : 0.15 – ถ้ำลอยโรงไฟฟ้า 1 : 0.20 (5.0cm)	.01500	.03082	.00824	1.821	13	.092
19	วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 0.86 (2.5cm) – วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 0.86 (5.0cm)	-0.06231	0.02619	0.00726	-8.578	12	0.000
20	วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 0.86 (2.5cm) – วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 1.23 (5.0cm)	-0.07923	0.02985	0.00828	-9.57	12	0.000
21	วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 0.86 (2.5cm) – วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 1.45 (5.0cm)	-0.09077	0.05361	0.01487	-6.104	12	0.000
22	วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 1.23 (2.5cm) – วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 0.86 (5.0cm)	-0.04154	0.0416	0.01154	-3.6	12	0.004
23	วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 1.23 (2.5cm) – วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 1.23 (5.0cm)	-0.05846	0.03508	0.00973	-6.008	12	0.000
24	วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 1.23 (2.5cm) – วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 1.45 (5.0cm)	-0.07000	0.04708	0.01306	-5.361	12	0.000
25	วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 1.45 (2.5cm) – วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 0.86 (5.0cm)	-0.03154	0.0564	0.01564	-2.016	12	0.067

ตารางที่ 1ก การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุผสมบิวเมนแต่ละอัตราส่วน (ต่อ)

กรณีศึกษา	Paired Differences			t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Mean Error			
26 วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 1.45 (2.5cm) – วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 1.23 (5.0cm)	-0.04846	0.05414	0.01501	-3.228	12	0.007
27 วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 1.45 (2.5cm) – วัสดุเศษชนบัตรฯ 1 : 1.45 (5.0cm)	-0.06000	0.0324	0.00899	-6.676	12	0.000
28 วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.50 (2.5cm) - วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.50 (5.0cm)	-0.09923	0.01382	0.00383	-25.886	12	0.000
29 วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.50 (2.5cm) - วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.60 (5.0cm)	-0.13154	0.03211	0.0089	-14.772	12	0.000
30 วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.50 (2.5cm) - วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.70 (5.0cm)	-0.20231	0.037	0.01026	-19.713	12	0.000
31 วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.60 (2.5cm) - วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.50 (5.0cm)	-0.07846	0.03158	0.00876	-8.957	12	0.000
32 วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.60 (2.5cm) - วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.60 (5.0cm)	-0.11077	0.02753	0.00763	-14.509	12	0.000
33 วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.60 (2.5cm) - วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.70 (5.0cm)	-0.18154	0.03363	0.00933	-19.465	12	0.000
34 วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.70 (2.5cm) - วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.50 (5.0cm)	0.00769	0.04622	0.01282	0.600	12	0.560
35 วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.70 (2.5cm) - วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.60 (5.0cm)	-0.02462	0.04789	0.01328	-1.853	12	0.089
36 วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.70 (2.5cm) - วัสดุถั่วลอข รง.น้ำตาล 1 : 0.70 (5.0cm)	-0.09538	0.04332	0.01202	-7.938	12	0.000
37 วัสดุถั่วลอข โรงไฟฟ้า 1 : 0.12 (2.5cm) – วัสดุถั่วลอข โรงไฟฟ้า 1 : 0.12 (5.0cm)	-0.06923	0.03148	0.00873	-7.929	12	0.000
38 วัสดุถั่วลอข โรงไฟฟ้า 1 : 0.12 (2.5cm) – วัสดุถั่วลอข โรงไฟฟ้า 1 : 0.15 (5.0cm)	-0.16231	0.03632	0.01007	-16.112	12	0.000

ตารางที่ 1ก การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุผสมบิโตนแต่ละอัตราส่วน (ต่อ)

กรณีศึกษา	Paired Differences			t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Mean Error			
39 วัสดุฉ่ำลยร้งฟฟ้า 1 : 0.12 (2.5cm) – วัสดุฉ่ำลยร้งฟฟ้า 1 : 0.20 (5.0cm)	-0.14769	0.03961	0.01099	-13.443	12	0.000
40 วัสดุฉ่ำลยร้งฟฟ้า 1 : 0.15 (2.5cm) – วัสดุฉ่ำลยร้งฟฟ้า 1 : 0.12 (5.0cm)	0.03154	0.0532	0.01476	2.137	12	0.054
41 วัสดุฉ่ำลยร้งฟฟ้า 1 : 0.15 (2.5cm) – วัสดุฉ่ำลยร้งฟฟ้า 1 : 0.15 (5.0cm)	-0.06154	0.02996	0.00831	-7.407	12	0.000
42 วัสดุฉ่ำลยร้งฟฟ้า 1 : 0.15 (2.5cm) – วัสดุฉ่ำลยร้งฟฟ้า 1 : 0.20 (5.0cm)	-0.04692	0.0504	0.01398	-3.357	12	0.006
43 วัสดุฉ่ำลยร้งฟฟ้า 1 : 0.20 (2.5cm) – วัสดุฉ่ำลยร้งฟฟ้า 1 : 0.12 (5.0cm)	0.01385	0.03709	0.01029	1.346	12	0.203
44 วัสดุฉ่ำลยร้งฟฟ้า 1 : 0.20 (2.5cm) – วัสดุฉ่ำลยร้งฟฟ้า 1 : 0.15 (5.0cm)	-0.07923	0.04132	0.01146	-6.913	12	0.000
45 วัสดุฉ่ำลยร้งฟฟ้า 1 : 0.20 (2.5cm) – วัสดุฉ่ำลยร้งฟฟ้า 1 : 0.20 (5.0cm)	-0.06462	0.03406	0.00945	-6.84	12	0.000

ประวัติผู้เขียน

นายบุรฉัตร วิริยะ เกิดวันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2521 สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา และมัธยมศึกษา จากโรงเรียนอนุบาลนนทบุรี และโรงเรียนมัธยมวัดเบญจมบพิตร ตามลำดับ หลังจากนั้น เข้าศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี พ.ศ. 2538 หลังจากสำเร็จการศึกษา ได้เข้าศึกษาระดับปริญญาโทในสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี พ.ศ. 2542 โดยระหว่างการศึกษาได้เป็นผู้ช่วยสอนในรายวิชาต่าง ๆ ประกอบด้วย Environmental Atmosphere, Environmental Chemistry, และ Solid Waste Management หลังจากสำเร็จการศึกษาได้ประกอบธุรกิจส่วนตัว และเป็นอาจารย์พิเศษ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความสนใจและเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาเอกในสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ในปี พ.ศ. 2546 โดยระหว่างการศึกษาได้มีโอกาสเข้านำเสนอผลงานวิชาการในการสัมมนา ใตรภาคี : มข.-มทส.-มอบ. ครั้งที่ 2 และได้รับการตีพิมพ์บทความวิชาการในหัวข้อ การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของวัสดุเศษธนบัตรผสมบิทูเมน (A Study in Noise Absorption Efficiency of Mixing Material, Fragmented Banknote and Bitumen) วารสารวิชาการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย (Thai Environmental Engineering Journal) Vol.22, No.2, 2008.