

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์ความต้านทานและความดูดซับเสียงของวัสดุ

Determination of Acoustic Impedance and Absorbtion Coefficients of Materials



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62031
วัน,เดือน,ปี..... 2 5 ก.ค. 2549

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์ความต้านทานและความดูดซับเสียงของวัสดุ

Determination of Acoustic Impedance and Absorption Coefficients of Materials

โดย

นายปิยพงษ์ ชำนาญไพร
นายสิทธิโชค ตรีภพกิตติ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. มิ่ง โลกิจแสงทอง
อ. พงษ์ศักดิ์ คำมูล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์ความต้านทานและความดูดซับเสียงของวัสดุ

Determination of Acoustic Impedance and Absorbition Coefficients of Materials

ผู้จัดทำ

1. นายปิยพงษ์ ชำนาญไพโร รหัสประจำตัว 44010761
2. นายสิทธิโชค ตริภพิกิตติ รหัสประจำตัว 44010866



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์ความต้านทานและความดูดซับเสียงของวัสดุ

| | | |
|---------------|--------------|------------------|
| นายปิยพงษ์ | ชำนาญไพโร | 44010761 |
| นายสิทธิโชค | ตรีภพกิตติ | 44010866 |
| ผศ. มิ่ง | โกลกิจแสงทอง | อาจารย์ที่ปรึกษา |
| อ. พงษ์ศักดิ์ | คำมูล | อาจารย์ที่ปรึกษา |
| อ. ประสิทธิ์ | คำพันธ์ | อาจารย์ที่ปรึกษา |
| | | ปีการศึกษา 2547 |

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทดลองสำหรับหาสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ คือ กระฉก, คอนกรีต และ อิฐ โดยมีความหนาแตกต่างกัน 3 ขนาด คือ 1, 2 และ 3 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM:C384-90a โดยใช้อุปกรณ์ FFT Analyzer ตรวจสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นตัวอย่างวัสดุคูดกลืนเสียง เมื่อเสียงตกกระทบเป็นคลื่นความถี่บริสุทธิ์ ที่มีแหล่งกำเนิดจากเครื่องกำเนิดความถี่ สูง-ต่ำ ที่มีความถี่ 6 ระดับ คือ 125, 250, 500, 1000, 2000 และ 4000 Hz

Determination of Acoustic Impedance and Absorbtion Coefficients of Materials

| | | |
|-------------------|---------------|----------|
| Piyapong | Chumnnpri | 44010761 |
| Sittichok | Tripokitti | 44010866 |
| Asist. Prof. Ming | Lokitsangtong | Advisor |
| Pongsak | Kammon | Advisor |
| Prasit | Kampanyim | Advisor |

Abstract

The purpose of this research for design and construct the tube for testing and determination of absorbtion coefficients of glass , concrete and brick for each ratio, 3 thickness of the sample sheets were made. These were 1, 2, and 3 centimetres for ASTM :C384-90a and sound absorbtion coefficients of the sample sheets were measured using a standing wave apparatus with 6 level of sound frequency which were generated by an audio generator at 125,250, 500, 1000,2000 and 4000 Hz .

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์ความต้านทานและความดูดซับเสียงของวัสดุ ตลอดจนได้ทำการตรวจสอบผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์โดย ผศ.มิ่ง โลกิจแสงทอง ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา — มารดา ที่ได้อบรมสั่งสอน และได้อุปการะ ให้กระผมได้มีโอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และดูแลเอาใจใส่เสมอมา จนข้าพเจ้ามีวันนี้

ขอขอบพระคุณที่ เนาอาจารย์และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือเครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงาน ตลอดจนให้คำปรึกษาจนสำเร็จสมบูรณ์



นายปิยพงษ์
นายนายสิทธิโชค

ชำนาญไพโร
ตรีภพกิตติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | VI |
| สารบัญรูป | VII |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1ความเป็นมาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2วัตถุประสงค์ของ โครงการ | 1 |
| 1.3ขอบเขตการทดลอง | 1 |
| 1.4 วิธีการดำเนินงาน | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีบทการวิเคราะห์และคำนวณ | 3 |
| 2.1 ธรรมชาติและการเกิดเสียง | 3 |
| 2.1.1 กลไกการเกิดเสียง | 3 |
| 2.1.2 การแผ่กระจายของคลื่นเสียง | 6 |
| 2.1.3 ความเร็วของเสียง | 8 |
| 2.1.4 คุณภาพเสียงและระดับเสียง | 10 |
| 2.1.5 ความเข้มของเสียงและความดังเสียง | 10 |
| 2.1.6 ระดับความดังเสียง | 15 |
| 2.2 สมบัติและปรากฏการณ์เสียง | 16 |
| 2.2.1 การสะท้อนของเสียง | 17 |
| 2.2.2 การหักเหของเสียง | 17 |
| 2.2.3 การแทรกสอดของเสียง | 17 |
| 2.2.4 การเลี้ยวเบนของเสียง | 19 |
| 2.2.5 ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ | 20 |
| 2.2.6 การกำทอน | 20 |
| 2.2.7 เสียงกลบ | 21 |
| 2.3 การดูดซับเสียงและส่งผ่านเสียง | 21 |
| 2.3.1 การดูดซับเสียง | 21 |
| 2.3.2 การดูดซับของวัสดุพรุน | 23 |
| 2.3.3 การดูดซับเสียงของम्मเบรน | 23 |
| 2.3.4 การดูดซับเสียงของเรโซเนเตอร์ | 26 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.3.5 การส่งผ่านเสียง | 27 |
| 2.4 การใช้ทอิมพีแดนซ์ในการตรวจวัดสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ | 28 |
| 2.4.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง | 30 |
| 2.4.2 การหาค่า Impedance Ratio | 30 |
| 2.4.3. ความสามารถในการลดระดับเสียงของวัตถุกัน | 30 |
| 2.4.4 การลดระดับความดังเสียงของวัตถุ | 32 |
| 2.4.5 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านเสียง (transmission coefficient) | 32 |
| 2.4.6 ดัชนีระบุสมรรถนะในการลดระดับเสียง | 33 |
| 2.4.7 ค่าสูญเสียขณะส่งผ่านเสียง (transmission loss ; TL) | 33 |
| 2.4.8 สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังเสียง (noise reduction coefficient ; NCE) | 34 |
| 2.4.9 การลดระดับความดังเสียง (noise reduction ; NR) | 34 |
| 2.4.10 ระดับเสียงที่เป็นอันตราย | 34 |
| บทที่ 3 อุปกรณ์และการสร้างชุดทดลอง | 35 |
| บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง | 42 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 52 |
| สรุปผลการวิจัย | 52 |
| ข้อเสนอแนะ | 52 |
| ภาคผนวก | 54 |
| ภาคผนวก ก ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 1 | 55 |
| ภาคผนวก ข ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 2 | 56 |
| ภาคผนวก ค ตารางแสดงค่าแอมพลิจูดสูงสุด - ต่ำสุดที่ความถี่ 125 Hz | 57 |
| ภาคผนวก ง ตารางแสดงค่าแอมพลิจูดสูงสุด - ต่ำสุดที่ความถี่ 250 Hz | 58 |
| ภาคผนวก จ ตารางแสดงค่าแอมพลิจูดสูงสุด - ต่ำสุดที่ความถี่ 500 Hz | 59 |
| ภาคผนวก ฉ ตารางแสดงค่าแอมพลิจูดสูงสุด - ต่ำสุดที่ความถี่ 1000 Hz | 60 |
| ภาคผนวก ช ตารางแสดงค่าแอมพลิจูดสูงสุด - ต่ำสุดที่ความถี่ 2000 Hz | 61 |
| ภาคผนวก ซ ตารางแสดงค่าแอมพลิจูดสูงสุด - ต่ำสุดที่ความถี่ 4000 Hz | 62 |
| บรรณานุกรม | 63 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 ความเร็วเสียงในแก๊ส, ของเหลวและของแข็ง | 8 |
| ตารางที่ 2.2 ความเร็วเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน | 9 |
| ตารางที่ 2.3 ระดับความดังเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ ตำแหน่งต่างๆ | 14 |
| ตารางที่ 2.4 กำลังและระดับกำลังของแหล่งกำเนิดเสียงประเภทต่างๆ | 16 |
| ตารางที่ 4.1 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจก ที่ความหนา 1,2,3 cm | 43 |
| ตารางที่ 4.2 แสดง Impedance Ratio ของกระจก ที่ความหนา 1,2,3 cm | 43 |
| ตารางที่ 4.3 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของคอนกรีตหนา 1,2,3 cm | 44 |
| ตารางที่ 4.4 แสดง Impedance Ratio ของคอนกรีตที่ความหนา 1,2,3 cm | 44 |
| ตารางที่ 4.5 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของ อิฐ 1,2,3 cm | 45 |
| ตารางที่ 4.6 แสดง Impedance Ratio ของอิฐ ที่ความหนา 1,2,3 cm | 45 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 2 ทฤษฎีบทการวิเคราะห์และคำนวณ | |
| รูปที่ 2.1 การเกิดคลื่น ส่วนอัดและขยายของคลื่น | 4 |
| รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการส่งผ่านคลื่นตามยาวในท่อ | 5 |
| รูปที่ 2.3 การแผ่กระจายของคลื่นทรงกลม | 7 |
| รูปที่ 2.4 การแผ่กระจายของคลื่นระนาบในอากาศ | 7 |
| รูปที่ 2.5 การแผ่กระจายพลังงานของคลื่นเสียงในลักษณะทรงกลม | 12 |
| รูปที่ 2.6 ความเข้มของพลังงานเสียงต่อหน่วยพื้นที่ ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด | 12 |
| รูปที่ 2.7 ระดับความถี่และความดังเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินในช่วงต่าง ๆ | 14 |
| รูปที่ 2.8 แนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงเวลากลางวันและกลางคืน | 18 |
| รูปที่ 2.9 การเกิดบีตส์ | 18 |
| รูปที่ 2.10 การเกิดหน้าคลื่นใหม่ตามหลักของฮอยเกนส์ | 19 |
| รูปที่ 2.11 การเลี้ยวเบนของเสียงเมื่อผ่านช่องแคบ ตามหลักของฮอยเกนส์ | 20 |
| รูปที่ 2.12 ลักษณะการดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงแต่ละชนิด | 22 |
| รูปที่ 2.13 การดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงแต่ละชนิดตามความถี่ | 22 |
| รูปที่ 2.14 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของใยแก้ว ที่ความหนาต่าง ๆ | 24 |
| รูปที่ 2.15 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของใยแก้ว ที่ความกว้างของช่องว่างขนาดต่าง ๆ | 24 |
| รูปที่ 2.16 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของใยแก้ว ที่ความหนาแน่นต่าง ๆ | 24 |
| รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับน้ำหนักความแข็ง และความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานความร้อนของเมมเบรน | 25 |
| รูปที่ 2.18 รูปลักษณะของเรโซเนเตอร์เปรียบเทียบกับสปริง | 26 |
| รูปที่ 2.19 รูปลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อกที่เป็นเรโซเนเตอร์ | 27 |
| รูปที่ 2.20 แสดงกลไกการดูดซับและส่งผ่านคลื่นเสียงในตัวกลางต่างชนิดกัน | 28 |
| รูปที่ 2.21 ลักษณะทั่วไปของท่ออิมพีแดนซ์ | 29 |
| รูปที่ 2.22 ลักษณะของคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นภายในท่ออิมพีแดนซ์ | 29 |
| รูปที่ 2.23 ปรากฏการณ์สะท้อน ดูดซับ และส่งผ่านเสียงของวัตถุ | 31 |
| รูปที่ 2.24 การดูดกลืนเสียงของคอนกรีตบล็อก | |
| บทที่ 3 อุปกรณ์และการสร้างชุดทดลอง | |
| รูปที่ 3.1 ท่อพลาสติก ยาว 1.5 เมตร กว้าง 0.05 เมตร | 36 |
| รูปที่ 3.2 เครื่องกำเนิดเสียงที่สามารถปรับความถี่สูง-ต่ำได้ | 36 |
| รูปที่ 3.3 ไมโครโฟน | 37 |
| รูปที่ 3.4 ตัวเลื่อนไมโครโฟน | 37 |
| รูปที่ 3.5 กระจกหนาขนาด 1 cm , 2 cm, 3 cm | 38 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 3.6 คอนกรีตหนาขนาด 1 cm , 2 cm, 3 cm | 38 |
| รูปที่ 3.7 อิฐหนาขนาด 1 cm , 2 cm, 3 cm | 39 |
| รูปที่ 3.8 ลำโพงกระจายเสียง | 39 |
| รูปที่ 3.9 แผ่นเหล็ก | 40 |
| รูปที่ 3.10 ตัวบันทึกค่าสัญญาณ (F F T Analyzer) | 40 |
| รูปที่ 3.11 ชุดการทดลองจริง | 41 |
| รูปที่ 3.12 ชุดการทดลอง | 41 |
| บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง | |
| รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ ของ กระจก ขนาด 1 , 2 , 3 cm | 46 |
| รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Impedance Ratio กับความถี่ ของ กระจก หนา 1,2,3 cm | 46 |
| รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ ของคอนกรีตขนาด 1,2,3 cm | 47 |
| รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Impedance Ratio กับความถี่ ของ คอนกรีตหนา 1,2,3 cm | 47 |
| รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ ของ อิฐหนา 1,2,3 cm | 48 |
| รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Impedance Ratio กับความถี่ ของ อิฐ หนา 1,2,3 cm | 48 |
| รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ต่างๆ ของ วัสดุ 1 cm | 49 |
| รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ต่างๆ ของ วัสดุ 2 cm | 49 |
| รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ต่างๆ ของ วัสดุ 3 cm | 50 |
| รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบ Impedance Ratio กับความถี่ต่างๆ ของ วัสดุ 1 cm | 50 |
| รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบ Impedance Ratio กับความถี่ต่างๆ ของ วัสดุ 2 cm | 51 |
| รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบ Impedance Ratio กับความถี่ต่างๆ ของ วัสดุ 3 cm | 51 |

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันประเทศไทยกำลังพัฒนาในทุกๆด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งมีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีใหม่ๆขึ้นมาอย่างมากมาย ในการพัฒนานั้นนอกจากจะมีผลให้มีการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจและสังคมแล้ว ยังก่อให้เกิดปัญหาทางสังคมมากมายทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น ปัญหาน้ำเน่าเสีย อากาศเสีย ซึ่งเป็นผลกระทบทางตรง นอกจากนั้นยังก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านทางอ้อม เช่น การเพิ่มจำนวนของยานพาหนะ และ จำนวนประชากรภายในเมือง ซึ่งสาเหตุของปัญหาเหล่านี้คือการขาดการวางแผนและการควบคุมเพื่อรองรับการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งมลภาวะทางเสียงเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญประการหนึ่ง ที่เป็นผลสืบเนื่องจากการพัฒนาประเทศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้เกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อม ในช่วงเวลาที่ผ่านมามีพบว่าผลกระทบของมลภาวะทางเสียงที่มีต่อสังคมไทยนั้น ได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มิได้เป็นเพียงสิ่งที่ก่อให้เกิดความรำคาญเท่านั้น แต่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้ที่ได้รับผลกระทบอีกด้วย เช่น ปัญหาใกล้ตัว สนามบินใกล้สถานศึกษาซึ่งผลของเสียงดัง อาจจะทำให้เกิดผลกระทบต่อการศึกษาของนักศึกษา หรือจะเป็นปัญหายานยนต์คือเสียงดังจากห้องเครื่องยนต์ ซึ่งการศึกษาความสามารถของวัสดุดูดซับเสียงอาจมีส่วนช่วยแก้ปัญหาโดยตรงด้านนี้ ปัจจุบันจึงได้มีการคิดค้นเทคโนโลยีในการลดความดังของเสียง อย่างเช่น การนำเอาใยแก้วมาพันรอบท่อไอเสียเพื่อลดความดังที่เกิดจากท่อไอเสีย หรือจะเป็นการนำเอาวัสดุดูดซับเสียงมาภายในอุปกรณ์เครื่องทำความเย็นเพื่อลดเสียงที่เกิดจากการทำงานของตัวเครื่อง

แนวทางในการควบคุมเพื่อลดระดับความรุนแรงของปัญหามลภาวะทางเสียงนี้สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่นการควบคุมที่แหล่งกำเนิดเสียง การควบคุมที่ทางผ่านของเสียง และการควบคุมที่ตัวผู้รับเสียง ซึ่งโดยหลักการแล้วการควบคุมที่ดีที่สุดคือการควบคุมที่แหล่งกำเนิดเสียง ถ้าหากไม่สามารถทำได้อาจใช้วิธีการควบคุมที่เส้นทางเดินเสียง โดยใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนคลื่นเสียงได้ดี หรือมีคุณสมบัติในการจำกัดการส่งผ่านคลื่นเสียงได้ดีมาวางกัน ระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับบริเวณที่ต้องการความเงียบสงบ การพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุคลื่นเสียงที่ดีแนวทางหนึ่งก็คือ การศึกษาประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงของวัสดุชนิดต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพัฒนาเป็นวัสดุดูดกลืนเสียงที่ดีต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 สร้างชุดการทดลอง

1.2.2 วิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์ความต้านทานและความดูดซับเสียงของวัสดุ

1.3 ขอบเขตการทดลอง

1.3.1 ทดสอบในภาวะปกติ

1.3.2 เครื่องกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นที่ 125 Hz

1.3.3 Diameter และความถี่จะได้จาก สมการ $f < 0.586 c/d$, $d < 0.586 \lambda$ (สำหรับท่อกลม)

$f < 0.500 c/d$, $d < 0.500 \lambda$ (สำหรับท่อสี่เหลี่ยม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.4 ความยาวของท่อคำนวณได้จากสมการ $3\lambda / 4 < l < d$ โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่น (m), l คือ ความยาวท่อ (m), d คือ diameter ของท่อ

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1.4.1 การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องต่างๆ ดังนี้

- หาข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องวัสดุคูดซับเสียงและชุดทดลองตามมาตรฐาน ASTM C384-90a จากการศึกษาภายในประเทศและต่างประเทศในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งหนังสือและอินเทอร์เน็ต
- ทำการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับเรื่องเสียง
- ทำการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่มีรูพรุน

1.4.2 เตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

- ติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลอง
- ตั้งค่าอุปกรณ์การทดลอง

1.4.3 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทดลองและทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4.4 ทำการสรุปผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีบทการวิเคราะห์และคำนวณ

2.1 ธรรมชาติและการเกิดเสียง

เสียงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่ง เพราะเสียงไม่ใช่สสารและไม่มีตัวตน แต่เสียงสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่นๆ หรือพลังงานอื่นๆ สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานเสียงได้ เสียงเป็นคลื่นชนิดหนึ่งเพราะเสียงสามารถแสดงสมบัติของคลื่นคือ การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบนได้อย่างสมบูรณ์

เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของแหล่งกำเนิดแล้วถ่ายทอดพลังงานของการสั่นสะเทือนนั้นให้แก่อนุภาคของตัวกลาง ดังนั้นเสียงจึงเป็นคลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่เพราะการถ่ายทอดพลังงานของคลื่นเสียงต้องอาศัยการสั่นของตัวกลางเป็นตัวส่งผ่านพลังงาน และเนื่องจากอนุภาคตัวกลางที่คลื่นเสียงผ่านจะมีการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกในทิศเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง จึงจัดว่าคลื่นเสียงเป็นคลื่นตามยาว

สำหรับแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงอาจแบ่งตามลักษณะของวัตถุต้นกำเนิดเป็น 3 ประเภทคือ

- 1) เกิดจากการสั่นของสายหรือแท่ง เช่น ส้อมเสียง เครื่องดนตรีประเภทเครื่องสายต่างๆ
- 2) เกิดจากการสั่นของผิว เช่น ระฆัง ฉาบ ฉิ่ง กลอง
- 3) เกิดจากการสั่นของลำอากาศ เช่น เครื่องดนตรีประเภทเครื่องเป่าต่างๆ

2.1.1 กลไกการเกิดเสียง

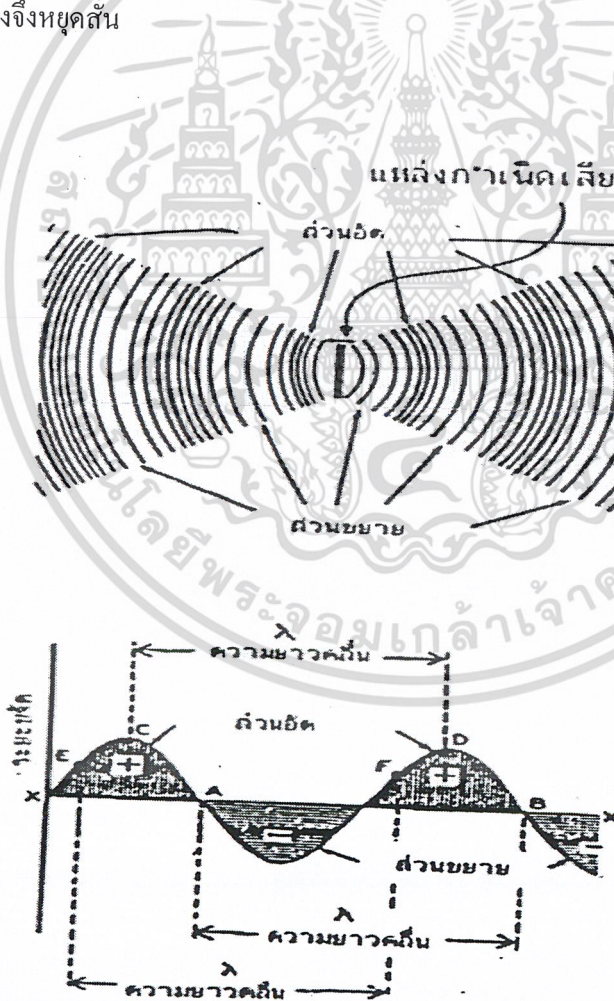
เราสามารถพิจารณากลไกการเกิดคลื่นเสียงจากตัวอย่างการเกิดคลื่นตามยาวในท่อดังนี้ คือ ในกรณีคลื่นเสียงการสั่นของวัตถุต้นกำเนิดเสียงในตัวกลางจะทำให้โมเลกุล ของอากาศเกิดการอัดและขยายแผ่กระจายออกรอบแหล่งกำเนิดในลักษณะของคลื่นตามยาว เมื่อคลื่นนี้เคลื่อนที่มาถึงหูของคนจะทำให้คนที่ได้รับคลื่นนั้นรับรู้เป็นเสียงขึ้น (จากรูปที่ 2.1) จะพบว่าคลื่นเสียงในอากาศเกิดขึ้นจากการอัดและการขยายของอากาศ เมื่อคลื่นเสียงเดินทางผ่านตัวกลาง (อากาศ) จะทำให้เกิดตำแหน่งที่อนุภาคอากาศอัดตัวและขยายตัวสลับกันไปตลอดแนวทางการเคลื่อนที่ โดยตำแหน่งเหล่านี้จะมีการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปตลอดในแนวทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เมื่อมองในด้านความดันที่จุดๆ หนึ่งจะมีค่าความดันมากกว่าปกติเท่ากับปกติและน้อยกว่าปกติสลับกันไป ในกรณีที่วัตถุต้นกำเนิดในสูญญากาศผู้ฟังจะไม่ได้ยินเสียงเพราะไม่มีตัวกลางในการถ่ายทอดพลังงานเสียงที่เกิดขึ้นจากการสั่นของวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดมาถึงผู้ฟัง

พิจารณาอากาศภายในท่อยาวซึ่งปลายด้านหนึ่งมีลูกสูบ (รูปที่ 2.2) ถ้าหากให้ลูกสูบนี้อัดและขยายตัวไปด้านหลังในระยะเวลาสั้นๆ จะทำให้โมเลกุลของอากาศที่อยู่ใกล้ด้านหลังของลูกสูบนี้อัดและขยายตัวไปด้วย ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่ของลูกสูบทำให้ความดันของอากาศใกล้ลูกสูบบมีค่าเพิ่มขึ้น และถ้าหยุดลูกสูบไว้ ณ ตำแหน่งนี้ชั่วครู่ จะพบว่าอากาศส่วนที่มีการอัดตัวในตอนแรกเริ่มมีการขยายตัวออก โดยอากาศจะไม่ขยายตัวมาด้านหลังหรือออกด้านข้างเพราะคิบลูกสูบและผนังของท่อ ดังนั้นอากาศจะขยายตัวและเคลื่อนที่ไปเฉพาะด้านหน้าของลูกสูบเท่านั้น อากาศที่ถูกอัดและขยายตัวนี้จะมีลักษณะเป็นชั้นๆ ซึ่งจะอัดส่วนของอากาศที่อยู่ถัดออกไปเรื่อยๆ ถ้าหากให้เกิดการทำงานลักษณะซ้ำๆ กันก็จะเกิดการอัดตัวของอากาศต่อกันไป ซึ่งเป็นการก่อให้เกิดคลื่นของความดันที่มีค่าเป็นบวกส่งไปตามทางยาวทั้งนี้หากให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

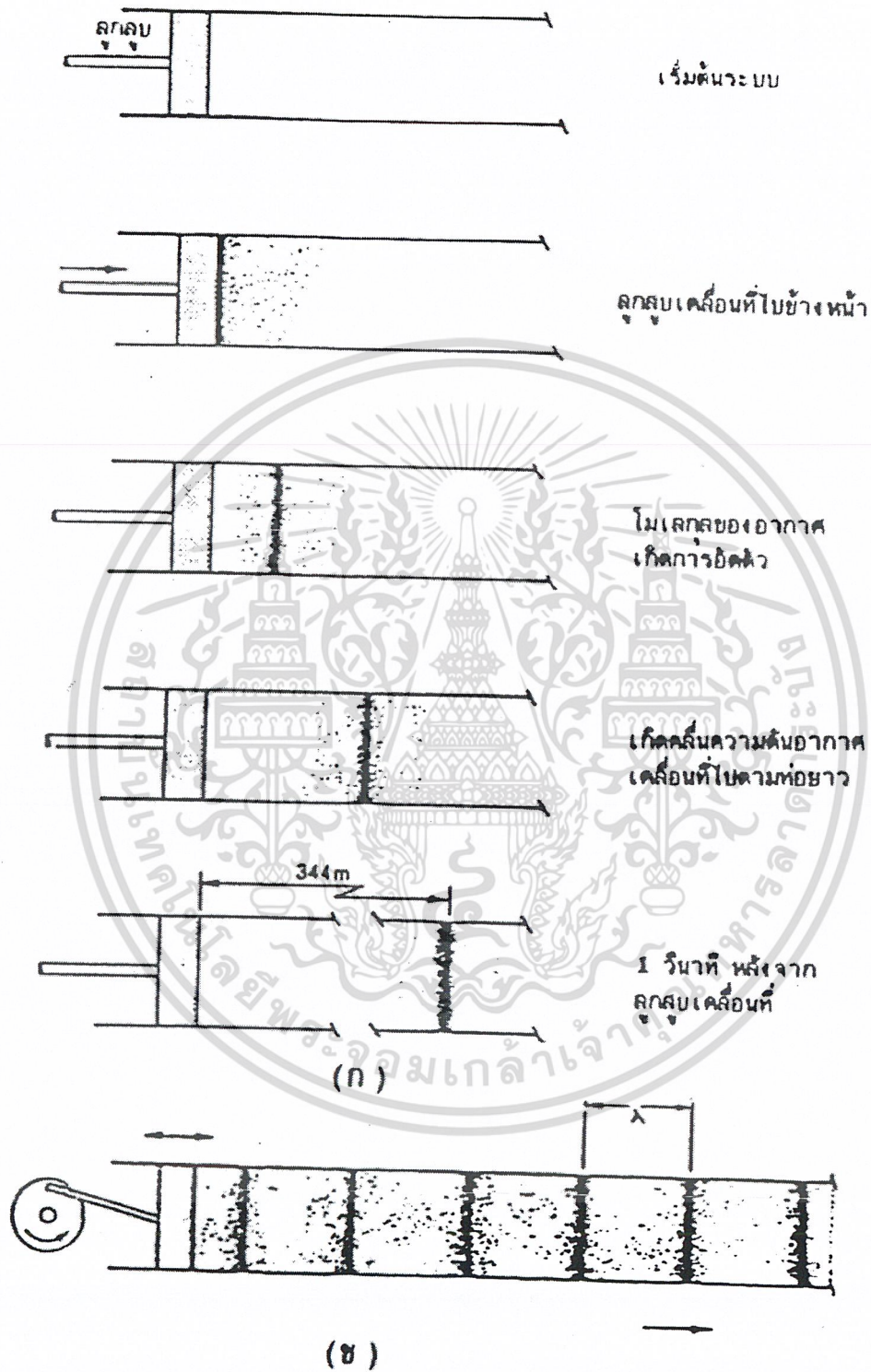
ลูกสูบมีการเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกับตอนแรกจะส่งผลให้ความดันอากาศที่มีค่าเป็นบวกในช่วงแรกเริ่มลดลง และหากให้ลูกสูบเคลื่อนที่ผ่านจุดกึ่งกลางความดันอากาศก็จะมีค่าเป็นลบ และด้วยกระบวนการย้อนกลับนี้ก็จะก่อให้เกิดคลื่นความดันที่มีค่าเป็นลบ เคลื่อนที่ตามหลังคลื่นความดันที่มีค่าเป็นบวกไปตามความยาวของท่อ นั่นซึ่งคลื่นความดันเหล่านี้ก็คือคลื่นเสียงนั่นเอง

หากพิจารณาตามความหมายแล้ว “เสียง” จะเกิดขึ้นได้ต้องมีองค์ประกอบอย่างน้อย 3 ส่วน ได้แก่ แหล่งกำเนิดเสียง ตัวกลางและผู้รับเสียง ดังนั้นการเกิดเสียงจึงอธิบายได้ดังนี้ เมื่อวัตถุต้นกำเนิดมีการสั่นตัวจะส่งพลังงานออกไปในรูปของคลื่นซึ่งเป็นคลื่นยาว ทำให้โมเลกุลของอากาศที่อยู่ใกล้เคียงวัตถุ ต้นกำเนิดมีการเคลื่อนที่กลับไป-มา เป็นจังหวะเดียวกับการสั่นของวัตถุต้นกำเนิดส่งผลให้เกิด การเปลี่ยนแปลงความดันบริเวณที่คลื่นเสียงนั้นเคลื่อนที่ผ่าน โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงจะมีทิศเดียวกับทิศของ การสั่นตัวของอนุภาคตัวกลาง ดังนั้นเมื่อให้วัตถุมีการสั่นในตัวกลางใดๆ จะทำให้อนุภาคของตัวกลางที่อยู่ข้างเคียงกับวัตถุนั้นๆ เกิดการสั่นตามไปด้วยจากการสั่นในลักษณะนี้จะมีการถ่ายทอดพลังงานจากอนุภาคหนึ่งไปสู่อนุภาคอื่นต่อจนกระทั่งพลังงานซึ่งทำให้วัตถุแหล่งกำเนิดหมดลง พลังงานในอนุภาคของตัวกลางจึงหยุดสั่น



รูปที่ 2.1 การเกิดคลื่น ส่วนอัดและขยายของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการส่งผ่านคลื่นตามยาวในท่อ

ก. เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่จังหวะเดียว

ข. ลูกสูบเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแผ่กระจายของคลื่นเสียงสามารถอธิบายได้ด้วยกราฟ ซึ่งแสดงระยะห่างจากจุดสมดุลของวัตถุที่กำลังสั่นตัว โดยระยะห่างของคลื่นเสียงซึ่งเคลื่อนที่นั้นในหนึ่งช่วงเวลาหรือในหนึ่งรอบจะเรียกว่า ความยาวคลื่น สำหรับระยะห่างจากจุดสมดุลของอนุภาคของวัตถุแหล่งกำเนิดในช่วงเวลาเรียกว่าความเร็วเสียง ส่วนความถี่ของคลื่นเสียง คือจำนวนรอบของความถี่เสียงในหนึ่งหน่วยเวลา โดยความสัมพันธ์ของความยาวคลื่น ความเร็วและความถี่เสียง สามารถแสดงได้ในรูปคณิตศาสตร์ดังนี้

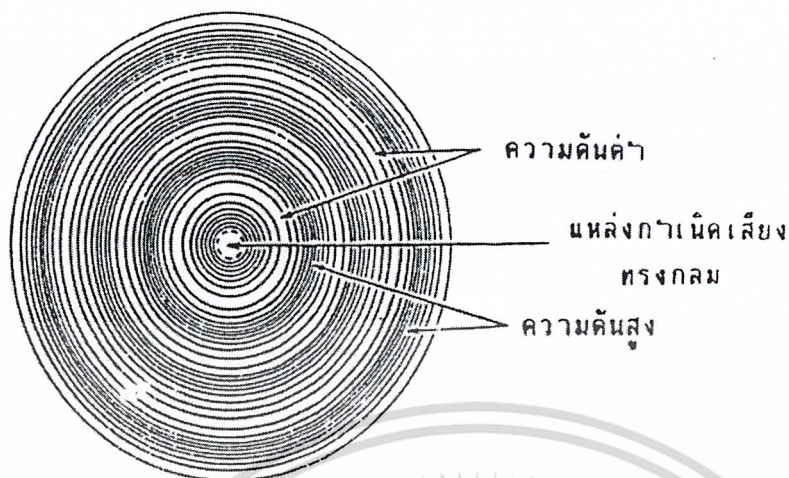
$$c = \lambda f$$

โดย

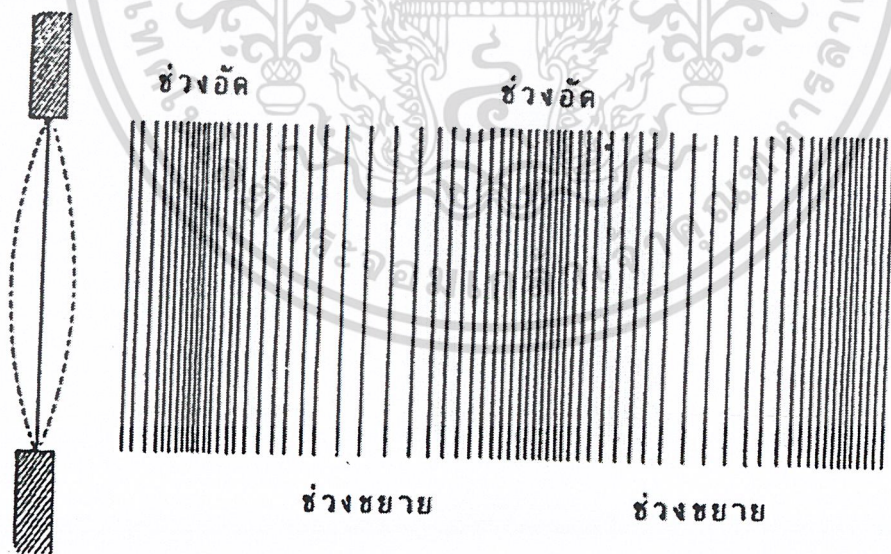
| | | |
|-----------|-----------------|----------------------|
| c | = ความเร็วเสียง | (m s ⁻¹) |
| λ | = ความยาวเสียง | (m) |
| f | = ความถี่เสียง | (Hz) |

2.1.2 การแผ่กระจายของคลื่นเสียง

คลื่นเสียงเป็นคลื่นยืดหยุ่นซึ่งเกิดจากการสั่นของวัตถุแล้วมีการแผ่กระจายผ่านตัวกลางมา ในกรณีที่ตัวกลางเป็นอากาศ โมเลกุลของอากาศจะมีการสั่นตัวกลับไป-มาจากตำแหน่งสมดุล ทั้งนี้การแผ่กระจายของคลื่นเสียงอาจเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ คือ คลื่นทรงกลม (spherical wave) และคลื่นระนาบ (plane wave) โดยคลื่นทรงกลมเกิดจากแหล่งกำเนิดที่มีลักษณะเป็นจุดและอยู่ใกล้จุดที่สังเกต (รูปที่ 2.3) หน้าคลื่นที่แผ่ออกไปโดยรอบมีลักษณะเป็นทรงกลม ส่วนคลื่นระนาบเกิดจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ห่างจากจุดสังเกตเป็นระยะทางไกลมากหรือเกิดจากการสั่นตัวของแผ่นระนาบขนาดใหญ่ (รูปที่ 2.4) โดยมีหน้าคลื่นตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น สำหรับการแผ่กระจายของคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญหลายประการ เช่น กำลังของแหล่งกำเนิดเสียง ตัวกลางในการแผ่กระจาย สิ่งกีดขวางต่างๆ โดยระยะที่ห่างจากแหล่งกำเนิด ระดับเสียงจะแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยเหล่านี้ เช่น ระยะทางการดูดซับของอากาศ หมอก พื้นดินการสะท้อนหรือเลี้ยวเบนรอบสิ่งกีดขวาง การเกิดจุดอับเสียง และการกระเจิงเสียง



รูปที่ 2.3 การแผ่กระจายของคลื่นทรงกลม



รูปที่ 2.4 การแผ่กระจายของคลื่นระนาบในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ความเร็วของเสียง

เสียงมีความเร็วที่จำกัดค่าหนึ่ง โดยความเร็วเสียงนั้นจะแตกต่างกันออกไปสำหรับตัวกลางแต่ละชนิด ความเร็วเสียงเพิ่มขึ้นเมื่อตัวกลางมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเนื่องจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลตัวกลางนั้น จึงสามารถอธิบายได้ว่าอนุภาคของโลหะซึ่งมีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและใกล้ชิดกันมากกว่าอนุภาคหรือโมเลกุลของแก๊ส ทำให้โลหะสามารถส่งผ่านพลังงานจากการสั่นสะเทือนไปยังแต่ละโมเลกุลได้อย่างรวดเร็ว และสรุปว่าคลื่นเสียงที่แผ่กระจายออกมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกันแต่เคลื่อนที่ผ่านไปในตัวกลางที่ต่างชนิดกันจะมีความเร็วเสียงต่างกันและความหนาแน่นต่างกัน ดังตารางที่ (2.1) และ (2.2)

ตารางที่ 2.1 ความเร็วเสียงในแก๊ส, ของเหลวและของแข็ง

| ตัวกลาง | อุณหภูมิ (°C) | (m s ⁻¹) |
|--------------------|---------------|----------------------|
| แก๊ส | | |
| - คาร์บอนไดออกไซด์ | 0 | 259 |
| - ออกซิเจน | 0 | 316 |
| อากาศ | 0 | 331 |
| - อากาศ | 20 | 343 |
| ไนโตรเจน | 0 | 334 |
| ฮีเลียม | 0 | 965 |
| ของเหลว | | |
| - ปรอท | 25 | 1450 |
| - น้ำ | 25 | 1498 |
| - น้ำทะเล | 25 | 1531 |
| ของแข็ง | | |
| - ยาง | - | 1800 |
| - ตะกั่ว | - | 2100 |
| - ทอง | - | 3000 |
| - เหล็ก | - | 5000-6000 |
| - แก้ว | - | 5000-6000 |
| - แกรนิต์ | - | 6000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงนั้นขึ้นกับการถ่ายทอดพลังงานกล โดยการสั่นตัวของอนุภาคตัวกลางที่สั่นตัวอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ความเร็วของเสียงในตัวกลางต่างชนิดกันมีขนาดต่างกัน กล่าวคือ ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่าความเร็วเสียงจะมีค่าสูง ส่วนตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยความเร็วเสียงจะมีค่าต่ำ ทั้งนี้ถ้าตัวกลางมีอุณหภูมิสูงขึ้นความเร็วเสียงก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วย ตารางที่ (2.2)

ตารางที่ 2.2 ความเร็วเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน

| ตัวกลาง | อุณหภูมิ (°C) | ความหนาแน่น (kg m ⁻³) | ความเร็วเสียง(m s ⁻¹) |
|------------------|---------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| อากาศ | - | 1.20 | 344 |
| คาร์บอนไดออกไซด์ | 0 | 1.98 | 259 |
| ไฮโดรเจน | 0 | 0.0899 | 1284 |
| เฮลริลอัลกอกฮอส์ | - | 790 | 1207 |
| เบนซิน | - | 870 | 1295 |
| น้ำบริสุทธิ์ | - | 998 | 1498 |
| อะลูมิเนียม | - | 2700 | 5000 |
| ทองแดง | - | 8930 | 3750 |
| เหล็ก | - | 7900 | 5120 |
| เลือด | 37 | 1056 | 1570 |
| เนื้อเยื่อ | 37 | 1047 | 1570 |

เสียงนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของความดันในปริมาณเล็กน้อย แล้วแผ่กระจายผ่านตัวกลางอากาศออกไปด้วยความเร็วค่าหนึ่ง โดยขนาดของการเปลี่ยนแปลงความดันอยู่ในช่วงระหว่าง 2×10^{-5} ถึง 20 Pa โดยความเร็วเสียงในอากาศสามารถแสดงในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

γ = อัตราส่วนของความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (C_p / C_v)

R = ค่าคงที่ของแก๊ส ($J \text{ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

T = อุณหภูมิองศาสัมบูรณ์ (K)

M = มวลโมเลกุลของอากาศ = 28.8 (kg kmole^{-1})

ดังนั้นสำหรับอากาศที่มีอุณหภูมิ 20 °C และความดันบรรยากาศมาตรฐานความเร็วเสียงมีค่าประมาณ 344 ms^{-1} ส่วนความเร็วเสียงในของเหลวและของแข็งจะแตกต่างจากความเร็วเสียงในของเหลวและของแข็งสามารถหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$c = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

โดย

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว (kg m^{-3})

B = ค่าบัลค์มอดูลัสสำหรับของเหลว (N m^{-2})

$$\sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

ρ = ความหนาแน่นของของแข็ง (kg m^{-3})

Y = ค่ามอดูลัสยังส์สำหรับของเหลว (N m^{-2})

2.1.4 คุณภาพเสียงและระดับเสียง

คุณภาพของเสียง (Quality) หมายถึง คุณลักษณะเสียงที่หูได้ยิน เช่นมีการบรรเลงเพลงจากวงดนตรีวงหนึ่งทุกชนิด ซึ่งเล่นเพลงเดียวกัน แต่หูสามารถแยกได้ว่าเสียงที่ได้ยินนั้นมาจากเครื่องดนตรีประเภทใด เช่น จากไวโอลินหรือเปียโน เป็นต้น การที่หูสามารถแยกลักษณะของเสียงได้นั้นเพราะคุณภาพของเสียงต่างกัน โดยที่คุณภาพของเสียงจะขึ้นอยู่กับจำนวนและความเข้มของโอเวอร์โทนของเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดนั้น ซึ่งแสดงเด่นออกมาจึงทำให้เครื่องดนตรีเหล่านั้นมีความไพเราะต่างกัน นอกจากนี้คุณภาพของเสียงยังขึ้นกับความเข้มของเสียงด้วย อย่างไรก็ตาม Giancoli ได้กล่าวว่าคุณภาพของเสียงหรือลักษณะพิเศษของเสียงจะขึ้นกับการผสมผสานกันของความถี่ที่ปรากฏต่อผู้สังเกต

ระดับเสียง (pitch) หมายถึง ลักษณะความสูงต่ำของเสียง สำหรับเสียงสูงเช่น ข, ฉ, จ, เสียงต่ำเช่น ค, ฆ, ง หรือ โน้ตดนตรี เช่น โด, เร, มี, ฟา, ซอล, ลา, ซี่ นั้น แสดงระดับเสียงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า โดมีเสียงต่ำ ซี่ มีเสียงสูงกว่า ทั้งนี้ระดับเสียงสามารถกำหนดได้ด้วยความถี่ โดยระดับเสียงจะผันแปรตามความถี่ เสียงสูงหรือเสียงที่มีระดับสูงนั้นมีความถี่สูง ส่วนเสียงต่ำมีความถี่ต่ำนอกจากนี้ระดับเสียงยังขึ้นกับปริมาณความเข้มของเสียงด้วยระดับเสียงในช่วงที่มนุษย์สามารถรับฟังได้ คือความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 20 – 20,000 Hz

2.1.5 ความเข้มของเสียงและความดังเสียง

พลังงานเสียงที่ถูกส่งออกจากแหล่งกำเนิดจะทำให้อนุภาคของตัวกลางเกิดการสั่นตัวในลักษณะของคลื่นตามยาวที่แผ่กระจายออกไป ทั้งนี้ความเข้มของคลื่นเสียงที่ส่งออกไปจากแหล่งกำเนิดเสียงนั้นขึ้นอยู่กับกำลังของแหล่งกำเนิด ซึ่ง Thumman และ Miller (1999) กล่าวว่า กำลังของแหล่งกำเนิดเสียงสามารถแสดงได้ในหน่วยวัตต์ ในสนามอิสระเสียงจะมีการกระจาย จากแหล่งกำเนิดทุกทิศทางในลักษณะของรูปทรงกลม(รูปที่ 2.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวของทรงกลมจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่าง จากแหล่งกำเนิดที่เพิ่มขึ้นด้วยทำให้ความเข้มเสียงหรือกำลังต่อหน่วยพื้นที่นั้นลดลงด้วย ทั้งนี้เพราะกำลังที่ส่งกระจายออกไปมีค่าเท่าเดิม แต่พื้นที่ที่ครอบคลุมพลังงานนั้นกลับเพิ่มขึ้นมากขึ้น ความเข้มที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$I = W/S$$

โดย

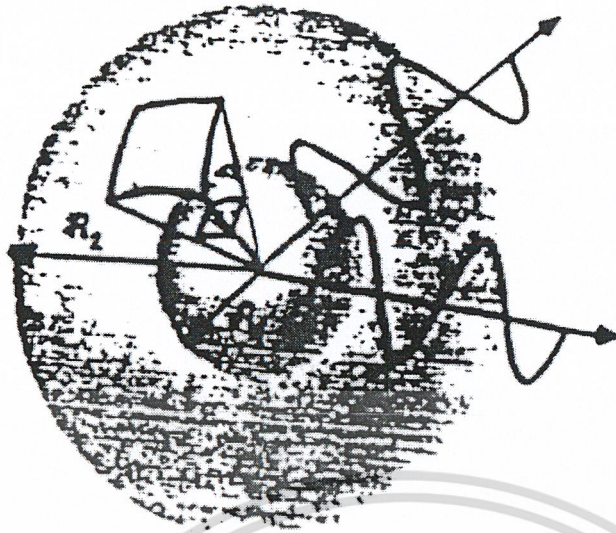
| | | |
|---|-----------------------|----------------------|
| I | = ความเข้มเสียง | (W m ⁻²) |
| W | = กำลังของแหล่งกำเนิด | (W) |
| S | = พื้นที่ผิวทรงกลม | (m ⁻²) |

นอกจากนี้ Webb (1998) ยังได้กล่าวเพิ่มเติมในเรื่องนี้ไว้ว่าพลังงานเสียงต่อหน่วยพื้นที่ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ นั้นจะมีค่าเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าของระยะทางจากแหล่งกำเนิดยกกำลังสอง ทั้งนี้ถ้าระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียงเพิ่มขึ้น 2 เท่า ค่าความหนาแน่นของพลังงานเสียงจะลดลง 4 เท่า (รูปที่ 2.6) อาจกล่าวได้โดยสรุปว่าในหน่วยของเดซิเบลว่าทุกครั้งที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้น 2 เท่า ระดับความดังเสียง จะลดลง 6 dB (A) สอดคล้องกับคำอธิบายของ Schmeiset (1997) ที่กล่าวว่า ณ ตำแหน่งที่ห่างออกไปจากแหล่งกำเนิดเสียงเป็นระยะทาง r และแหล่งกำเนิดเสียงมีกำลังเป็น W จะมีความเข้มเสียงเป็น I แสดงได้ดังสมการ

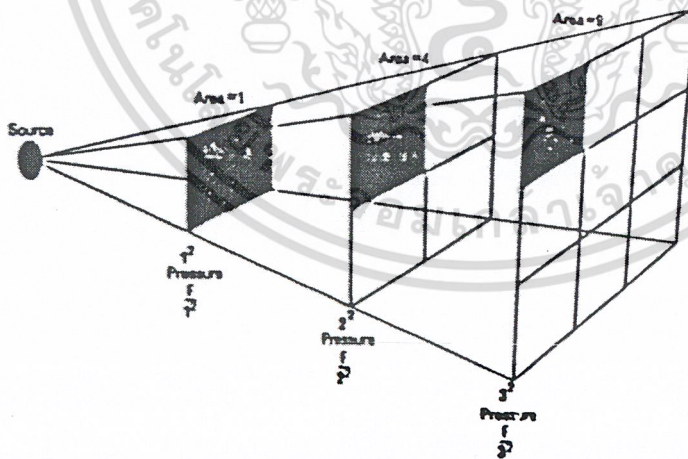
$$I = W / 4\pi r^2$$

โดย

| | |
|---|-----------------------|
| I | = ความเข้มเสียง |
| W | = กำลังของแหล่งกำเนิด |
| R | = รัศมีจากแหล่งกำเนิด |



รูปที่ 2.5 การแผ่กระจายพลังงานของคลื่นเสียงในลักษณะทรงกลม



รูปที่ 2.6 ความเข้มของพลังงานเสียงต่อหน่วยพื้นที่ ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม Bueche (1998) ได้ให้ความหมายว่าความเข้มเสียงหมายถึงกำลังของแหล่งกำเนิดเสียงที่ส่งคลื่นเสียงผ่านพื้นที่หนึ่งหน่วยซึ่งรองรับมุมตันที่แหล่งกำเนิด ในทิศทางตั้งฉากกับทิศของการเคลื่อนที่ของคลื่นนั้นมีหน่วยเป็น W m^{-2} ทำนองเดียวกับที่ Ahford และ Wright กล่าวว่าความเข้มเสียงหมายถึงค่าเฉลี่ยของพลังงานเสียงที่ส่งผ่านพื้นที่ ที่ตั้งได้จากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในหนึ่งหน่วยเวลา โดยความเข้มของเสียงสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

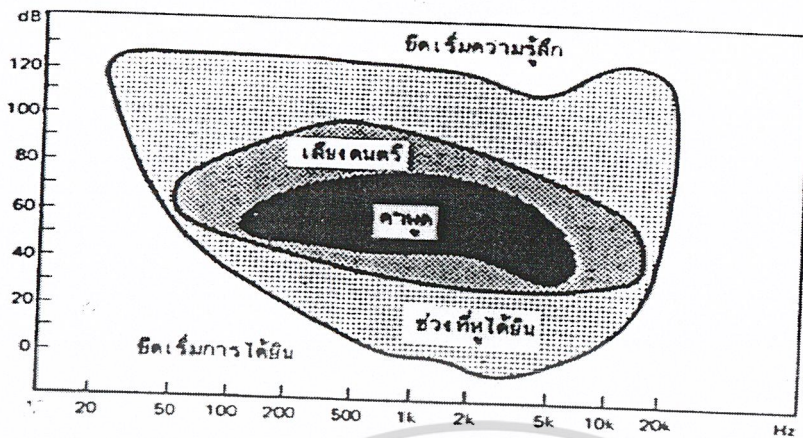
$$I = P^2 / \rho c$$

โดยที่

| | | |
|--------|------------------------------|------------------------------------|
| I | = ความเข้มเสียง | (W m^{-2}) |
| P^2 | = ความดันเสียงเฉลี่ยกำลังสอง | (N m^{-2}) ² |
| ρ | = ความหนาแน่นของอากาศ | (kg m^{-3}) |
| c | = ความเร็วของเสียง | (m s^{-1}) |

ทั้งนี้เสียงเบาที่สุดที่มนุษย์สามารถได้ยินนั้นมีความเข้มประมาณ $10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ และเสียงดังที่สุดที่มนุษย์สามารถทนได้นั้นมีความเข้มประมาณ 1 W m^{-2} Ahford และ Wright ซึ่ง Marion และ Hornyak กล่าวถึงการรับฟังเสียงของมนุษย์ว่า มนุษย์แต่ละคนจะมีความสามารถตอบสนองต่อเสียงที่มีความถี่ในช่วงประมาณ 15 Hz ไปจนถึง 20,000 Hz อย่างไรก็ตามความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งที่มีความถี่สูง ๆ ของแต่ละบุคคลนั้นจะลดลงเมื่อบุคคลนั้นมีอายุมากขึ้น โดยในวัยรุ่นจะสามารถรับฟังเสียงที่มีความถี่ประมาณ 20,000 Hz ได้เมื่อคนเดียวกันนี้มีอายุมากขึ้น เราจะไม่สามารถได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 12,000 Hz หรือ 14,000 Hz

ความดังของเสียง (loudness) หมายถึง ความรู้สึกได้ยินของมนุษย์ว่าดังมากหรือน้อยซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่สามารถวัดด้วยเครื่องมือใดๆ โดยตรง ซึ่งความดังจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับลอการิทึมฐาน 10 ของความเข้มเสียง (ตารางที่ 2.3) ความดังจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มแต่ไม่อยู่ในรูปของความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างง่าย ความรู้สึกดังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสเกลของลอการิทึมของความเข้มเสียง ทั้งนี้จากการทดลองเกี่ยวกับความรู้สึกของผู้รับฟังเสียงต่อระดับเสียงของ Robinson และ Dadson พบว่าความดังเสียงมีความสัมพันธ์กับความเข้มและความถี่ของเสียง นอกจากนี้ยังได้นำข้อมูลจากการทดลองมาสร้างกราฟระดับความดังเสียงเทียบเท่าสำหรับความถี่บริสุทธิ์ (รูปที่ 2.7) โดยกราฟนี้สร้างขึ้นจากผลการทดสอบการได้ยินเสียงเฉลี่ยของกลุ่มคนจำนวนมาก ทั้งนี้ความดังและความถี่เสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินนั้นจะอยู่ในช่วงที่แตกต่างกันออกไป



รูปที่ 2.7 ระดับความถี่และความดังเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินในช่วงต่างๆ
ตารางที่ 2.3 ระดับความดังเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ ตำแหน่งต่างๆ

| แหล่งกำเนิด | ระดับความเข้มเสียง (เดซิเบล) | ผลการรับฟัง |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| การหายใจปกติ | 10 | แทบจะไม่ได้ยิน |
| การกระซิบเบาแผ่ว | 30 | เสียงเบา |
| สำนักงานที่เงียบ | 50 | เสียง |
| การพูดคุยธรรมดา | 60 | ปานกลาง |
| เครื่องดูดฝุ่น | 75 | ดัง |
| โรงงานทั่วไป | 80 | ดัง |
| ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น | 80 | ดัง |
| เครื่องเสียงสเตอริโอในห้อง | 90 | ฟังบ่อยๆการได้ยินจะเสื่อม |
| เครื่องเจาะถนนแบบอัดลม | 90 | ฟังบ่อยๆการได้ยินจะเสื่อม |
| เครื่องตัดหญ้า | 100 | การได้ยินจะเสื่อมลง |
| ดิสโก้เทค | 120 | ไม่สบายหู |
| การแสดงดนตรี ROCK ที่ดังๆ | 120 | ไม่สบายหู |
| ฟ้าผ่าระยะใกล้ | 130 | ไม่สบายหู |
| เครื่องบินไอพ่นขึ้นระยะใกล้ | 150 | เจ็บปวดในหู, แก้วหูชำรุด |
| จรวดขนาดใหญ่ในระยะใกล้ | 180 | แก้วหูชำรุดทันที |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 ระดับความดังเสียง

ความเข้มเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินนั้นจะมีช่วงความกว้างมากคือ ตั้งแต่ $10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ ถึง 1 W m^{-2} จึงไม่นิยมกล่าวถึงความเข้มเสียงโดยใช้สเกลแบบเลขคณิตธรรมดา แต่นิยมใช้สเกลลอการิทึมแทน ซึ่ง (Cunniff) กล่าวว่าหน่วยที่เหมาะสมสำหรับบอกความเข้มเสียงที่มนุษย์สามารถรับได้ซึ่งมีขนาดกว้างมากนี้คือหน่วยของเดซิเบล โดยได้อธิบายว่านิยามของค่าในหน่วยเดซิเบลของปริมาณใด ๆ A ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณ A_0 (ค่าอ้างอิง) แสดงได้ดังสมการ

$$db = 10 \log (A / A_0)$$

ถ้ารับมลพิษทางเสียงนั้นจะใช้หน่วยของเดซิเบลนี้ ในการวัดค่าของระดับความดังของเสียงอันเนื่องมาจากความเข้มเสียง กำลังเสียงและความดันอากาศ โดยความสัมพันธ์ของระดับความดังเนื่องจากเหตุต่าง ๆ นั้น (ตารางที่ 2.4) สามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปของลอการิทึม (logarithmic) ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนกับปริมาณอ้างอิงต่าง ๆ ดังนี้

ระดับความดังเสียงเนื่องจากความเข้มเสียง (Sound intensity level ; IL) คำนวณได้จากสมการ

$$IL = 10 \log (I / I_0)$$

โดย

IL = ระดับความดังเสียงจากความเข้มเสียง (dB (A))

I = ความเข้มเสียงที่พิจารณา (W m^{-2})

I_0 = ความเข้มเสียงที่อ้างอิง ($10^{-12} \text{ W m}^{-2}$)

ระดับความดังเสียงเนื่องจากกำลังเสียง (sound power level ; PW L) คำนวณจากสมการ

$$PWL = 10 \log (W / W_0)$$

PWL = ระดับความดังเสียงจากกำลังเสียง (dB (A))

W = กำลังเสียงที่พิจารณา (W)

W_0 = กำลังเสียงอ้างอิง ($10^{-12} \text{ W m}^{-2}$)

ระดับความดังเสียงเนื่องจากความดันเสียงในอากาศ (sound pressure level ; SPL) คำนวณได้จากสมการ

$$SPL = 20 \log (P / P_0)$$

โดย

SPL = ระดับความดันเสียงจากความดันอากาศ (dB (A))

P = ความดันอากาศ ณ ตำแหน่งใด ๆ ที่คลื่นเสียงผ่าน (N m^{-2})

P_0 = ความดันอากาศ ณ ตำแหน่งนั้น เมื่อคลื่นเสียงที่เบาที่สุดเคลื่อนที่ผ่าน ($10^{-12} \text{ N m}^{-2}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 กำลังและระดับกำลังของแหล่งกำเนิดเสียงประเภทต่างๆ

| กำลัง(W) | ระดับกำลัง(dB) | แหล่งกำเนิด |
|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| 100 000 000 | 200 | เสียงจากจรวด |
| 10 000 000 | | |
| 1 000 000 | 180 | |
| 100 000 | | |
| 10 000 | 160 | เสียงจากเครื่องบินโบอิง 747 |
| 1 000 | | |
| 100 | 140 | เสียงจากวงดนตรี |
| 10 | | |
| 1 | 120 | เสียงเลื่อยไฟฟ้า |
| 0.1 | | |
| 0.01 | 100 | |
| 0.001 | | เสียงมอเตอร์ไซด์ |
| 0.001 | 80 | |
| 0.000 1 | | เสียงพูดปกติ |
| 0.000 001 | 60 | |
| 0.000 000 1 | | |
| 0.000 000 01 | 40 | |
| 0.000 000 001 | | เสียงกระซิบ |
| 0.000 000 000 1 | 20 | |
| 0.000 000 000 01 | | |
| 0.000 000 000 001 | 0 | |

2.2 สมบัติและปรากฏการณ์เสียง

จากความหมายและคำนิยามของเสียงกล่าวไว้ว่าเสียง คือ พลังงานรูปแบบหนึ่งที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดและเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางในรูปของคลื่นตามยาว ดังนั้นเสียงจึงสามารถแสดงสมบัติของคลื่นอื่นประกอบด้วยสมบัติการสะท้อน การหักเห การแทรกสอดและการเลี้ยวเบน ได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งสมบัติของคลื่นเหล่านี้ยังก่อให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ อีกมากมายดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การสะท้อนของเสียง

เมื่อคลื่นเสียงแผ่กระจายจากแหล่งกำเนิดมากระทบกับสิ่งกีดขวาง หรือ บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติอย่างรวดเร็วของตัวกลางนั้นจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การสะท้อน ขึ้นที่ผิวของตัวกลางหรือสิ่งกีดขวางที่คลื่นเสียงตกกระทบ เหมือนลูกบอลที่ตกกระทบกำแพงแล้วสะท้อนกลับออกมา (Merken, 1999) โดย ได้อธิบายว่าคลื่นเสียงมีคุณสมบัติในการสะท้อนได้ นอกจากกรณีที่ว่าวัตถุซึ่งเสียงตกกระทบเป็นวัตถุดูดซับเสียงตามที่ได้ผลิตขึ้นให้ เหมาะกับงานหนึ่งๆ โดยเฉพาะ จึงมีการสะท้อนเสียงได้น้อย แม้ว่าผู้สังเกตต้องการรับเสียงตรง แต่ก็อาจมีเสียงสะท้อนปนออกมาบ้าง สำหรับในชีวิตประจำวันนั้น ถ้าเสียงสะท้อนเคลื่อนที่กลับมาถึงผู้สังเกตโดยมีช่วงเวลาห่างจากเสียงตรงน้อยกว่า 0.1 วินาที ผู้สังเกตยังคงได้ยินเสียงตรง และเสียงสะท้อนรวมกันเป็นเพียงเสียงเดียวทำให้แยกไม่ออกว่าได้ยินเสียงสะท้อนแต่ถ้าเสียงสะท้อนเคลื่อนที่กลับมาถึงผู้สังเกตใช้เวลามากกว่า 0.1 วินาที ผู้ที่สังเกตจะได้ยินเสียงสะท้อนแยกจากเสียงตรงในลักษณะที่ซ้ำกันเรียกว่าเสียงก้อง

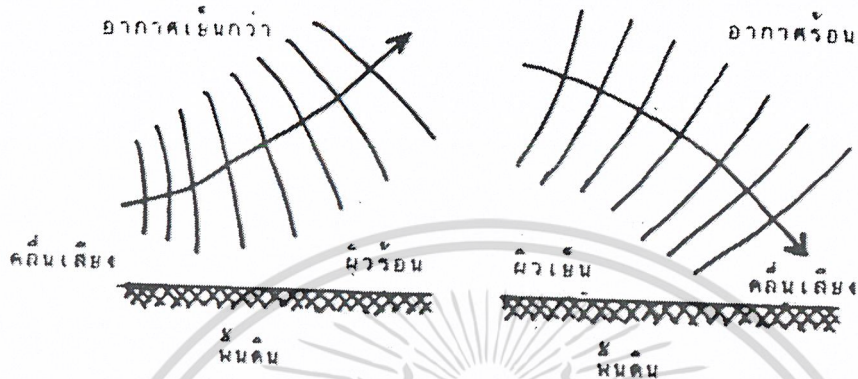
2.2.2 การหักเหของเสียง

เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดผ่านไปยัง บริเวณรอยต่อของตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียงซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการหักเห ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาอากาศที่ระดับต่าง ๆ ซึ่งปกติแตกต่างกันในเรื่องของอุณหภูมิ ความชื้น ความหนาแน่น อันเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของเสียง คือการเดินทางช้าลงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่าเป็นผลให้แนวทางการเคลื่อนที่และรูปร่างของคลื่นเสียงเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลต่อการได้ยินคือ ในเวลากลางคืนจะได้ยินเสียงได้ไกลกว่าในเวลากลางวัน ทั้งนี้เนื่องจากในเวลากลางวันอากาศที่บริเวณใกล้พื้นที่ดินจะอุ่น หรือร้อนกว่าอากาศระดับสูงขึ้นไป (อุณหภูมิจะลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น) เมื่อตกกลางคืนท้องฟ้าแจ่มใสพื้นโลกคลายความร้อนออกไป ทำให้อากาศบริเวณใกล้พื้นดินเย็นกว่าอากาศในระดับสูง ดังนั้นในเวลากลางคืนคลื่นเสียงจึงหักเหขึ้นไปเหนือพื้นดิน แต่เนื่องจากเสียงเดินทางไปไกล ๆ พื้นดินได้เร็วกว่าในเวลากลางคืน ในทางตรงข้ามเวลากลางคืนเสียงเดินทางโค้งลงสู่พื้นดิน นอกจากนี้ช่วงเวลากลางคืนมีความเงียบสงบ ช่วยให้หูคนเรามีความไวต่อเสียงค่อยได้และคลื่นเสียงจะเดินทางในอากาศขึ้นได้เร็วกว่าอากาศแห้ง โดยแนวทางการเคลื่อนที่ของเสียงจะคล้ายกับเวลากลางคืน (ดังรูปที่ 2.8)

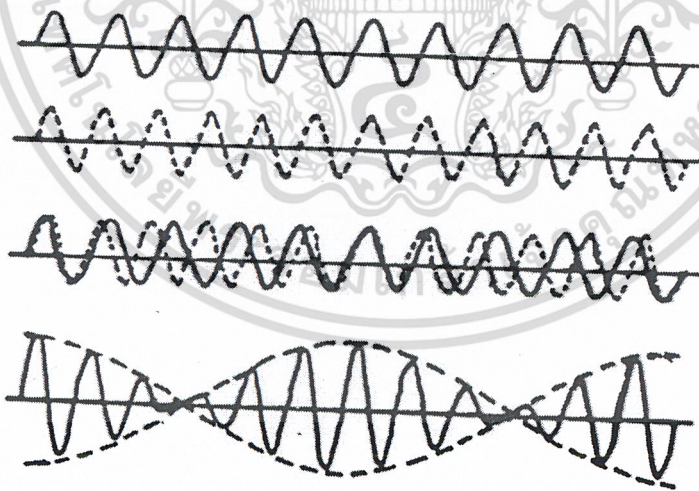
2.2.3 การแทรกสอดของเสียง

เมื่อคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไป เกิดขึ้นพร้อมกันและเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งเดียวกัน คลื่นเสียงนั้นจะรวมกันเป็นคลื่นเสียงเดียวซึ่งเรียกรวมกันว่าการแทรกสอด ซึ่งเป็นไปตามหลักการรวมกันได้ของคลื่น ทั้งนี้ถ้าคลื่นเสียงตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไปที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อยมาแทรกสอดกัน บางขณะที่คลื่นเสียงเหล่านั้นแทรกสอดกันแบบเสริมทำให้เกิดการสั่นตัวของตัวกลางมากขึ้นจึงได้ยินเสียงดังมากกว่าปกติ และบางขณะคลื่นเสียงเหล่านั้นมีการแทรกสอดกันแบบหักล้างทำให้การสั่นของตัวกลางน้อยลง จึงได้ยินเสียงค่อยจนบางครั้งไม่ได้ยินเสียงเลย ดังนั้นเมื่อเสียงเหล่านี้เกิดการแทรกสอดและรวมกัน จะมีผลทำให้ผู้สังเกตได้ยินเสียงเดียวแต่จะดังและค่อยเป็นจังหวะและเรียกปรากฏการณ์

นี่ว่าบีตส์ โดยความถี่ของบีตส์ที่ผู้สังเกตได้ยินจะเท่ากับ ผลต่างของความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงทั้งสอง ทั้งนี้ขณะที่เกิดเสียงคังแอมพลิจูดของคลื่นรวมจะต่ำสุดเป็นเช่นนี้สลับกันไปตลอดเวลา(ดังรูปที่2.9)



รูปที่ 2.8 แนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงเวลากลางวันและกลางคืน



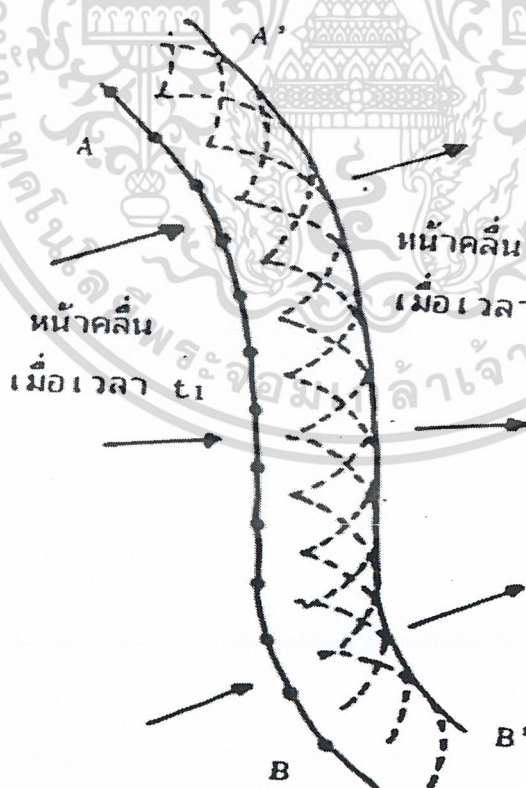
รูปที่ 2.9 การเกิดบีตส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การเลี้ยวเบนของเสียง

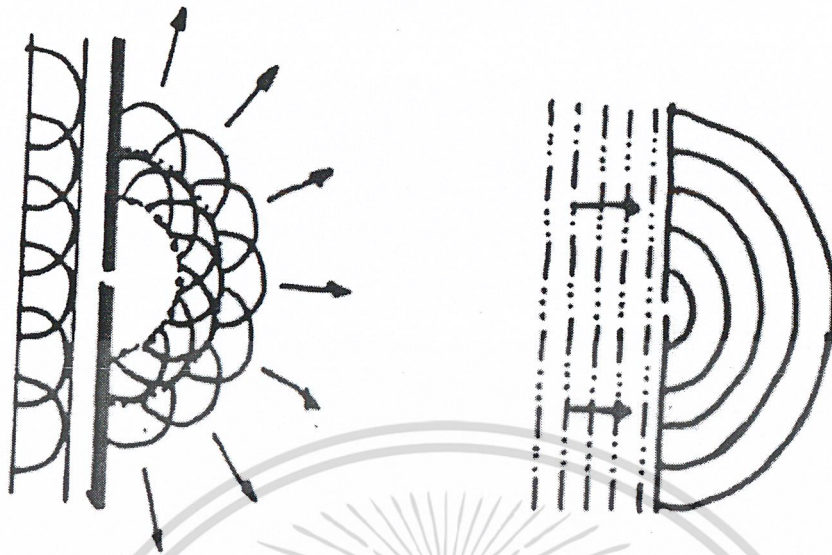
การเลี้ยวเบนของเสียงคือเกิดจากการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียง เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ มาตกกระทบสิ่งกีดขวาง เช่นกรณีการเลี้ยวเบนของเสียงที่มุมตึก ทำให้สามารถได้ยินเสียงของคนที่อยู่กัน อยู่อีกด้านหนึ่งของตึกโดยไม่ต้องเห็นตัวคนพูด เป็นต้น การเปลี่ยนทิศทางโดยการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง นี้ไม่ใช่การสะท้อน หรือการหักเหของเสียง เพราะปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นในตัวกลางเดียวกัน จากผลการ เลี้ยวเบนของเสียงนี้ทำให้ไม่สามารถสร้างมุมหรือบริเวณที่อับเสียงได้อย่างสมบูรณ์ เพราะกำแพงกันเสียง หรืออุปสรรคที่เป็นสิ่งกีดขวางใด ๆ ถ้าหากมีช่องเปิดหรือขอบเปิดไปสู่อีกด้านหนึ่ง จะทำให้เกิดเลี้ยวเบน ของเสียงขึ้นในบริเวณช่องเปิดหรือขอบเขตนั้น ๆ ได้เช่นกัน ทั้งนี้ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายโดยหลัก ของฮอยเกนส์ อันเกี่ยวกับการแผ่กระจายของคลื่นเสียง ซึ่งกล่าวว่า “แต่ละจุดบนหน้าคลื่นคือ แหล่งกำเนิด ของคลื่นใหม่” (รูปที่ 2.10) ดังนั้นถ้าหากมีคลื่นตกกระทบ สิ่งกีดขวางที่มีช่องเปิดช่องเล็ก ๆ แล้วเคลื่อนที่ ออกไปอีกด้านหนึ่งจะมีลักษณะเป็นคลื่นทรงกลม

ปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนของเสียงและขนาดของสิ่งกีดขวาง โดยถ้าความยาวคลื่นของเสียงและ ขนาดของสิ่งกีดขวางต่างกันมากจะมีผลทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของคลื่นได้มาก(รูปที่ 2.11) หากเสียงตก กระทบสิ่งกีดขวางใด และคลื่นเสียงนั้นมีความยาวคลื่นมากกว่าขนาดของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่ตก กระทบแล้วสิ่งกีดขวางที่ตกกระทบนั้น จะทำให้เกิดการโค้งงอของเสียงรอบวัตถุหรือสิ่งกีดขวางนั้น ๆ และเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเลี้ยวเบนของเสียงนั่นเอง



รูปที่ 2.10 การเกิดหน้าคลื่นใหม่ตามหลักของฮอยเกนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การเลี้ยวเบนของเสียงเมื่อผ่านช่องแคบ ตามหลักของฮอยเกนส์

2.2.5 ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์

อธิบายถึงปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ว่า หากแหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกตมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ต่อกัน ในตัวกลางที่อยู่นิ่งนั้น ความถี่ของเสียงที่ปรากฏต่อผู้สังเกตจะแตกต่างไปจากความถี่ของคลื่นเสียงที่ส่งออกมาปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ เช่นการได้ยินเสียงแตรรถ หรือเสียงหวูดรถไฟ ขณะวิ่งผ่านผู้สังเกตทำให้ได้ยินเสียงสูงหรือต่ำผิดไปจากปกติ ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าปรากฏการณ์ดอปเพลอร์คือ เหตุการณ์ที่ระดับความถี่เสียงมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกตได้รับจะสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากทั้งคู่เคลื่อนที่ออกจากกันระดับเสียงที่ผู้สังเกตจะลดต่ำลง

2.2.6 การกำทอน

ปรากฏการณ์อีกอย่างหนึ่งที่สำคัญของเสียงคือการกำทอน การกำทอนหมายถึง ปรากฏการณ์ที่วัตถุหรือสิ่งใดสิ่งหนึ่งเกิดการสั่นตัว เมื่อได้รับการกระตุ้นโดยคลื่นที่มีความถี่ตรงกับความถี่ธรรมชาติของวัตถุสิ่งนั้น ทั้งนี้ถ้าคลื่นความถี่ทั้งสองตรงกันจะทำให้เกิดการสั่นตัวอย่างแรงของวัตถุขึ้น กล่าวคือแอมพลิจูดการสั่นตัวกว้างขึ้น การกำทอนของคลื่นเสียงตกกระทบและเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันและเกิดเสียงดังขึ้น การเกิดกำทอนของเสียงนี้เป็นหลักการที่นำมาประดิษฐ์เครื่องดนตรีประเภทเครื่องสาย เช่น ซอ กีตาร์ ไวโอลิน โดยมีกล่องเสียงช่วยให้เกิดการกำทอน ซึ่งความดังของเสียงจะมีเสียงดังมากขึ้นและมีความไพเราะมากขึ้นด้วยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของกล่องเสียงนั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 เสียงกลบ

ในชีวิตประจำวันมีบางขณะที่กำลังสนทนาอยู่ และเกิดมีเสียงจากสภาพแวดล้อมซึ่งมีระดับเสียงที่ดังกว่าเสียงที่กำลังสนทนา จนไม่สามารถติดต่อสื่อสารเป็นที่เข้าใจได้ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์เสียงกลบ ทั้งนี้ขณะที่กำลังฟังเสียงหนึ่งอยู่ แล้วมีอีกเสียงหนึ่งค่อย ๆ มีความเข้มหรือระดับความดังเสียงมากขึ้น พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ จะไม่ได้ยินเสียงแรกแต่ได้ยินเสียงที่สองแทนเหตุการณ์นี้เรียกว่า เสียงที่มีความเข้มหรือความดังมากกว่าได้กลบเสียงแรก และจากการทดลองยังพบว่าเสียงที่มีความถี่ต่ำมีความเข้มพอสมควรจะสามารถกลบหรือข่มเสียงสูง ๆ ได้ง่ายกว่าความสามารถในการลดระดับความดังเสียงของวัตถุกันเสียง

2.3 การดูดซับเสียงและส่งผ่านเสียง

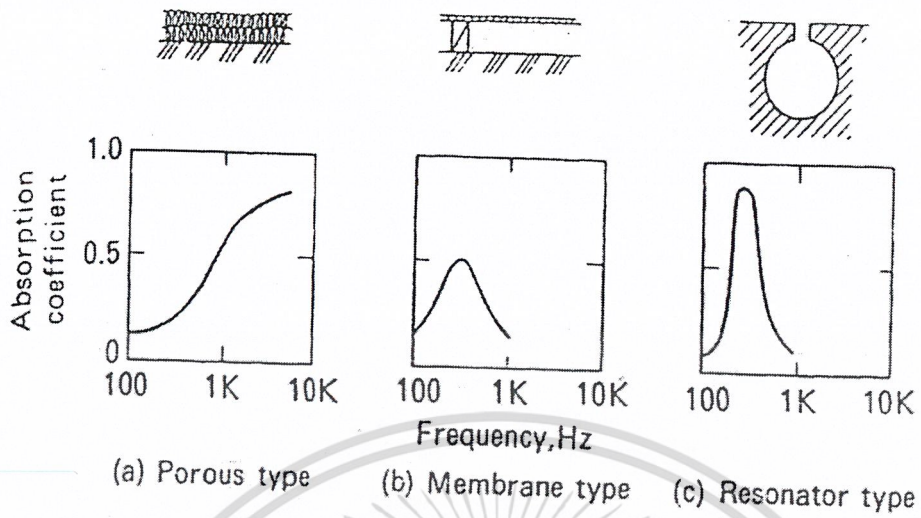
เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบกำแพงหรือวัตถุใด ๆ จะเกิดการสะท้อนและส่งผ่านคลื่นขึ้นซึ่ง เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบแล้ว นอกจากจะเกิดการสะท้อนของคลื่นแล้วยังเกิดการส่งผ่านของคลื่นเสียงทะลุวัตถุ นั้น ๆ ด้วยพลังงานที่ลดลง ซึ่งการลดลงของพลังงานที่ส่งผ่านนี้เกิดขึ้นเนื่องจาก คลื่นเสียงที่ตกกระทบได้ ทำให้ผิวหน้าของวัตถุนั้นเกิดการสั่นตัว โดยพลังงานจากการสั่นตัวนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน เนื่องจากคุณสมบัติเกี่ยวกับแรงเสียดทานของวัตถุ ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นกับวัตถุที่มีรูพรุน ช่อง ๆ ซึ่งมีความสามารถเปลี่ยนเส้นทางเดินของเสียงขณะที่อยู่ในตัวกลางนั้นได้

2.3.1 การดูดซับเสียง

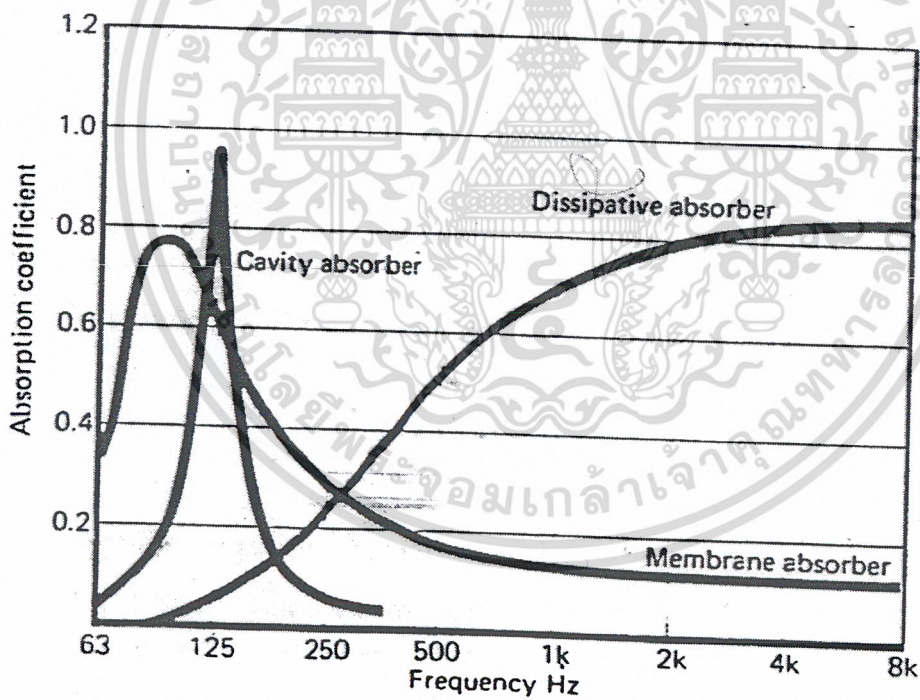
การเปลี่ยนแปลงผลรวมของพลังงานเสียงที่ลดน้อยลงเมื่อผ่านตัวกลางใด ๆ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการดูดซับเสียงคือ ความสามารถของวัตถุดูดซับพลังงานเสียง และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน โดยวัตถุที่สามารถดูดซับคลื่นเสียงได้ดีจะเป็นวัตถุจำพวกเส้นใย และวัตถุพรุน เมื่อกระทบวัตถุใด ๆ เสียงส่วนหนึ่งจะถูกคลื่นและส่งผ่านเข้าไปในวัตถุนั้น ทั้งนี้จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและคุณลักษณะของวัตถุนั้นเป็นสำคัญ (รูปที่ 2.12) คลื่นเสียงที่ผ่านเข้าไปในวัตถุ เสียงนั้นตกกระทบจะมีพลังงานลดลงเนื่องจากพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานความร้อน วัสดุดูดซับเสียงแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. วัสดุพรุน (Porous or Dissipative Absorber)
2. เมมเบรน (Membrane Absorber)
3. เรโซเนเตอร์ (Resonator or Cavity Absorber)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ลักษณะการดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงแต่ละชนิด



รูป 2.13 การดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงแต่ละชนิดตามความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การดูดซับของวัสดุพูน

วัสดุดูดซับเสียงที่จัดว่าเป็นวัสดุพูน ได้แก่ พรหมปูพื้น ใยแก้ว ใยหิน ผ้า ขนสัตว์ ใยมะพร้าว ผ้า สักหลาด และโฟมที่มีลักษณะของเซลล์เป็นเซลล์เปิด (เช่น โพลียูรีเทน) เป็นต้น วัสดุเหล่านี้จะมีช่องว่างภายใน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ซึ่งต่ำกว่าขนาดความยาวคลื่นของเสียงมาก ดังนั้น วัสดุเหล่านี้จึงเป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานภายในได้เป็นอย่างดี

กลไกในการเปลี่ยนแปลงพลังงานของวัสดุพูน คือเมื่อพลังงานเสียงตกกระทบบนวัสดุเหล่านี้ โมเลกุลของอากาศจะเกิดการสั่นตัวภายในช่องว่างของวัสดุพูน โดยมีความถี่ของการสั่นเท่ากับความถี่ของเสียงที่ตกกระทบบน การสั่นตัวของโมเลกุลของอากาศนี้จะก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเสียดทาน และความหนืด นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ รวมทั้งการอัดและการขยายของคลื่นเสียง ในระหว่างการเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างภายในวัสดุพูน เป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียของพลังงานในทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง ปรากฏการณ์ทั้ง 2 ชนิดนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเป็นจำนวนมากเมื่อเสียงที่ตกกระทบบนมีความถี่สูง หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความถี่ของเสียงมากขึ้น

ที่ความถี่ต่ำจะมีการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อน เนื่องจากอากาศในช่องว่างของวัสดุพูนจะถูกอัด และขยายอย่างเป็นจังหวะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานความร้อน คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำจะทำให้ระยะเวลาในการสั่นตัวของโมเลกุลอากาศในแต่ละครั้งยาวนานขึ้น ประกอบกับคุณสมบัติของวัสดุพูน ซึ่งมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมากและความสามารถในการนำความร้อนของเส้นใยค่อนข้างสูง จึงทำให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนเป็นปัจจัยที่สำคัญของวัสดุพูนเมื่อคลื่นเสียงมีความถี่ต่ำ

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุพูน นอกจากจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ อีกด้วย เช่น ความหนา ความร้อน ความกว้าง ของช่องว่าง (Air Space) และความหนาแน่น ของวัสดุพูน

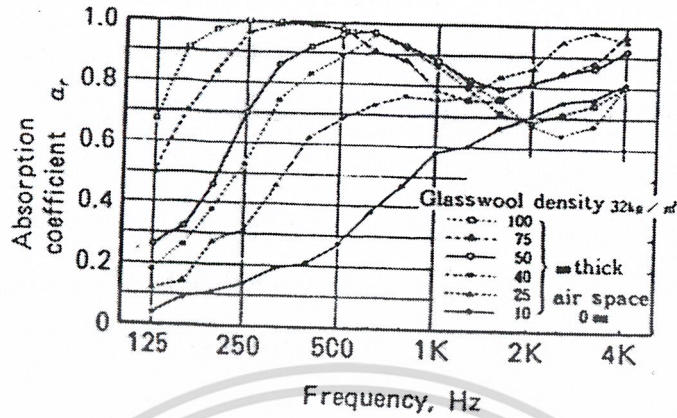
2.3.3 การดูดซับเสียงของเมมเบรน

เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบบนวัสดุที่เป็นเมมเบรน วัสดุเหล่านี้จะเกิดการสั่นตัวด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของเสียงที่ตกกระทบบน และเนื่องจากวัสดุเหล่านี้ไม่สามารถยึดหยุ่นได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปเนื่องจากการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นเสียงไปเป็นพลังงานความร้อนให้แก่วัสดุ นั้น ๆ การเปลี่ยนแปลงของพลังงานในรูปแบบนี้เอง ที่ทำให้วัสดุที่เป็นเมมเบรนสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุกลืนเสียงได้เป็นอย่างดี

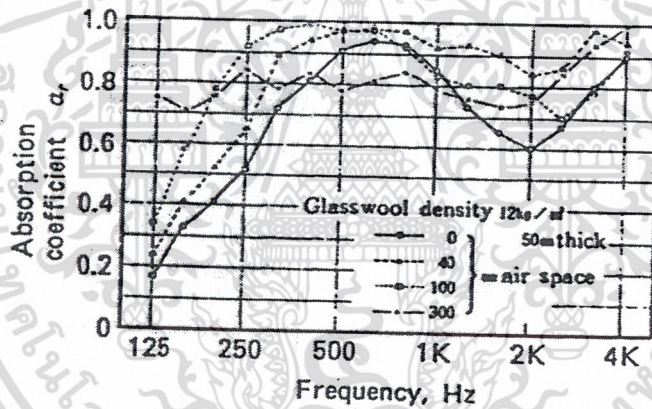
จะเห็นได้ว่า ที่ความถี่ต่ำวัสดุเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงได้ดีกว่าความถี่สูง เนื่องจากความถี่ต่ำพลังงานเสียงจะทำให้เมมเบรนเคลื่อนเสียงที่มีความถี่สูง ในขณะที่คลื่นความถี่สูงมักจะถูกสะท้อนออกจากเมมเบรนโดยมีการสูญเสียพลังงานให้กับเมมเบรนน้อยมาก

วัสดุดูดซับเสียงที่จัดเป็นเมมเบรน ได้แก่ แผ่นโลหะบาง ไม้อัด พลาสติก กระดาษ เป็นต้น เนื่องจากวัสดุเหล่านี้ จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงที่มีความถี่ต่ำเท่านั้น ดังนั้นจึงมักนิยมนำมาใช้ร่วมกับวัสดุดูดซับเสียงชนิดอื่น ๆ หรือมักจะนำไปใช้ในการดูดซับเสียงบางชนิดที่มีความถี่ต่ำ ซึ่งเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

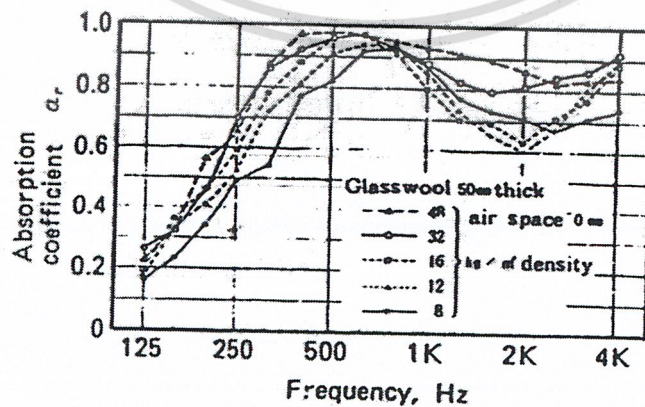
ประโยชน์อย่างมากในการนำไปใช้งาน เนื่องจากในทางปฏิบัติจะต้องใช้วัสดุพวกเส้นใยหรือวัสดุพรุนที่มีความหนาแน่นต่างๆ จึงจะสามารถดูดซับเสียงที่มีความถี่ต่ำๆ ได้



รูปที่ 2.14 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของใยแก้ว ที่ความหนาต่าง ๆ



รูปที่ 2.15 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของใยแก้ว ที่ความกว้างของช่องว่างขนาดต่าง ๆ



รูปที่ 2.16 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของใยแก้ว ที่ความหนาแน่นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุดูดซับเสียงที่เป็นเมมเบรน จะสามารถดูดซับเสียงได้สูงสุดที่ความถี่หนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ความถี่ของเรโซแนนท์ (Resonant Frequency) ความถี่นั้นจะขึ้นอยู่กับมวล (Mass) และ (Stiffness) ของเมมเบรน และความกว้างของช่องว่างที่อยู่ในเมมเบรน โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

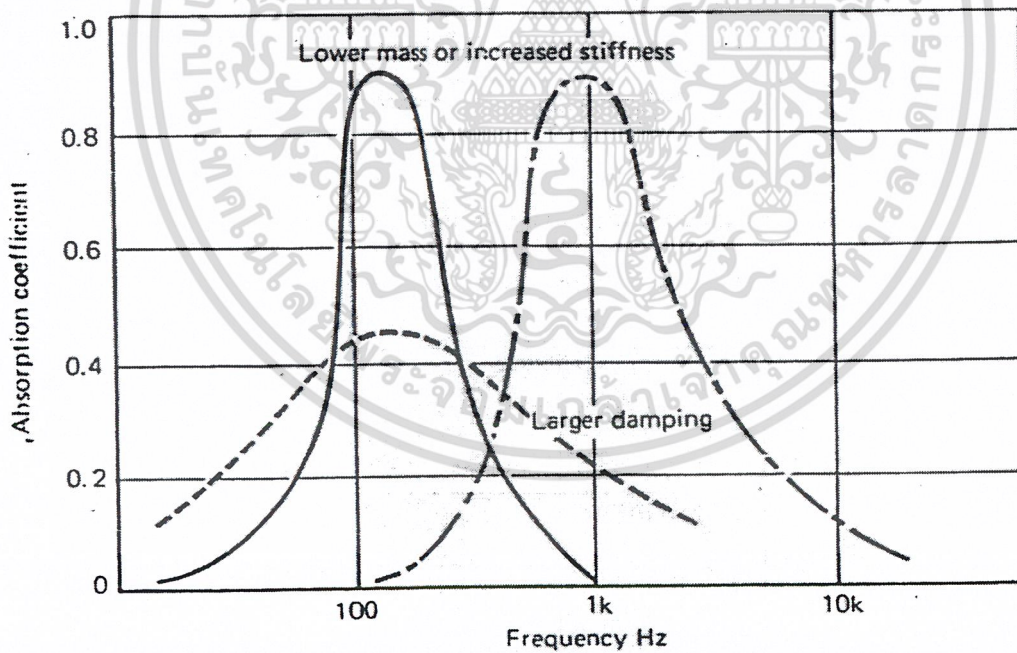
$$f_{res} = \frac{60}{\sqrt{md}}$$

เมื่อ f_{res} = ความถี่ที่มีการดูดซับเสียงสูงสุด

m = มวลของเมมเบรน (kg / m^2)

d = ความกว้างของช่องว่าง (m)

นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงสุดของเมมเบรน ยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นเสียงไปเป็นพลังงานความร้อนของวัสดุอีกด้วย กล่าวคือ ถ้าความสามารถในการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นเสียงไปเป็นพลังงานความร้อนของกรอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างมากขึ้น



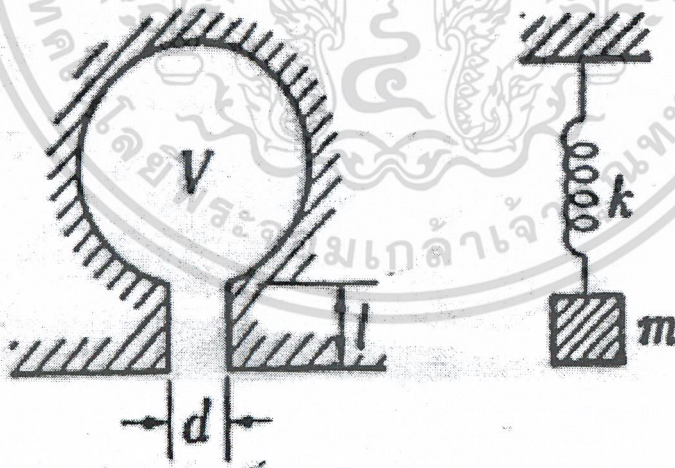
รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับน้ำหนักความแข็ง และความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานความร้อนของเมมเบรน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงสุดที่ความถี่เรโซแนนซ์ของเมมเบรน ทำได้ยากมาก เนื่องจากมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามเพื่อความปลอดภัยในการออกแบบ อาจกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงสุดมีค่าไม่เกิน 0.4 สำหรับวัสดุดูดซับเสียงที่เป็นเมมเบรน ซึ่งจะนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ในทางปฏิบัติสามารถสร้างวัสดุดูดซับเสียงที่เกิดจากส่วนประกอบของวัสดุพูนและเมมเบรนได้ ซึ่งจะทำให้วัสดุที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงครอบคลุมความถี่ในช่วงกว้าง ตัวอย่างของวัสดุนี้ เช่น การกรุไม้เนื้อแข็งบนวัสดุพูนที่มีความหนา 25 -50 มิลลิเมตร (1 -2 นิ้ว)

2.3.4 การดูดซับเสียงของเรโซเนเตอร์ (Resonant Absorber)

วัสดุดูดซับเสียงที่จัดเป็นเรโซเนเตอร์ หรือมักถูกเรียกว่า “Helmholtz Resonators” เป็นวัสดุที่มีโพรงอากาศอยู่ภายใน ซึ่งโพรงอากาศนี้ จะเชื่อมต่อกับบรรยากาศภายนอกโดยผ่านช่องเปิดขนาดเล็ก ถ้าโพรงอากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของคลื่นเสียงที่ตกกระทบบนช่องเปิด เรโซเนเตอร์ก็จะปรับให้มีความจำเพาะต่อความถี่นั้น ๆ ทำให้การสั่นตัวของปริมาตรอากาศในโพรงอากาศเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่เข้าออกของอากาศผ่านรูเปิดโพรงของอากาศ ซึ่งอากาศที่อยู่ภายในโพรงอากาศนี้จะมีพฤติกรรมคล้ายกับสปริง การเคลื่อนที่ของพลังงานการสั่นสะเทือนนี้มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากอากาศในโพรงอากาศมีลักษณะการเคลื่อนที่เหมือนของไหลที่ไม่มีการยืดหยุ่น(Incompressible)และไม่มีแรงเสียดทาน (Frictionless)

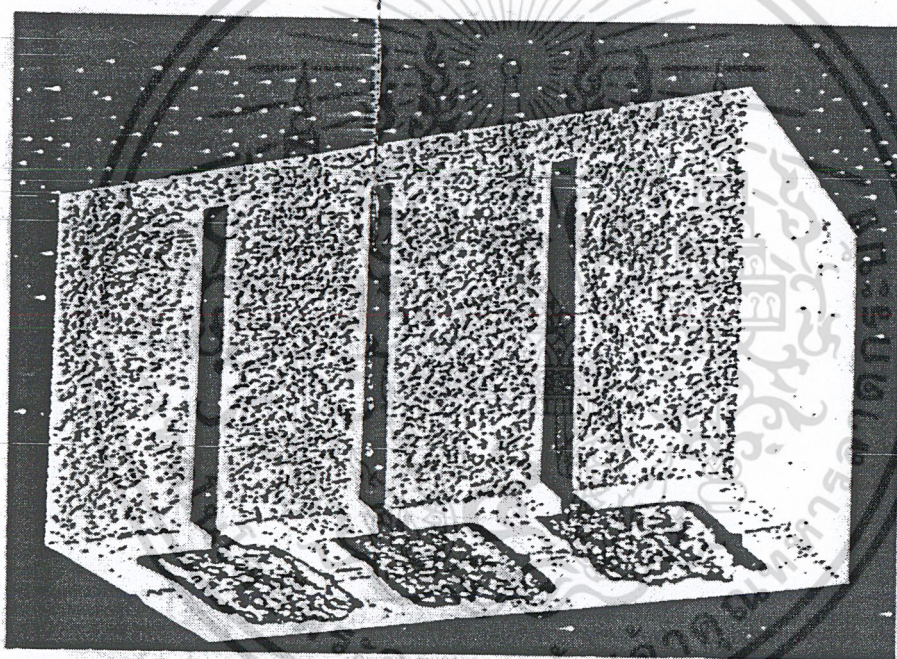


รูปที่ 2.18 รูปลักษณะของเรโซเนเตอร์เปรียบเทียบกับสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติวัสดุดูดซับเสียงที่เป็นเรโซเนเตอร์มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานสูง เนื่องจากสามารถดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่ต่ำ และแคบกว่าที่จะนำไปใช้งานได้จริง อย่างไรก็ตามในงานที่ต้องการการดูดซับเสียงสูง ในช่วงความถี่ต่ำ ๆ ก็สามารถนำเรโซเนเตอร์ไปใช้งานร่วมกับวัสดุดูดซับเสียงชนิดอื่นได้เป็นอย่างดี

ตัวอย่างของเรโซเนเตอร์ที่ประสบความสำเร็จเป็นอย่างสูง ในการนำไปใช้งานด้านอุตสาหกรรม ก่อสร้างคือคอนกรีตบล็อกที่พบเห็นได้ทั่วไปในงานก่อสร้าง ซึ่งออกแบบให้มีช่องว่างที่ด้านใดด้านหนึ่ง เชื่อมต่อกับช่องว่างขนาดใหญ่ที่อยู่ภายใน คือคอนกรีตบล็อกที่ใช้กันในปัจจุบันค่อนข้างจะมีความพรุนสูง และสามารถดูดซับเสียงได้เป็นบางส่วน โดยทั่วไปคอนกรีตบล็อกที่ใช้เป็นเรโซเนเตอร์จะสามารถดูดซับเสียงได้สูงสุดที่ช่วงความถี่ระหว่าง 100 -300 Hz และสามารถดูดซับเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 300 Hz ได้บ้างเล็กน้อยและถ้ามีการเติมวัสดุกลืนเสียงชนิดอื่น เช่น โยหิน หรือโยแก้ว ลงไปในช่องว่างภายในคอนกรีตบล็อก ก็จะทำให้มีความสามารถในการดูดซับเสียงที่มีความถี่สูงได้ดีกว่าเดิมอย่างชัดเจน

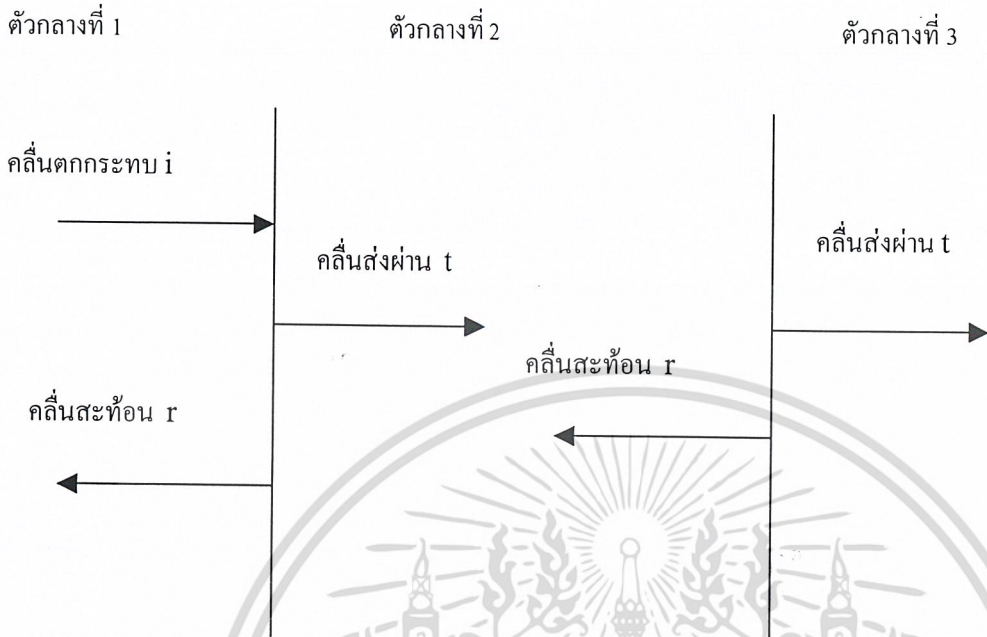


รูปที่ 2.19 รูปลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อกที่เป็นเรโซเนเตอร์

2.3.5 การส่งผ่านเสียง

เมื่อเสียงตกกระทบวัตถุกั้นเสียงเช่น กำแพงหรือผนังแล้ว วัตถุนั้นจะเกิดการสั่นตัว ซึ่งการสั่นตัวในลักษณะนี้เป็นสาเหตุให้อากาศที่อยู่ใกล้เสียงวัตถุดังกล่าว มีการสั่นตัวตามไปด้วยทั้งสองด้านของวัตถุ ส่งผลให้วัตถุที่กั้นเสียงตกกระทบนั้นประพฤติตัวเหมือนเป็นแหล่งกำเนิดเสียงอันใหม่ ซึ่งสนามเสียงใหม่อันเกิดจากวัตถุนั้นจะมีพลังงานน้อยกว่าพลังงานเสียงตอนแรก ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานของคลื่นเสียงที่ตกกระทบวัตถุกั้นเสียงนี้ส่วนหนึ่งจะถูกใช้ไปสำหรับการทำให้วัตถุนั้นเกิดการสั่นตัว โดยลักษณะของวัตถุกั้นเสียงนั้นสามารถบอกได้ด้วยค่าสูญเสียขณะส่งผ่าน (transmission loss; TL) ซึ่งค่านี้เป็นสมบัติเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉพาะของวัตถุ ก็คือ อัตราส่วนของพลังงานที่ตกกระทบต่อพลังงานที่ส่งผ่านวัตถุนั้นเองซึ่งมีหน่วยเป็นเดซิเบล



รูปที่ 2.20 แสดงกลไกการดูดซับและส่งผ่านคลื่นเสียงในตัวกลางต่างชนิดกัน

2.4 การใช้ท่ออิมพีแดนซ์ในการตรวจวัดสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ

ในการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุแข็งต่าง ๆ นั้น สามารถใช้ท่ออิมพีแดนซ์ (Impedance Tube) เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดได้ ซึ่งท่ออิมพีแดนซ์นี้ประกอบด้วยท่อทรงกระบอกกลมขนาดเล็กที่ปลายด้านหนึ่งมีแหล่งกำเนิดเสียง และปลายอีกด้านหนึ่งมีตัวอย่างวัสดุที่ต้องการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ภายในท่อจะต้องมีไมโครโฟนที่สามารถเคลื่อนที่ได้ตลอดความยาวของเส้นท่อ เครื่องมือนี้สามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “เครื่องมือตรวจสอบคลื่นนิ่ง” และ “Standing Wave Apparatus” ซึ่งใช้ในการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของคลื่นเสียงภายในท่อกลม เนื่องจากท่ออิมพีแดนซ์นี้สามารถใช้วัดได้เฉพาะการแพร่กระจายของคลื่นระนาบเท่านั้น ดังนั้นสำหรับท่อทรงกลม ความถี่ที่ตรวจวัดต้องมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณดังสมการ

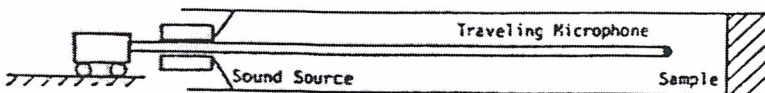
$$f = \frac{198}{D}$$

f = ความถี่ที่ต้องการตรวจวัดมีหน่วยเป็น (Hz)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อมีหน่วยเป็น (m)

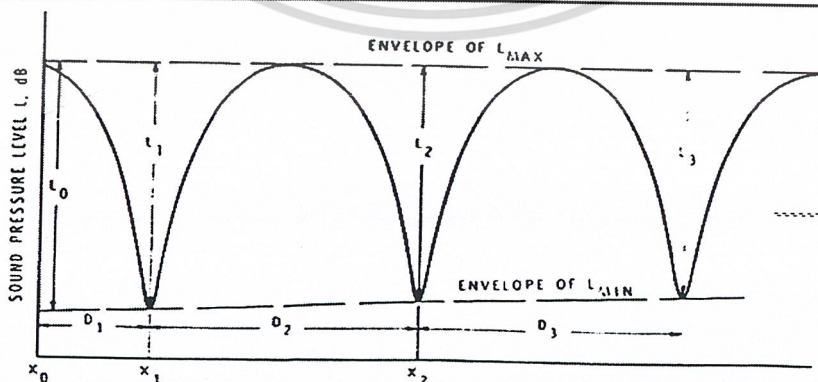
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเนื่องจากท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก จึงทำให้ท่ออิมพีแดนซ์มีข้อจำกัดในการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียงของตัวอย่างวัสดุดูดซับเสียงที่มีขนาดเล็ก เมื่อมีการตกกระทบของคลื่นระนาบบนพื้นผิวของตัวอย่างเท่านั้น



รูปที่ 2.21 ลักษณะทั่วไปของท่ออิมพีแดนซ์

หลักการในการทำงานของเครื่องมือตรวจสอบคลื่นนิ่งชนิดนี้คือ เมื่อมีคลื่นเสียงแพร่กระจายออกจากแหล่งกำเนิดที่ปลายด้านหนึ่งของท่ออิมพีแดนซ์ ไปตามความยาวของเส้นท่อนจนถึงปลายทางอีกด้านหนึ่ง ที่มีแผ่นตัวอย่างวัสดุดูดซับเสียงติดตั้งอยู่ ก็จะเกิดปรากฏการณ์การตกกระทบและการสะท้อนของคลื่นเสียงขึ้นบนพื้นผิวของตัวอย่าง เมื่อคลื่นทั้งสองชนิดนี้ คือคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนเกิดการแทรกสอดกันขึ้นภายในเส้นท่อ จะทำให้เกิดคลื่นรูปแบบใหม่ขึ้นภายในท่อ คือ คลื่นนิ่ง (Standing wave) ในกรณีที่คลื่นตกกระทบถูกสะท้อนออกจากผิวของตัวอย่างอย่างสมบูรณ์ จนกลายเป็นคลื่นสะท้อนทั้งหมด แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองชนิดนี้จะมีค่าเท่ากัน ทำให้ในบริเวณที่คลื่นมีการแทรกสอดแบบหักล้างกันอย่างสมบูรณ์เป็นจุดที่มีระดับความดันต่ำสุดหรือเรียกว่าบัพ (Node) มีค่าความดันเป็นศูนย์ และในบริเวณที่คลื่นมีการแทรกสอดแบบเสริมกันอย่างสมบูรณ์ เป็นจุดที่มีระดับความดันสูงสุดหรือปฏิบัพ (Antinode) มีค่าความดันเป็นสองเท่าของคลื่นตกกระทบ ส่วนในกรณีที่พลังงานของคลื่นตกกระทบบางส่วนถูกดูดซับโดยวัสดุตัวอย่าง แอมพลิจูดของคลื่นสะท้อนจะมีค่าน้อยกว่าแอมพลิจูดตกกระทบ ทำให้จุดบัพภายในเส้นท่อมักมีความดันไม่เป็นศูนย์ ค่าแอมพลิจูดของบัพและปฏิบัพภายในเส้นท่อสามารถตรวจวัดได้โดยไมโครโฟนที่อยู่ภายในเส้นท่อที่สามารถเคลื่อนที่ได้ตลอดความยาวท่อ



รูปที่ 2.22 ลักษณะของคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นภายในท่ออิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

$$\alpha_n = 1 - \left[\frac{10^{\frac{\Delta L}{20}} - 1}{10^{\frac{\Delta L}{20}} + 1} \right]^2$$

โดยที่

ΔL = ค่าความต่างของความดันของสัญญาณเสียง

α_n = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

2.4.2 การหาค่า Impedance Ratio

สูตรในการหาค่า Impedance Ratio

$$\frac{z}{\rho c} = \frac{r}{\rho c} + \frac{jx}{\rho c} \quad \text{โดยที่} \quad \frac{r}{\rho c} = \frac{1}{M - N \cos \phi}, \quad \frac{x}{\rho c} = \frac{r}{\rho c} \times N \sin \phi$$

$$M = \frac{1}{2} \left[K_0 + \left(\frac{1}{K_0} \right) \right] \quad K_0 = \text{Standing wave ratio}$$

$$\Delta L = L_{Max} - L_{Min}$$

$$N = \frac{1}{2} \left[K_0 - \left(\frac{1}{K_0} \right) \right] \quad \frac{z}{\rho c} = \text{Impedance ratio}$$

$$K_0 = 10^{0.05 L_0} \quad \frac{r}{\rho c} = \text{Resistance ratio}$$

$$L_0 = L_1 + \frac{1}{2}(L_1 - L_2) \quad \frac{jx}{\rho c} = \text{Reactance ratio}$$

$$D_2 = X_2 - X_1$$

$$\phi = 360^\circ \left[\frac{D_1}{D_2} - \frac{1}{2} \right]$$

2.4.3. ความสามารถในการลดระดับเสียงของวัสดุกัน

เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบวัตถุกันเสียงใด ๆ เช่นผนังหรือกำแพงจะเกิดปรากฏการณ์สำคัญ 3 ประการ(รูปที่ 2.23) โดยพลังงานของคลื่นเสียงบางส่วนถูกส่งทะลุผ่านวัตถุไปอีกด้านหนึ่ง พลังงานบางส่วนถูกดูดซับโดยวัตถุนั้น และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับเข้าสู่ตัวเดิม จากกฎทรงพลังงานสามารถแสดงปรากฏการณ์ข้างต้นด้วยสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

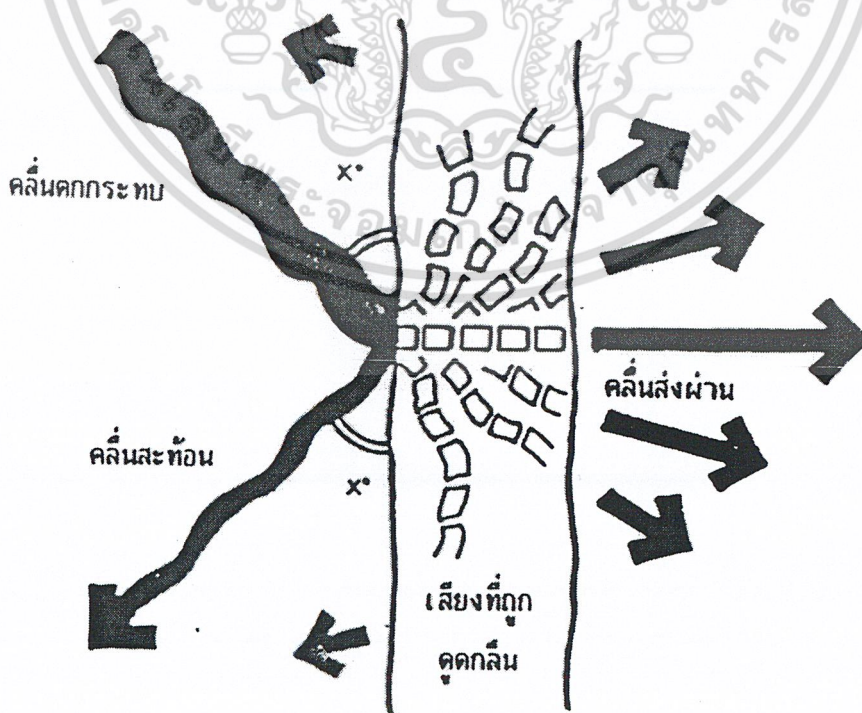
$$E_i = E_r + E_a + E_t$$

- โดย E_i = พลังงานเสียงที่ตกกระทบวัตถุ
 E_r = พลังงานเสียงที่สะท้อนออกจากวัตถุ
 E_a = พลังงานเสียงที่ถูกดูดซับในวัตถุ
 E_t = พลังงานเสียงที่ส่งผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งของวัตถุ

พลังงานของคลื่นเสียงที่ถูกดูดซับ หรือพลังงานของคลื่นเสียงที่ลดลงเมื่อผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งของวัตถุนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปอื่น ซึ่งส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน และจากแนวความคิดเกี่ยวกับการตกกระทบของคลื่นเสียงบนวัตถุใด ๆ ดังกล่าวข้างต้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมและป้องกันเสียงรบกวนได้ โดยการนำวัตถุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับหรือสะท้อนคลื่นเสียงได้เป็นอย่างดีมาวางกั้นระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้ฟังเสียง การลดระดับความดังเสียงทำได้โดยใช้กำแพงกันเสียง ซึ่งสามารถติดตั้งได้หลายรูปแบบ คือ

1. ปิดล้อมแหล่งกำเนิดเสียง
2. ปิดล้อมผู้รับฟังเสียง
3. กั้นระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้รับฟังเสียง

ทั้งนี้ระดับความดังเสียงที่ลดลง จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการติดตั้งกำแพงกันเสียงอย่างไรก็ตามคุณสมบัติเชิงกายภาพของวัตถุกันเสียง จะเป็นตัวกำหนดถึงความสามารถในการลดระดับความดังเสียงของวัตถุนั้น ๆ ด้วย



รูปที่ 2.23 ปรากฏการณ์สะท้อน ดูดซับ และส่งผ่านเสียงของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การลดระดับความดังเสียงของวัตถุ

การลดระดับความดังเสียงโดยใช้หลักการเกี่ยวกับการดูดกลืนเสียงของวัตถุนั้น เมื่อเสียงกระทบวัตถุใด ๆ เสียงส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับและเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลในรูปแบบอื่นโดยปกติเป็นพลังงานกลในรูปแบบอื่นโดยปกติเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและคุณลักษณะของวัตถุนั้น วัตถุที่มีรูพรุนหรือมีช่องอากาศภายในสามารถดูดซับเสียงได้ดี โดยเมื่อมีเสียงตกกระทบผิววัตถุ พลังงานส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับไปโดยผิวของวัตถุหน่วยของการดูดซับเสียงมีหน่วยเป็นซาวินส์ มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างพื้นที่ผิวของวัตถุกับค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของวัตถุนั้น วัตถุดูดซับเสียงคือวัตถุที่มีความสามารถรับายได้ด้วยสัมประสิทธิ์การดูดซับ (absorption coefficients) ของวัตถุนั้นโดยสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง คืออัตราส่วนของพลังงานที่ถูกดูดซับต่อพลังงานที่ตกกระทบวัตถุนั้น อย่างไรก็ตาม สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัตถุนั้นยังขึ้นกับความถี่เสียงและมุมที่คลื่นเสียงนั้นตกกระทบด้วย ความสามารถในการดูดซับเสียงของวัตถุใด ๆ นั้นมีได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุชิ้นนั้นเพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นกับวิธีในการติดตั้งวัตถุนั้น ๆ ขนาดและรูปร่างของห้องที่จะนำวัตถุสำหรับดูดซับเสียงนั้นไปติดตั้งด้วย และนอกจากนี้ยังรวมถึงตำแหน่งที่ใช้ติดตั้งใน ห้องและพื้นที่ รวมทั้งหมดที่่ต้องการใช้ด้วย

การลดระดับความดังเสียงโดยใช้หลักการเกี่ยวกับการส่งผ่านคลื่นเสียงของวัตถุนั้น คือเมื่อคลื่นเสียงตกกระทบกำแพง กำแพงจะเกิดการสั่นตัวขึ้น ซึ่งการสั่นตัวในลักษณะนี้เป็นสาเหตุให้อากาศที่อยู่ใกล้เสียงกำแพงทั้งสองด้านเกิดการสั่นตัวด้วย ส่งผลให้กำแพงทั้งสองด้านเกิดการสั่นตัวด้วย ส่งผลกระทบให้กำแพงนั้นประพฤติตัวเหมือนเป็นแหล่งกำเนิดเสียงใหม่ ซึ่งสนามเสียงใหม่ที่เกิดจากกำแพงนี้จะมีพลังงานน้อยกว่าพลังงานเสียงตอนแรก เนื่องจากพลังงานของเสียงที่ตกกระทบกำแพงส่วนหนึ่งถูกใช้สำหรับการทำให้กำแพงนั้นสั่นตัว ทำนองเดียวกันกับการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมเสียงว่าสิ่งหนึ่งที่ต้องกระทำคือการหยุดคลื่นเสียงเพื่อไม่ให้มีการเคลื่อนที่จากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่ง ซึ่งสามารถดำเนินการได้โดยนำกำแพงมากันเพื่อแยกแหล่งกำเนิดเสียงออกจากบริเวณที่ต้องการความสงบ ทั้งนี้การส่งผ่านคลื่นเสียงสามารถรับายได้ด้วยค่าการสูญเสียขณะส่งผ่าน ค่านี้ขึ้นกับคุณสมบัติของกำแพงกันเสียงด้วย

2.4.5 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านเสียง (transmission coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านเสียงหมายถึงอัตราส่วนของกำลังเสียงที่ส่งผ่านวัตถุต่อกำลังเสียงที่ตกกระทบวัตถุนั้นดังสมการ

$$\tau = W_t / W_i$$

โดย τ = สัมประสิทธิ์การส่งผ่านเสียง

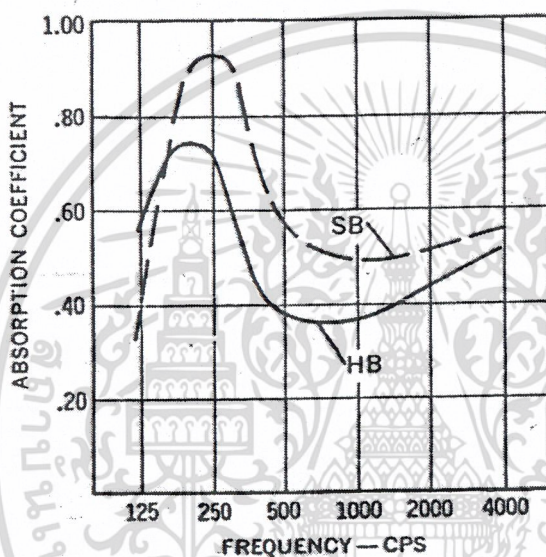
$$W_t = \text{กำลังเสียงที่ส่งผ่านวัตถุ} \quad (W)$$

$$W_i = \text{กำลังเสียงที่ตกกระทบวัตถุ} \quad (W)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 ดัชนีระบุมรรถนะในการลดระดับเสียง

จากแนวคิดต่าง ๆ เกี่ยวกับกรรคูดซับเสียงและส่งผ่านคลื่นเสียงของวัสดุนั้นสามารถนำมาประยุกต์เพื่อควบคุมระดับเสียงได้ดี โดยพบว่าถ้าหากต้องการลดระดับความรุนแรงของปัญหามลพิษทางเสียงในบริเวณใด สามารถทำได้โดยการนำวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงได้ดีหรือวัสดุที่มีคุณสมบัติในการส่งผ่านเสียงได้ดีหรือไม่ดี อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้ง 2 อย่างมาติดตั้งเพื่อทำเป็นวัสดุควบคุมเสียง โดยดัชนีที่ใช้สำหรับบ่งบอกถึงสมรรถนะในการลดระดับเสียงของวัสดุมีด้วยกันหลายค่า(รูปที่ 2.24)



รูปที่ 2.24 การดูดกลืนเสียงของคอนกรีตบล็อก

2.4.7 ค่าสูญเสียขณะส่งผ่านเสียง (transmission loss ; TL)

การควบคุมเสียงคือสิ่งหนึ่งที่ต้องการกระทำ คือการหยุดคลื่นเสียงเพื่อไม่ให้มีการเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดไปยังบริเวณอื่น ซึ่งสามารถทำได้ โดยนำกำแพงมาขึ้นเพื่อแยกแหล่งกำเนิดเสียงออกจากบริเวณที่ต้องการความสงบ ทั้งนี้การลดระดับความดังเสียงเนื่องจากการส่งผ่านคลื่นเสียงสามารถอธิบายได้ด้วยค่าสูญเสียขณะส่งผ่าน (transmission loss) ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกำแพงกันเสียงนั้น ๆ ด้วย โดยค่า TL นี้สามารถหาได้จากสมการ

$$TL = 10 \log (W_t / W_i)$$

โดยที่

TL = ค่าสูญเสียขณะส่งผ่านเสียง (dB(A))

W_t = กำลังเสียงที่ส่งผ่านวัตถุ (W)

W_i = กำลังเสียงที่ตกกระทบวัตถุ (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.8 สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังเสียง (noise reduction coefficient ; NCE)

การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเสียงของวัตถุต่างชนิดกัน สามารถระบุได้ด้วยค่า NCE คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ความถี่ 250 , 500 , 1000 และ 2000 Hz ดังสมการ

$$NRC = (\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}) / 4$$

โดยที่

NRC = สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังเสียง

α = ความถี่เสียงที่ 250 , 500 , 1000 , 2000 (Hz)

2.4.9 การลดระดับความดังเสียง (noise reduction ; NR)

การควบคุมปัญหามลพิษทางเสียง สิ่งหนึ่งซึ่งจะต้องดำเนินการ คือการลดระดับเสียงให้ลดลง ความหมายของการลดระดับความดังเสียงของวัตถุกั้นเสียงดังนี้ คือ ความแตกต่างของระดับความดังเสียงก่อนผ่านวัตถุกั้นเสียงกับหลังผ่านวัตถุกั้นเสียง แสดงได้ดังสมการ

$$NR = SPL_1 - SPL_2$$

โดยที่

NR = ระดับความดังเสียงที่ลดลง (dB(A))

SPL_1 = ระดับความดังเสียงเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวาง (dB(A))

SPL_2 = ระดับความดังเสียงเมื่อมีสิ่งกีดขวาง (dB(A))

2.4.10 ระดับเสียงที่เป็นอันตราย

มาตรฐานระดับความดังเสียงซึ่งกำหนดไว้โดย EPA สำหรับย่านที่พักอาศัย และสถานศึกษา คือระดับความดังเสียงไม่ควรเกิน 55 dB(A) ทั้งนี้ระดับความดังเสียงที่เป็นอันตราย คือระดับความดังเสียงที่เกินกว่า 85 dB(A) ซึ่งสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อประสาทหูของผู้รับฟังเสียงนั้นได้รับ ดังนั้น โรงงานอุตสาหกรรมใดที่มีระดับความดังเสียงเกินกว่า 90 dB(A) จัดว่าอันตรายต้องมีมาตรการป้องกัน ทั้งนี้ระดับเสียงเป็นพิษคือ เสียงที่มีระดับความดังเกินมาตรฐานที่องค์การอนามัยโลก ได้กำหนดไว้คือ 85 dB(A) ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่อหูมนุษย์ เพราะโดยปกติเสียงที่บุคคลทั่วไปจะได้รับฟังได้โดยไม่มีอันตรายควรเป็น 120 dB(A) และถ้าได้ยินติดต่อกันนาน 1 ชั่วโมง ให้ฟังได้ไม่เกิน 85 dB(A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และการสร้างชุดทดลอง

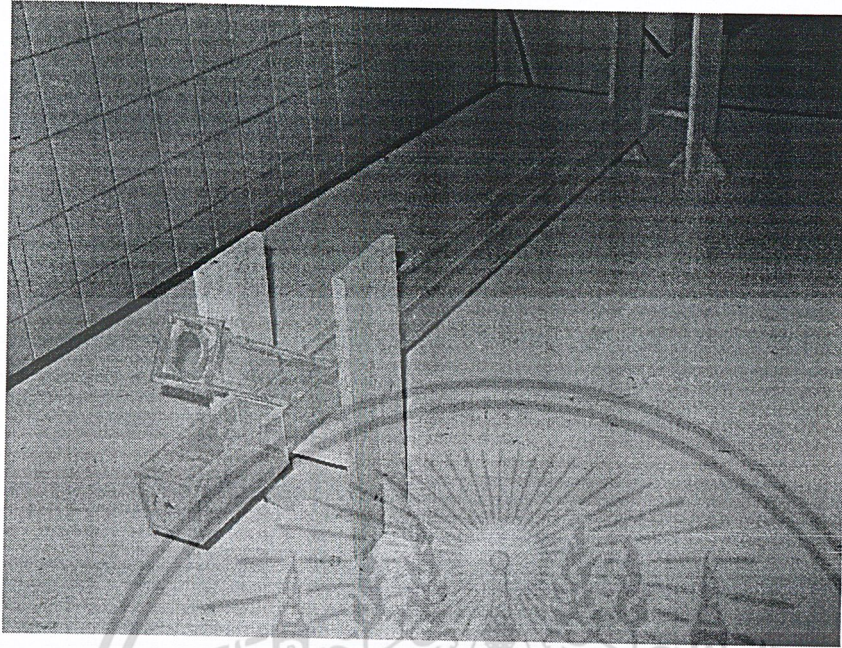
อุปกรณ์การทดลอง

1. ท่อพลาสติก ยาว 1.5 เมตร กว้าง 0.05 เมตร
2. เครื่องกำเนิดเสียงที่สามารถปรับความถี่สูง-ต่ำได้
3. ไมโครโฟน
4. ตัวเลื่อนไมโครโฟน
5. วัสดุที่ใช้ทดลอง คือ กระดาษ, คอนกรีต, อีฐ
6. ลำโพงกระจายเสียง
7. แผ่นเหล็ก
8. ตัวบันทึกค่าสัญญาณ (F F T Analyzer)

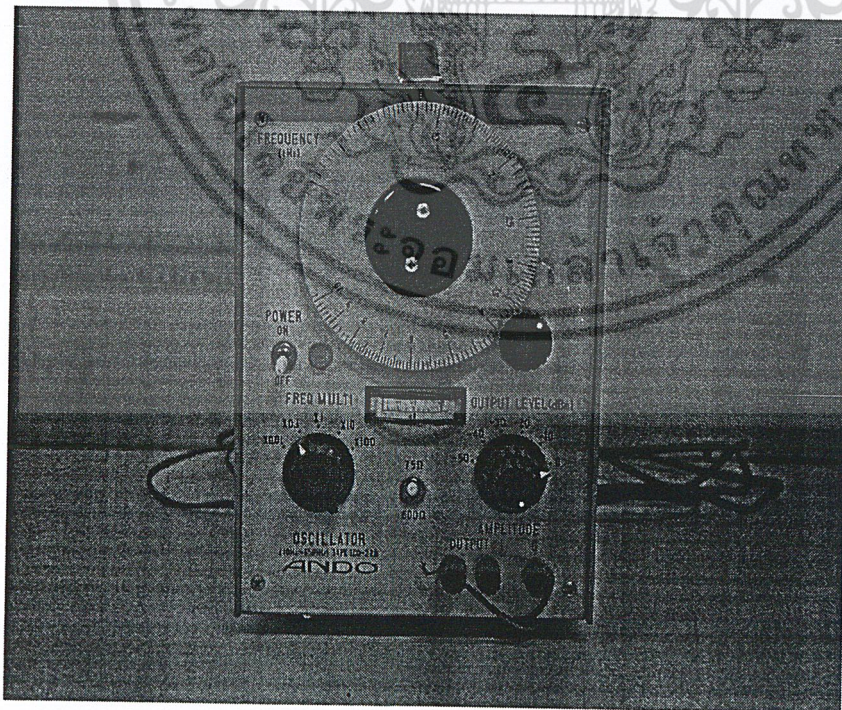
การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ในการให้สัญญาณเสียง โดยต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงที่สามารถปรับความถี่ ต่างๆ ได้ เข้ากับตัวขยายหรือแอมพลิไฟเออร์ และต่อไปยังลำโพง
2. ติดลำโพงให้แนบกับปลายท่อด้านที่แยกจากท่อใหญ่
3. ประกอบไมโครโฟนเข้ากับตัวเลื่อนไมโครโฟน
4. ติดตั้งไมโครโฟนที่แกนกลางของท่อโดยที่ไมโครโฟนสามารถปรับเลื่อนได้ตามความยาวของท่อ
5. วางแผ่นเหล็กไว้ที่ด้านตรงข้ามกับแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียง
6. ต่อสายสัญญาณไมโครโฟนเข้ากับตัวบันทึกค่าสัญญาณ (F F T Analyzer)

อุปกรณ์การทดลอง

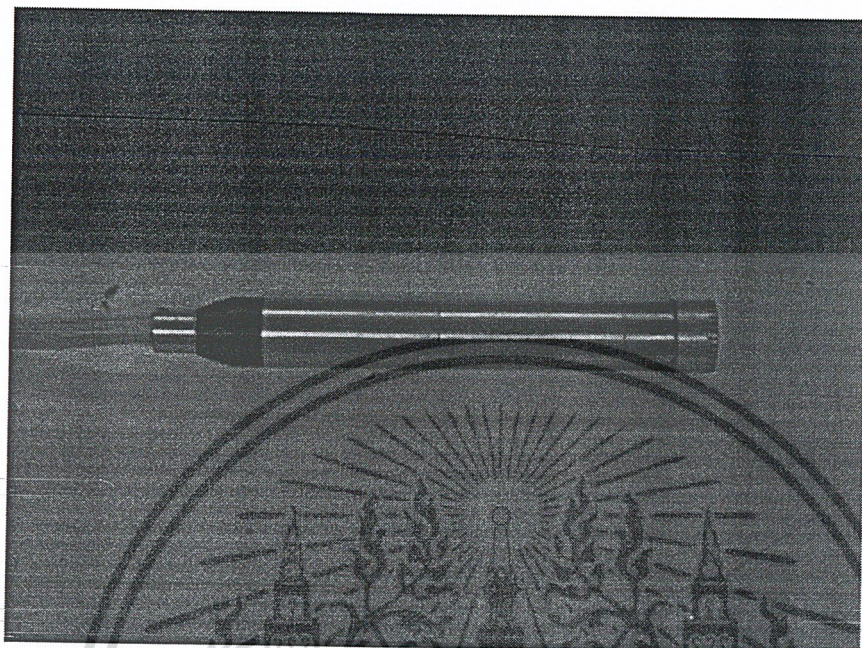


รูปที่ 3.1 ท่อพลาสติกยาว 1.5 เมตร กว้าง 0.05 เมตร

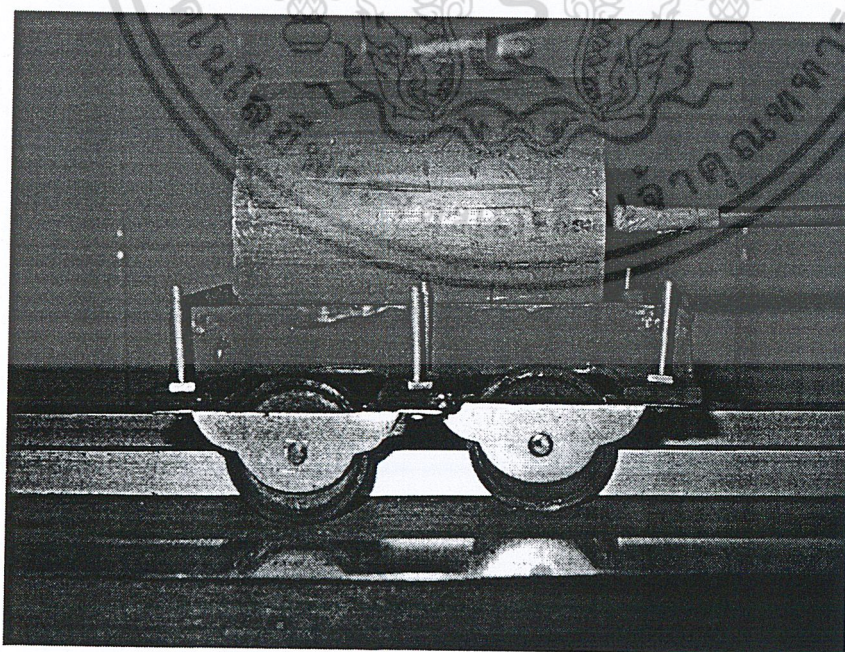


รูปที่ 3.2 เครื่องกำเนิดเสียงที่สามารถปรับความถี่สูง-ต่ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

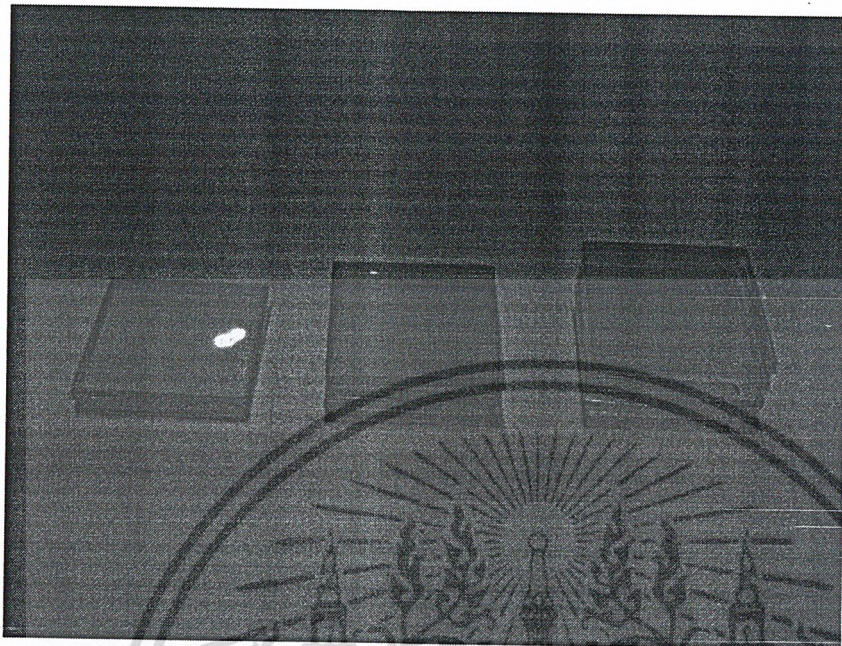


รูปที่ 3.3 ไมโครโฟน

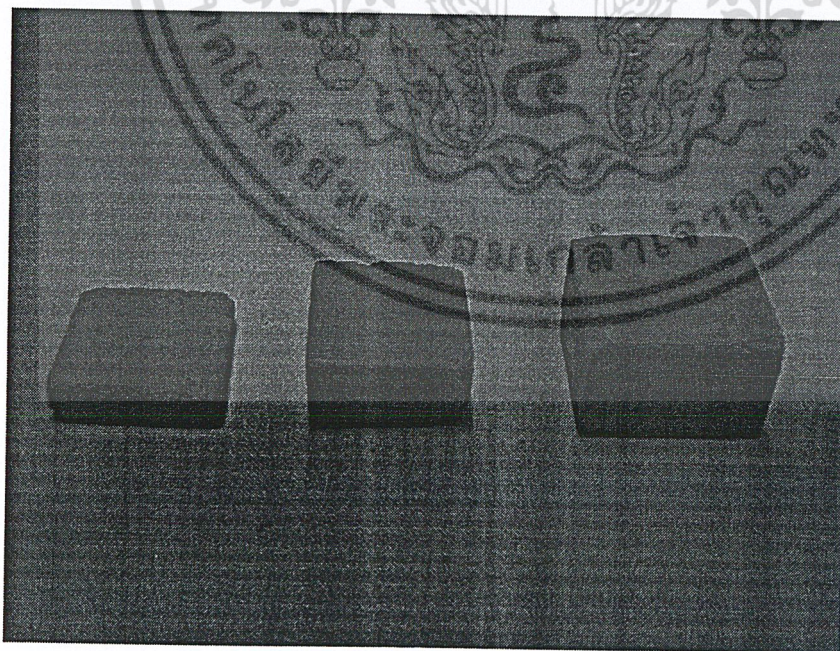


รูปที่ 3.4 ตัวเลื่อนไมโครโฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

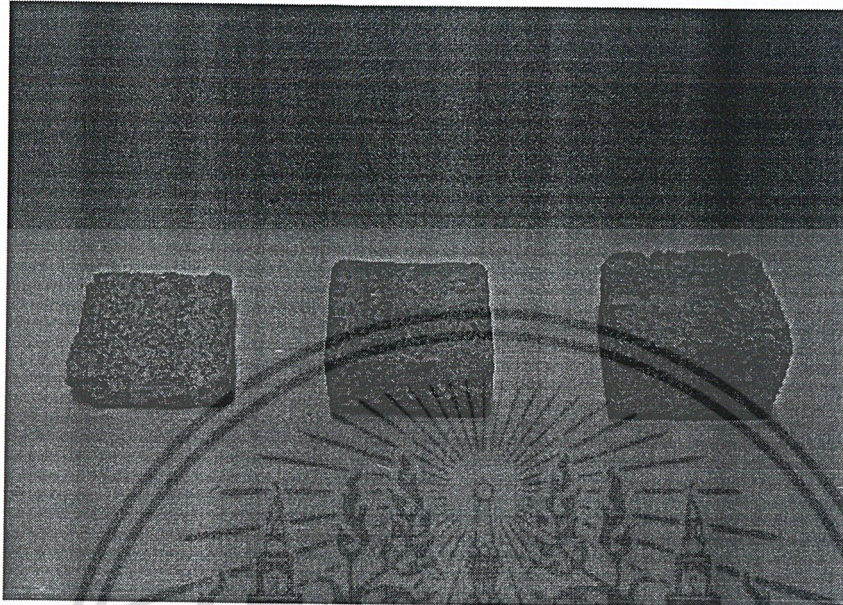


รูปที่ 3.5 กระจกหนา 1 cm , 2 cm, 3 cm

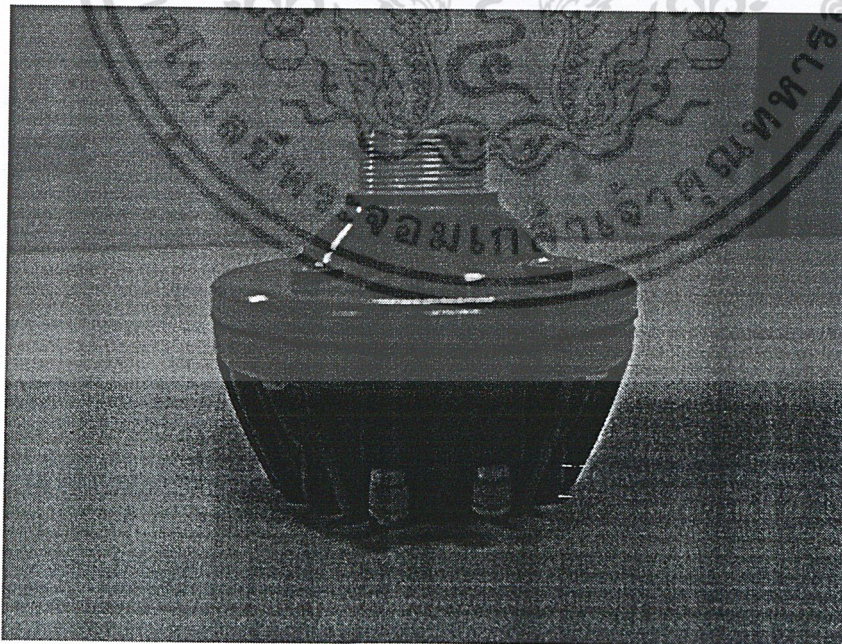


รูปที่ 3.6 คอนกรีตหนา 1 cm , 2 cm, 3 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

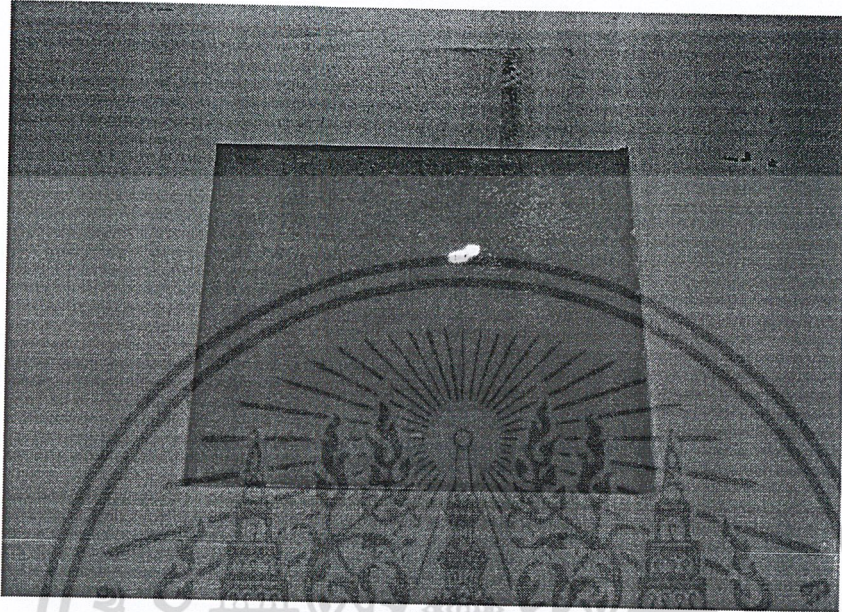


รูปที่ 3.7 อิฐหนา 1 cm , 2 cm, 3 cm

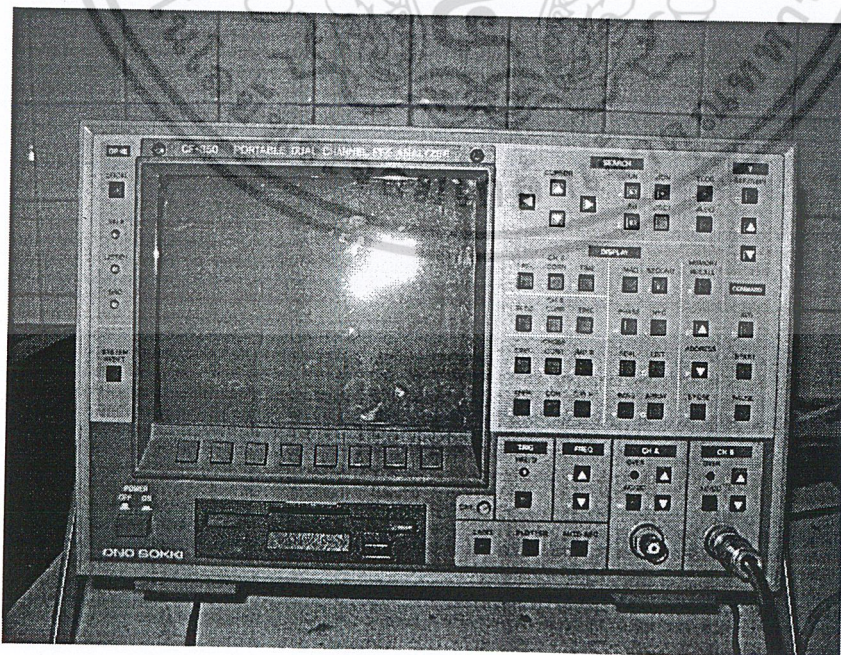


รูปที่ 3.8 ลำโพงกระจายเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

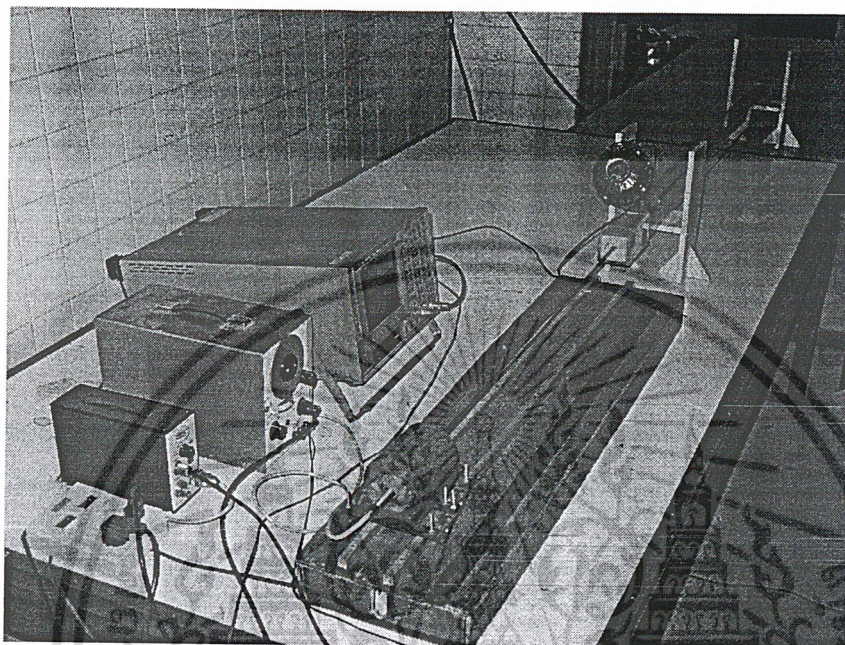


รูปที่ 3.9 แผ่นเหล็ก

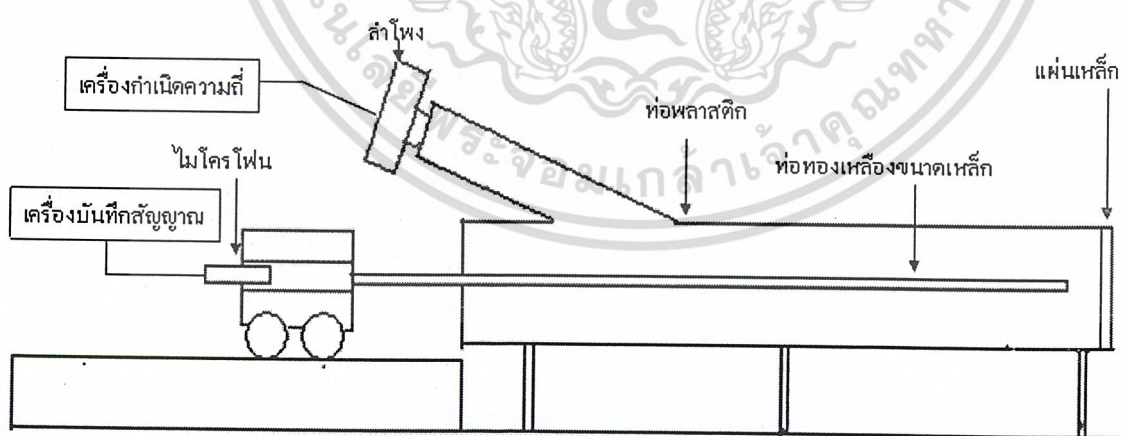


รูปที่ 3.10 ตัวบันทึกค่าสัญญาณ (F F T Analyzer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ชุดการทดลองจริง



รูปที่ 3.12 ชุดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

วิธีการทดลอง

1. นำวัสดุที่จะใช้ทดสอบมาวางไว้ที่ปลายท่อด้านที่ติดกับแผ่นเหล็ก
2. สร้างสัญญาณเสียงจากแหล่งกำเนิดโดยเริ่มที่ความถี่ 125,250,500,1000,2000 และ 4000 Hz ตามลำดับป้อนเข้าไปยังลำโพงโดยที่ลำโพงจะส่ง สัญญาณเสียงไปตามท่อ
3. ทำการบันทึกค่าความดันของเสียงสูงสุดและต่ำสุดที่สะท้อนจากแผ่นเหล็ก มายังไมโครโฟน โดยเลื่อนตำแหน่งของไมโครโฟน ไปยังตำแหน่งต่างๆภายในท่อ
4. นำค่าที่บันทึกได้จากไมโครโฟนมาคำนวณ โดยนำค่าที่มากที่สุดและต่ำสุดคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานและการดูดซับเสียง
5. เปลี่ยนชนิดของวัสดุทดสอบ แล้วทำการทดลองเช่นเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจก ที่ความหนา 1,2,3 cm

| ความหนา (cm.) | ความถี่ (Hz) | | | | | |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | ความถี่ 125 Hz | ความถี่ 250 Hz | ความถี่ 500 Hz | ความถี่ 1000 Hz | ความถี่ 2000Hz | ความถี่ 4000 Hz |
| 1 | 0.049 | 0.048 | 0.046 | 0.043 | 0.038 | 0.031 |
| 2 | 0.046 | 0.045 | 0.043 | 0.041 | 0.034 | 0.030 |
| 3 | 0.042 | 0.042 | 0.038 | 0.034 | 0.032 | 0.028 |

ตารางที่ 4.2 แสดง Impedance Ratio ของกระจก ที่ความหนา 1,2,3 cm

| ความหนา (cm.) | ความถี่ (Hz) | | | | | |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | ความถี่ 125 Hz | ความถี่ 250 Hz | ความถี่ 500 Hz | ความถี่ 1000 Hz | ความถี่ 2000Hz | ความถี่ 4000 Hz |
| 1 | 82.310 | 84.860 | 91.674 | 93.110 | 118.160 | 135.120 |
| 2 | 89.890 | 90.521 | 100.690 | 101.330 | 124.660 | 141.570 |
| 3 | 93.810 | 94.514 | 112.970 | 124.66 | 129.270 | 146.720 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของคอนกรีตหนา 1,2,3 cm

| ความหนา (cm.) | ความถี่ (Hz) | | | | | |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | ความถี่ 125 Hz | ความถี่ 250 Hz | ความถี่ 500 Hz | ความถี่ 1000 Hz | ความถี่ 2000Hz | ความถี่ 4000 Hz |
| 1 | 0.184 | 0.203 | 0.220 | 0.244 | 0.254 | 0.265 |
| 2 | 0.197 | 0.213 | 0.234 | 0.255 | 0.266 | 0.288 |
| 3 | 0.215 | 0.234 | 0.259 | 0.281 | 0.289 | 0.318 |

ตารางที่ 4.4 แสดง Impedance Ratio ของคอนกรีตที่ความหนา 1,2,3 cm

| ความหนา (cm.) | ความถี่ (Hz) | | | | | |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | ความถี่ 125 Hz | ความถี่ 250 Hz | ความถี่ 500 Hz | ความถี่ 1000 Hz | ความถี่ 2000Hz | ความถี่ 4000 Hz |
| 1 | 21.110 | 18.934 | 17.338 | 15.350 | 14.223 | 14.028 |
| 2 | 19.830 | 17.988 | 15.586 | 14.620 | 13.661 | 12.395 |
| 3 | 17.440 | 15.170 | 13.520 | 13.060 | 12.147 | 10.197 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

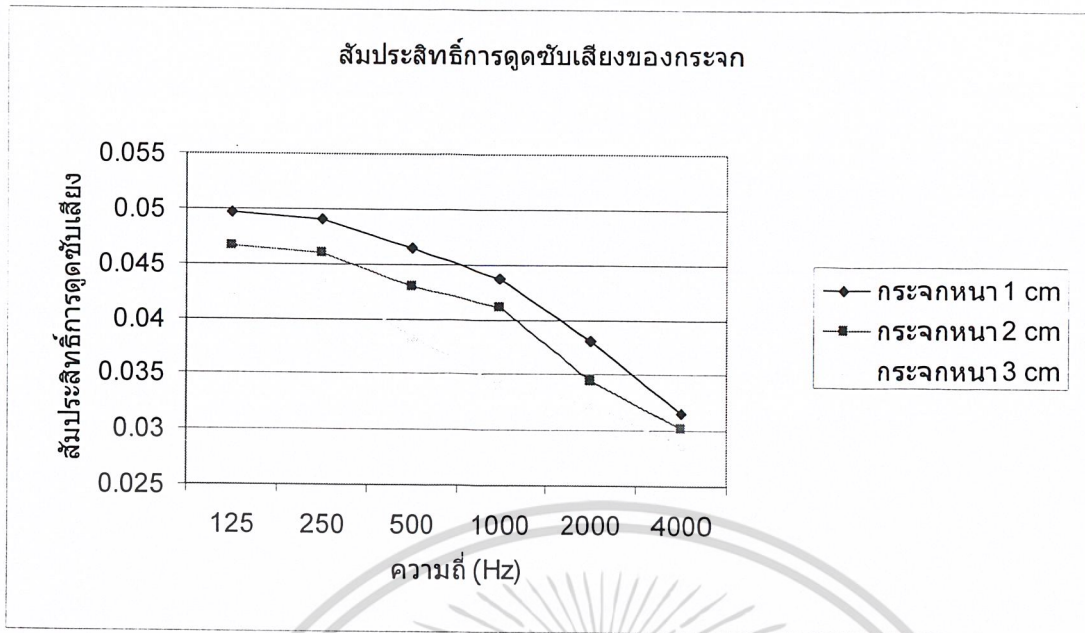
ตารางที่ 4.5 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของ อีฐ 1,2,3 cm

| ความหนา (cm.) | ความถี่ (Hz) | | | | | |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | ความถี่ 125 Hz | ความถี่ 250 Hz | ความถี่ 500 Hz | ความถี่ 1000 Hz | ความถี่ 2000Hz | ความถี่ 4000 Hz |
| 1 | 0.330 | 0.345 | 0.390 | 0.404 | 0.396 | 0.437 |
| 2 | 0.350 | 0.360 | 0.389 | 0.418 | 0.424 | 0.466 |
| 3 | 0.380 | 0.385 | 0.409 | 0.420 | 0.442 | 0.481 |

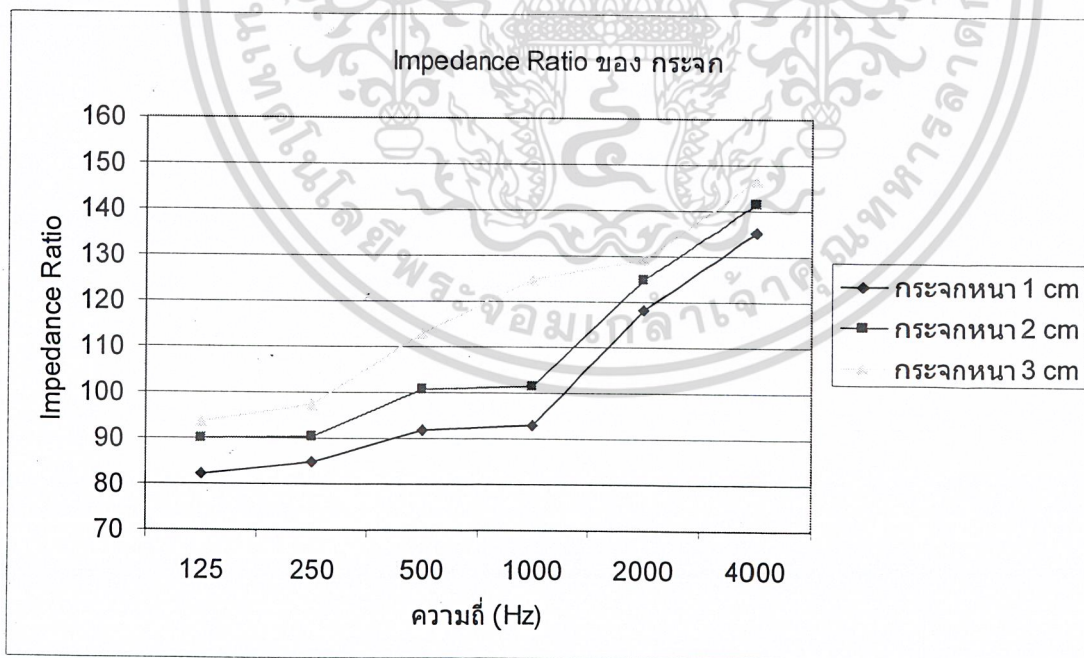
ตารางที่ 4.6 แสดง Impedance Ratio ของอีฐ ที่ความหนา 1,2,3 cm.

| ความหนา (cm.) | ความถี่ (Hz) | | | | | |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | ความถี่ 125 Hz | ความถี่ 250 Hz | ความถี่ 500 Hz | ความถี่ 1000 Hz | ความถี่ 2000Hz | ความถี่ 4000 Hz |
| 1 | 10.690 | 9.896 | 8.897 | 8.820 | 8.902 | 7.902 |
| 2 | 9.566 | 9.408 | 8.550 | 8.081 | 7.902 | 7.464 |
| 3 | 8.907 | 8.654 | 8.245 | 7.507 | 7.374 | 7.198 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

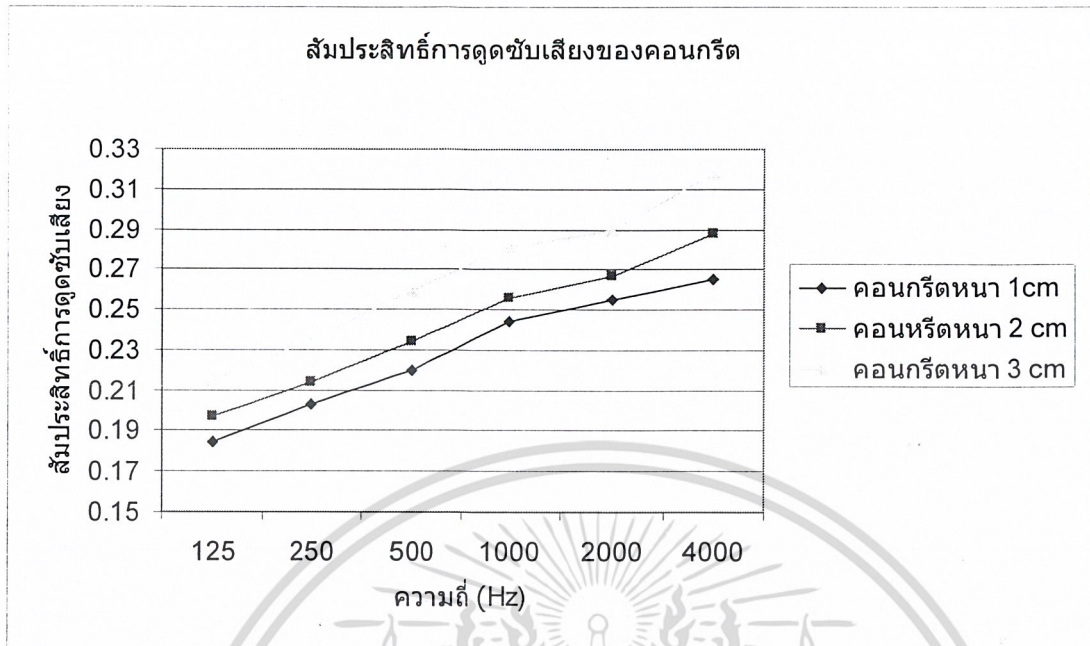


รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ของ กระเจก ขนาด 1,2,3cm

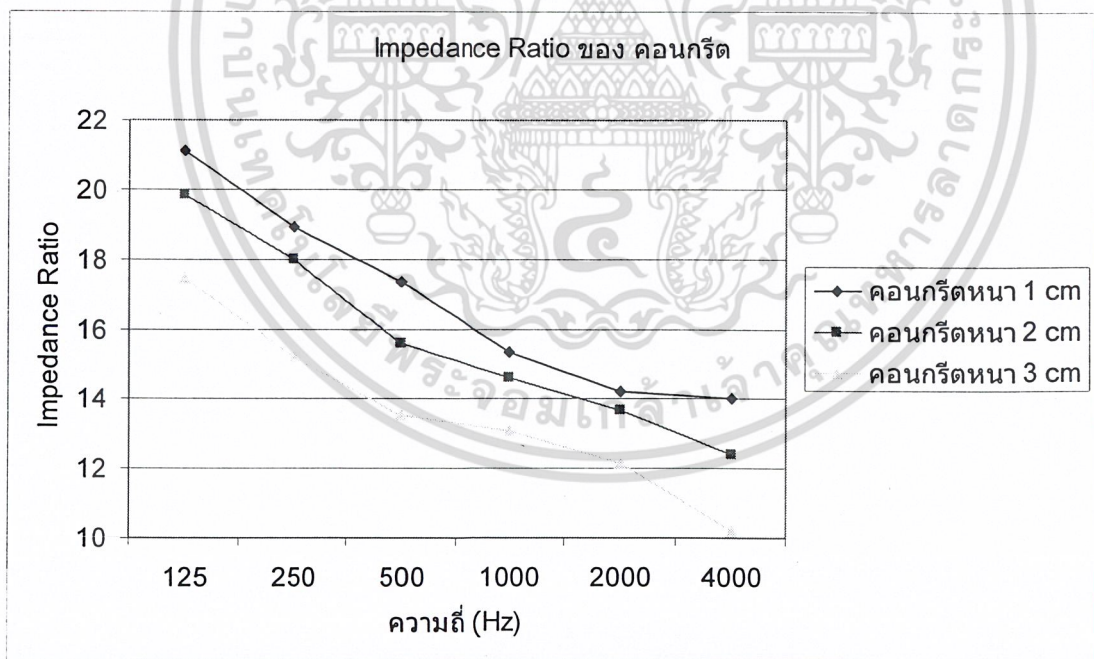


รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Impedance Ratio กับความถี่ ของ กระเจก หนา 1,2,3 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

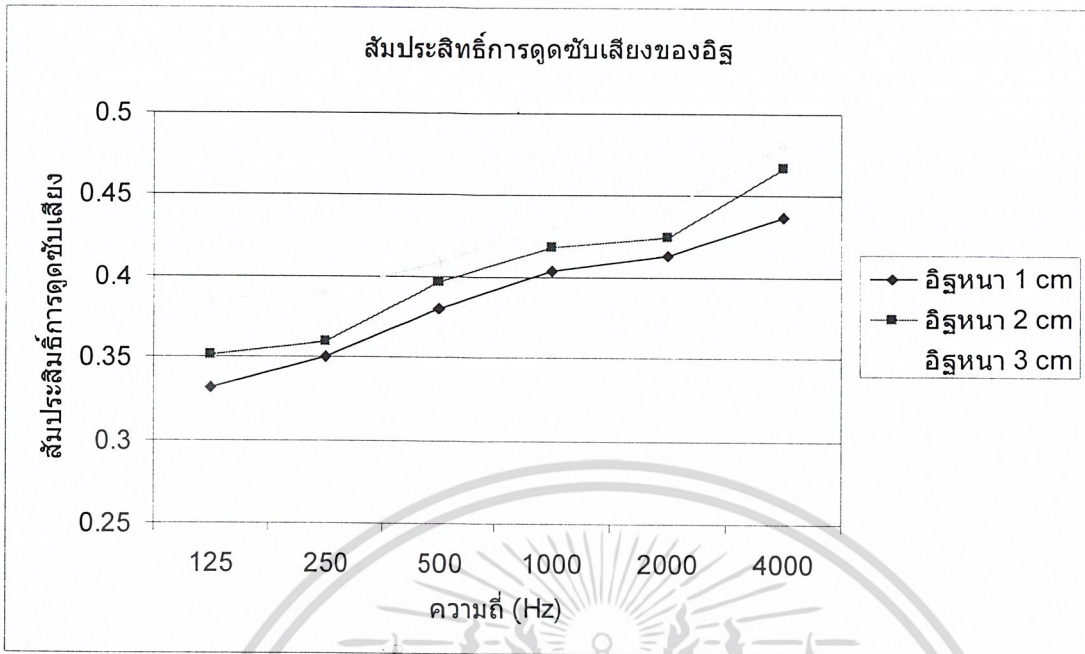


รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ของ คอนกรีตขนาด 1,2,3 cm

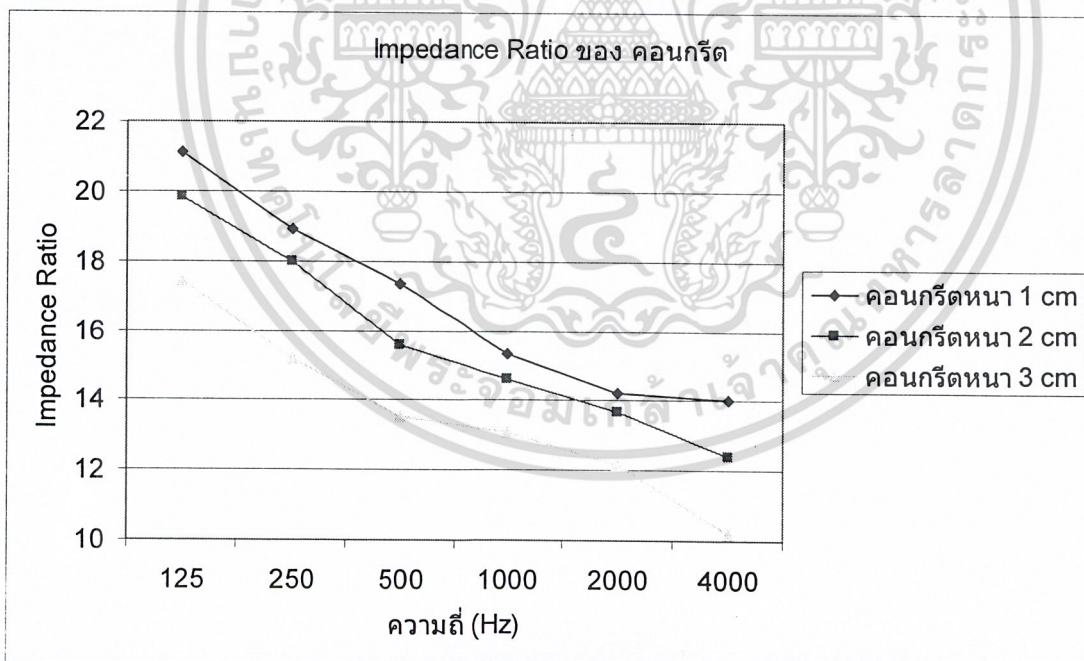


รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Impedance Ratio กับความถี่ของ คอนกรีตหนา 1,2,3 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

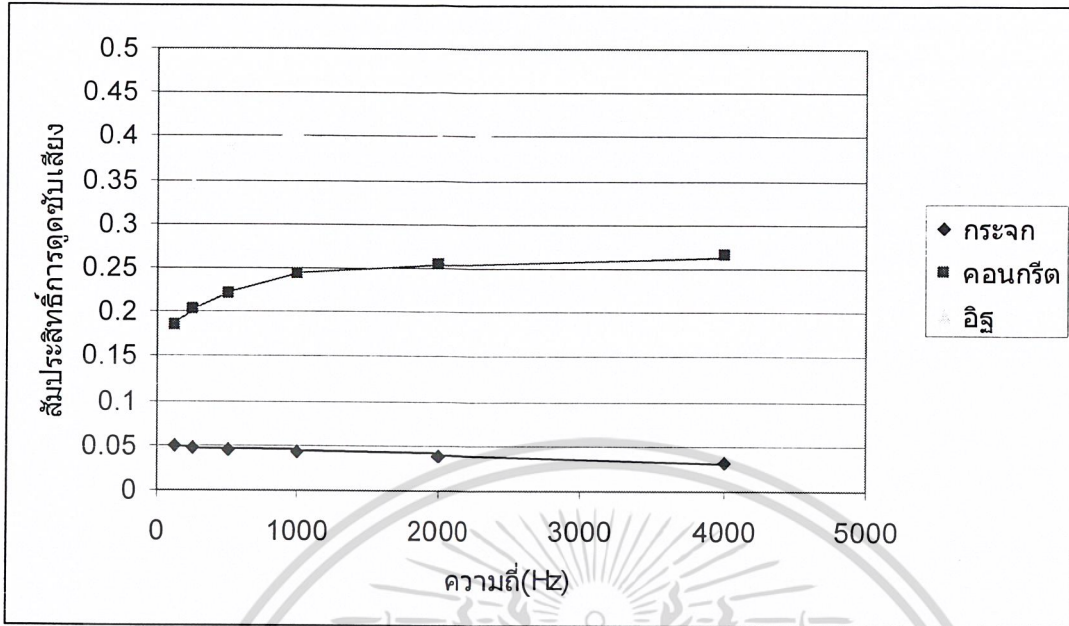


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ ของ อิฐหนา 1,2,3 cm.

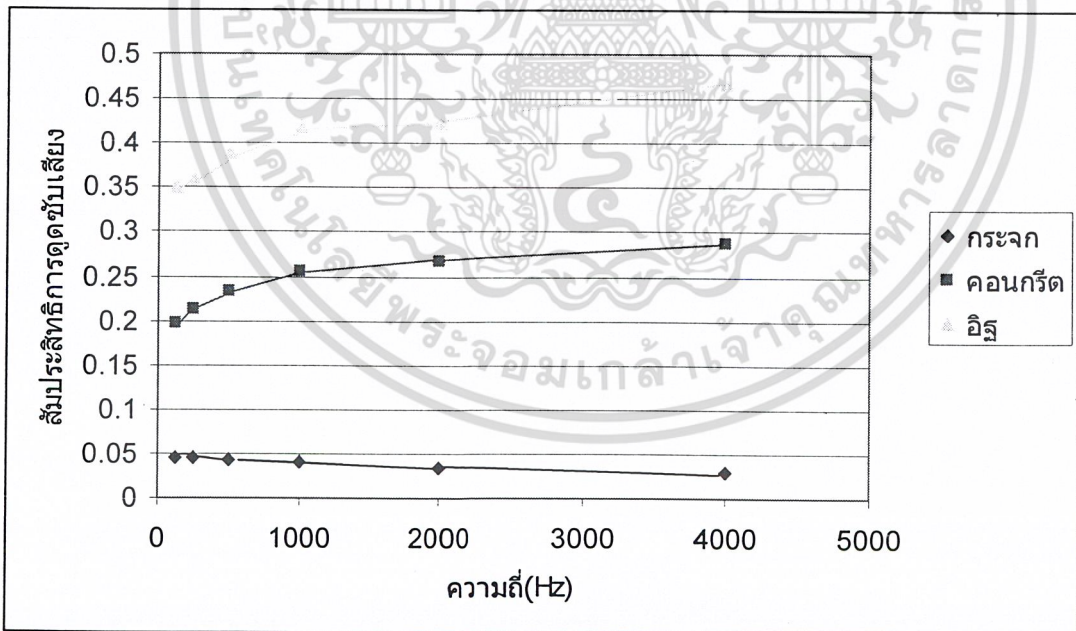


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Impedance Ratio กับความถี่ ของ อิฐ หนา 1,2,3 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

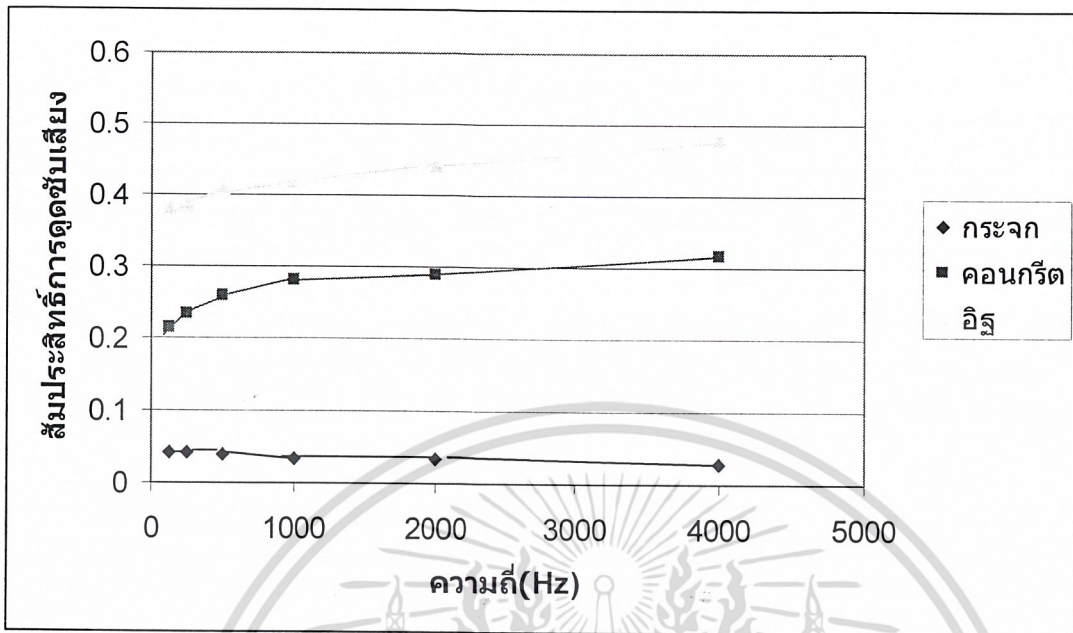


รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ต่างๆ ของ วัสดุ 1 cm

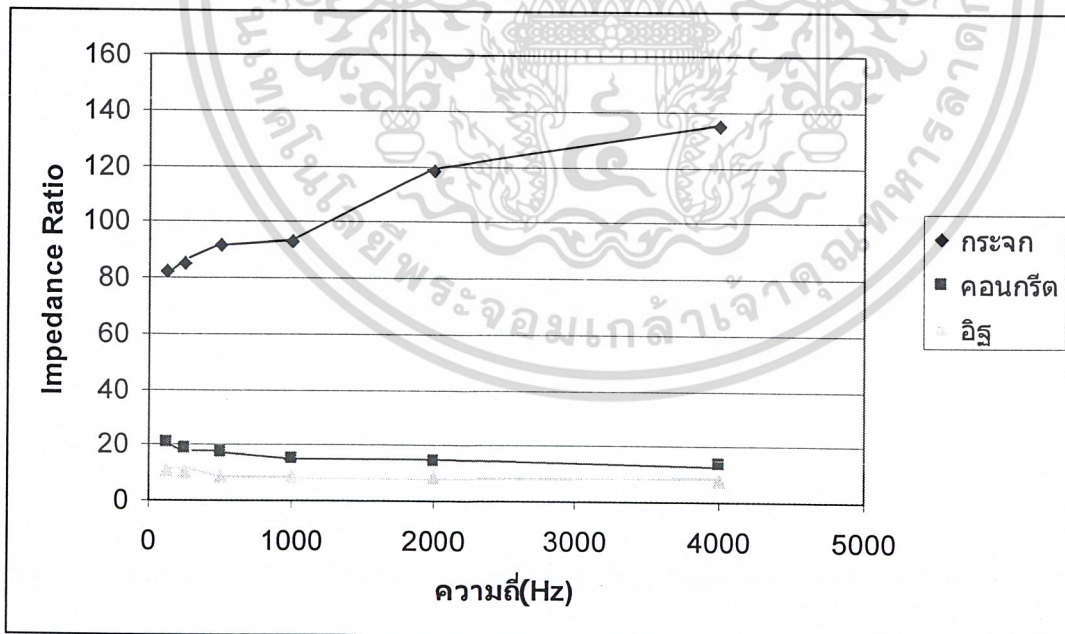


รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ต่างๆ ของ วัสดุ 2 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

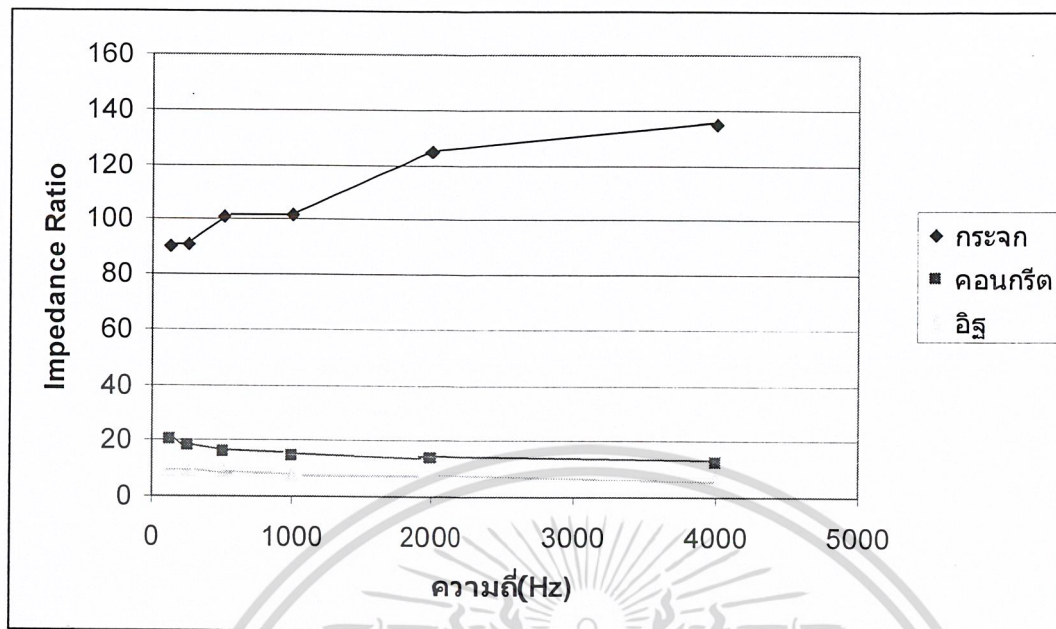


รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ต่างๆ ของ วัสดุ 3 cm

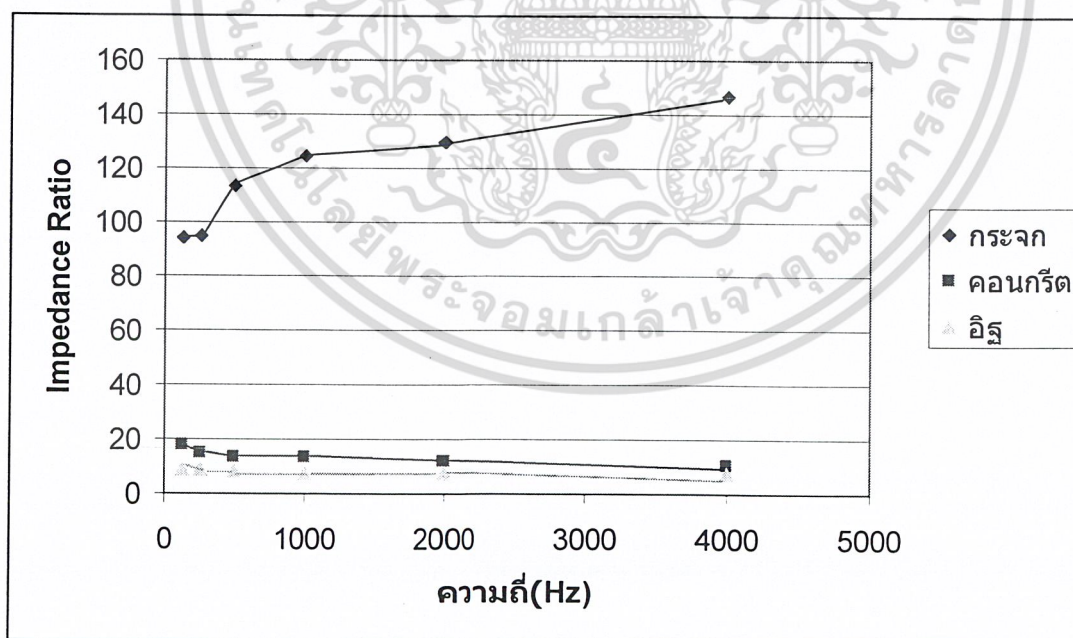


รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบ Impedance Ratio กับความถี่ต่างๆ ของ วัสดุ 1 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบ Impedance Ratio กับความถี่ต่างๆ ของ วัสดุ 2 cm



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบ Impedance Ratio กับความถี่ต่างๆ ของ วัสดุ 3 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์ความต้านทานและการดูดซับเสียงของวัสดุ คือ กระจก , คอนกรีต และ อิฐ ที่มีความหนา 1 , 2 และ 3 cm ตามลำดับ โดยชุดทดลองได้ออกแบบตามมาตรฐาน ASTM :C384-90a โดยป้อนความถี่ 6 ค่า คือ 125,250 , 500 , 1000,2000 และ 4000 Hz สรุปได้ว่า

1.จากการทดลองเมื่อเพิ่มความถี่จาก 125Hz เป็น 250,500Hz,1000Hz,2000Hz และ 4000 Hz ตามลำดับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกจะลดลงและค่า Impedance Ratio จะเพิ่มขึ้นแต่ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของคอนกรีตและอิฐจะเพิ่มขึ้นและค่า Impedance Ratio จะลดลง และพบว่าที่ 125Hz กระจกจะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงสุดและที่ 4000Hz คอนกรีตและอิฐจะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงสุด อธิบายได้ว่าเมื่อมีการตกกระทบของพลังงานเสียง โมเลกุลของอากาศที่เกิดจากการอัดและการขยายของคลื่นเสียง ไม่สามารถผ่านช่องว่างภายในแผ่นทดสอบได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้แผ่นทดสอบเกิดการสั่นตัวด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของเสียงที่ตกกระทบ ประกอบกับคุณสมบัติวัสดุทดสอบที่ไม่สามารถยืดหยุ่นได้ จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานเสียงที่ตกกระทบ ไปเป็นพลังงานความร้อนภายในวัสดุทดสอบ เสียงที่ผ่านวัสดุทดสอบจึงเบาลง

2.จากการทดลองพบว่าที่ความถี่เดียวกัน เมื่อเปลี่ยนวัสดุทดสอบให้มีความหนามากขึ้นจาก 1cm เป็น 2cm และ 3cm ตามลำดับพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ Impedance Ratio จะมีค่าลดลง จากการทดลองพบว่าอิฐที่ความหนา 3 cm ที่ 4000 Hz มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมากที่สุด

3.ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ความหนาแน่นของวัสดุ ,ช่องว่างภายในวัสดุ,ลักษณะผิวของวัสดุ,ความหนาของวัสดุ

4.ความผิดพลาดของการทดลองอาจเกิดจากอุณหภูมิของอากาศที่ไม่เหมาะสม ทำให้มีผลต่อความเร็วเสียงในอากาศและอาจเกิดจากความผิดพลาดของผู้ทดลองเอง

ข้อเสนอแนะ

1.ในการวิจัยครั้งต่อไปควรลดค่าความถี่ให้ต่ำกว่า 125 Hz หรือ เพิ่มความถี่ ให้มากกว่า 4000 Hz เพื่อวิจัยว่า ความถี่สูงหรือต่ำเกินไป จะมีผลอย่างไรต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

2.ในการวิจัยครั้งต่อไปควรเพิ่มวัสดุที่ใช้ในการวิจัย เช่น ใยแก้ว โฟม หรือวัสดุที่คิดว่ามีความสามารถในการดูดซับเสียงได้ดี

3. ในการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาถึงลักษณะและรูปร่างของวัสดุดูดซับเสียงในลักษณะต่างๆ เช่นการทำให้เป็นทรงกระบอก ทรงกลม หรือทรงกรวย เพื่อนำไปใช้แขวนเพดานในห้องที่ต้องการลดการสะท้อนของคลื่นเสียง รวมทั้งควรมีการทดสอบความสามารถในการลดระดับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงรูปร่างต่างๆ เหล่านั้น เพื่อให้วัสดุดูดซับเสียงเหล่านั้นสามารถนำไปใช้งานได้กว้างมากขึ้น

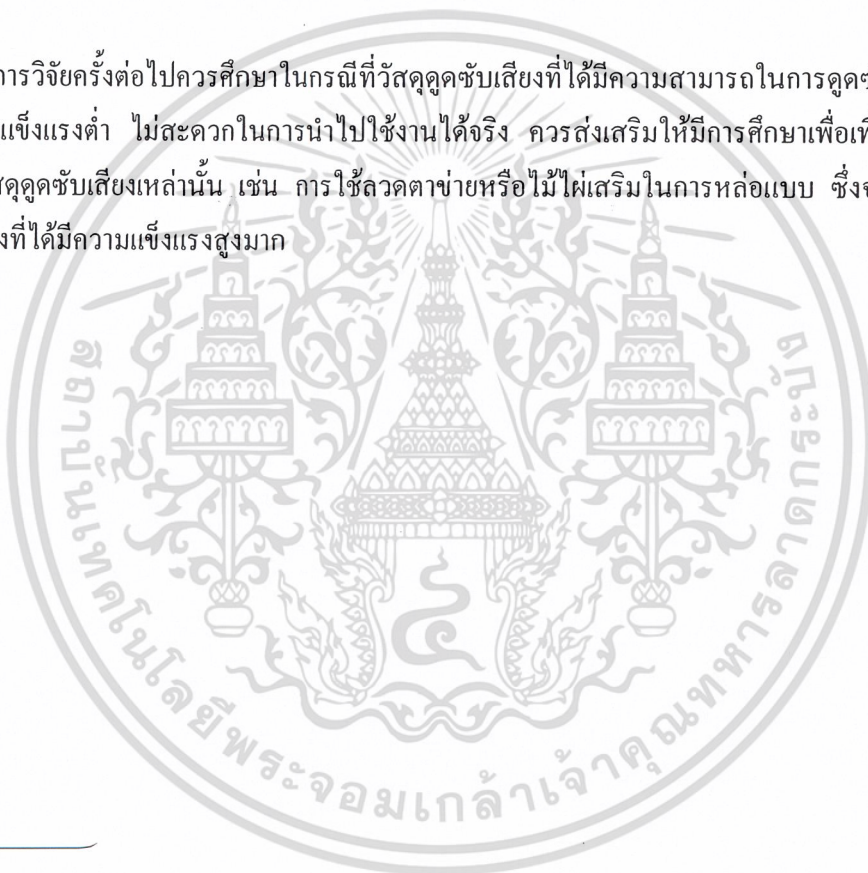
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ในการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตวัสดุดูดซับเสียงที่เกิดจาส่วนประกอบ เหล่านี้ในเชิงอุตสาหกรรม ทั้งทางด้านรูปแบบของวัสดุดูดซับเสียง ส่วนประกอบที่เหมาะสม และลักษณะของงานที่จะนำไปใช้ เป็นต้น

5. ในการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาถึงการพัฒนาเพื่อนำวัสดุดูดซับเสียงที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ไปใช้ร่วมกับวัสดุดูดซับเสียงประเภทอื่น เช่น วัสดุพูน เพื่อทำให้วัสดุดูดซับเสียงที่ได้มีความสามารถในการดูดซับเสียงได้มากขึ้น และสามารถดูดซับเสียงที่มีช่วงความถี่ได้กว้างมากขึ้น

6. ในการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงของวัสดุเหลือใช้ชนิดอื่น ๆ เช่น รั้วไข่ ขี้เลื่อย ขี้เถ้า ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการควบคุมมลภาวะทางเสียงแล้ว ยังช่วยลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้น และประหยัดงบประมาณที่ต้องใช้ในการกำจัดขยะเหล่านี้อีกด้วย

7. ในการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาในกรณีที่มีวัสดุดูดซับเสียงที่ได้มีความสามารถในการดูดซับเสียงสูง แต่มีความแข็งแรงต่ำ ไม่สะดวกในการนำไปใช้งานได้จริง ควรส่งเสริมให้มีการศึกษาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุดูดซับเสียงเหล่านั้น เช่น การใช้ลวดตาข่ายหรือไม่ไฟเสริมในการหล่อแบบ ซึ่งจะทำให้วัสดุดูดซับเสียงที่ได้มีความแข็งแรงสูงมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 1

F

SOUND ABSORPTION COEFFICIENTS OF COMMON BUILDING MATERIALS, AUDIENCES, SEATS, MUSICIANS, ETC.

| Material | Absorption Coefficients (Hz) | | | | | |
|--|------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Brick | | | | | | |
| Unpainted | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.07 |
| Painted | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 |
| Concrete | | | | | | |
| Unpainted | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| Painted | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| Concrete block | | | | | | |
| Porous, unpainted | 0.36 | 0.44 | 0.31 | 0.29 | 0.39 | 0.25 |
| Painted | 0.10 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.09 | 0.08 |
| Floors | | | | | | |
| Concrete or terrazzo | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| Resilient tile on concrete | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| Parquet flooring | 0.05 | 0.03 | 0.06 | 0.09 | 0.10 | 0.20 |
| Varnished wood joist floor | 0.15 | 0.11 | 0.10 | 0.07 | 0.06 | 0.07 |
| Glass | | | | | | |
| Large panes of heavy plate glass | 0.18 | 0.06 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| Standard window | 0.35 | 0.25 | 0.18 | 0.12 | 0.07 | 0.04 |
| Gypsum board, 1/2 in., nailed to 2 x 4 in. studs, 16 in. o.c. | 0.29 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.07 | 0.09 |
| Marble or glazed tile | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| Plasters | | | | | | |
| Gypsum or lime, smooth | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 |
| On lath, over airspace or on joists or studs | 0.30 | 0.15 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.05 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOUND IN ENCLOSURES .

TABLE 10.1. Coefficients of General Building Materials†

| Building material | Thick- ness, in. | Coefficients | | | | | |
|---|------------------------|--------------|-------|------|-------|------|------|
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Brick wall, unpainted..... | 18 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.05 |
| Brick wall, painted..... | 18 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| Plaster, gypsum, on hollow tile, plain or painted..... | ..... | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.04 |
| Plaster, gypsum, scratch and brown coats on metal lath, on wood studs... | ..... | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.06 | 0.03 |
| Plaster, lime, sand finish on metal lath. | 3/4 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.08 | 0.04 | 0.06 |
| Plaster, on wood wool..... | ..... | 0.40 | 0.30 | 0.20 | 0.15 | 0.10 | 0.10 |
| Plaster, fibrous..... | 2 | 0.35 | 0.30 | 0.20 | 0.55 | 0.10 | 0.04 |
| Poured concrete, unpainted..... | ..... | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 |
| Poured concrete, painted..... | ..... | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| Wood, solid and polished..... | 2 | 0.1 | ..... | 0.05 | ..... | 0.04 | 0.04 |
| Wood, paneling, 2 to 4 in. air space behind..... | 3/8-1/2 | 0.30 | 0.25 | 0.20 | 0.17 | 0.15 | 0.10 |
| Wood platform with large space be- neath..... | ..... | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.17 | 0.15 | 0.1 |
| Glass..... | ..... | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| Floors: | | | | | | | |
| Slate on solid..... | ..... | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| Wood on solid..... | ..... | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| Cork, linoleum, gypsum, or rubber tile on solid..... | 3/16 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.02 |
| Wood block, pitch pine..... | ..... | 0.05 | 0.03 | 0.06 | 0.09 | 0.10 | 0.22 |
| Carpets: | | | | | | | |
| Wool pile, with underpad..... | 5/8 | 0.20 | 0.25 | 0.35 | 0.40 | 0.50 | 0.75 |
| Wool pile, on concrete..... | 3/8 | 0.09 | 0.08 | 0.21 | 0.20 | 0.27 | 0.37 |
| Draperies and fabrics: | | | | | | | |
| Velour, hung straight | | | | | | | |
| 10 oz/yd ²..... | ..... | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 0.18 | 0.30 | 0.35 |
| 14 oz/yd ²..... | ..... | 0.05 | 0.07 | 0.13 | 0.22 | 0.32 | 0.35 |
| 18 oz/yd ²..... | ..... | 0.05 | 0.12 | 0.35 | 0.48 | 0.38 | 0.36 |
| Velour, draped to half area | | | | | | | |
| 14 oz/yd ²..... | ..... | 0.07 | 0.31 | 0.49 | 0.75 | 0.70 | 0.60 |
| 18 oz/yd ²..... | ..... | 0.14 | 0.35 | 0.55 | 0.75 | 0.70 | 0.60 |
| Seats and people (α_s in square feet per person or per seat): | | | | | | | |
| Seats | | | | | | | |
| Chair: upholstered back, leather seats..... | ..... | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.5 |
| Chair: theater, heavily uphol- stered..... | ..... | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| Orchestra chairs, wood..... | ..... | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.35 | 0.5 | 0.6 |
| Cushions for pews, per person.... | 1.5 | 1.0 | 1.5 | 1.7 | 1.7 | 1.6 | 1.4 |

† Collected and averaged by author from published data. Numerous incon-
sistencies in the published literature make accurate numbers impossible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค ตารางแสดงค่าแอมพลิจูดสูงสุด - ต่ำสุดที่ความถี่ 125 Hz

| วัสดุ | ความ หนา(cm.) | ความถี่ 125 Hz | | | | |
|---------|------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------------------|
| | | แอมพลิจูด สูงสุด | แอมพลิจูด ต่ำสุดค่าที่ 1 | แอมพลิจูด ต่ำสุดค่าที่ 2 | Impedance Ratio | Absorption Coefficient |
| กระจก | 1 | 93.47 | 55.58 | 56.42 | 82.318 | 0.049 |
| | 2 | 94.51 | 56.07 | 57.34 | 89.897 | 0.046 |
| | 3 | 94.97 | 55.69 | 56.02 | 93.810 | 0.042 |
| คอนกรีต | 1 | 90.89 | 65.04 | 66.32 | 21.110 | 0.184 |
| | 2 | 90.61 | 65.39 | 66.85 | 19.838 | 0.197 |
| | 3 | 91.26 | 66.89 | 67.82 | 17.448 | 0.215 |
| อิฐ | 1 | 87.22 | 67.26 | 68.5 | 10.690 | 0.331 |
| | 2 | 87.98 | 68.64 | 69.19 | 9.566 | 0.351 |
| | 3 | 86.68 | 68.34 | 69.65 | 8.907 | 0.385 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง ตารางแสดงค่าแอมพลิจูดสูงสุด - ต่ำสุดที่ความถี่ 250 Hz

| วัสดุ | ความหนา (cm.) | ความถี่ 250 Hz | | | | |
|---------|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|
| | | แอมพลิจูดสูงสุด | แอมพลิจูดต่ำสุดค่าที่ 1 | แอมพลิจูดต่ำสุดค่าที่ 2 | Impedance Ratio | Absorption Coefficient |
| กระจก | 1 | 94.34 | 56.24 | 57.19 | 84.869 | 0.048 |
| | 2 | 93.97 | 55.38 | 56.47 | 90.521 | 0.045 |
| | 3 | 95.61 | 56.56 | 57.48 | 94.514 | 0.043 |
| คอนกรีต | 1 | 85.29 | 60.37 | 61.62 | 18.934 | 0.203 |
| | 2 | 85.65 | 61.23 | 62.59 | 17.988 | 0.213 |
| | 3 | 86.32 | 62.82 | 63.06 | 15.170 | 0.234 |
| อิฐ | 1 | 88.27 | 68.75 | 69.53 | 9.896 | 0.345 |
| | 2 | 87.43 | 68.37 | 69.19 | 9.408 | 0.360 |
| | 3 | 87.34 | 69.02 | 69.87 | 8.654 | 0.385 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ ตารางแสดงค่าแอมพลิจูดสูงสุด - ต่ำสุดที่ความถี่ 500 Hz

| วัสดุ | ความหนา (cm.) | ความถี่ 500 Hz | | | | |
|---------|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|
| | | แอมพลิจูดสูงสุด | แอมพลิจูดต่ำสุดค่าที่ 1 | แอมพลิจูดต่ำสุดค่าที่ 2 | Impedance Ratio | Absorption Coefficient |
| กระจก | 1 | 92.67 | 54.18 | 55.69 | 91.674 | 0.046 |
| | 2 | 92.36 | 53.18 | 54.94 | 100.693 | 0.043 |
| | 3 | 94.36 | 54.18 | 55.94 | 112.979 | 0.038 |
| คอนกรีต | 1 | 85.32 | 61.21 | 62.55 | 17.338 | 0.220 |
| | 2 | 86.23 | 62.71 | 63.38 | 15.586 | 0.234 |
| | 3 | 86.49 | 63.98 | 64.2 | 13.520 | 0.259 |
| อิฐ | 1 | 87.32 | 69.12 | 70.69 | 8.897 | 0.390 |
| | 2 | 87.89 | 69.68 | 70.54 | 8.550 | 0.389 |
| | 3 | 87.6 | 69.92 | 71.21 | 8.246 | 0.408 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ ตารางแสดงค่าแอมพลิจูดสูงสุด - ต่ำสุดที่ความถี่ 1000 Hz

| วัสดุ | ความหนา (cm.) | ความถี่ 1000 Hz | | | | |
|---------|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|
| | | แอมพลิจูดสูงสุด | แอมพลิจูดต่ำสุดค่าที่ 1 | แอมพลิจูดต่ำสุดค่าที่ 2 | Impedance Ratio | Absorption Coefficient |
| กระงก | 1 | 94.24 | 55.22 | 55.94 | 93.110 | 0.043 |
| | 2 | 93.02 | 53.44 | 54.51 | 101.332 | 0.041 |
| | 3 | 93.22 | 52.01 | 53.42 | 124.666 | 0.034 |
| คอนกรีต | 1 | 86.15 | 63.03 | 64.24 | 15.355 | 0.244 |
| | 2 | 85.2 | 62.56 | 63.88 | 14.621 | 0.255 |
| | 3 | 85.21 | 63.53 | 64.81 | 13.061 | 0.281 |
| อิฐ | 1 | 87.18 | 69.38 | 71.6 | 8.820 | 0.404 |
| | 2 | 86.24 | 68.83 | 70.31 | 8.081 | 0.418 |
| | 3 | 86.92 | 69.56 | 69.86 | 7.507 | 0.420 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข ตารางแสดงค่าแอมพลิจูดสูงสุด-ต่ำสุดที่ความถี่ 2000 Hz

| วัสดุ | ความหนา (cm.) | ความถี่ 2000 Hz | | | | |
|---------|---------------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------------|------------------------|
| | | แอมพลิจูดสูงสุด | แอมพลิจูดต่ำสุดค่าที่1 | แอมพลิจูดต่ำสุดค่าที่2 | Impedance Ratio | Absorption Coefficient |
| กระจก | 1 | 93.82 | 53.56 | 55.94 | 118.168 | 0.038 |
| | 2 | 93.62 | 52.46 | 53.97 | 124.666 | 0.034 |
| | 3 | 93.6 | 51.89 | 52.93 | 129.270 | 0.032 |
| คอนกรีต | 1 | 85.49 | 62.81 | 63.57 | 14.223 | 0.254 |
| | 2 | 87.53 | 65.3 | 66.26 | 13.661 | 0.266 |
| | 3 | 85.92 | 64.54 | 65.16 | 12.147 | 0.289 |
| อิฐ | 1 | 88.39 | 70.38 | 72.34 | 8.902 | 0.396 |
| | 2 | 87.23 | 69.98 | 71.39 | 7.902 | 0.424 |
| | 3 | 86.54 | 69.76 | 70.91 | 7.374 | 0.442 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข ตารางแสดงค่าแอมพลิจูดสูงสุด - ต่ำสุดที่ความถี่ 4000 Hz

| วัสดุ | ความหนา (cm.) | ความถี่ 4000 Hz | | | | |
|---------|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|
| | | แอมพลิจูดสูงสุด | แอมพลิจูดต่ำสุดค่าที่ 1 | แอมพลิจูดต่ำสุดค่าที่ 2 | Impedance Ratio | Absorption Coefficient |
| กระจก | 1 | 95.98 | 54.07 | 55.48 | 135.129 | 0.031 |
| | 2 | 95.73 | 53.42 | 54.84 | 141.579 | 0.030 |
| | 3 | 94.83 | 52.06 | 53.18 | 146.7236 | 0.028 |
| คอนกรีต | 1 | 86.64 | 64.35 | 65.65 | 14.028 | 0.265 |
| | 2 | 87.13 | 65.69 | 66.54 | 12.395 | 0.288 |
| | 3 | 86.97 | 66.57 | 66.11 | 10.197 | 0.318 |
| อิฐ | 1 | 87.45 | 70.54 | 72.63 | 7.902 | 0.437 |
| | 2 | 88.11 | 71.97 | 74.61 | 7.464 | 0.466 |
| | 3 | 88.43 | 72.66 | 75.41 | 7.198 | 0.481 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- 1 Theory of sound ,Macmillan and Co ,Ltd.,London, Vol 2,1896,p.161, paragraph 301.
- 2 Rayleigh, The Theory of Sound, vol2 ,pp.323 ff, paragraph 350.
- 3 Beranek,L.L.,Acoustic Measurements, pp.72,73
- 4 Maling,G..C.Jr., “Calculation of the Acoustic Power Radiated by a Monopole in a Reverberation Chamber,” Journal of the Acoustical Society of America,Vol 42,1967,p 859
- 5 Manual on Presentatain of Data and Control Chart Analysis,ASTM STP 15D,ASTM,1976,Part 3
- 6 Northwoob,T.D “Absorbtion of Diffuse Sound by s Strip or Rectangular Patch of Absorbtive material” Building Research Note . No 44 Nation Research Council, Ottawa,Canada,1964 .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้