การศึกษาและพัฒนาวัสดุป้องกันเสียงที่ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรม ที่มีสารบิทูเมนเป็นองค์ประกอบเพื่อลดระดับเสียงรบกวนจากการจราจร

นายบุรฉัตร วิริยะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2551

บุรฉัตร วิริยะ : การศึกษาและพัฒนาวัสดุป้องกันเสียงที่ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรมที่มีสารบิทูเมนเป็นองค์ประกอบเพื่อลดระดับเสียงรบกวนจากการจราจร (A STUDY AND DEVELOPMENT OF NOISE REDUCTION MATERIALS FROM INDUSTRIAL WASTE AND BITUMEN FOR TRAFFIC NOISE REDUCTION) อาจารย์ที่ปรึกษา: อ. ดร.วุฒิ ด่านกิตติกุล, 100 หน้า.

ปัจจุบันปัญหามลพิษทางเสียงจากการจราจรได้ทวีความรุนแรงมากขึ้น วัสดุป้องกันเสียงที่ใช้กั้นเสียงรบกวนจากการจราจรนั้นมีราคาสูงและมีข้อจำกัดด้านอายุการใช้งาน การศึกษาและพัฒนาวัสดุป้องกันเสียงที่ผลิตจากของเสียอุตสาหกรรมที่มีสารบิทูเมนเป็นองค์ประกอบจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุป้องกันเสียงที่มีประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงและมีต้นทุนต่ำในการผลิต การศึกษาในครั้งนี้เลือกพัฒนาตัวอย่างวัสดุป้องกันเสียงจากวัสดุผสมระหว่างสารบิทูเมนกับวัสดุเศษธนบัตร วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาลและวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยนำวัสดุตัวอย่างทั้งสามชนิดดังกล่าวมาตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง (NRC) และค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (TL) ตามมาตรฐาน ASTM C384-98 และ ASTM E90-97 รวมทั้งความสามารถในการรับแรงอัด ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างวัสดุเศษธนบัตร มีกลไกในการดูดซับเสียงแบบเมมเบรน ในขณะที่ตัวอย่างวัสดุเถ้าลอยทั้งสองชนิด มีกลไกในการดูดซับเสียงแบบรูพรุน โดยตัวอย่างวัสดุเศษธนบัตร วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาล และวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน 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 วัสดุเศษธนบัตร วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาลและวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินกลับมาใช้ได้คิดเป็นร้อยละ 11.4, 0.001 และ 0.001 ของปริมาณของเสียอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษานี้สามารถนำไปพัฒนาวัสดุป้องกันเสียงต้นแบบสำหรับกำแพงกั้นเสียงจากการจราจรได้ในระดับอุตสาหกรรม

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2551 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 ด่านกิตติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณา และให้คำปรึกษาแนะนำที่ดีมาโดยตลอด
- รศ. ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น
- ผศ. ดร.สุดจิต ครุจิต หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการมาโดยตลอด และให้คำแนะนำในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น
- ผศ. ดร.จรียา ยิ้มรัตนบวร และ อ. ดร.มัลลิกา สังข์สนิท กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการมาโดยตลอด และให้คำแนะนำในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น
- ขอขอบคุณ คุณนารี กลิ่นกลาง ที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการศึกษาวิจัยมาโดยตลอด
- ขอขอบคุณ ดร.นิรันดร์ คงฤทธิ์ คุณพวงพริม วิริยะ ด.ช.คมณัฑชา วิริยะ และคุณแม่สมพิศ บุญเหมือน ที่ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งมาโดยตลอด
- ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี F4, F5 และ F8 สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย
- ขอขอบคุณ ธนาคารแห่งประเทศไทย การทางพิเศษแห่งประเทศไทย กรมทางหลวง, โรงงานน้ำตาลครบุรี และโรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เมาะ ที่ให้การสนับสนุนด้านวัตถุดิบ 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 ..... ซ
สารบัญรูป ..... ฌ
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 ปริทัศน์วรรณกรรม 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 ปรากฏการณ์ธรรมชาติของคลื่นเสียง 10
2.3.1 การสะท้อนของเสียง 10
2.3.2 การหักเหของเสียง 11
2.3.3 การแทรกสอดของเสียง 11
2.3.4 การเลี้ยวเบนของเสียง 11
2.3.5 ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ 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 ดัชนีระบุสมรรถนะในการลดระดับเสียง 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 เถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน 23
2.6.2 เถ้าลอยโรงงานน้ำตาล 25
2.6.3 เศษธนบัตรหลังผ่านกระบวนการย่อยทำลาย 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 การศึกษาเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุแต่ละอัตราส่วนโดยใช้หลักการทางสถิติ 67
4.2.5 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจร 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 คุณสมบัติทางเคมีเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหิน 25
2.5 คุณสมบัติทางเคมีเถ้าลอยชานอ้อย 26
2.6 องค์ประกอบ และคุณสมบัติทางกายภาพของเศษธนบัตรฯ 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 วัสดุเศษธนบัตรฯ ผสมบิทูเมน 47
4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน 47
4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถานหินผสมบิทูเมน 48
4.4 ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน วัสดุเศษธนบัตรฯ ผสมบิทูเมน 52
4.5 ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน 53
4.6 ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน วัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน 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 ดูดกลืน และส่งผ่านเสียงของวัตถุ 10
2.2 การดูดซับเสียงของวัสดุที่มีกลไกการดูดซับเสียงแบบต่าง ๆ 14
2.3 กลไกการสลายพลังงานเสียงเนื่องจากความหนืด และแรงเสียดทาน 15
2.4 Standing Wave Ratio ที่เกิดขึ้นภายในหลอดอิมพิแดนซ์ 17
2.5 กำแพงป้องกันเสียงรบกวนประเภท คอนกรีต และ Brick Block 19
2.6 กำแพงป้องกันเสียงรบกวนประเภท Masonry Block และโลหะผสม 20
2.7 กำแพงป้องกันเสียงรบกวนประเภท ไม้ และวัสดุโปร่งแสง 21
2.8 กำแพงป้องกันเสียงรบกวนประเภท พลาสติก Polyethylene PVC 21
2.9 กำแพงป้องกันเสียงรบกวนประเภท Recycled Rubber และวัสดุผสม 22
2.10 ลักษณะเถ้าลอยถ่านหิน ทรงกลมกลวง และทรงกลมแข็ง 24
2.11 การเผาชานอ้อย และการจัดการเถ้าลอยที่เกิดจากการเผา 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 และวัสดุบิทูเมน 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 วัสดุเศษธนบัตรฯ ผสมบิทูเมน ความหนา 2.5 เซนติเมตร 49
4.2 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุเศษธนบัตรฯ ผสมบิทูเมน ความหนา 5.0 เซนติเมตร 49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.3 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน ความหนา 2.5 เซนติเมตร 50

4.4 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน ความหนา 5.0 เซนติเมตร 50

4.5 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน ความหนา 2.5 เซนติเมตร 51

4.6 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ความถี่ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง วัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน ความหนา 5.0 เซนติเมตร 51

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียง และความยาวคลื่น 56

4.8 ลักษณะการแทรกสอดของเสียง เนื่องจากการแทรกสอดแบบเสริมกัน และการแทรกสอดแบบหักล้างกัน 57

4.9 ลักษณะโครงสร้างภายในวัสดุเศษธนบัตรฯ ผสมบิทูเมน และภาพตัดขวาง 58

4.10 ลักษณะโครงสร้างภายในวัสดุเถ้าลอยโรงงานน้ำตาลผสมบิทูเมน 59

4.11 ลักษณะโครงสร้างภายในวัสดุเถ้าลอยโรงไฟฟ้าถ่านหินผสมบิทูเมน 60