รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบการปรับปรุงอะคูสติกภายในห้องบันทึกเสียง ฟีลอิน สตูดิโอ

Acoustic Treatment Design for Feel In Studio

นายจิรายุ งามทอง

นายศุภฤกษ์ รักษา

ภาควิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบการปรับปรุงอะคูสติกภายในห้องบันทึกเสียง ฟีลอิน สตูดิโอ

Acoustic Treatment Design for Feel In Studio

นายจิรายุ งามทอง

นายศุภฤกษ์ รักษา

ภาควิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การออกแบบการปรับปรุงอะคูสติกภายในห้องบันทึกเสียง ฟีลอิน สตูดิโอ

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายจิรายุ งามทอง และ นายศุภฤกษ์ รักษา

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ นายพลสิทธิ์ ทินกร ณ อยุธยา

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายสุวัฒน์ชัย พรกุลวัฒน์

สถานประกอบการ ฟีลอิน สตูดิโอ

บทคัดย่อ

โครงงานการออกแบบการปรับปรุงอะคูสติกภายในห้องบันทึกเสียงฟีลอิน สตูดิโอ จัดทำขึ้นเพื่อดำเนินแผนการปรับปรุงตามที่ผู้ประกอบการต้องการในงบประมาณที่จำกัด โดยปัญหาที่พบคือย่านความถี่ต่ำที่มากจนสังเกตได้ชัดเจน เสียงที่สะท้อนภายในห้อง และเสียงรบกวนที่ผ่านโครงสร้างของห้องบันทึกเสียงเข้ามา แต่เนื่องจากงบประมาณที่จำกัดจึงสามารถแก้ไขได้เฉพาะเรื่องย่านความถี่ต่ำ และ ค่าความก้องสะท้อน หรือที่นิยมเรียกว่าค่า RT60 คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะแก้ไขในส่วนนี้ เพราะทางผู้ประกอบการต้องการห้องที่มีค่าความก้องสะท้อนที่ดีที่สุด งบที่เหลือจากส่วนนี้จะนำมาแก้ไขเรื่องเสียงรบกวนในบางจุดที่เป็นปัญหารองลงมาต่อไป

คำสำคัญ : อะคูสติก / ค่าความก้องสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title: Acoustic Treatment Design for Feel In Studio
Student intern name: Mr. Jirayu Ngamthong and Mr. Suparerk Raksa
Faculty: Engineering **Department:** Computer Engineering
Adviser name: Trophoblast Thinnakorn Na Ayuthaya
Mentor name: Mr. Suwatchai Pornkulwat
Company: Feel In Studio

ABSTRACT

The acoustic treatment design project for Feel In Studio was created to carry out the improvement plans that operators needed in a limited budget. The problem is that the low-frequency band is very noticeable, the echo sound in the room and the emanating sound from the structure of the recording room and control room. But due to the limited budget, it can only be resolved in the low-frequency area and the reverberation time (RT60). We have the idea to fix in these sections because the operator requires the room that has the best reflectance. The remaining statements from these sections will be used to solve the problem of sound leakage in some areas that are minor problems.

Keyword: Acoustic / Reverberation Time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การที่คณะผู้จัดทำได้มาปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ สถานประกอบการ ฟีลอิน สตูดิโอ ตั้งแต่วันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2562 ถึง วันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ส่งผลให้คณะผู้จัดทำได้รับประสบการณ์และความรู้ต่าง ๆ มากมาย สำหรับรายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีจากความร่วมมือ และการสนับสนุนจากหลายฝ่าย ดังนี้

1. คุณสุวัฒน์ชัย พรกุลวัฒน์ เจ้าของสถานประกอบการ ฟีลอิน สตูดิโอ ที่ให้โอกาส และให้การสนับสนุนการศึกษาครั้งนี้จนสำเร็จลงได้ด้วยดี

2. คุณกอบบุญ แฮนเซ่น Managing Director บริษัท แฮนส์ โซลูชั่น จำกัด ที่ให้ยืมอุปกรณ์ช่วยประเมินราคา และเตรียมดำเนินการก่อสร้างจริงโดยใช้แบบที่คณะผู้จัดทำได้ทำการออกแบบมา

3. อาจารย์พลสิทธิ์ ทินกร ณ อยุธยา อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะตลอดจนช่วยแก้ปัญหา ทำให้เกิดความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่คณะผู้จัดทำ

นอกจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ซึ่งให้ความกรุณาแนะนำในการจัดทำโครงงานสหกิจศึกษาฉบับนี้ คณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล ให้ความเข้าใจเกี่ยวกับชีวิตของการปฏิบัติงาน เป็นที่ปรึกษาในการจัดทำโครงงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแล และให้ความเข้าใจเกี่ยวกับชีวิตการทำงานจริง คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

จิรายุ งามทอง และ ศุภฤกษ์ รักษา
คณะผู้จัดทำรายงาน
6 ธันวาคม 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

Abstract II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญภาพ VII

สารบัญตาราง X

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 1

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย 1

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 1

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของเสียง 2

2.2 การเกิดเสียง 3

2.3 ความถี่ 3

2.3.1 ช่วงความถี่ที่หูมนุษย์สามารถได้ยิน 4

2.3.2 ความถี่ของเสียงที่มีผลต่อการรับฟัง 6

2.4 ความเร็วของเสียง 6

2.5 คุณสมบัติของเสียง 9

2.6 ทิศทางของต้นกำเนิดเสียง 10

2.7 ปรากฏการณ์ของเสียง 10

2.7.1 การสะท้อนของเสียง 10

2.7.2 การหักเหของเสียง 12

2.7.3 การเลี้ยวเบนของเสียง 13

2.7.4 การแทรกสอดของคลื่นเสียง 13

2.7.5 การดูดกลืนของเสียง 14

2.8 ค่ามาตรฐานทางระบบอะคูสติก 14

2.8.1 ค่า NC (Noise Criterion) 14

2.8.2 ค่า STC (Sound Transmission Class) 15

2.8.3 ค่า RT60 (Reverberation Time) 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8.4 ค่า SPL (Sound Pressure Level) 17
2.8.5 ค่า SAC (Sound Absorption Coefficient) 17
2.8.6 ค่า NRC (Noise Reduction Coefficient) 17
2.8.7 ค่า TL (Transmission Loss) 18
2.9 การเกิดสัญญาณเสียงย้อนกลับ (Audio Feedback) 19
2.10 กฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) 19
2.11 วัสดุกันเสียง (Acoustic Materials) 19
2.12 การสั่นพ้องของเสียง (Resonance) 20
2.13 การพิจารณาในการออกแบบให้มีการรับฟังเสียงที่ดี 21
2.13.1 การขจัดปัญหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ของเสียงที่ไม่ต้องการ 21
2.13.2 การเพิ่มและลดระดับเสียงในห้อง 24
2.13.3 การเลือกใช้รูปแบบและรูปทรงห้องที่เหมาะสม 24
2.14 เส้นชั้นความดังเสียงเท่า (Equal Loudness Contour) 26
2.15 ค่าถ่วงน้ำหนักความถี่เสียง (Frequency Weighting) 27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย
3.1 เก็บรวบรวมข้อมูล 28
3.1.1 สำรวจสถานที่ 28
3.1.2 โครงสร้างของผนัง 32
3.2 วิเคราะห์ข้อมูล และออกแบบแผนการปรับปรุง 34
3.2.1 วิเคราะห์ปัญหา 34
3.2.2 ความประสงค์ในการปรับปรุง 34
3.2.3 ดำเนินการวัดค่าเก็บเป็นฐานข้อมูล 36
3.2.4 วิเคราะห์ข้อมูล 48
3.2.5 ออกแบบการปรับปรุงแบบ 51
3.3 การประเมินราคา 62
บทที่ 4 ผลการวิจัย
4.1 ผลการออกแบบการปรับปรุงแบบแปลน 63
4.1.1 ค่า RT 60 ก่อนออกแบบ 63
4.1.2 ค่า RT 60 หลังออกแบบ 63
4.2 ผลการประเมินราคา 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลงานวิจัย 65
5.2 ข้อเสนอแนะ 65
เอกสารอ้างอิง 66
ภาคผนวก 67
ประวัติผู้เขียน 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 การเดินทางแบบคลื่นความยาว (Longitudinal Waves) 2
ภาพที่ 2.2 ส่วนสำคัญของคลื่นเสียง แสดงการส่งคลื่น เกิดการอัดและการขยายตัว 3
ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างความถี่ รอบต่อวินาที หรือ Hertz 4
ภาพที่ 2.4 ช่วงความถี่ของเสียงแต่ละเครื่องดนตรี 5
ภาพที่ 2.5 การแก้ไขปัญหาเสียงสะท้อนไปกลับภายในห้องบันทึกเสียง 7
ภาพที่ 2.6 การสะท้อนของเสียง 11
ภาพที่ 2.7 การหักเหของเสียง 12
ภาพที่ 2.8 การเลี้ยวเบนของเสียง 13
ภาพที่ 2.9 มาตรฐานค่า STC ของการบุผนัง 15
ภาพที่ 2.10 RT60 16
ภาพที่ 2.11 การดูดซับเสียงของวัสดุทำให้เสียงที่สะท้อนออกมามีพลังงานน้อยลง 18
ภาพที่ 2.12 เสียงออกจากแหล่งกำเนิดเสียงแล้วสะท้อนกลับสู่หูผู้ฟัง 21
ภาพที่ 2.13 เสียงสะท้อนและเสียงจากต้นกำเนิดเสียงโดยตรงในช่วง 50-60 ฟุต 22
ภาพที่ 2.14 เสียงสะท้อนรวมกันอันเกิดจาก (Concave) 22
ภาพที่ 2.15 ควรแก้ไขพื้นผิวเว้าเข้าด้วยพื้นผิวเว้าออก (Convex) 23
ภาพที่ 2.16 การแก้ไขปัญหา Early Reflection 24
ภาพที่ 2.17 สัดส่วนรูปทรงห้องที่เหมาะสม 25
ภาพที่ 2.18 รูปทรงห้องที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสไม่ต่างจากรูปทรงกลมเท่าใดนัก 25
ภาพที่ 2.19 กราฟ Equal Loudness Contour 26
ภาพที่ 2.20 การตอบสนองความถี่ของ A,C,Z – Frequency Weighting 27
ภาพที่ 3.1 ภาพด้านหน้าอาคาร 29
ภาพที่ 3.2 ภาพบริเวณระเบียงข้างห้องบันทึกเสียง 29
ภาพที่ 3.3 วัสดุที่ใช้บุผนังจากด้านหลัง 30
ภาพที่ 3.4 บริเวณระเบียงหลังห้องบันทึกเสียง 30
ภาพที่ 3.5 ภายในห้องบันทึกเสียง 31
ภาพที่ 3.6 แบบแปลนเก่า มุมมองจากด้านบน 31
ภาพที่ 3.7 ภาพแบบแปลนเก่า มุมมองแบบ Perspective 32
ภาพที่ 3.8 แผ่นยิปซัม 33
ภาพที่ 3.9 ใย Polyester 33
ภาพที่ 3.10 การจำลองชั้นผนัง 34
ภาพที่ 3.11 กระจก Window Bay ด้านข้าง 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3.12 ประตูฝั่งห้อง Live 35
ภาพที่ 3.13 กระจก Window Bay มุมตรง 35
ภาพที่ 3.14 การวัด RT60 36
ภาพที่ 3.15 แผนภูมิแสดงค่า RT60 ภายในห้องควบคุม แบบ 1/3 Octave 37
ภาพที่ 3.16 แผนภูมิแสดงค่า RT60 ภายในห้องควบคุม แบบ 1/1 Octave 37
ภาพที่ 3.17 ภาพการวัด Noise Floor 38
ภาพที่ 3.18 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ย Noise Floor ห้องควบคุมแบบ 1/3 Octave 39
ภาพที่ 3.19 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ย Noise Floor ห้องควบคุมแบบ 1/1 Octave 39
ภาพที่ 3.20 การวัดเสียงบริเวณระเบียง 40
ภาพที่ 3.21 แผนภูมิแสดงระดับเสียงเฉลี่ยบริเวณระเบียงแบบ 1/3 Octave 41
ภาพที่ 3.22 แผนภูมิแสดงระดับเสียงเฉลี่ยบริเวณระเบียงแบบ 1/1 Octave 41
ภาพที่ 3.23 การวัดระดับเสียงอ้างอิง 42
ภาพที่ 3.24 แผนภูมิแสดงระดับเสียงอ้างอิงแบบ 1/3 Octave 43
ภาพที่ 3.25 แผนภูมิแสดงระดับเสียงอ้างอิงแบบ 1/1 Octave 43
ภาพที่ 3.26 การวัดระดับเสียงที่ลอดผ่านผนังกั้นกลาง 44
ภาพที่ 3.27 แผนภูมิแสดงระดับเสียงที่ลอดผ่านผนังกั้นกลางแบบ 1/3 Octave 45
ภาพที่ 3.28 แผนภูมิแสดงระดับเสียงที่ลอดผ่านผนังกั้นกลางแบบ 1/1 Octave 45
ภาพที่ 3.29 การวัดระดับเสียงที่ลอดผ่านผนังล้อมรอบ 46
ภาพที่ 3.30 แผนภูมิแสดงระดับเสียงที่ลอดผ่านผนังล้อมรอบแบบ 1/3 Octave 47
ภาพที่ 3.31 แผนภูมิแสดงระดับเสียงที่ลอดผ่านผนังล้อมรอบ แบบ 1/1 Octave 47
ภาพที่ 3.32 แผนภูมิแสดงค่า RT60 ภายในห้องควบคุม แบบ 1/1 Octave 48
ภาพที่ 3.33 ส่วนประกอบของผนัง 48
ภาพที่ 3.34 กราฟแสดงค่า NC ของห้องควบคุม 49
ภาพที่ 3.35 กราฟแสดงค่า STC ของผนังกั้นกลางระหว่างห้อง Live กับห้องควบคุม 50
ภาพที่ 3.36 กราฟแสดงค่า STC ของผนังที่ล้อมรอบห้อง 50
ภาพที่ 3.37 การออกแบบผนังที่จะใช้ในการปรับปรุง 51
ภาพที่ 3.38 การออกแบบพื้นผิวผนังห้อง 52
ภาพที่ 3.39 Gyptone Activ'Air BIG™ Quattro 41 52
ภาพที่ 3.40 ตำแหน่งการติดตั้ง Gyptone บนฝ้าเพดาน 53
ภาพที่ 3.41 Bass Trap ที่ติดตั้งบริเวณมุมห้อง 53
ภาพที่ 3.42 Acoustic Panel 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3.43 การแก้ปัญหา Early Reflection 54
ภาพที่ 3.44 ทิศทางการสะท้อนของเสียงภายในห้อง 55
ภาพที่ 3.44 การออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหา Early Reflection 55
ภาพที่ 3.45 ทิศทางของเสียงที่กระทบฝ้าเอียงและ Diffuser 56
ภาพที่ 3.46 ทิศทางของเสียงที่ Diffuser 56
ภาพที่ 3.47 เวทียกพื้นกลอง 57
ภาพที่ 3.48 เต๋ายาง 57
ภาพที่ 3.49 ใยแก้ว 57
ภาพที่ 3.50 โครงเหล็ก 58
ภาพที่ 3.51 วีว่าบอร์ด ขนาด 20 มิลลิเมตร 58
ภาพที่ 3.52 โครงสร้างในการประกอบวัสดุ 58
ภาพที่ 3.53 ประตูปูผิวด้วยพรม 59
ภาพที่ 3.54 มุมมองด้านหน้าของแบบ 59
ภาพที่ 3.55 มุมมองด้านหลังของแบบ 60
ภาพที่ 3.56 มุมมองด้านซ้ายของแบบ 60
ภาพที่ 3.57 มุมมองด้านขวาของแบบ 60
ภาพที่ 3.58 แผนภูมิแสดงค่า RT60 จำลองผลหลังการสร้างจริง 61
ภาพที่ 4.1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่า RT60 ระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงอะคูสติก 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงผ่านตัวกลางทั้ง 3 สถานะ 8
ตารางที่ 2.2 มาตรฐานค่า NC ของสถานที่ต่าง ๆ 15
ตารางที่ 2.3 แสดงค่า RT60 ที่เหมาะสมสำหรับห้องแต่ละรูปแบบ..... 16
ตารางที่ 2.4 ตารางตัวอย่างค่า SAC และ NRC ของวัสดุ..... 18
ตารางที่ 3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การซับเสียงของวัสดุโฟม..... 51
ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุทั้งหมดที่ใช้ในการออกแบบ (α) 61
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่า RT60 ระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงอะคูสติก..... 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ฟีลอิน สตูดิโอ เป็นสถานประกอบการห้องบันทึกเสียงมาตรฐาน และห้องซ้อมดนตรีขนาดกลาง สามารถบันทึกเสียงเครื่องดนตรีพร้อมกันได้หลายชิ้น พร้อมบริการมิกซ์ และมาสเตอร์ เริ่มเปิดทำการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 จนถึงปัจจุบัน

เนื่องด้วย ฟีลอิน สตูดิโอ ตั้งอยู่บริเวณสถานีรถไฟฟ้า MRT วงศ์สว่าง การจราจรบริเวณดังกล่าวจึงค่อนข้างติดขัดจนทำให้เกิดเสียงรบกวนขณะทำงาน นอกจากนี้ยังพบปัญหาความก้องสะท้อนของห้องในย่านความถี่เสียงต่ำที่มีค่อนข้างมาก และปัญหาเสียงสะท้อนบริเวณด้านข้างตำแหน่งการฟังของวิศวกรเสียง หลังจากผู้ประกอบการได้พบเห็นอุปสรรคต่าง ๆ ในการทำงาน จึงมีแผนที่จะเตรียมปรับปรุงแก้ไขสภาพอะคูสติกของห้องบันทึกเสียง เพื่อทำให้วิศวกรเสียงทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อแก้ปัญหาเสียงก้องสะท้อนภายใน และเสียงรบกวนจากภายนอกห้อง

1.2.2 เพื่อดำเนินการออกแบบแผนการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น

1.3.2 วิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงสภาพอะคูสติก

1.3.3 วิเคราะห์ผลการแก้ไขปรับปรุงห้อง โดยเทียบกับข้อมูลก่อนการปรับปรุง

1.3.4 เนื่องจากในระยะแรกมีงบประมาณจำกัดอยู่ที่ 400,000 บาท หากจะออกแบบให้ครอบคลุมความต้องการทั้งหมดของผู้ประกอบการ จำเป็นต้องเพิ่มเงินอีกเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงตัดสินใจเปลี่ยนไปลงทุนด้านการปรับปรุงสภาพอะคูสติกเป็นหลัก และแก้ไขเรื่องเสียงรบกวนเฉพาะส่วนที่จำเป็นที่สุดโดยเพิ่มงบประมาณเป็น 500,000 บาท

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 เก็บรวบรวมข้อมูล

1.4.2 วิเคราะห์ข้อมูล และออกแบบแผนการปรับปรุง

1.4.3 ประเมินราคา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาครั้งนี้ ทางคณะผู้จัดทำหวังว่าจะสามารถช่วยแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องตรงตามความต้องการของผู้ประกอบการ ซึ่งจะสามารถเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลของห้องบันทึกเสียงได้ และจะนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในภายภาคหน้า

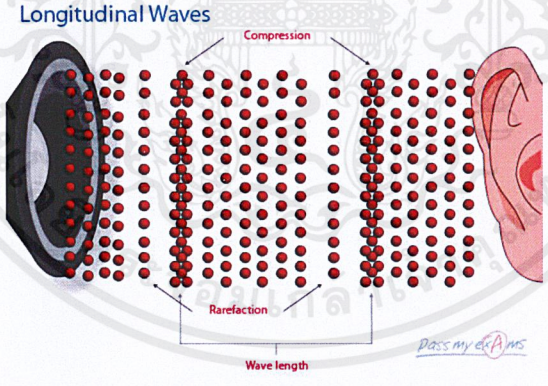
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของเสียง

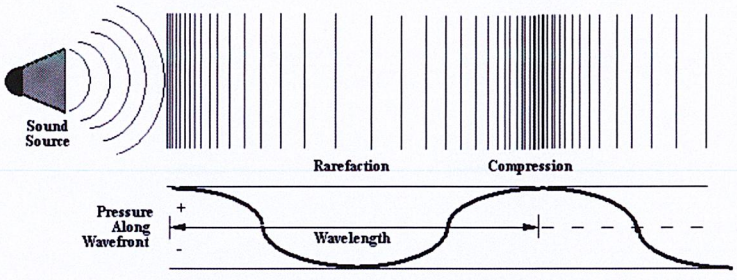
เสียงคือคลื่นชนิดหนึ่งที่ทำให้เกิดโสตสัมผัส คือหูที่อยู่ในสภาพปกติสามารถได้ยินได้ เสียงเป็นคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนในอากาศ และวัตถุอย่างอื่น การสั่นสะเทือนนี้ทำให้โมเลกุลของตัวกลางเกิดการสั่นไปด้วย อันเป็นผลทำให้เสียงแผ่ไปได้ในตัวกลางนั้น ทิศทางการสั่นของโมเลกุลของตัวกลางจะขนานกับทิศทางการแผ่ของเสียง อันเป็นสมบัติของคลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการแผ่ เมื่อมีการถ่ายทอดคลื่นตัวกลางนี้จะต้องมีการยืดหยุ่น (Elasticity) ของโมเลกุลของวัตถุซึ่งตัวกลาง (Medium) ที่กล่าวถึงนี้จะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซได้ แต่ในสุญญากาศเสียงจะผ่านไม่ได้เลย คลื่นเสียงจัดว่าเป็นคลื่นกล (Mechanical Wave) ชนิดหนึ่ง

การเกิดคลื่นเสียงในอากาศอันเกิดจากการสั่นของต้นกำเนิดเสียงนั้น ทำให้โมเลกุลใน อากาศเกิดการเคลื่อนที่เรียกว่า Wave Motion หรือการเคลื่อนไหวของคลื่นใน 2 ลักษณะ คือ ในลักษณะ ที่เป็นช่วงอัด หรืออากาศทั้งสองนี้เกิดเป็นคลื่นขึ้นแผ่ออกไปรอบ ๆ ด้าน ถ้าเป็นเสียงค่อยคลื่นเสียงจะเล็กและเงียบหายไปได้เร็ว ถ้าเป็นเสียงดังคลื่นเสียงจะใหญ่ และค่อย ๆ หายไปอย่างช้า ๆ ลักษณะที่กล่าวนี้เป็นปรากฏการณ์ของคลื่นที่เราเรียกว่า แอมพลิจูด (Amplitude)



ภาพที่ 2.1 การเดินทางแบบคลื่นความยาว (Longitudinal Waves)
ที่มา : https://jamenestle.wordpress.com/2015/07/27/การเกิดคลื่นเสียง-และ-กา/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 ส่วนสำคัญของคลื่นเสียง แสดงการส่งคลื่น เกิดการอัดและการขยายตัว
ที่มา : http://www.csun.edu/~psk17793/S9CP/S9%20What_is_sound_1.htm

ในภาพที่ 2.2 แสดงการส่งคลื่นนั้นเกิดติดต่อกันไปทำให้เกิดการอัด (Compression) และการขยาย (Rarefaction) ช่วงของคลื่นขึ้นเรียกว่าแอมพลิจูด (Amplitude) แอมพลิจูดหมายถึง ระยะการกระจัด (Displacement) ที่มีค่ามากที่สุดจากแนวสมดุลไปยังสันคลื่นหรือท้องคลื่น อธิบายง่าย ๆ คือ แอมพลิจูดเป็นตัวแสดงกับพลังงานของคลื่นนั้นเอง ถ้าแอมพลิจูดพุ่งขึ้นสูง แสดงว่าพลังงานของคลื่นมีค่ามาก แต่ถ้าแอมพลิจูดต่ำพลังงานของคลื่นจะมีค่าน้อย เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่าแอมพลิจูดของคลื่นเสียงแสดงถึงความดังค่อยของเสียง ส่วนความยาวของคลื่น (Wavelength) นั้นคือระยะทางที่เสียงเดินทางไปได้ในช่วงเวลาที่ตัวกลางครบ 1 รอบโดยใช้สัญลักษณ์ λ (Lambda) แทนความยาวคลื่น

2.2 การเกิดเสียง

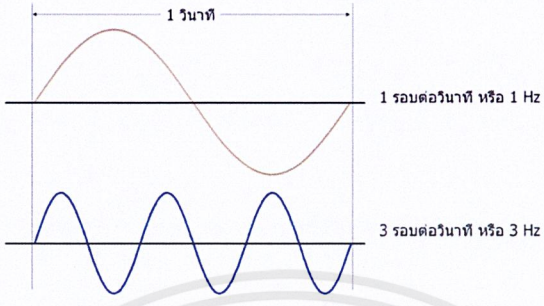
เสียงเกิดขึ้นเมื่อวัตถุหรือแหล่งกำเนิดเสียงมีการสั่นสะเทือนส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของอากาศที่อยู่โดยรอบ กล่าวคือ โมเลกุลของอากาศเหล่านั้นจะเคลื่อนที่จากตำแหน่งแหล่งกำเนิดเสียงไปชนกับโมเลกุลของอากาศที่อยู่ถัดออกไปจะเกิดการถ่ายโอนโมเมนตัมจากโมเลกุลที่มีการเคลื่อนที่ไปให้กับโมเลกุลของอากาศที่อยู่ในสภาวะปกติ จากนั้นโมเลกุลที่ชนกันจะแยกออกจากกันโดยโมเลกุลของอากาศที่เคลื่อนที่มาชนจะถูกดึงกลับไปยังตำแหน่งเดิมด้วยแรงปฏิกิริยา โมเลกุลที่ได้รับการถ่ายโอนพลังงานก็จะเคลื่อนที่ต่อไปและไปชนกับโมเลกุลของอากาศที่อยู่ถัดไป เป็นดังนี้ไปเรื่อย ๆ จนเคลื่อนที่ไปถึงหูจนเกิดการได้ยินขึ้น ปรากฏการณ์นี้จะเกิดสลับกันไปมาได้เมื่อสื่อกลางหรือตัวกลางคือ อากาศ ซึ่งมีคุณสมบัติยืดหยุ่น การเคลื่อนที่ของโมเลกุลอากาศจะเกิดเป็นคลื่นเสียง

ในการแยกแยะเสียงสูงและเสียงต่ำนั้น ขึ้นอยู่กับความเร็วในการสั่นสะเทือนของวัตถุ วัตถุที่สั่นเร็วเสียงจะสูงกว่าวัตถุที่สั่นช้ากว่า โดยจะมีหน่วยวัดความถี่ (Frequency) ของการสั่นสะเทือนต่อวินาทีเป็นเฮิรตซ์ (Hz) เช่น ความถี่ 1000 Hz คือการสั่นสะเทือน 1000 ครั้งต่อวินาทีนั้นเอง ความถี่ของเสียงจะมีค่าเท่ากับความถี่ของแหล่งกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความถี่ (Frequency)

ความถี่มีหน่วยเป็น Hertz (Hz) หรือรอบต่อวินาที หมายความว่าภายใน 1 วินาที มีคลื่นทั้งหมดกี่รอบ



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างความถี่ รอบต่อวินาที หรือ Hertz

ที่มา : http://www.zen-acoustic.com/sound-frequency.html

ความถี่ของเสียงคิดเป็นจำนวนรอบหรือต่อวินาที สำหรับหูของคนนั้นมีความไวมากที่สุดต่อเสียงที่มีความถี่ระหว่าง 2,000 Hz ถึง 4,000 Hz

2.3.1 ช่วงความถี่ที่หูมนุษย์สามารถได้ยิน

โดยปกติหูคนสามารถได้ยินเสียงในช่วงความถี่ 20 Hz ถึง 20,000 Hz คลื่นเสียงที่มีความถี่ สูงกว่า 20,000 Hz นั้น เรียกว่า Super-sonic ส่วนเสียงที่ความถี่ต่ำกว่า 20 Hz เรียกว่า Sub-sonic หาก ความถี่มากขึ้นเท่าตัว ก็จะมีระดับเสียงสูงขึ้นเท่ากับ 1 octave เช่น จาก 20 Hz เป็น 40 Hz เป็นต้น ซึ่ง สำหรับในการเครื่องเสียงแล้วสามารถแบ่งย่านความถี่ของเสียงได้ดังนี้

2.3.1.1 ย่าน Deep bass มีความถี่ประมาณ 20-40 Hz ช่วงความถี่เบสนี้ส่วนใหญ่จะ สามารถรับรู้จากความรู้สึก มากกว่าจากการได้ยิน มักเป็นเสียงของการสั่นสะเทือนของโครงสร้างขนาดใหญ่ เสียงระเบิด หรือกลองขนาดใหญ่

2.3.1.2 ย่าน Mid bass มีความถี่ประมาณ 40-100 Hz ช่วงนี้จะเป็นย่านเสียงเบสที่มี ความรู้สึกกระแทกกระทั้น เช่น เสียงกลองกระเดื่อง ช่วงความถี่นี้มักเป็นช่วงเบสที่ให้จังหวะ ให้ความสนุก ในการรับฟัง

2.3.1.3 ย่าน Upper Bass มีความถี่ประมาณ 100-250 Hz ช่วงนี้จะเป็นย่านเสียงเบสที่ ให้ความรู้สึกว่าเสียงหนาหรือบาง เช่น เครื่องสายพวกกีต้าร์เบสหรือ Cello ถ้าเบสในย่านความถี่นี้มีมาก เกินไปก็อาจทำให้รู้สึกอึดอัด ในขณะเดียวกันหากมีน้อยเกินไปก็จะทำให้รู้สึกว่าเสียงบางไม่น่าฟัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

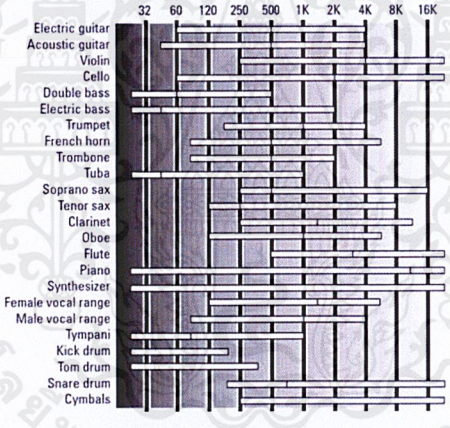
2.3.1.4 ย่าน Lower Midrange มีความถี่ประมาณ 250-800 Hz ย่านนี้จะครอบคลุม เสียงกีต้าร์ รวมทั้งเสียงนักร้องผู้ชาย เป็นเสียงที่เปล่งจากหน้าอก เป็นย่านความถี่ที่ให้ความรู้สึกไปในทาง Warmth ถ้าน้อยเกินไป เสียงโดยรวมจะรู้สึกว่าแห้งและบาง ไม่มีเนื้อเสียง

2.3.1.5 ย่าน Midrange มีความถี่ประมาณ 800-2,000 Hz ในย่านนี้ครอบคลุมเสียงร้อง ทั้งชายและหญิง รวมทั้งเครื่องดนตรีหลายชนิด เป็นย่านความถี่ที่สำคัญมากต่อการรับฟัง

2.3.1.6 ย่าน Upper Midrange หรือ Lower Treble มีความถี่ประมาณ 2,000-5,000 Hz ย่านนี้จะมีเสียงเครื่องเป่า กีตาร์ ถ้าย่านความถี่นี้มากเกินไป หูจะเกิดอาการล้าได้ง่าย

2.3.1.7 ย่าน Treble ประมาณ 5,000-10,000 Hz ได้แก่เครื่องดนตรีประเภทเครื่องเคาะ percussion เสียงร้องตัวเอส Sibilance เป็นย่านความถี่ซึ่งให้ลักษณะความกังวานของเสียง

2.3.1.8 ย่าน Upper Treble ประมาณ 10,000-20,000 Hz เป็นย่านความถี่ปลายเสียง แหลมซึ่งให้ลักษณะของบรรยากาศในการรับฟัง หากมีน้อยเกินไปก็จะทำให้รู้สึกว่าเสียงทึบ



ภาพที่ 2.4 ช่วงความถี่ของเสียงแต่ละเครื่องดนตรี

ที่มา : https://www.dummies.com/home-garden/car-repair/frequency-range-of-musical-instruments-for-car-audio/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ความถี่ของเสียงที่มีผลต่อการรับฟัง

หูของมนุษย์ เป็นอวัยวะที่มีความสามารถในการตรวจจับคลื่นเสียง โดยส่วนของแก้วหู (Ear Drum) ซึ่งเป็นแผ่นเนื้อเยื่อที่เบาและอ่อนบางมาก ๆ จะสั่นไหวมากน้อย หรือ ช้าเร็วตามความผันแปรของความดันอากาศที่เดินทางเข้ามาในช่องหู (Ear Channel) ซึ่งความถี่มีผลต่อการได้ยินของหู ดังนี้

2.3.2.1 ความถี่สูง

ความถี่สูงจะมีความยาวคลื่นสั้นกว่าความถี่ต่ำ เมื่อเสียงเดินทางผ่านอากาศมาที่หูข้างใดข้างหนึ่งของเราแล้วผ่านไปยังอีกข้างหนึ่งสมองจะสามารถรับรู้ได้ว่าได้ยินจากหูข้างไหนก่อน ทำให้เราจับทิศทางของเสียงได้ว่ามาจากทิศทางใด

2.3.1.2 ความถี่ต่ำ

ความถี่ต่ำจะมีความยาวคลื่นมากกว่าความถี่สูง เมื่อเสียงเดินทางผ่านอากาศมาที่หูข้างใดข้างหนึ่งของเราแล้วผ่านไปยังอีกข้างหนึ่งเกือบจะพร้อมกัน สมองจะไม่สามารถรับรู้ได้ว่าได้ยินจากหูข้างไหนก่อน ทำให้เราไม่สามารถจับทิศทางของเสียงได้ว่ามาจากทิศทางใด

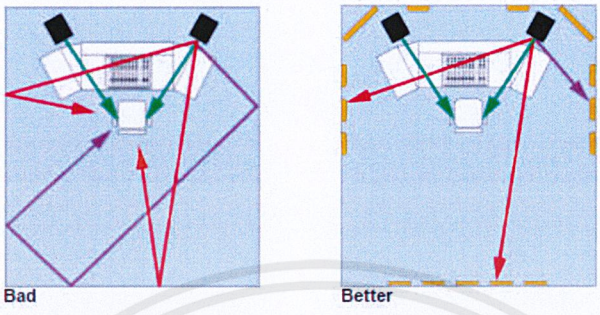
เมื่ออยู่ในที่ไม่มีเสียง (ห้องที่เงียบ) หูของมนุษย์จะมีความไวในการรับเสียงที่สูง สามารถรับรายละเอียดต่าง ๆ ได้ดี แต่เมื่ออยู่ในที่มีเสียงดัง (บนถนน) มีความไวในการรับเสียงที่ต่ำ ไม่สามารถรับรายละเอียดต่าง ๆ ได้ดี หูของมนุษย์สามารถรับฟังความถี่ของเสียงได้ในช่วง 80 Hz ถึง 16 kHz 6 ระดับ ความดังของเสียงที่ใช้ในการสนทนา ซึ่งสามารถรับฟังได้ดีคือ ประมาณ 50 ถึง 65 dB หูของมนุษย์ไม่ สามารถรับรู้ความแตกต่างของเสียงที่มาต่างกันในช่วงเวลาที่น้อยกว่า 25 millisecond หรือ ประมาณไม่ เกิน 10 เมตร การเปลี่ยนอัตราการขยาย 3 dB จะไม่รู้ว่าเสียงที่ได้ยินมีการเปลี่ยน (ต้องเพิ่ม Power 2 เท่า จากเดิม) การเปลี่ยนอัตราการขยาย 6 dB และจะรู้ว่าเสียงที่ได้ยินมีการเปลี่ยน (ต้องเพิ่ม Power 4 เท่า จากเดิม) การเปลี่ยนอัตราการขยาย 9 dB จะรู้ว่าเสียงที่ได้ยินมีการเปลี่ยนเป็น 2 เท่า (ต้องเพิ่ม Power 8 เท่าจากเดิม)

2.4 ความเร็วของเสียง (Speed of Sound)

ถ้าเสียงเดินทางได้เร็วเท่า ๆ กับแสง ซึ่งเดินทางเร็วถึง 186,000 ไมล์ต่อวินาที ปัญหาเรื่องการรับฟังเสียงที่ดีในหอประชุมใหญ่ หรือการบันทึกเสียงในสตูดิโอที่เป็นปัญหาในการบันทึกเสียงและผสมเสียงก็จะไม่เกิดขึ้น แต่การเดินทางของคลื่นเสียงแต่ละตัวช้า มากทำให้เกิดปัญหาตามมาในเรื่องของการได้ยิน ในอุณหภูมิปกติของห้องทั่ว ๆ ไป เสียงจะเดินทางได้เร็วเพียง 1,130 ฟุตต่อวินาที เท่านั้น และสิ่งที่เกิดขึ้นก็คือการเกิดการสะท้อนของเสียง Echoes นั้นเอง ตัวอย่างเช่น เมื่อเสียงวิ่งออกจากต้นกำเนิดของเสียง คลื่นเสียงจะเกิดเป็น 2 ลักษณะ คือ คลื่นเสียงที่วิ่งตรงเข้าหูผู้ฟัง กับคลื่นเสียงที่วิ่งกระจายจากต้นกำเนิดเสียงไปสัมผัสกับวัตถุอื่น ๆ ของห้อง เช่น ผนัง เพดาน พื้น หรือเครื่องเรือน แล้วจึงสะท้อนกลับเข้าหูผู้ฟังอีกทีหนึ่ง คลื่นเสียงลักษณะที่ 2 นี้ คือตัวปัญหา ถ้าคลื่น วิ่งเข้าสู่หูเราช้ากว่าคลื่นเสียงประเภทแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียง 0.058 วินาที ก็จะเกิดเสียงก้องหรือเสียงสะท้อนให้รำคาญหูมากขึ้น การรับฟังเสียงจึงไม่สู้ดีนัก อาจจะเกิดความสับสนในเสียงที่ได้ยิน เพราะฉะนั้นความเร็วเสียงจึงมีความสำคัญมากต่อการรับฟังที่ดี ซึ่งเราควรปรับปรุงแก้ไขดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การแก้ไขปัญหาเสียงสะท้อนไปกลับภายในห้องบันทึกเสียง
ที่มา : https://fullenglish.co/blog/2017/2/21/how-to-build-an-acoustic-diffuser

อย่างไรก็ตาม ความเร็วของเสียงไม่ได้ขึ้นอยู่กับความถี่หรือความเข้มเสียง (Intensity) หรือความดันของอากาศแต่ประการใด หากแต่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของอากาศต่างหาก ที่อุณหภูมิห้องเราคิดความเร็วของอากาศ 1,130 ฟุต/วินาที (331เมตร/วินาที) ถ้าอุณหภูมิในอากาศสูงขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์ ความเร็วของเสียงจะเพิ่มขึ้น 1.1 ฟุต ต่อวินาที หรืออุณหภูมิในอากาศสูงขึ้น 1 องศาเซนติเกรด ความเร็วของเสียงจะเพิ่มขึ้น 61 เซนติเมตร

ในวัสดุชนิดอื่น ๆ นอกจากในอากาศแห้ง ความเร็วของเสียงผ่านตัวกลางจะไม่เท่ากัน ดังเช่นตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงผ่านตัวกลางทั้ง 3 สถานะ

ตัวกลาง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)
ก๊าซ (Gases)		
อากาศ	0	331
อากาศ	20	343
ฮีเลียม	0	965
ไฮโดรเจน	20	1,286
ของเหลว (Liquids)		
ปรอท	25	1,450
น้ำ	25	1,493
น้ำทะเล	25	1,533
ของแข็ง (Solids)		
ยาง	–	60
ทองคำ	–	3,240
แก้ว	–	5,640
เหล็ก	–	5,960
เพชร	–	12,000

ที่มา : https://ngthai.com/science/24180/soundwave/

ไม่แม้แต่ตัวกลางจะมีผลแล้ว อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปก็มีผลเช่นกัน รวมทั้งทิศทางกระแสลมด้วย ทำให้การทำงานด้านประเภท Outdoor จะมีปัญหาเสียงนั้นมาคงที่เพราะมีตัวแปรหลายอย่างที่มีผลทำให้เสียงเคลื่อนที่เพี้ยนไป

เมื่อความยาวคลื่น (Wavelength) ความถี่ (Frequency) และความเร็วของเสียง (Speed หรือ Velocity of Sound) แล้ว สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\boldsymbol{V = f\lambda}$$

(Velocity คือ ความเร็วของเสียงที่มีทิศทางแน่นอน)

คลื่นที่วิ่งครบ 1 รอบ ใน 1 วินาที เรียกว่า ความยาวคลื่น (Wavelength) ถ้าความถี่เป็น 256 รอบ (เสียงมาตรฐานเปียโนมิเตอร์ C) ความเร็วของอากาศ 1,130 ฟุต/วินาที จะได้ความยาวคลื่น 4.4 ฟุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 คุณสมบัติของเสียง

เสียงมีคุณสมบัติหรือลักษณะ (Characteristics) ที่สำคัญอยู่ 3 ประการคือ

2.5.1 ความเข้มเสียง (Intensity)

2.5.2 เสียงสูงต่ำ (Pitch)

2.5.3 คุณภาพของเสียง (Tone Quality)

ดังนั้นจึงได้เห็นแล้วว่าคลื่นเสียงอันเกิดจากเครื่องดนตรีจะมีพลังงานของเสียงมาก และมากกว่าเสียงมนุษย์ เสียงที่มีความดังมากเป็นเสียงที่มีพลังงานมาก เรียกว่าเสียงมีความถี่เข้มมาก สังเกตได้จากความถี่ของเสียงตามหลักกระทรวงวิทยาศาสตร์ การวัดความดังโดยอาศัยการวัดพลังงานต่อปริมาตรของอากาศ ที่เสียงนั้นผ่านไป หรืออีกนัยหนึ่ง คลื่นเสียงเป็นพลังงานที่ผ่านเข้าไปในสสาร พลังงานมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) เหมือนเช่นไฟฟ้า แต่วัตต์ในวิชาเสียงจะมากเกินไป จึงมักจะใช้เศษหนึ่งส่วนล้านของวัตต์ 1/100,000 x 1 x 10^{-6} หรือไมโครวัตต์ (Micro-Watt) เป็นเกณฑ์ 1 ไมโครวัตต์ จึงมีค่าเป็น 10^{-6} จูล ต่อ 1 วินาที หรือ 10 เฮิรตซ์ต่อวินาที

ความเข้มของเสียงตามหลักวิชาฟิสิกส์อาจกล่าวได้ว่าเป็นพลังงานต่อวินาทีหรือกำลัง (คิดเป็นไมโครวัตต์) ที่ผ่านเข้ามาในเนื้อที่ตั้งฉาก 1 ตารางเซนติเมตร โดยทั่วไปจะมีหน่วยวัดเป็นวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (Watt/cm^2) สามารถเขียนสมการของความเข้มของเสียงได้ว่า

$$I = \frac{P}{A}$$

โดย I เป็นความเข้มของเสียง (Intensity)

P เป็นกำลังของเสียง (Power)

A เป็นพื้นที่ที่เสียงนั้นผ่านไปได้ (Area)

แหล่งกำเนิดเสียงโดยทั่วไปแผ่นเสียงออกมาเป็นรูปทรงกลม เพราะฉะนั้น Area มีค่าเป็น $4\pi r^2$

ส่วน P เมื่อมีค่าของพลังงานต่อเวลาเป็น E (Energy) เวลาคือ t จะได้สูตรเป็น $I = \frac{E}{4\pi r^2 t}$

หากต้องการเปรียบเทียบกำลังของเสียง สามารถยกตัวอย่างให้เห็นว่าโดยเฉลี่ยแล้วกำลังของเสียงของผู้พูดในห้องประชุมใหญ่จะมีความแรงหรือพลังงานงานประมาณ 25 ถึง 50 ไมโครวัตต์ ถ้าต้องการให้มีกำลังเท่ากับ 1 แรงม้า จะต้องใช้ผู้พูดถึง 15 ล้านคน เพราะฉะนั้นในทางกลับกันหากใช้เครื่องขยายเสียง และมีลำโพงที่มีกำลัง 50 ไมโครวัตต์ ก็จะได้ยินเสียงทั้งห้อง

การวัดระดับความเข้มของเสียง จะมีค่าเป็นเบล (Bel) แต่เพื่อความสะดวกในการใช้วัด จึง ได้มีการเปลี่ยนจากเบลเป็นเดซิเบล (Decibel) ซึ่งมีค่า 1 เบล เท่ากับ 10 เดซิเบล เขียนตัวย่อเป็น dB ขอให้สังเกตตัวอักษร บี เป็นตัวใหญ่เพื่อให้เกียรติแก่ อเล็กซานเดอร์ กราแฮม เบล (Alexander Graham Bell) ผู้ประดิษฐ์โทรศัพท์ขึ้นเป็นคนแรกของโลก ระดับความเข้มของเสียงที่น้อยที่สุดที่ประสาทหูของคนเราจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับรู้ได้จะมีค่าเป็น 0 เดซิเบล และระดับความเข้มมากที่สุดที่หูของคนจะรับฟังได้โดยไม่เป็นอันตรายมีค่าเป็น 120 เดซิเบล

เดซิเบลเป็นหน่วยวัดปริมาตรของอัตราส่วนของพลังงานสองชนิด คือความเข้มของเสียง (Intensity) กับความดันของเสียง (Sound Pressure) อุปกรณ์ที่ใช้วัดเรียกว่า เครื่องวัดระดับความเข้มเสียง (Sound Level Meter) มีหน่วยเป็นเบล หรือเดซิเบล หรือวัตต์ต่อวินาที อุปกรณ์นี้ประกอบด้วยไมโครโฟน และอุปกรณ์อื่นที่อาจวัด ความเข้มของเสียงได้โดยตรง โดยทำหน้าที่ไปเปลี่ยนพลังงานเสียงเป็นพลังงานไฟฟ้า ถ้าค่าของความเข้ม เสียงเท่ากับ I_0 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และมีความดันของเสียง 0.0002 ไดน์ (Dyne) ต่อตาราง เซนติเมตร $I_0 = 10^{-16}$

2.6 ทิศทางของต้นกำเนิดเสียง

ทิศทางของต้นกำเนิดของเสียง เป็นลักษณะของเสียงที่มีความสำคัญมากต่อการได้ยินที่ดี รวมทั้งการเพิ่มพลังการได้ยินของเสียงด้วยสำโพงและเครื่องขยายเสียง (Sound-Amplification Systems) ต้นกำเนิดของเสียงจะมีคุณสมบัติดังนี้ คือ

2.6.1 เมื่อคลื่นเสียง (Wavelength) มีขนาดใหญ่ พลังงานที่เกิดขึ้นจะกระจายออกมาอย่างสม่ำเสมอทั่วทุกทิศ

2.6.2 เมื่อคลื่นเสียงมีขนาดเล็ก การกระจายจะไม่เกิดขึ้นทั่วทิศทาง หากจะเกิดเป็นลำเสียงแคบ ๆ (Narrow Beam) หากความถี่ยิ่งสูงเพียงใด ลำเสียงก็จะยิ่งแคบและแหลมขึ้น

ด้วยเหตุนี้ ผู้ฟังในหอประชุมใหญ่จะได้ยินเสียงที่ออกมาจากลำโพงของเครื่องขยายเสียงที่มีความถี่ต่ำได้ทั่วถึงกันหมด ส่วนผู้ที่ไม่ได้อยู่ในบริเวณด้านหน้าของลำโพงจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงลดน้อยลงไป

2.7 ปรากฏการณ์ของเสียง

เนื่องจากเสียงเป็นคลื่น เช่นเดียวกับคลื่นแสง และคลื่นน้ำ เสียงจึงมีคุณสมบัติของคลื่นครบทุกประการ นั่นคือ การสะท้อนของเสียง การแทรกสอดของเสียง การหักเหหรือการเลี้ยวหักมุมของเสียง การเลี้ยวเบนของเสียง และการดูดคลื่นเสียง

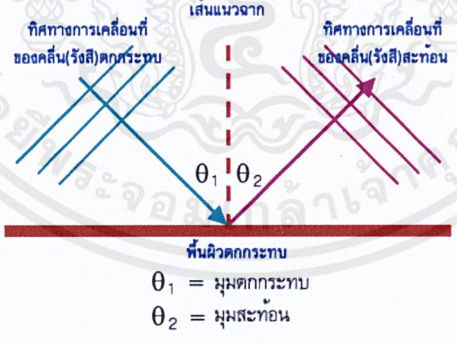
2.7.1 การสะท้อนของเสียง (Reflection of Sound)

คือ การที่คลื่นเคลื่อนที่ไปตกกระทบกับสิ่งกีดขวาง หรือรอยต่อระหว่างตัวกลางแล้วเปลี่ยนทิศสะท้อนกลับมาในตัวกลางเดิม ปรากฏการณ์ที่เรามักเห็นได้บ่อยในเรื่องการสะท้อนคือการได้ยินเสียงก้อง ซึ่งเกิดจากการที่คลื่นเสียงวิ่งไปกระทบกับสิ่งกีดขวาง เช่น กำแพง แล้วสะท้อนกลับมาโดยที่ระยะเวลาในการเดินทางไปและกลับมีค่ามากพอที่หูเราจะแยกได้ เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ไปจะทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่นขึ้นสั่นลง และเมื่อคลื่นผิวน้ำกระทบสิ่งกีดขวางหรือผิวสะท้อนจะเปลี่ยนทิศทางกลับสู่ตัวกลางเดิม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การสะท้อน (Reflection) คลื่นที่เคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า คลื่นตกกระทบ (Incident Wave) ส่วนคลื่นที่สะท้อนออกมา เรียกว่า คลื่นสะท้อน (Reflected Wave) จากการทดลองการสะท้อนของคลื่นผิวน้ำเส้นตรง พบว่าในการสะท้อนแต่ละครั้ง มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบทำกับผิวสะท้อน จะเท่ากับมุมที่หน้าคลื่นสะท้อนทำกับผิวสะท้อนเสมอ สามารถเขียนทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนได้โดยมีทิศตั้งฉากกับหน้าคลื่นตกกระทบและหน้าคลื่นสะท้อนตามลำดับ และที่ตำแหน่งคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน ลากเส้นตั้งฉากกับผิวสะท้อน ซึ่งเรียกว่าเส้นแนวฉาก (Normal Line) ทำให้ได้มุมตกกระทบและมุมสะท้อน

เมื่อเรายืนอยู่ในระหว่างหุบเขาและเปล่งเสียงตะโกนออกมา ในเวลาอีกไม่นานก็จะได้ยินเสียง Echo ซึ่งเป็นเสียงของเราเองที่สะท้อนกลับมาหาตัวเรา ถ้าในหุบเขามีภูเขาตั้งอยู่หลาย ๆ ลูก เสียง Echo จะเกิดขึ้นหลาย ๆ ครั้ง นี่คือปรากฏการณ์ในลักษณะของการสะท้อนของเสียงตามปกติเมื่อเสียงกระทบกำแพงที่มีผิวแข็ง ๆ ส่วนหนึ่งของเสียงจะสะท้อนกลับ แต่เสียงอีกส่วนหนึ่งจะแทรกซึมเข้าไปในกำแพง ส่วนที่แทรกเข้าไป (Transmit) นี้อาจเปลี่ยนสภาพกลายเป็นความร้อน และยังมีอีกส่วนหนึ่งที่จะทะลุออกอีกด้านหนึ่งของกำแพงไปได้ ลักษณะของการแทรกซึมผ่านไปนี้เรียกว่า การส่งผ่าน (Transmittance) ถ้าหากว่ากำแพงเหล่านั้นประกอบขึ้นด้วยไม้อัดบาง ๆ หรือเป็นหน้าต่างบานกระจก เมื่อถูกเสียงมากระทบเข้า กำแพงก็จะสั่นสะเทือน ซึ่งจะส่งพลังงานเสียงออกไปอีกต่อหนึ่ง ดังนั้น กำแพงที่แข็งและไม่สั่นสะเทือนจะเป็นตัวกันเสียง (Barrier) ที่ดีที่จะไม่ให้เสียงผ่านไปได้โดยการสั่น ในขณะที่กำแพงไม้อัดบาง ๆ หรือหน้าต่างบานกระจก เสียงจะผ่านไปได้อย่างสะดวกอันเกิดจากการสั่นสะเทือน อนึ่ง วัตถุที่มีรูพรุน (Porous Materials) ทั้งหลายสามารถดูดกลืนเสียงได้มาก ถ้านำวัตถุที่มีรูพรุนนี้มาประกบเข้ากับกำแพงแข็ง ก็จะเป็นฉนวนกันเสียง (Insulation) ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีอีกด้วย



ภาพที่ 2.6 การสะท้อนของเสียง

ที่มา : http://lalita51231.blogspot.com/2014/09/blog-post_9.html

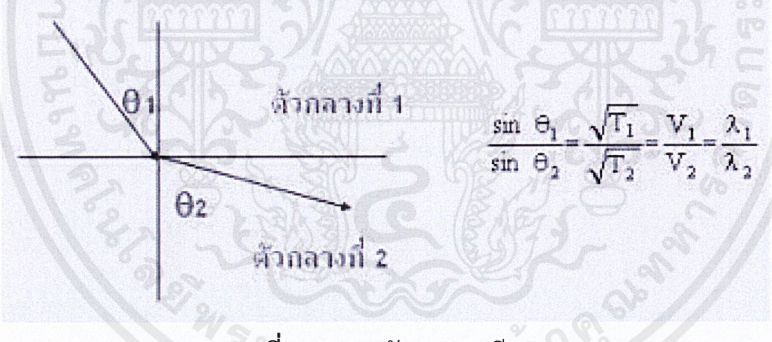
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียงมีคุณสมบัติคล้ายแสงที่สามารถสะท้อนได้เช่นเดียวกัน การสะท้อนของเสียงขึ้นอยู่กับความถี่ของเสียง (Frequency) และมุมที่เสียงตกกระทบ ความยาวคลื่นของเสียงมีค่ามากกว่าของแสงมาก (แสงที่เราสามารถเห็นได้ มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.000015 ถึง 0.000030 นิ้ว แต่เสียงที่ได้ยินมีความยาวคลื่นประมาณ 0.06 ฟุตถึง 60 ฟุต) ฉะนั้นวัตถุที่เสียงกระทบจะต้องมีขนาดใหญ่พอสมควร โดยมีกฎการสะท้อนคลื่น ดังนี้

1) มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนเสมอ
2) รังสีตกกระทบ เส้นปกติ รังสีสะท้อน อยู่ในระนาบเดียวกัน

2.7.2 การหักเหของเสียง

การหักเหของเสียงนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อเสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน ซึ่งทำให้อัตราเร็วของเสียงเปลี่ยนแปลง และอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปก็ทำให้อัตราเร็วของเสียงเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งเป็นสมบัติการหักเหของคลื่น ในการหักเหของคลื่นเสียง ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงเปลี่ยนไปด้วย ยกเว้นเมื่อคลื่นเสียงตกตั้งฉากกับผิวรอยต่อของตัวกลาง ทิศทางจะไม่เปลี่ยน นอกจากนี้ลมยังมีผลต่ออัตราเร็วของเสียงในอากาศ แสดงว่าลมทำให้เสียงเกิดการหักเหได้ การหักเหของคลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน หรืออุณหภูมิต่างกัน จะเป็นไปตามกฎการหักเหของสเนลล์ (Snell's law) คือ



ภาพที่ 2.7 การหักเหของเสียง

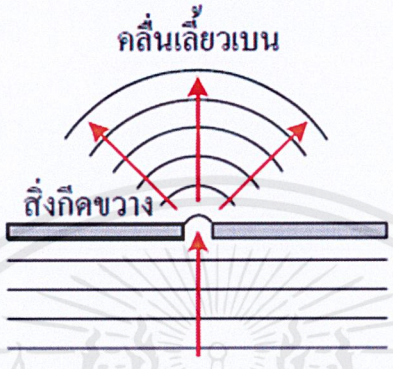
ที่มา : https://sites.google.com/site/benznimonwan/kar-hakhe-khxng-seiyng

เมื่อ θ_1 คือ มุมตกกระทบ และ θ_2 คือ มุมหักเห การหักเหของเสียงเมื่อคลื่นเสียงเดินทางในอากาศจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง คลื่นเสียงจะเบนออกจากเส้นปกติ ($\theta_1 < \theta_2$) และเมื่อเสียงเดินทางจากในอากาศจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ คลื่นเสียงจะเบนเข้าหาเส้นปกติ ($\theta_1 > \theta_2$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 การเลี้ยวเบนของเสียง

การเลี้ยวเบนของเสียง คือ ปรากฏการณ์ที่เสียงอ้อมสิ่งกีดขวาง หรือลอดผ่านช่องเปิดเดี่ยวเลี้ยวเบนผ่านแยกบนท้องถนน หรือผ่านช่องหน้าต่าง ช่องประตู เสียงจะเลี้ยวเบนได้ดีเมื่อความกว้าง ของช่องเปิดเท่ากับความยาวคลื่นเสียงนั้น ดังนั้นในชีวิตประจำวันพบว่าเสียงที่มีความถี่ต่ำ (ความยาวคลื่นมาก) จะเลี้ยวเบนผ่านช่องเปิดต่าง ๆ ได้ดีกว่าเสียงความถี่สูง (ความยาวคลื่นน้อย)



ภาพที่ 2.8 การเลี้ยวเบนของเสียง

ที่มา : https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7246-2017-06-12-15-29-38

2.7.4 การแทรกสอดของคลื่นเสียง (Interference of Sound)

การแทรกสอดของเสียงเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากคลื่นเสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดเสียงตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไปรวมกัน จึงเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันและหักล้างกัน ทำให้เกิดเสียงดังและเสียงค่อย ในกรณีที่เป็นเสียงเสริมกัน ตำแหน่งที่มีการเสริมกันจะมีเสียงดัง ส่วนตำแหน่งที่แทรกสอดแล้วหักล้างกันจะมีเสียงค่อย แต่การเกิดปรากฏการณ์แทรกสอดเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงที่มีความถี่ต่างกัน ทำ ให้เกิดเสียงดัง เสียงค่อยเป็นจังหวะ ๆ เรียกว่า บีตส์ (Beats) ประโยชน์จากการแทรกสอดและบีตส์นี้นำมาใช้เทียบเครื่องดนตรีโดยมีเครื่องเทียบเสียงมาตรฐาน ใช้หลักว่าเมื่อความถี่เสียงเท่ากันจะไม่เกิดบีตส์ ถ้ายังมีบีตส์อยู่แสดงว่าความถี่เสียงยังไม่เท่ากัน ต้องปรับจนเสียงทั้งสองมีความถี่เท่ากันจึงไม่ทำให้เกิดบีตส์

1) ในกรณีที่ S1 และ S2 เป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์

ทุกจุดบนเส้นปฏิบัพ เสียงจะแทรกสอดแบบเสริม เสียงจะดัง และผลต่างระหว่างระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองไปยังจุดใด ๆ บนเส้นปฏิบัพจะเท่ากับจำนวนเต็มของความยาวคลื่น

2) ในกรณีที่ S1 และ S2 เป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์

ทุกจุดบนเส้นบัพ เสียงจะแทรกสอดแบบหักล้าง เสียงจะค่อย และผลต่างระหว่างระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองไปยังจุดใด ๆ บนเส้นบัพจะเท่ากับจำนวนเต็มคลื่นลบกับครึ่งหนึ่ง ของความยาวคลื่นเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.5 การดูดกลืนของเสียง (Absorption of Sound)

อัตราที่เสียงถูกดูดกลืนในห้อง เช่น สตูดิโอ หอประชุม หรือห้องเรียน เป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้มีเสียงรบกวน (Noise) หรือเสียงที่ไม่พึงปรารถนาลดน้อยลง ทั้งจะสามารถควบคุมการสะท้อนไปกลับ (Reverberation) ของเสียงได้ดีด้วย วัสดุที่ผลิตขึ้นเพื่อประโยชน์ในการนี้ เรียกว่า วัสดุทางอะคูสติก (Acoustical Materials) ซึ่งอาจจะเป็นจำพวกไม้อัด หรือวัสดุอย่างอื่น โดยเฉพาะที่มีผิวนิ่มหรือรูพรุน ถ้าใช้วัสดุเหล่านี้และเลือกวางในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว เสียงที่ทุก ๆ คนในโรง ภาพยนตร์หรือโรงละครย่อมจะได้ยินเสียงที่ชัดเจนและไพเราะทั่วถึงกันหมด ไม่ว่าจะนั่งอยู่ที่จุดใดของห้อง ตัวอย่างเช่น มุมขอบที่เป็นมุมอับของเสียง เพียงติดตั้งวัสดุบุผนังหรือเพดานที่มีการสะท้อนเสียงจากมุมอื่นมาช่วยเสริมเสียงตรงมุมอับได้ หรือในส่วนที่มีเสียงสะท้อนมาก ๆ จนฟังไม่รู้เรื่อง อาจจะแก้ไขโดยการบุวัสดุซับเสียงหรือวัสดุอะคูสติกในบริเวณนั้น ๆ เพราะฉะนั้นการออกแบบห้องและบุวัสดุในแต่ละส่วนของห้อง ไม่จำเป็นจะต้องบุวัสดุที่กันเสียงทั่วห้อง อย่างไรก็ตามการตกแต่งห้องให้สวยงาม ฟังเสียงได้ชัดเจน ย่อมต้องคำนึงถึงวัสดุที่ใช้ว่าปลอดภัย คงทน และทนไฟ มิฉะนั้นก็ก่อให้เกิดปัญหาอย่างอื่นตามมากับวัสดุที่ใช้ได้ เช่น ไฟไหม้ มดปลวกกิน หรือดูดน้ำ ดูดความชื้น ทำให้ขึ้นรา เป็นต้น

2.8 ค่ามาตรฐานทางระบบอะคูสติก

การออกแบบระบบอะคูสติกมีจุดประสงค์เพื่อลดเสียงรบกวนจากภายนอกหรือจากสิ่งแวดล้อมภายนอกจากนั้นยังป้องกันไม่ให้ภายในห้องมีระดับความก้องสะท้อนมากเกินไป รวมถึงการส่งผ่านสัญญาณเสียงเป็นไปอย่างมีคุณภาพ เมื่อมีแหล่งกำเนิดเสียงอยู่ในห้องปิดที่มีกำแพง พื้นผนัง และเพดานบางส่วนของพื้นผิวจะสะท้อนเสียง แต่บางส่วนของพื้นผิวจะดูดซับเสียง ทั้งหมดนี้ล้วนมีผลกระทบต่อการฟังเสียงได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับข้อกำหนดค่าที่มีความสำคัญกับการออกแบบห้อง ได้แก่

2.8.1 ค่า NC (Noise Criteria for Room)

คือ มาตรฐานระดับการป้องกันเสียงรบกวนภายในห้องที่เกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น เสียงพาหนะต่าง ๆ สุนัขเห่า สิ่งก่อสร้าง เป็นต้น และเกิดจากปัจจัยภายใน เช่น เครื่องปรับอากาศ เสียงการจากการของสั่นโครงสร้าง อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งค่า NC ที่เหมาะกับแต่ละสถานที่นั้นมีค่ามาตรฐานแตกต่างกันออกไปดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

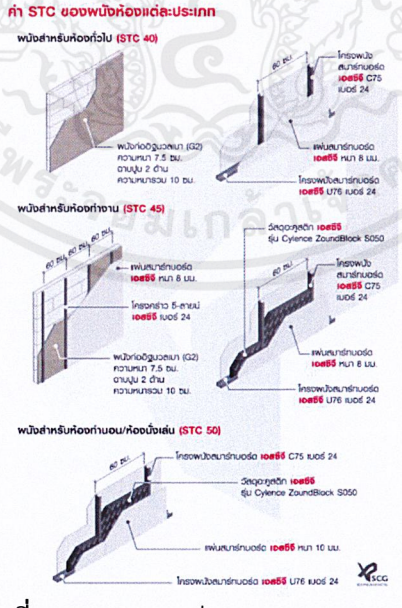
ตารางที่ 2.2 มาตรฐานค่า NC ของสถานที่ต่าง ๆ

ROOM/SPACE	DBA	NR	NC/NCB	RC/RCM2
Theaters, Concert Halls, Recording Studios	25-30	20	10-20	20
Bedrooms, Libraries, Religious Prayer Rooms	25-30	25	20-25	25
Living Rooms, Classrooms, Lecture Halls, Conference Rooms	30-35	30	30-40	30
Offices, Courtrooms, Private Work Rooms	40-45	35	30-40	35
Corridors, Open Offices, Bathrooms, Toilet Rooms, Reception, Lobbies, Shopping	45-55	40	30-40	40
Kitchens, Shopping, Common Spaces, Dining Halls, Computer Rooms, Workshops	45-55	45	40-50	45

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

2.8.2 ค่า STC (Sound Transmission Class)

การสูญเสียในการส่งผ่านของเสียง คือ มาตรฐานเพื่อใช้ในการวัดระดับการสูญเสียของเสียงที่ส่งผ่านวัสดุต่าง ๆ โดยหลักการพื้นฐานนี้ใช้ในการคำนวณหาความแตกต่างระหว่างระดับเสียงรบกวนจากนอกห้องกับสัญญาณที่เล็ดลอดรบกวนจากภายใน อย่างเช่น หากสัญญาณรบกวนจากภายนอกมีความแรง 100 dB และภายในสตูดิโอมีสัญญาณรบกวนไม่น้อยกว่า 20 dB ใน สตูดิโอดังกล่าวต้องการมาตรฐาน STC = 80 dB หากสัญญาณรบกวนภายนอก =70 dB และสัญญาณรบกวนในสตูดิโอ =30 dB ภายใน สตูดิโอดังกล่าต้องใช้มาตรฐาน STC = 40 dB



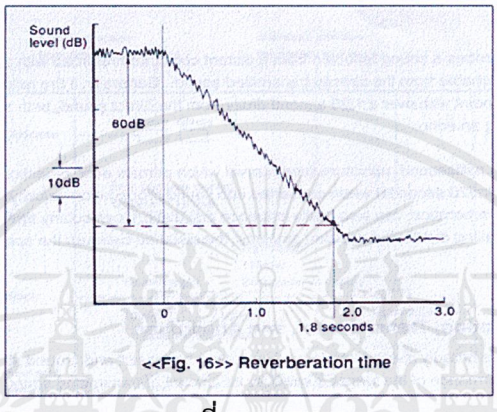
ภาพที่ 2.9 มาตรฐานค่า STC ของการบุผนัง

ที่มา : https://www.scgbuildingmaterials.com/th/CAMPAIGN/ACOUSTIC-HOUSE/รู้จักและเข้าใจ-บ้านกันเสียง/Mirror-VS-Autoclaved-Aerated-Concrete-Wall.aspx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 ค่า RT60 (Reverberation Time)

ค่าระยะเวลาความก้องสะท้อน เวลาการสะท้อนกลับของเสียงที่คงเหลืออยู่เมื่อต้นเสียงหยุดแล้ว เป็นการวัดค่าของเสียงที่เสียงสะท้อนกลับ ถ้าเวลาการสะท้อนมีค่าน้อยจะทำให้รู้สึกว่าเสียงในห้องนั้นหายเร็วจนเกินไป ไม่มีชีวิตชีวา โดยเฉพาะในห้องแสดงดนตรี แต่ถ้าค่าของเวลาการสะท้อนมากเกินไป ก็จะทำให้กลายเป็นเสียงรบกวนทันทีเช่นกัน ดังนั้นถ้าออกแบบค่า RT 60 อยู่ในช่วงที่เหมาะสม เสียงสะท้อนก็จะช่วยให้เสียงดูมีชีวิตชีวาและไม่แห้งจนเกินไป



ภาพที่ 2.10 RT60

ที่มา : https://www.avl.co.th/article.php?p=10&id=23

ตารางที่ 2.3 แสดงค่า RT60 ที่เหมาะสมสำหรับห้องแต่ละรูปแบบ

Location	Volume	Critical Distance D_c	Recommended RT60
Recording Studio	< 50 m^3	1.5 m	0.3 s
Classroom	< 200 m^3	2 m	0.4 - 0.6 s
Office	< 1'000 m^3	3.5 m	0.5 - 1.1 s
Lecture Hall	< 5'000 m^3	6 m	1.0 - 1.5 s
Concert Hall, Opera	< 20'000 m^3	11 m	1.4 - 2.0 s
Church			2 - 10 s

อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนในแต่ละความถี่จะไม่เหมือนกัน เป็นต้นว่า ห้องที่มีฉาบด้วยปูนพลาสเตอร์อะคูสติก หนา 0.5 นิ้ว จะมีค่าสัมประสิทธิ์ 0.06 ที่ 125 Hz, 0.36 ที่ 500 Hz และ 0.72 ที่ 2,000 Hz จะเห็นได้ว่าในที่นี้เพื่อใช้สำหรับการคำนวณทั่วไป และมีสูตรการคำนวณหาค่า RT60 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$RT60 = 0.161\frac{V}{A}\ , A = \alpha S$$

V = ปริมาตรของห้อง , m^3

A = ผลรวมค่าการดูดกลืนเสียงของพื้นที่ผิว

S = พื้นที่ของพื้นผิววัสดุ , m^2

α = สัมประสิทธิ์ของการดูดซับของวัสดุที่ใช้เป็นพื้นผิว , Sabin

2.8.4 ค่า SPL (Sound Pressure Level) ระดับความดังเสียง

คือ การวัดความดังเสียงในห้อง โดยกำหนด $Lp = 20\ log\frac{P_i}{P_o}$ มีหน่วยเป็น dB ค่า SPL เป็นค่าสำคัญที่ใช้วัดระดับความดังของเสียงในห้อง การวัดค่า SPL จะทำการวัดหลาย ๆ จุดในห้อง โดยมีแหล่งกำเนิดเสียงหนึ่งจุด ค่าที่วัดได้จะลดลงตามระยะทาง จากจุดวัดถึงแหล่งกำเนิดเสียง

2.8.5 ค่า SAC (Sound Absorption Coefficient) , α

คือ ค่าที่ทำให้สามารถประเมินได้ว่าวัสดุนั้นมีคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานเสียงได้ดี ยิ่งมีค่า SAC มาก หรือเข้าใกล้ 1 จะแสดงให้เห็นว่าวัสดุนั้นมีความสามารถในการดูดกลืนเสียงได้ดี เพราะค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนเสียงจะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าค่าเข้าใกล้ 0 มากจะแสดงได้ว่าวัสดุนั้นไม่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนเสียง หรือดูดกลืนเสียงได้น้อย มีการสะท้อนเสียงออกไปได้มาก เช่น วัสดุมีค่า SAC = 0.80 ที่ 500 Hz หมายความว่าเมื่อพลังงานเสียงเดินทางมากระทบวัสดุ ตัววัสดุนั้นสามารถดูดกลืนเสียงได้ร้อยละ 80 มีเพียงร้อยละ 20 เท่านั้นที่เกิดการสะท้อนออก ค่าที่ได้จากการดูดซับเสียงของแต่ละวัสดุจะแปรผันกับความถี่ของเสียงที่เดินทางไปตกกระทบ ดังนั้นค่าของการดูดซับเสียงนั้นก็จะได้รับการวัดที่ความถี่ 125 Hz 250 Hz 500 Hz 1000 Hz 2000 Hz และ 4000 Hz เป็นมาตรฐาน 1/1 Octave

2.8.6 ค่า NRC (Noise Reduction Coefficient)

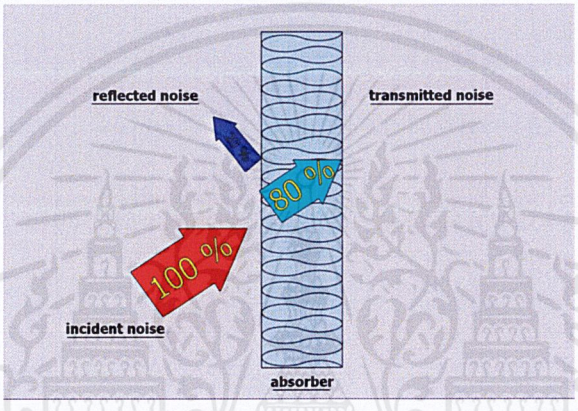
เป็นค่าที่บอกให้เราทราบถึงพลังงานเสียงที่ลดลงเมื่อใช้วัสดุนั้นมาช่วยในการซับเสียง ค่า NRC เป็นค่าที่คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของ SAC ที่ช่วง 125 Hz 250 Hz 500 Hz 1000 Hz 2000 Hz และ 4000 Hz เพราะฉะนั้นเมื่อเราทราบค่า SAC เราก็จะทราบค่า NRC ด้วย ซึ่งค่า NRC ควรจะดูประกอบกับค่า SAC เพราะจะช่วยให้เราเลือกวัสดุซับเสียงมาแก้ไขปัญหาได้สอดคล้องกับแหล่งกำเนิดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตารางตัวอย่างค่า SAC และ NRC ของวัสดุ

Materials	Frequency (Hz)						NRC
	125	250	500	1000	2000	4000	
คอนกรีต	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
แผ่นยิปซั่มบอร์ด	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09	0.07
ไม้	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.09
แผ่นไม้อัดหนา 10 มม	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.15
กระจก	0.35	0.25	0.18	0.12	0.08	0.04	0.16
พรมบนพื้นคอนกรีต	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.66	0.29
แผ่นโฟมโอเพ่นเซลล์ 12mm	0.05	0.12	0.25	0.57	0.89	0.98	0.46
ฉนวนใยแก้ว 160K 25mm	0.09	0.30	0.80	1.12	1.01	0.79	0.80

ที่มา : https://www.noisecontrol.company/noise/knowledge/sac-and-nrc/



ภาพที่ 2.11 การดูดซับเสียงของวัสดุทำให้เสียงที่สะท้อนออกมามีพลังงานน้อยลง
ที่มา : https://www.noisecontrol.company/noise/knowledge/sac-and-nrc/

2.8.7 ค่า TL (Transmission Loss) ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง

เป็นค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของโครงสร้างที่วัดเป็นปริมาณ เรียกว่า ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Transmission Loss, TL) ซึ่งหมายถึงจำนวนเดซิเบลของพลังงานเสียงที่สูญเสียไปเมื่อมีการส่งผ่านโครงสร้าง จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ถ้าความหนาแน่นสูง ค่า TL จะมาก การคำนวณค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงที่เป็นมาตรฐานของ The American Society for Testing and Material (ASTM) E90-70T

$$TL = 10 \log \left| \frac{W_i}{W_t} \right|$$

เมื่อ TL = ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของโครงสร้าง (ผนัง พื้น และฝ้าเพดาน), dB

W_i = กำลังเสียงที่ตกกระทบผนัง, watt

W_t = กำลังเสียงที่ส่งผ่านผนัง, watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การเกิดสัญญาณเสียงย้อนกลับ (Audio Feedback)

คือ สัญญาณที่ย้อนกลับเข้ามาในไมโครโฟนมันก็จะวิ่งไปเป็นวงจรครบรอบระบบ ซึ่งจะทำให้เกิดเสียงที่ดังยิ่งขึ้นเรื่อย ๆ ตลอดเวลาโดยจะกลายเป็นเสียง “หอน” ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องขึ้นมาอย่างรวดเร็ว โดยเสียงที่เกิดขึ้นนี้มักเรียกว่า “feedback” โดยทั่วไปแล้วจะมีคลื่นเสียงที่ความถี่หนึ่งจะทำให้เกิดอาการ feedback มากกว่าคลื่นความถี่ระดับอื่น ๆ ซึ่งอาจจะมาจากความแตกต่างของการตั้งค่า EQ คุณสมบัติของลำโพง คุณสมบัติของไมโครโฟน หรือจากความก้องของห้องหรือบนเวที ที่ทำให้เกิดอาการ feedback ในคลื่นความถี่ที่เฉพาะเจาะจง ถ้าระบบนั้นสามารถตอบสนองต่อคลื่นความถี่ได้กว้างเกินความจำเป็น ก็เป็นไปได้ว่าในคลื่นความถี่เหล่านั้นก็จะมีความไวต่อการที่จะเกิดอาการ feedback ได้

2.10 กฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law)

เป็นกฎทางฟิสิกส์ที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงความเข้มของรังสีในลำรังสีหนึ่ง เมื่อ ระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีถึงตำแหน่งตัววัดรังสี (Detector) เปลี่ยนไป ความเข้มของรังสีแปรผกผัน กับกำลังสองของระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีกับตัวรับภาพหรือตัววัดรังสี จากกฎ Inverse Square Law กล่าวได้ว่าทุก 2 เท่าของระยะทาง ความดังเสียงจะลดลง 6 dB มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(d_2)^2}{(d_1)^2}$$

โดยที่ I_1 = ความเข้มที่ตำแหน่งตั้งต้น

I_2 = ความเข้มที่ตำแหน่งใหม่

d_1 = ระยะทางที่ตำแหน่งตั้งต้น

d_2 = ระยะทางที่ตำแหน่งใหม่

2.11 วัสดุกันเสียง (Acoustical Materials)

วัสดุกันเสียง ที่ผลิตจำหน่ายในห้องตลาดแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

2.11.1 Prefabricated Units อันได้แก่พวก Acoustical Tile, Celotex วัสดุทีทำเป็นรู และมีวัสดุเก็บเสียงอยู่ด้านหลัง

2.11.2 Acoustical Plaster and Sprayed-on-Materials เป็นจำพวกพลาสติก และวัสดุที่มีรูพรุน เช่น พวกไฟเบอร์ต่าง ๆ ที่ฉาบหรือพ่นใส่ผนังหรือฝ้าเพดาน เช่น พ่นสักราดใส่ผนัง พ่นสีระเบิด หรือพวกศิลาแลงมาบดแล้วผสมกาวฉาบผนัง เป็นต้น

2.11.3 Acoustical Blanket วัสดุจำพวกขนสัตว์ เช่น Mineral Wool, Wood Wool, Glass Fiber, Kapok Batts, Hair Felt เป็นต้น รวมไปถึงผืนของผ้าม่าน ใยกากมะพร้าว และอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 การสั่นพ้องของเสียง (Resonance)

บางครั้งเสียงที่มนุษย์ได้ยินก็เกิดจากปรากฏการณ์การสั่นพ้องของเสียง เนื่องจากเสียงเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิด และการเคลื่อนที่ของเสียงเป็นการเคลื่อนที่แบบคลื่น ขณะที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง อนุภาคของตัวกลางจะสั่นด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของแหล่งกำเนิด เช่น ถ้าเราส่งคลื่นเสียงจากลำโพงเข้าไปทางปากหลอดเรโซแนนซ์ อนุภาคของอากาศในหลอดเรโซแนนซ์จะถูกบังคับให้สั่นด้วยความถี่ของเสียงจากลำโพง ถ้าปรับความถี่ของคลื่นเสียงให้มีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของอนุภาคของอากาศภายในหลอดเรโซแนนซ์

อนุภาคของอากาศจะสั่นแรงที่สุด ทำให้เกิดเสียงออกจากปากหลอดเรโซแนนซ์ดังที่สุด ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า "การสั่นพ้องของเสียง"

2.11.4 ลักษณะการเกิด Resonance

เมื่อเกิด Resonance ที่ดีจะเป็นการเสริมเสียงได้ดี ทำให้เสียงที่เกิดขึ้นมีพลังงาน และฟังเสียงได้ดี การสั่นพ้องมี 2 ลักษณะ คือ

1) Structural Borne การสั่นพ้องของเสียงที่เสริมขึ้นมาจากโครงสร้าง เช่น สายกีตาร์ไปแนบกับโกร่ง ท่าให้เกิดการสั่นไปหมดทั้งโกร่ง หรือการโยกชิงช้าให้ได้จังหวะที่ถูกต้อง ทำให้ชิงช้าแกว่งสูงขึ้น เป็นการเสริมพลังงานของเสียง

2) Air Borne การใช้อากาศเป็นตัวสั่นสะเทือน เช่น เมื่อสั่นส้อมเสียงใกล้ ๆ กับท่อเรโซแนนซ์ ความสั่นสะเทือนจะผ่านอากาศไปกระทำให้ท่อเรโซแนนซ์สั่นตามไปด้วย ตัวอย่างเช่น เมื่อวงดนตรี Rock เล่นเพลงในโถงเอนกประสงค์ของโรงเรียนแห่งหนึ่ง ผนังกระจกหรือหน้าต่างกระจกบาง ๆ ของห้องโถงนั้นอาจสั่นสะเทือน หรือแตกร้าวได้

2.11.5 การคำนวณความถี่ Resonance

การสะท้อนไปกลับภายในห้อง ทำให้เกิดจังหวะของการสะท้อนขึ้น 3 ทิศทาง (Plain) เรียกว่า Modes of Vibration คือการสะท้อนกลับไปกลับมาจากด้านยาวของห้อง (p) จาก ด้านกว้างของห้อง (q) และจากบนลงล่างและขึ้นบน (r) ทำให้มี Reverberation time (RT) เกิดขึ้น หากมีห้อง ๆ หนึ่งที่ผนังทึบ มีความยาวเท่ากับ L ความกว้างเท่ากับ w และความสูงเท่ากับ H อาจคำนวณหาความถี่กำทอนของห้องด้วยสูตรดังนี้

$$f = \frac{c}{2}\left\{\frac{p^2}{L} + \frac{q^2}{W} + \frac{r^2}{H}\right\}^{1/2}$$

L = ความยาวของห้อง

W = ความกว้างห้อง

H = ความสูงของห้อง

f = ความถี่สั่นพ้อง

c = ความเร็วของเสียง (เท่ากับ 1,100 ฟุต/วินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่าของ p, q, r เรียกว่า Modes of Vibration นี้ ซึ่งอาจมีค่า เป็น 0,1,2,3,4,5, ... แล้วแต่กรณี ยกตัวอย่างเช่น ถ้า Modes of Vibration ของ p, q, r เป็น 1, 0, 0 หมายความว่า การสั่นสะเทือนของเสียงเกิดเฉพาะตามความยาวของห้องเท่านั้น กล่าวคือ p =1 และ q=0 และ r=0 หมายความ ว่าไม่มีการสั่นตามความกว้างของห้อง (q) และตามความสูงของห้อง (r) เพราะฉะนั้น ถ้า Modes of Vibration เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวทั้งความยาว ความกว้าง และความสูงของห้อง p, q, และ r จะมีค่าดังนี้ p=l, q=l, r=l เขียนว่าเป็น mode (1,1,1)

2.13 การพิจารณาในการออกแบบให้มีการรับฟังเสียงที่ดี

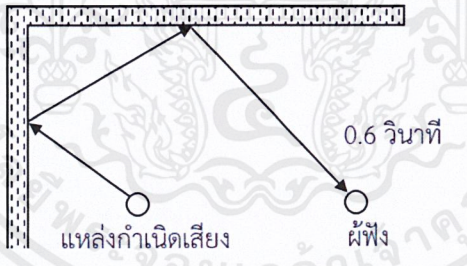
การออกแบบห้องให้เหมาะสมกับการใช้งานโดยมีคุณภาพของเสียงที่ดี มีรายละเอียดข้อคำนึงในการออกแบบดังนี้ คือ

2.13.1 การขจัดปัญหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ของเสียงที่ไม่ต้องการ

ก่อนอื่นเราควรทราบก่อนว่าเสียงในห้องที่ไม่ต้องการมีอะไรบ้าง ในที่นี้ได้แก่

1) เสียงก้องสะท้อน (Echo)

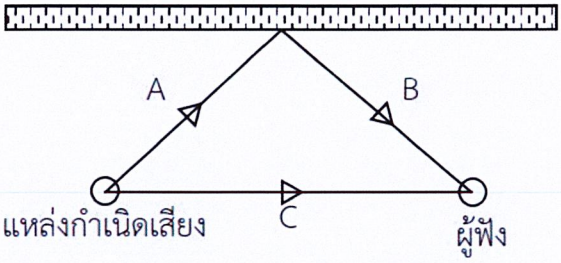
เป็นปรากฏการณ์เกิดขึ้นเมื่อผิวที่สะท้อน มีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางคลื่นเสียงที่ตกกระทบ ทำให้คลื่นเสียงสะท้อนกลับไปยังแหล่งกำเนิดเสียงหรือต้นเสียง (Source of Sound) พบว่าหูของเราสามารถแยกเสียงสะท้อนออกจากต้นกำเนิดเสียงได้ในช่วงเวลาที่ห่างกัน 0.06 วินาที แสดงว่าเราได้ยินเสียงสะท้อนกลับมาได้ชัดเจนก็ต่อเมื่อระยะห่างจากตัวเราถึงผิวสะท้อนต้องมีระยะห่างพอสมควร



ภาพที่ 2.12 เสียงออกจากแหล่งกำเนิดเสียงแล้วสะท้อนกลับสู่หูผู้ฟัง
(สมรรถ บุณยรัตพันธุ์, ม.ป.ป.)

นอกจากช่วงเวลาดังกล่าวแล้ว การที่เสียงก้องสะท้อนเกิดขึ้นได้อีกประการหนึ่ง คือ ระยะทางจากต้นเสียงถึงระยะทางการสะท้อนกลับ หลักการโดยทั่วไปก็คือ ถ้าระยะทางจากต้นเสียง A บวกกับระยะทางของเสียงสะท้อน B แล้วหักด้วยระยะทางเสียงจากต้นกำเนิดเสียงโดยตรง C จะต้องอยู่ในช่วงของ 50-65 ฟุต หรือ 15-20 เมตร เท่านั้น จึงจะเกิดเสียงก้องสะท้อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

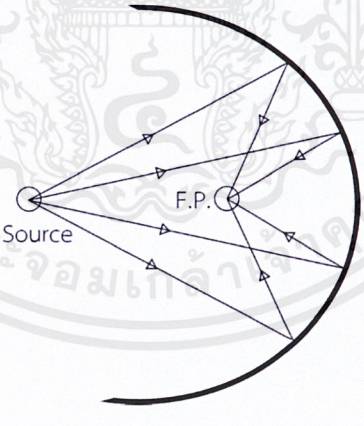


ภาพที่ 2.13 เสียงสะท้อนและเสียงจากต้นกำเนิดเสียงโดยตรงในช่วง 50-60 ฟุต
(สมรรถ บุณยรัตพันธุ์, ม.ป.ป.)

สรุปได้ในอีกด้านหนึ่งว่า เมื่อมีเสียงที่หนึ่งเข้ามากระทบประสาทหู แล้วมีเสียงที่สองตามเข้ามาภายเวลาไม่ถึง 0.06 วินาที ประสาทหูของเราจะไม่สามารถแยกเสียงทั้งสองออกจากกันได้ และเราก็จะรู้สึกว่ามีเสียงอันแรกเพียงเสียงเดียวเท่านั้น แต่ถ้าช่วงเวลาที่เว้นระหว่างช่วงเวลาเสียงที่หนึ่งและเสียงที่สองมากกว่า 0.06 วินาที ประสาทหูของเราก็จะสามารถแยกแยะเสียงทั้งสองนั้น ทำให้เราสามารถรับรู้เสียงทั้งสองได้

2) เสียงสะท้อนรวมกัน

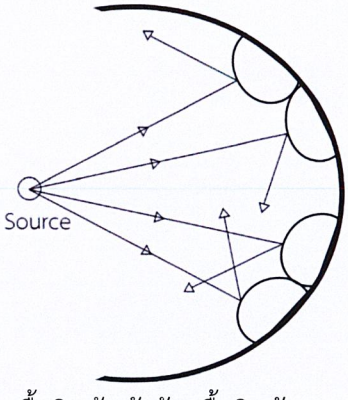
เกิดจากพื้นที่ผิวเว้าเข้า (Concave) เป็นเสียงที่ดังเกือบเท่าเสียงเดิม จุดที่มารวมจึงได้รับเสียงในเวลาเดียวกัน ณ ที่จุดเดียวกัน จุดอื่น ๆ โดยรอบเกือบไม่มีเสียงเลย จึงเกิดเสียงดับ (Dead Spot) พร้อม ๆ กันด้วย



ภาพที่ 2.14 เสียงสะท้อนรวมกันอันเกิดจาก (Concave)
(สมรรถ บุณยรัตพันธุ์, ม.ป.ป.)

วิธีแก้ไขคือ การออกแบบผนังห้องไม่ควรใช้ผนังที่มีผิวโค้งเข้า หากจำเป็นจริง ๆ ต้องออกแบบผนังโค้งเข้า ก็ให้นำวัสดุที่สามารถทำให้เสียงกระจัดกระจายได้บุผนังอีกชั้นหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.15 ควรแก้ไขพื้นผิวเว้าเข้าด้วยพื้นผิวเว้าออก (Convex)
(สมรรถ บุณยรัตพันธุ์, ม.ป.ป.)

3) จุดเสียงดับ

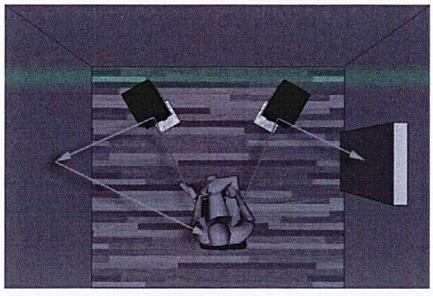
เกิดจากการใช้วัสดุบุผนังและเพดาน รวมทั้งในบางกรณีพื้นห้องที่เป็นวัสดุดูดซับเสียง (Absorbing Material) มากเกินไป ทำให้เสียงส่วนใหญ่หายเข้าไปในผนังและเพดาน โดยมีการสะท้อนเสียงออกมาน้อยมากหรือการสะท้อนที่เกิดขึ้นกระจายได้ไม่ทั่วทั้งห้องทำให้เกิดจุดอับเสียงขึ้น เรียกว่าเสียงดับ ผู้ฟังที่นั่งอยู่บริเวณนั้น ๆ จะไม่ได้ยินเสียงเลย หรือ ได้ยินแต่ไม่ชัดเจนนัก

วิธีแก้คือ ต้องเปลี่ยนวัสดุบุผนังและเพดานให้เกิดการสะท้อนเสียงได้บ้าง ดูดซับเสียงได้บ้าง อย่างไรก็ตาม ส่วนใดของห้องควรใช้วัสดุประเภทใดนั้น ต้องติดตามในขั้นตอนของการออกแบบต่อไป

4) เสียงสะท้อนอันดับต้น (Early Reflections)

มักเกิดจากห้องที่มีผนัง 2 ด้าน ขนานกัน ตัวอย่างเช่น ในห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีกำแพง 2 ด้านขนานกัน เสียง ทำให้เสียงวิ่งไปมาอยู่แต่ในผนังทั้งสองข้าง ทำให้เกิดการดีเลย์ของเสียงแทนที่จะได้ยินเสียงโดยตรงจากต้นกำเนิดเสียงเพียงอย่างเดียวกับได้ยินเสียงสะท้อนมายังหูด้วย ดังภาพที่ 2.16 ด้านซ้ายของภาพคือเสียงสะท้อนจากกำแพง ส่วนด้านขวาใช้ Absorber มาลดพลังงานของเสียงให้น้อยลงจนไม่ได้ยินเสียงที่สะท้อนเข้าหูของผู้ฟัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.16 การแก้ไขปัญหา Early Reflection

ที่มา : https://jannekorpela.com/kotistudion-akustointi/

ซึ่งวิธีการแก้ไขมีสองวิธีคือ ใช้วัสดุดูดซับเสียงเพื่อลดพลังงานเสียงให้น้อยลงหรือนำ Panel ให้เอียงไปทางทิศทางอื่น เพื่อให้เสียงไปสะท้อนเข้าหูผู้ฟังโดยตรง

2.13.2 การเพิ่มและลดระดับเสียงในห้อง

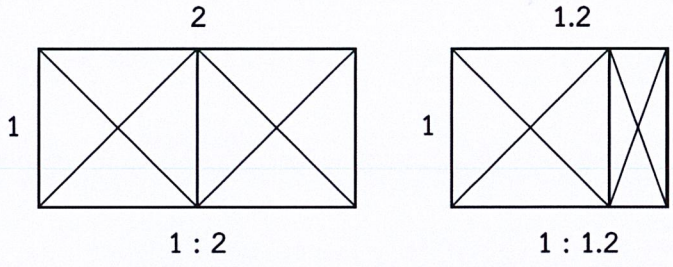
1) การเพิ่มเสียงในห้อง มี 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 เพิ่มเสียงโดยการใช้วัสดุสะท้อนเสียงมาก ๆ และติดตั้งแผงสะท้อนเสียง (Sound Reflector) มาช่วยในการกระจายเสียง แต่การติดตั้งแผงสะท้อน เสียงต้องอาศัยการคำนวณที่ตั้งและมุมที่จะติดตั้ง วิธีที่ 2 คือการใช้เครื่องขยายเสียง ซึ่งเหมาะสมสำหรับห้องที่มีขนาดใหญ่ หรือเป็นห้องที่มีความยาวมาก ๆ ที่ไม่สามารถใช้วิธีแก้ไขแบบห้องได้เลย หรือแผงสะท้อนเสียงไม่สามารถช่วยเพิ่มเสียงให้ได้เลย

2) การลดเสียงในห้อง โดยปกติหากจะได้ยินเสียงได้ดี ห้องนั้น ๆ ควรมีเสียงดังอยู่ ในระดับเสียงไม่เกิน 40 dB หากห้องดังกล่าวมีระดับเสียงสูงกว่านี้ประสิทธิภาพในการรับฟังเสียงจะลด น้อยลง วิธีลดระดับเสียงภายในห้องคือ การบุด้วยวัสดุดูดซับเสียง เพดานและพื้นห้อง ส่วนเสียงที่รบกวน จากภายนอก (Sound Isolation) เช่น เสียงรถยนต์แล่น รถไฟ หรือเครื่องบิน เป็นต้น เราจำเป็นต้องหาวิธีออกแบบมาช่วย วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันคือการปลูกต้นไม้ การทำเนินดิน หรือการติดตั้งแผงกันเสียงระหว่างจุด กำเนิดเสียงกับตัวบ้าน ซึ่งเรียกว่า Sound Barrier ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสถานที่และความสวยงามทางภูมิสถาปัตยกรรม (Landscape design) อีกทั้งยังต้องป้องกันเสียงที่เกิดขึ้นภายในอาคารเอง อันเนื่องมาจากอุปกรณ์อาคาร เช่น เครื่องปรับอากาศ ปั๊มน้ำ หรือมอเตอร์อื่น ๆ เป็นต้น

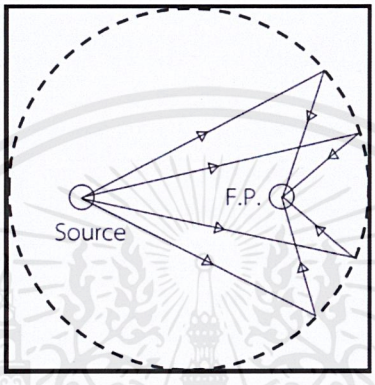
2.13.3 การเลือกใช้รูปแบบและรูปทรงห้องที่เหมาะสม

1) ผนังห้อง (Plan) โดยห้องที่เหมาะสมที่สุดในการรับฟังเสียงที่ดีต้องมีสัดส่วนของผนังห้อง 1:1.2 แต่ต้องไม่เกิน 2 เท่าของความกว้าง หรือ 1:2 (ขั้นต่ำ) สัดส่วนของห้องแบบที่ 1:1 ทำให้รับฟังเสียงได้ไม่ดี อาจจะเกิดเสียงสะท้อนที่รวมกัน (Sound Foci) ขึ้นได้หรือห้องที่มีสัดส่วนมากกว่า 1:2 จะทำให้การรับฟังเสียงในส่วนท้ายห้องไม่ดีพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.17 สัดส่วนรูปทรงห้องที่เหมาะสม



ภาพที่ 2.18 รูปทรงห้องที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสไม่ต่างจากรูปทรงกลมเท่าใดนัก

2) รูปตัด (Section) หากต้องการทราบระยะห่างระหว่างที่นั่งแถวแรกกับขอบ เวที มีสูตรใช้ในการคำนวณดังนี้

$$d = r (2.5h - 1)$$

d = ระยะที่สามารถอยู่ในระนาบได้

r = ระยะทางระหว่างแถวนั่ง

h = ความสูงของตำแหน่งความสูงของต้นเสียง

3) เพดาน (Ceiling) เรื่องของเสียงมีส่วนทำให้รูปแบบของเพดานมีความสำคัญ มากต่อการเสริมหรือลดระดับเสียงก้อง อีกทั้งสามารถก่อให้เกิดเสียงสะท้อนรวมกันได้ เพราะฉะนั้นวิธีช่วยแก้ไขปัญหาเหล่านี้ เราสามารถใช้แผงสะท้อนเสียง (Sound Reflector) มาช่วย ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

4) ผนัง (Wall) ผนังห้องควรหลีกเลี่ยงการวางผนังขนานกันในที่แคบ ๆ เพื่อไม่ให้เกิดการกระจายกลับไปกลับมาของเสียง (Room Flutter) วิธีแก้คือการบุผนังด้วยวัสดุกลืนเสียง เช่น ผ้าม่าน หรือแผ่นกันเสียงชนิดต่าง ๆ (Acoustical Board)

5) ปริมาตรของห้อง (Room Volume) ปริมาตรของห้องมีส่วนเกี่ยวข้องกับการออกแบบห้องที่รับฟังเสียงที่ดีได้ ก่อนที่จะออกแบบห้องประชุม (Meeting Room) หรือ หอประชุม (auditorium) เราต้องทราบเสียก่อนว่าห้องเหล่านั้นมีขนาดเท่าใด โดยใช้จำนวนผู้เข้าประชุมเป็นหลัก เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องประชุมขนาดจุคนได้ 200 คน หอประชุมขนาด 2,000 คน เป็นต้น เมื่อทราบจำนวนแล้ว เราจะทราบปริมาตรของห้องได้โดยอาศัยมาตรฐานการคำนวณแบบสากล คือ

ปริมาตรต่อคน = 125 ลบ.ฟุต หรือ

= 4 ลบ.เมตร/คน

จำนวนคนตั้งแต่ 2,000 คนขึ้นไป

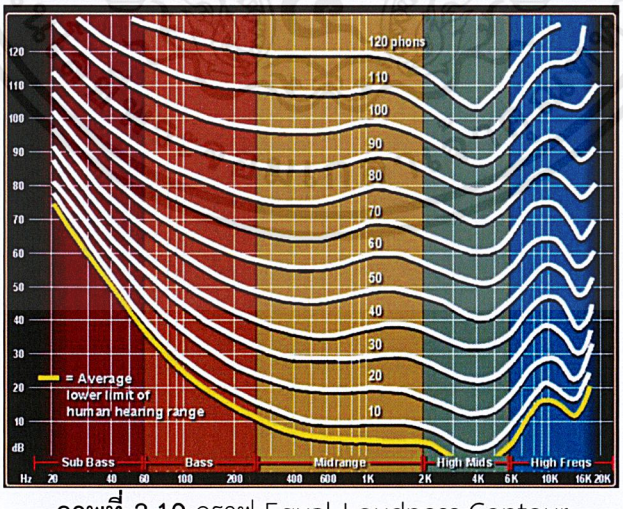
ปริมาตรต่อคน = 175 ลบ.ฟุต หรือ

= 4.95 ลบ.เมตร/คน

ความสูงของห้อง (room height) เมื่อทราบปริมาตรของห้องแล้ว เราสามารถ ทราบความสูงของห้อง (ที่ต่ำที่สุด) เพื่อการออกแบบแผงสะท้อนเสียงต่อไป เพราะหากเพดานสูงเกินไป การสะท้อนเสียง (เพื่อช่วยเสริมเสียง) จะไม่ดี แต่หากความสูงของห้องต่ำเกินไปเสียงจะวิ่งเร็วเกินไป เพราะฉะนี้นความสูงที่เหมาะสม จึงมีสูตรให้ใช้ในการคำนวณดังนี้

2.14 เส้นชั้นความดังเสียงเท่า (Equal Loudness Contour)

กราฟ Equal Loudness contour ถูกนำเสนอโดย Flectcher-Munson ซึ่งเป็นการทดลองจากการเก็บข้อมูลความรู้สึกของการรับรู้เสียงดังของมนุษย์ในแต่ละช่วงความถี่ โดยเก็บข้อมูลจำนวนมากก่อนที่จะสรุปและเผยแพร่ Equal Loudness contour ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแต่ละเส้นจะแสดงความรู้สึกของหูมนุษย์ที่รับรู้ความดังใกล้เคียงกันที่แต่ละความถี่ และสิ่งที่น่าสังเกตคือหูของมนุษย์จะไวต่อเสียงแหลมและไม่ค่อยตอบสนองกับเสียงความถี่ต่ำ โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่า มนุษย์นั้นได้ยินเสียงต่ำที่ดังมากแต่ยังไม่รู้สึกว่าดัง เมื่อเทียบกับเสียงกลางสูง โดยเฉพาะ ความถี่ 2 kHz ถึง 6 kHz



ภาพที่ 2.19 กราฟ Equal Loudness Contour

ที่มา : http://www.svantekthailand.com/frequency-weighting.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่สิ่งที่ให้สังเกตนั้นคือ หูมนุษย์เมื่อได้ยินเสียงที่ระดับความดังมาก ๆ นั้น กลับการตอบสนองการรับรู้ของความดังแต่ละความถี่จะเริ่มใกล้เคียงกันมากขึ้น ดังแสดงในกราฟ ซึ่งกราฟนี้จะนำมาใช้ในการวัดความดังมาตรฐานของ Frequency Weighting

2.15 Frequency Weighting

2.15.1 A–Frequency Weighting หรือ A-Weighting

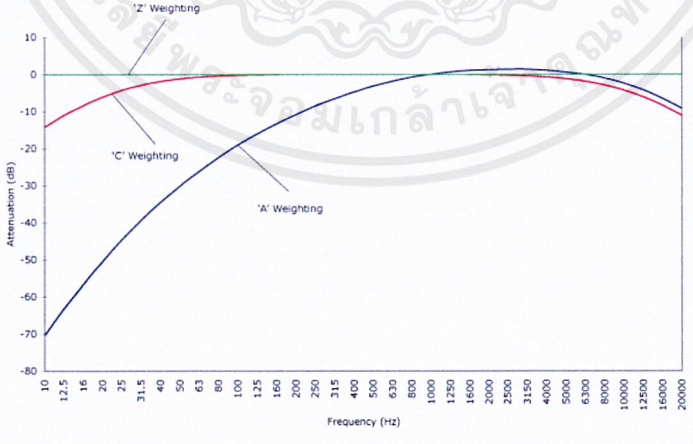
เป็นมาตรฐานการวัดที่เป็นที่นิยมและถูกนำมาใช้ในเครื่องวัดระดับเสียงอย่างแพร่หลาย โดยค่า A-weighting นั้นใกล้เคียงกับได้ยินของหูมนุษย์ และตอบสนองต่อการได้ยินในช่วง 500 Hz – 6 kHz และอยู่ในช่วง 20 Hz ถึง 20 kHz เสมือนคนซึ่งดีกว่าการวัดแบบอื่น นอกจากนั้นสำหรับการวัดระดับเสียงประเภท Environmental noise ยังช่วยลด effect เสียงจากลม และเสียงจากที่อื่น ที่ห่างจากจุดวัดระดับเสียง(ลดเสียงรบกวนได้ดีกว่า) โดยการวัดค่า A-Weighting นั้นจะใช้หน่วยที่เรียกว่า dB(A) ซึ่ง A มาจาก A-Weighting

2.15.2 C–Frequency Weighting หรือ C-Weighting

เป็นมาตรฐานการวัดสำหรับความดังที่สูงมากประมาณ 100 dB ขึ้นไปหรือเรียกว่า Peak Sound Pressure Level เช่น สถานบันเทิง, คอนเสิร์ต, เครื่องเจาะ, สนามแข่งรถ เป็นต้น โดยการวัดค่า C-Weighting นั้นจะใช้หน่วยที่เรียกว่า dB(C) ซึ่ง A มาจาก C-Weighting

2.15.3 Z–Frequency Weighting หรือ Z-Weighting

เป็นการวัดที่ตอบสนองความถี่ที่ 10 Hz – 20 kHz แบบระนาบหรือไม่เปลี่ยนแปลงความถี่ใด ๆ (Flat Frequency) โดยการวัดค่า Z-Weighting นั้นจะใช้หน่วยที่เรียกว่า dB(Z) ซึ่ง A มาจาก Z-Weighting



ภาพที่ 2.20 การตอบสนองความถี่ของ A,C,Z – Frequency Weighting

ที่มา : https://www.cirrusresearch.co.uk/blog/2011/08/what-are-a-c-z-frequency-weightings/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เก็บรวบรวมข้อมูล

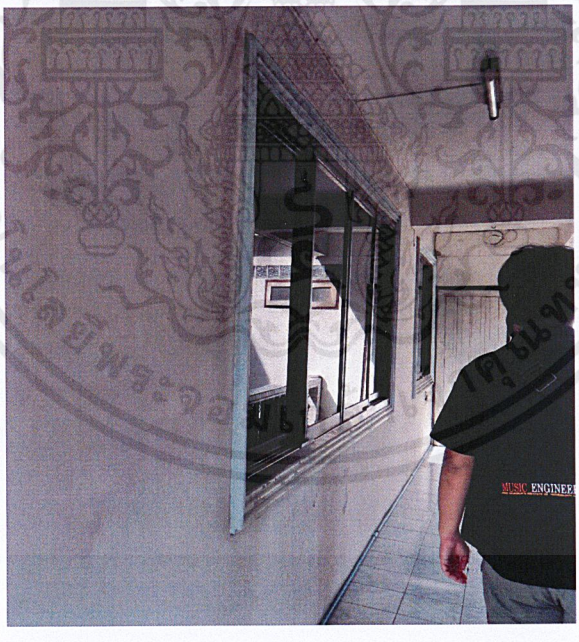
3.1.1 สำรวจสถานที่

เริ่มต้นด้วยการเดินสำรวจสถานที่ วัดสัดส่วนของห้อง และทำการสอบถามเจ้าของสถานประกอบการ ซึ่งได้ข้อมูลดังนี้

- ห้องบันทึกเสียงมีขนาดกว้าง 4.8 เมตร ยาว 6 เมตร และสูง 2.34 เมตร
- กำแพงหนา 10 เซนติเมตร
- ผนังเสริมหนา 26.7 เซนติเมตร
- ผนังกั้นหนา 40 เซนติเมตร
- ขนาดเท่ากันทั้ง 2 ห้อง
- ห้องบันทึกเสียงอยู่บนบ้านเดี่ยวชั้น 3 ริมถนนกรุงเทพนนท์ ตั้งอยู่ใกล้ MRT วงศ์สว่าง
- วางไม้อัดทับพื้นเดิม ไม่ได้ยกพื้น
- วัสดุบุผนังเรียงตามลำดับ ได้แก่ ผนังปูน, โครงไม้, ใย PET, ยิปซัม และ โฟม
- วัสดุบุผนังกั้นระหว่างกัน ได้แก่ โฟม, ยิปซัม, ใย PET และ โครงไม้
- มุมห้องบันทึกเสียง ตัด 2 มุม เหลี่ยม 2 มุม
- ประตูและหน้าต่างถูกล็อกไว้ และไม่สามารถเปิดได้
- ไม่มีเสียงรบกวนจากรถไฟฟ้า และอู่รถยนต์ที่อยู่ใกล้เคียง
- ภายในห้องควบคุมเสียงมีการนำผนังบางส่วนออกมาเพื่อซ่อมเครื่องปรับอากาศ
- เพดานมีคานไม้ และติดตั้งระบบไฟ
- มีแปลน SketchUp ที่เจ้าของสถานประกอบการเคยใช้ในการออกแบบ
- ในช่วงแรกจำกัดงบประมาณไว้ที่ 400,000 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

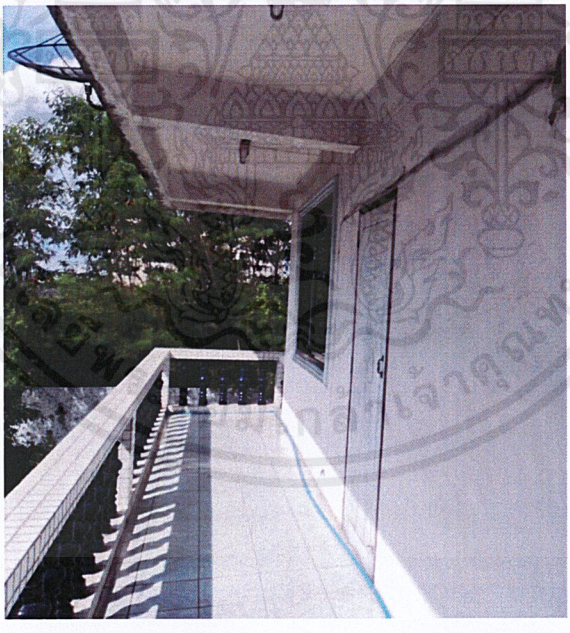
ภาพที่ 3.1 ภาพด้านหน้าอาคาร



ภาพที่ 3.2 ภาพบริเวณระเบียงข้างห้องบันทึกเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

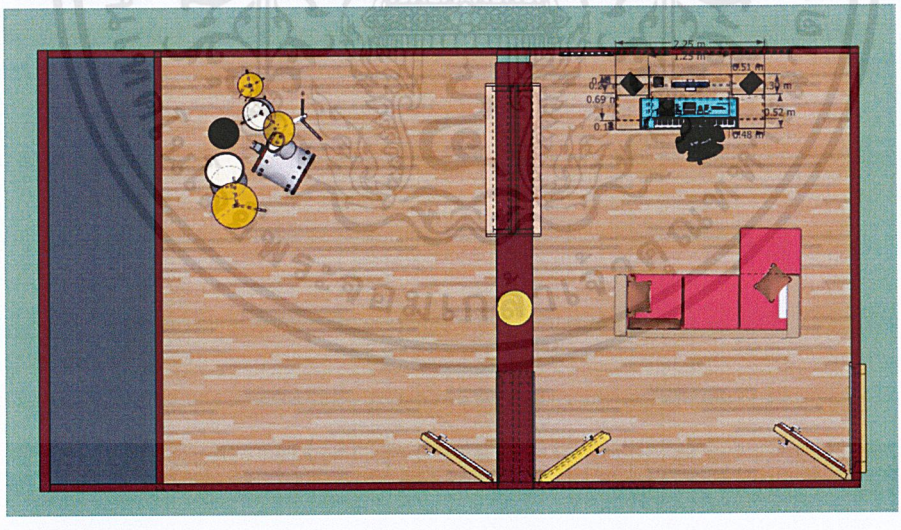
ภาพที่ 3.3 วัสดุที่ใช้บุผนังจากด้านหลัง



ภาพที่ 3.4 บริเวณระเบียงหลังห้องบันทึกเสียง

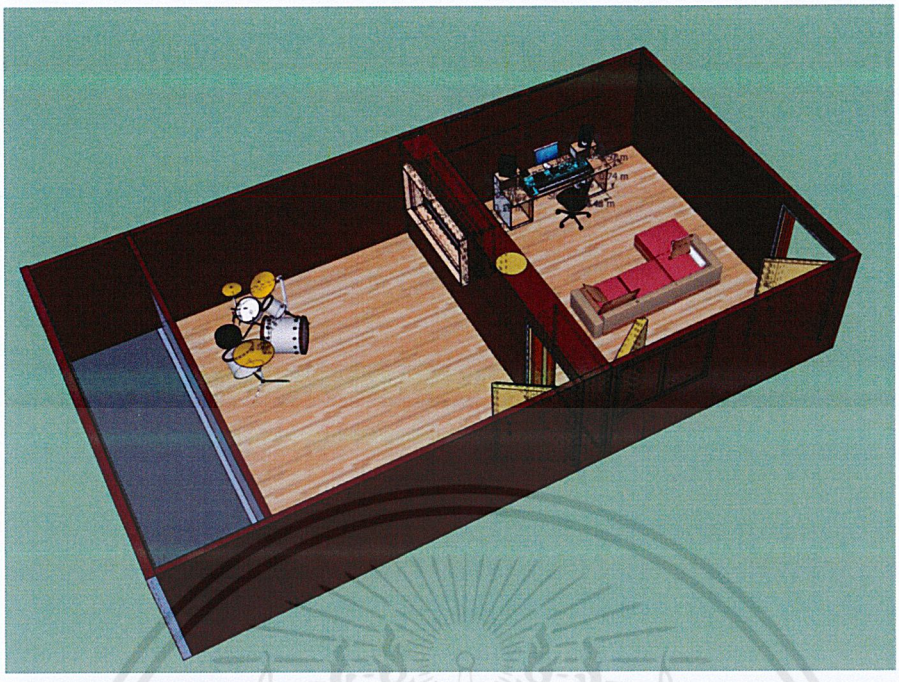
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.5 ภายในห้องบันทึกเสียง



ภาพที่ 3.6 แบบแปลนเก่า มุมมองจากด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 ภาพแบบแปลนเก่า มุมมองแบบ Perspective

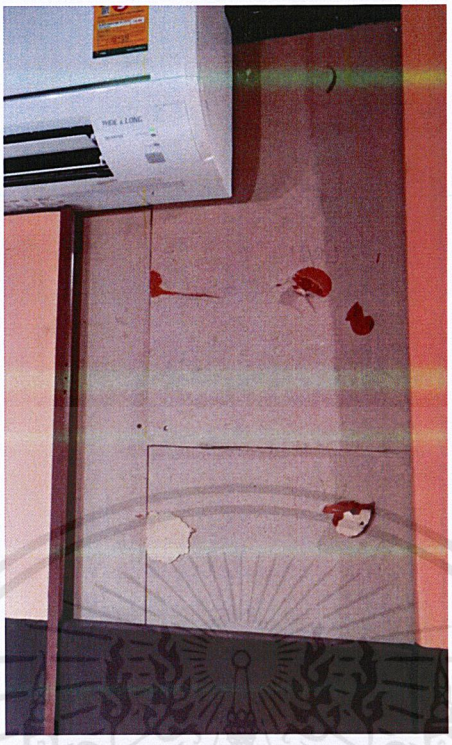
3.1.2 โครงสร้างของผนัง

โครงสร้างผนังนั้นมีผลต่อเสียงที่ทะลุผ่านของทั้งภายนอกและภายใน ส่วนวัสดุพื้นผิวภายในห้องนั้นมีผลต่อเสียงสะท้อนมาก ซึ่งโครงสร้างผนังประกอบด้วยวัสดุตามลำดับ ดังนี้

1. ผนังปูนเดิม
2. ยิปซัม
3. ใย Polyester
4. ยิปซัม
5. อะคูสติกโฟม

ซึ่งใช้โครงสร้างนี้ทั่วทั้งห้อง ส่วนผนังกั้นกลางห้องนั้นมีการต่อเติมด้วย Window Bay

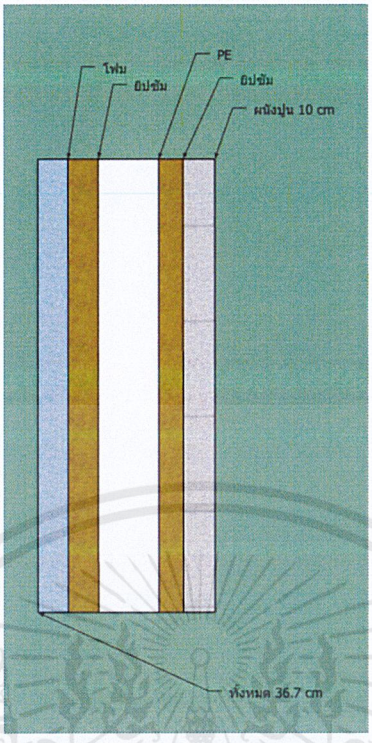
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 แผ่นยิปซัม

ภาพที่ 3.9 ใย Polyester

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.10 การจำลองชั้นผนัง

3.2 วิเคราะห์ข้อมูล และออกแบบแผนการปรับปรุง

ทำการตรวจสอบปัญหาของห้องที่เกิดขึ้น และความประสงค์ในการปรับปรุงของเจ้าของสถานประกอบการ

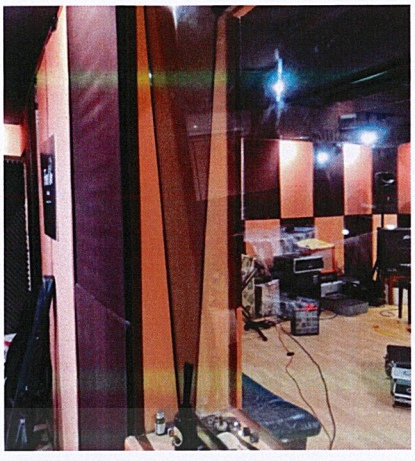
3.2.1 วิเคราะห์ปัญหา

- เสียงรถ และเสียงสุนัขเห่าเข้ามารบกวนในห้องบันทึกเสียง
- เสียงดนตรีจากห้อง Live ดังเข้ามาในห้องควบคุม
- โครงสร้างผนังห้องบันทึกเสียงไม่มีชั้น Isolation
- มีเสียงรบกวนเข้ามาผ่านทางประตู และกระจก
- มีย่านความถี่ต่ำในห้องจำนวนมาก
- ซีลรอยต่อประตู ผนัง กระจก ไว้ไม่เรียบร้อย
- มีปัญหาการสั่นสะเทือนของความถี่ต่ำภายในโครงสร้างอาคาร

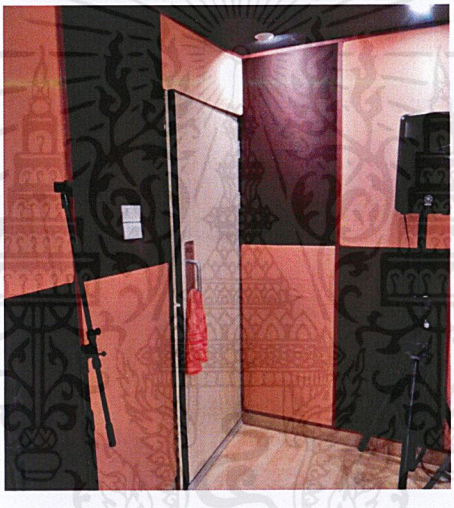
3.2.2 ความประสงค์ในการปรับปรุง

- ปรับปรุงอะคูสติกภายในห้องควบคุม
- ยกพื้นตรงเฉพาะส่วนของกลองชุด
- เปลี่ยนประตูใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 กระจก Window Bay ด้านข้าง



ภาพที่ 3.12 ประตูฝั่งห้อง Live

ภาพที่ 3.13 กระจก Window Bay มุมตรง

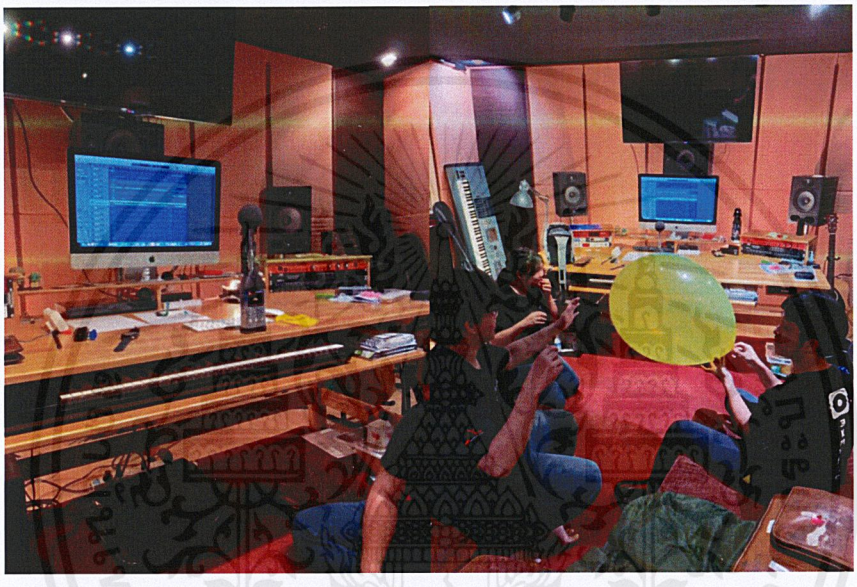
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ดำเนินการวัดค่าเก็บเป็นฐานข้อมูล

อุปกรณ์ที่ใช้ ได้แก่ เครื่องวัดเสียง SVAN 977 (A-Weight) ลำโพง Turbosound iX12 และ Smart Phone โดยจะเลือกเก็บข้อมูลที่ความละเอียด 1/3 และ 1/1 octave ไว้ และทำการวัดค่าต่าง ๆ ดังนี้

3.2.3.1 RT60

วัดโดยเจาะลูกโป่งให้แตกเพื่อจับ impulse response บริเวณตำแหน่งผู้ฟัง แล้ววัดการตอบสนองของเสียงภายในห้องว่าแต่ละความถี่ค้างอยู่นานเท่าไหร่ เก็บข้อมูลเป็นเวลา 5 วินาที



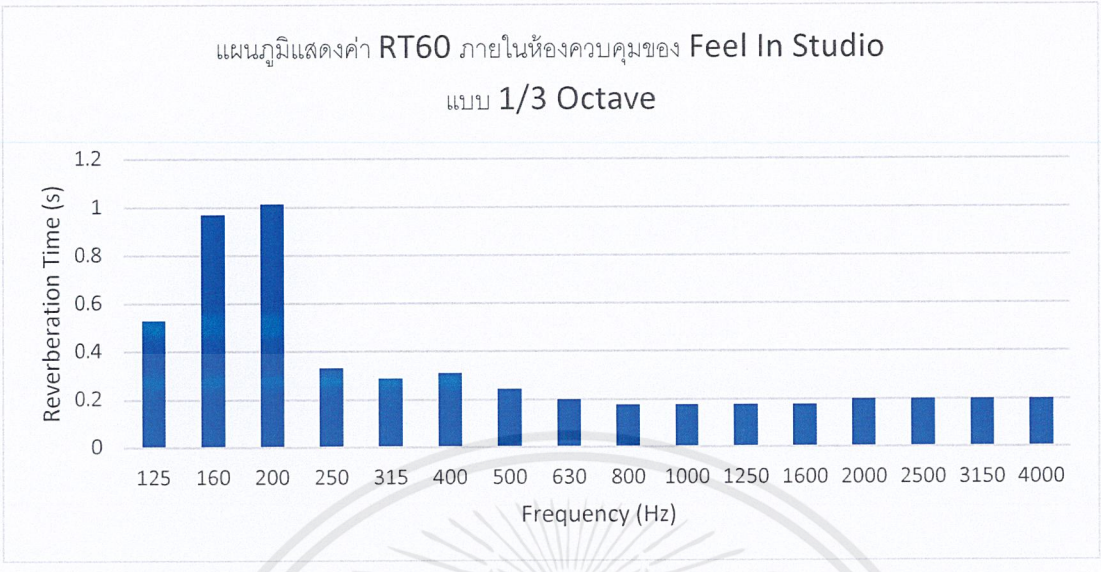
ภาพที่ 3.14 การวัด RT60

ผลลัพธ์ Total Average SPL : 38.78 dBA

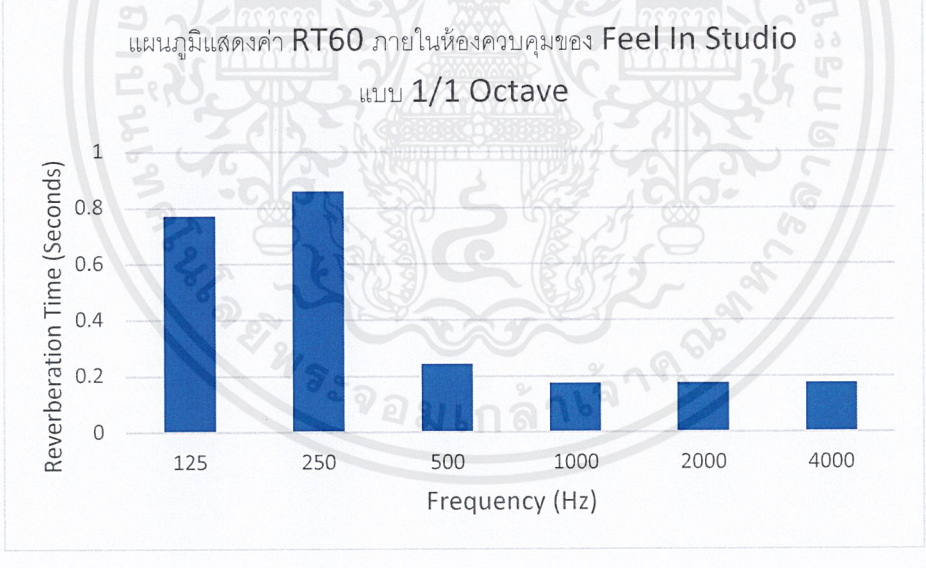
Max SPL : 106.5 dBA

Min SPL : 32.5 dBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.15 แผนภูมิแสดงค่า RT60 ภายในห้องควบคุมของ Feel In Studio แบบ 1/3 Octave

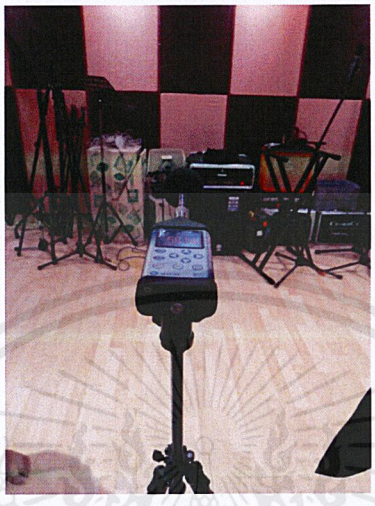


ภาพที่ 3.16 แผนภูมิแสดงค่า RT60 ภายในห้องควบคุมของ Feel In Studio แบบ 1/1 Octave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.2 Noise Floor

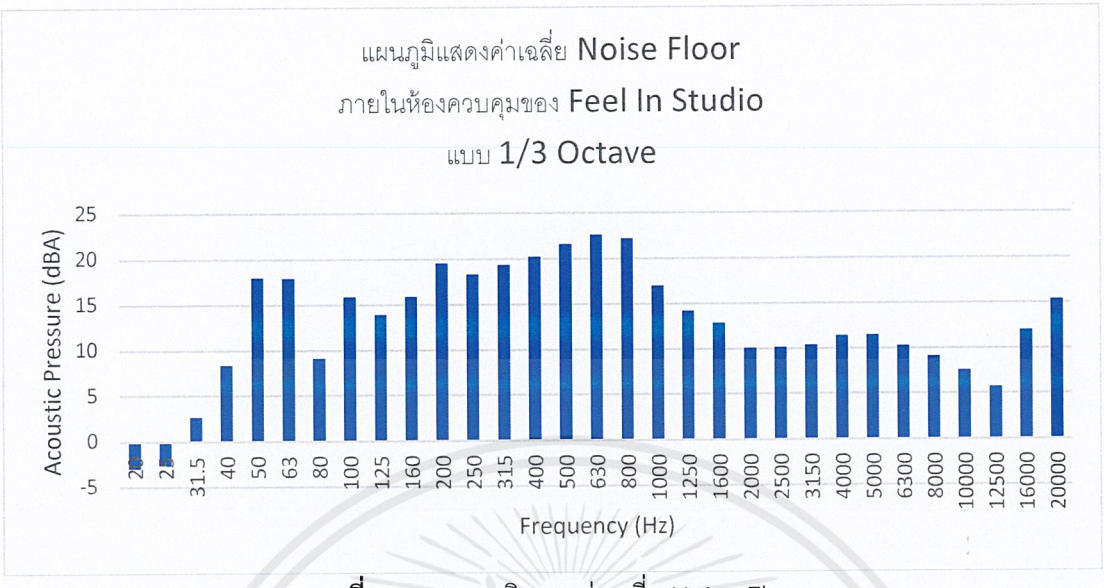
วัดโดยตั้งเครื่อง SVAN 977 ไว้กลางห้องเป็นเวลา 30 วินาที โดยจะใช้เป็นมาตรฐานของการวัดของโครงงานนี้ เพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการกันเสียงจากด้านนอกเข้ามาเบื้องต้น



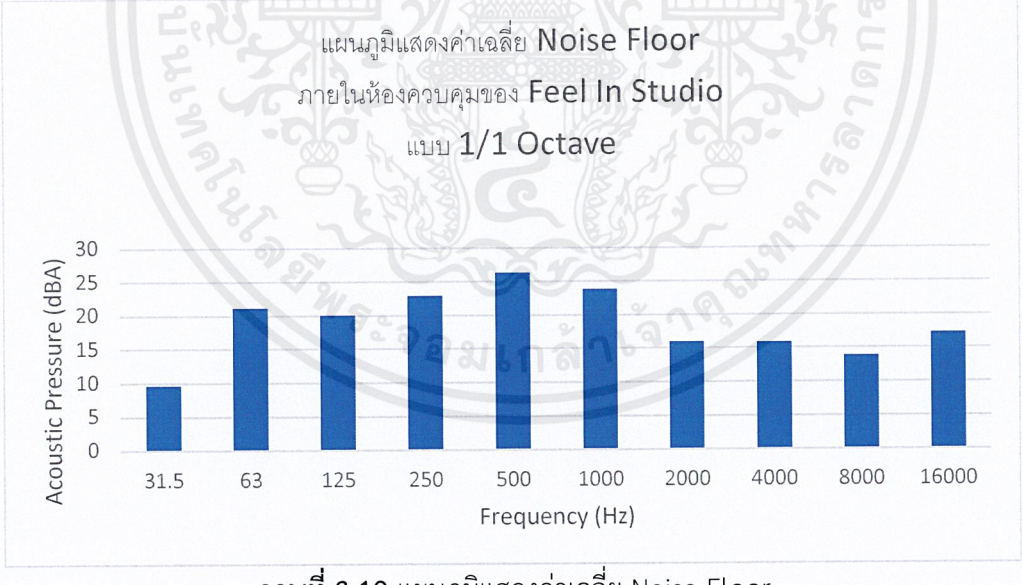
ภาพที่ 3.17 ภาพการวัด Noise Floor

ผลลัพธ์	Total Average SPL	: 31.58 dBA
	Max SPL	: 33.5 dBA
	Min SPL	: 29.6 dBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.18 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ย Noise Floor
ภายในห้องควบคุมของ Feel In Studio
แบบ 1/3 Octave



ภาพที่ 3.19 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ย Noise Floor
ภายในห้องควบคุมของ Feel In Studio
แบบ 1/1 Octave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.3 ระดับเสียงบริเวณระเบียง

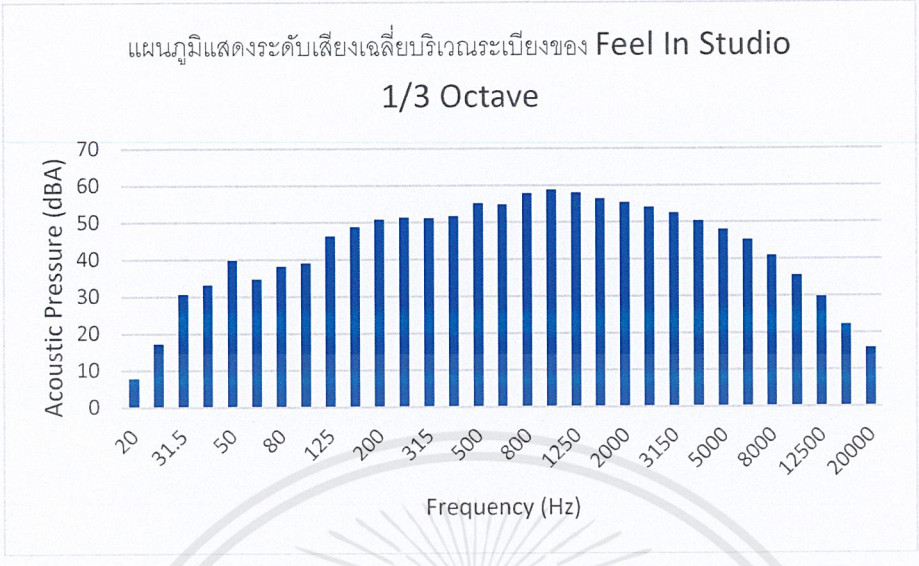
วัดเพื่อทราบถึงความดังเฉลี่ยบริเวณข้างนอกก่อนจะเข้ามาถึงภายในห้อง โดยตั้งตำแหน่งเครื่องวัดเสียงให้ห่างจากกำแพง 1 เมตร และ หันด้านไมโครโฟนไปทางฝั่งถนน

ภาพที่ 3.20 การวัดเสียงบริเวณระเบียง

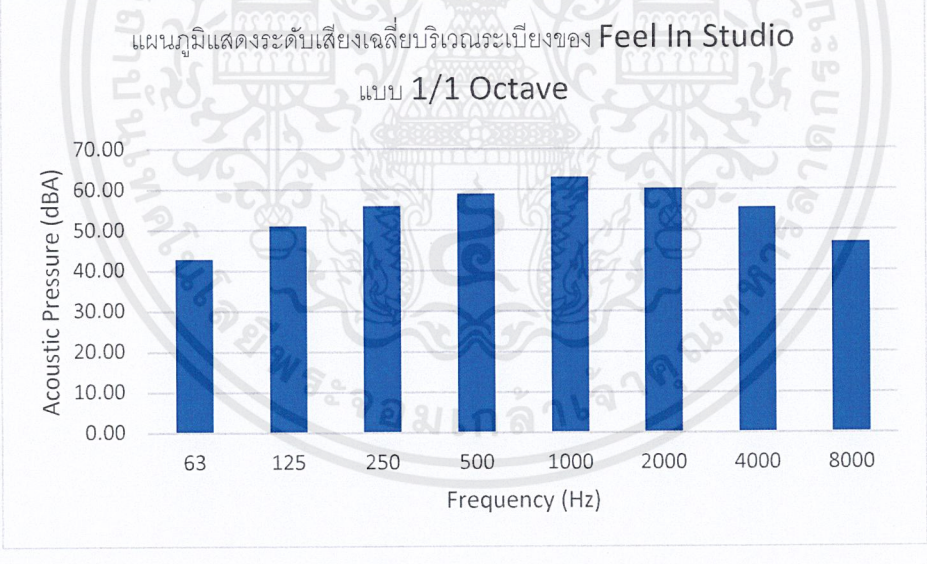
ผลลัพธ์

Total Average SPL	: 66.88 dBA
Max SPL	: 69.5 dBA
Min SPL	: 65.5 dBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.21 แผนภูมิแสดงระดับเสียงเฉลี่ยบริเวณระเบียงของ Feel In Studio 1/3 Octave



ภาพที่ 3.22 แผนภูมิแสดงระดับเสียงเฉลี่ยบริเวณระเบียงของ Feel In Studio แบบ 1/1 Octave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.4 ระดับเสียงอ้างอิง

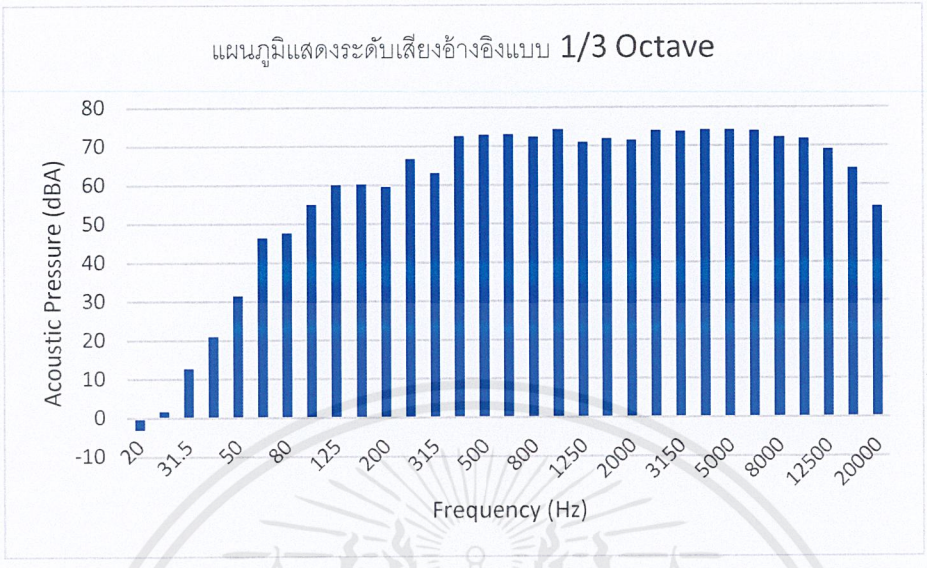
ปล่อย Pink Noise ที่ 85 dBA แล้ววัดเสียงระยะอ้างอิงจากกลางดอกลำโพงถึงเครื่องวัดที่ระยะ 2.42 เมตร เป็นเวลา 30 วินาที

ภาพที่ 3.23 การวัดระดับเสียงอ้างอิง

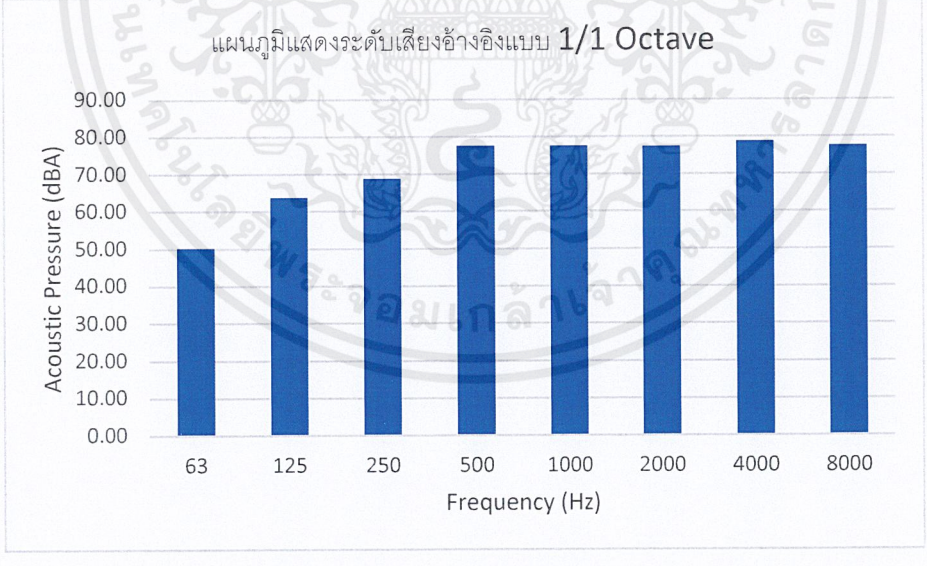
ผลลัพธ์

Total Average SPL	: 84.97 dBA
Max SPL	: 85.1 dBA
Min SPL	: 84.5 dBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.24 แผนภูมิแสดงระดับเสียงอ้างอิงแบบ 1/3 Octave

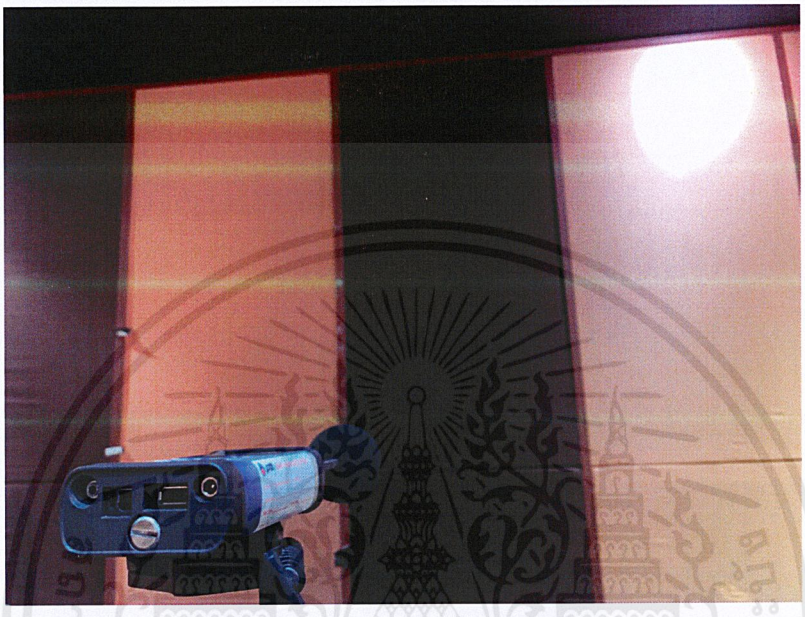


ภาพที่ 3.25 แผนภูมิแสดงระดับเสียงอ้างอิงแบบ 1/1 Octave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.5 ระดับเสียงที่ลอดผ่านผนังกั้นกลาง

ปล่อย Pink Noise ที่ 85 dBA ไปที่ผนังโดยตรง แล้วใช้เครื่องวัดจ่อเข้าหาผนังของอีกฝั่ง โดยวางตำแหน่งยึดตามระยะอ้างอิง ผนังหนา 42 เซนติเมตร ลำโพงกับเครื่องวัดห่างจากผนังฝั่งละ 100 เซนติเมตร เท่ากัน

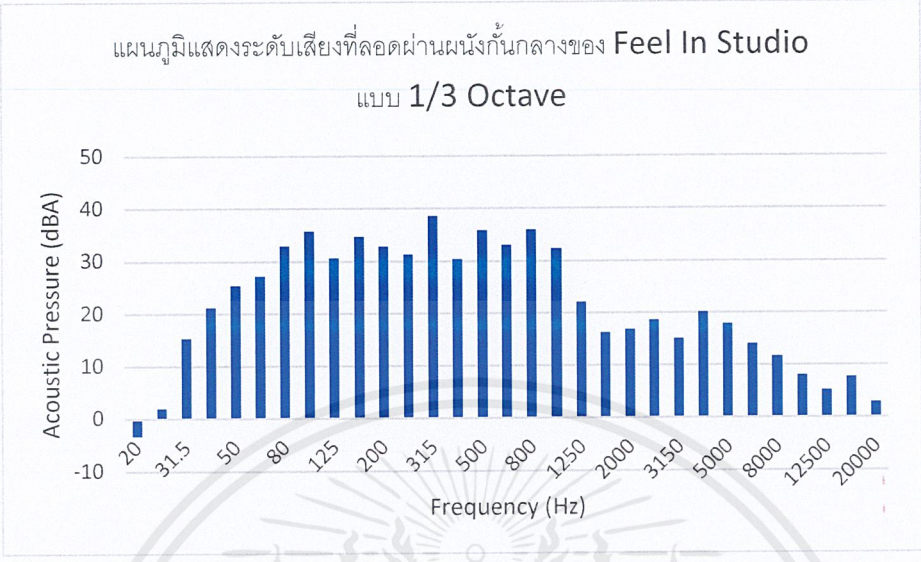


ภาพที่ 3.26 การวัดระดับเสียงที่ลอดผ่านผนังกั้นกลาง

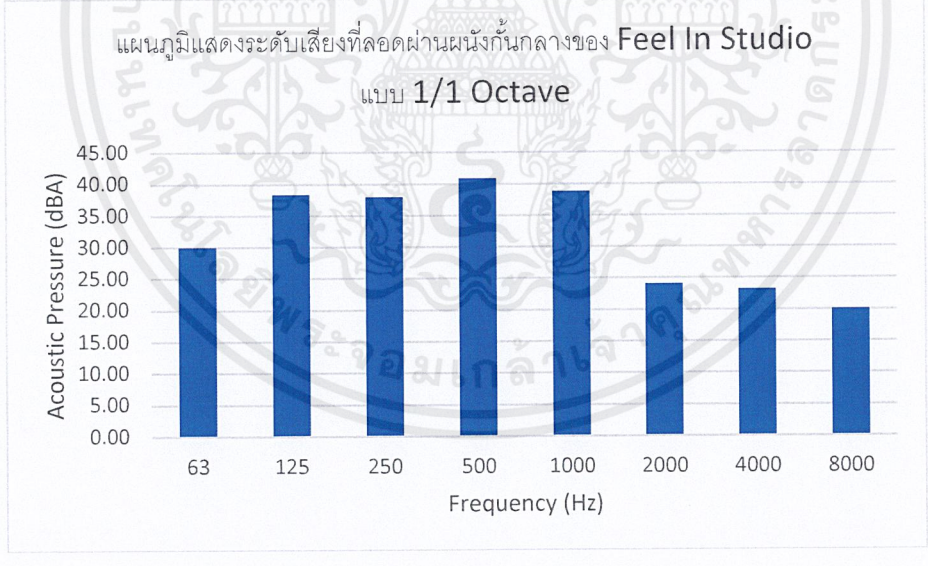
ผลลัพธ์

Total Average SPL	: 45.23 dBA
Max SPL	: 45.6 dBA
Min SPL	: 44.4 dBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.27 แผนภูมิแสดงระดับเสียงที่ลอดผ่านผนังกั้นกลางของ Feel In Studio แบบ 1/3 Octave



ภาพที่ 3.28 แผนภูมิแสดงระดับเสียงที่ลอดผ่านผนังกั้นกลางของ Feel In Studio แบบ 1/1 Octave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.6 ระดับเสียงที่ลอดผ่านผนังล้อมรอบ

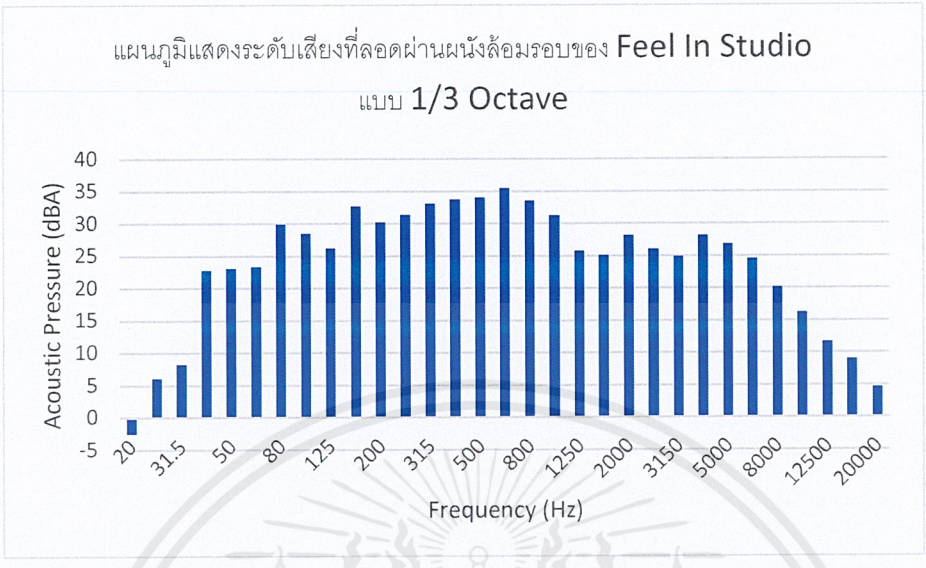
ปล่อย Pink Noise ที่ 85 dBA จ่อไปที่ผนังโดยตรง แล้วใช้เครื่องวัดจ่อเข้าหาผนังของอีกฝั่ง โดยวางตำแหน่งยึดตามระยะอ้างอิง ผนังหนา 36.7 เซนติเมตร ลำโพงกับเครื่องวัดห่างจากผนังฝั่งละ 102.65 เซนติเมตร เท่ากัน

ภาพที่ 3.29 การวัดระดับเสียงที่ลอดผ่านผนังล้อมรอบ

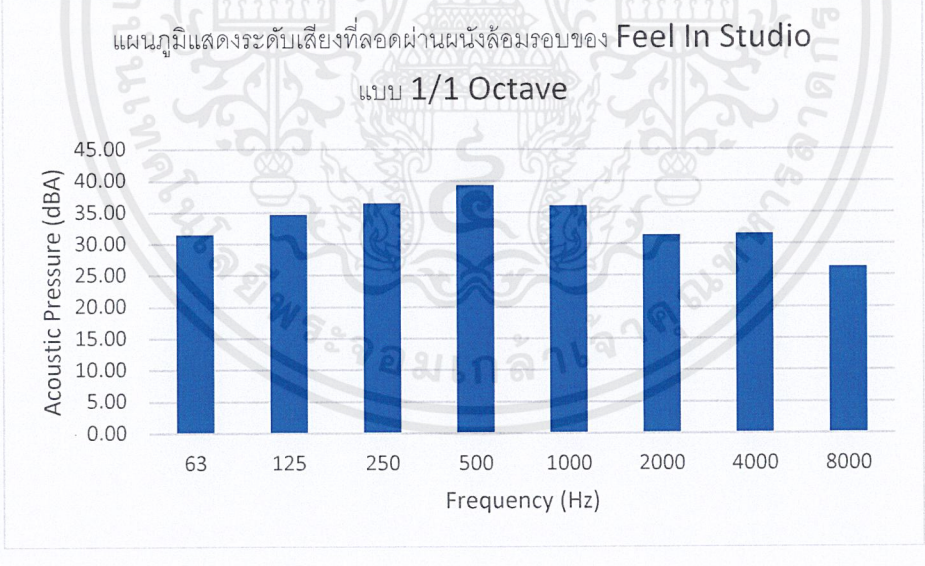
ผลลัพธ์

Average SPL	: 43.88 dBA
Max SPL	: 45.4 dBA
Min SPL	: 43.1 dBA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.30 แผนภูมิแสดงระดับเสียงที่ลอดผ่านผนังล้อมรอบของ Feel In Studio แบบ 1/3 Octave



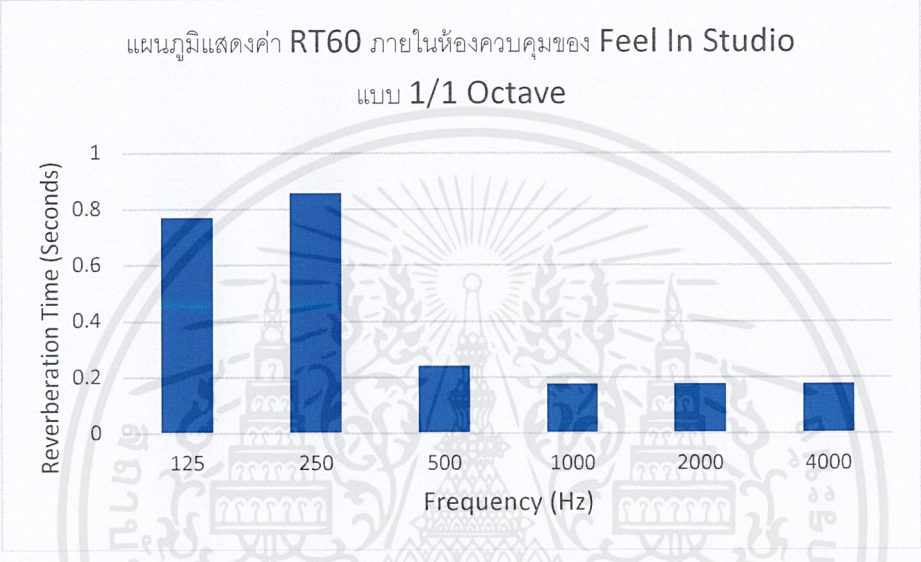
ภาพที่ 3.31 แผนภูมิแสดงระดับเสียงที่ลอดผ่านผนังล้อมรอบของ Feel In Studio แบบ 1/1 Octave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

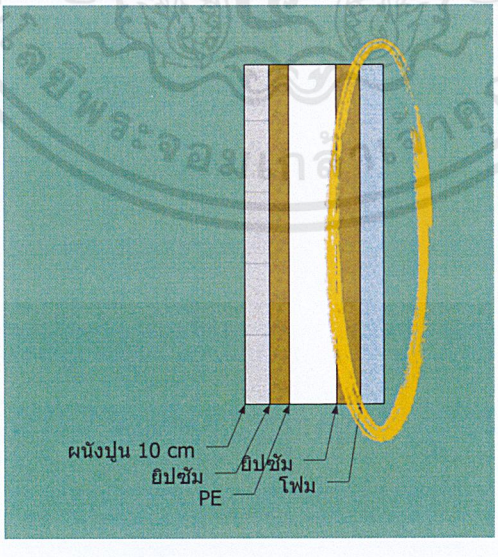
3.2.4 วิเคราะห์ข้อมูล

3.2.4.1 RT60

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า บริเวณช่วงความถี่เสียงต่ำบริเวณ 200 Hz มีค่าค่อนข้างสูง และ ความถี่กลางต่ำถัดจาก 250 Hz ขึ้นไปจะมีค่าน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเป็นเพราะว่ามีการบุผนังด้วยอะคูสติกโฟมเกือบทั่วทั้งห้อง ซึ่งคุณสมบัติของโฟม คือสามารถดูดซับความถี่กลางและความถี่สูงได้ในปริมาณมาก



ภาพที่ 3.32 แผนภูมิแสดงค่า RT60 ภายในห้องควบคุมของ Feel In Studio แบบ 1/1 Octave

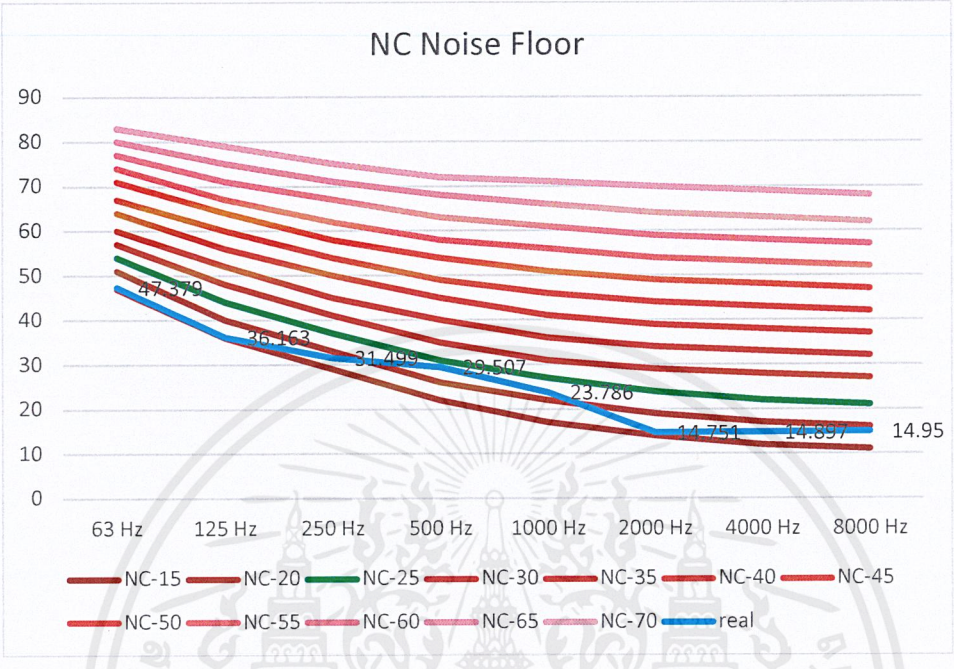


ภาพที่ 3.33 ส่วนประกอบของผนัง

3.2.4.1 Noise Criteria

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่า Noise Floor ไปเทียบกับกราฟ NC แล้ว พบว่าอยู่ในระดับ NC 25 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงระดับมาตรฐานของสตูดิโอบันทึกเสียงที่ NC 20

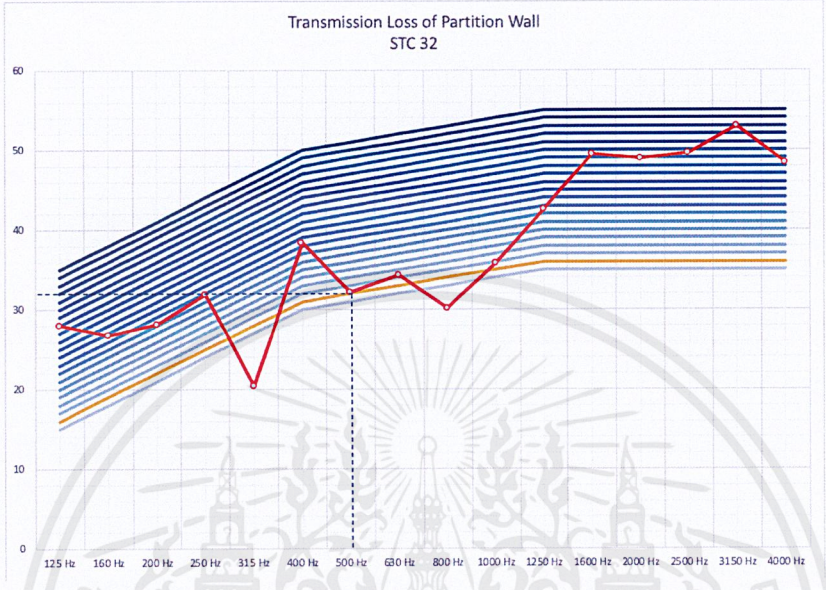


ภาพที่ 3.34 กราฟแสดงค่า NC ของห้องควบคุม Feel In Studio

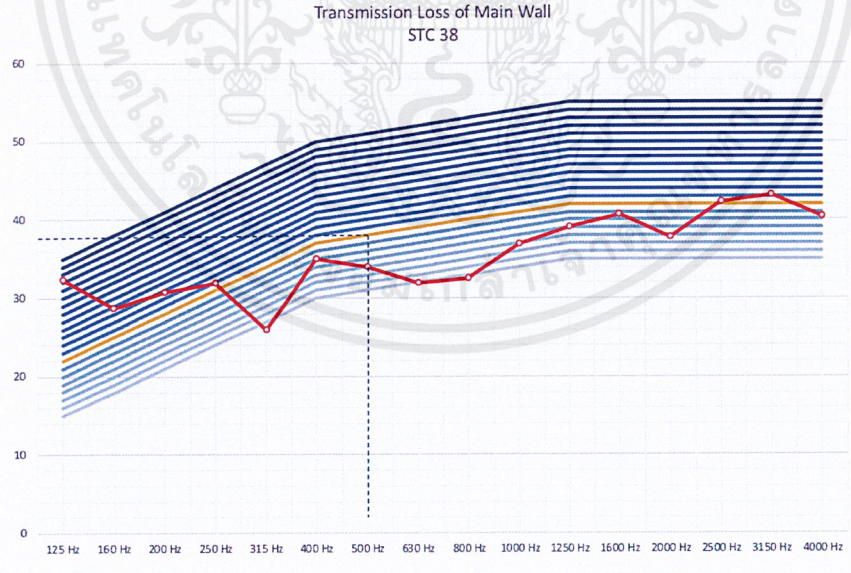
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4.1 STC

เมื่อนำ Transmission Loss ที่คำนวณจากผนังทั้งสองแบบมาเทียบกับกราฟจะพบว่า ผนังกั้นกลางห้อง (STC 32) สามารถกันเสียงได้น้อยกว่าถ้าเทียบกับผนังที่ล้อมรอบห้อง (STC 38)



ภาพที่ 3.35 กราฟแสดงค่า STC ของผนังกั้นกลางระหว่างห้อง Live กับห้องควบคุม



ภาพที่ 3.36 กราฟแสดงค่า STC ของผนังที่ล้อมรอบห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 ออกแบบการปรับปรุงแบบ

ทำการเขียนแบบโดยใช้โปรแกรม SketchUp ดังหัวข้อต่อไปนี้

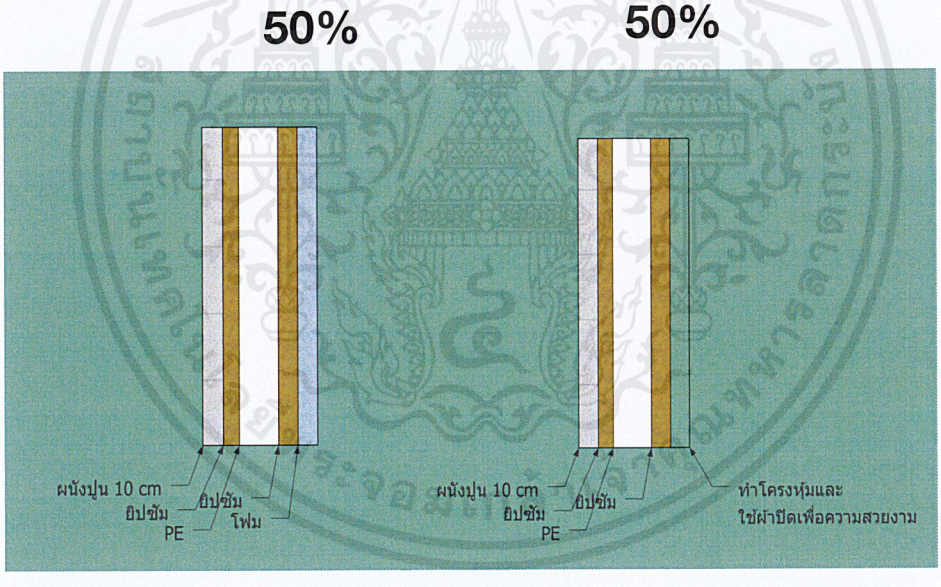
3.2.5.1 แก้ไข RT60

การติดตั้งผนังแบบเดิมมีปัญหาเรื่องความถี่กลาง และ ความถี่สูงที่ถูกดูดซับมากจนเกินไป ดังนั้นจึงออกแบบวิธีแก้ปัญหาโดยให้นำโฟมของเดิมออกครึ่งหนึ่งของทั้งหมดในห้อง ส่วนอีกครึ่งหนึ่งก็จะไม่มีโฟม ทำให้พื้นผิวกลายเป็นยิปซัม ซึ่งจะส่งผลทำให้ความถี่กลาง และความถี่สูงมีค่าสูงขึ้นจนใกล้เคียงกับความถี่ต่ำในห้อง และสามารถนำไปออกแบบต่อยอดได้ง่ายมากขึ้น

ตารางที่ 3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การซับเสียงของวัสดุโฟม

วัสดุ	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC
Owen-Corning 703	0.17	0.86	1.14	1.07	1.02	0.98	1
Owen-Corning 705-FRK	0.6	0.5	0.63	0.82	0.45	0.34	0.6
Typical sculpted acoustic foam	0.11	0.3	0.91	1.05	0.99	1	0.8

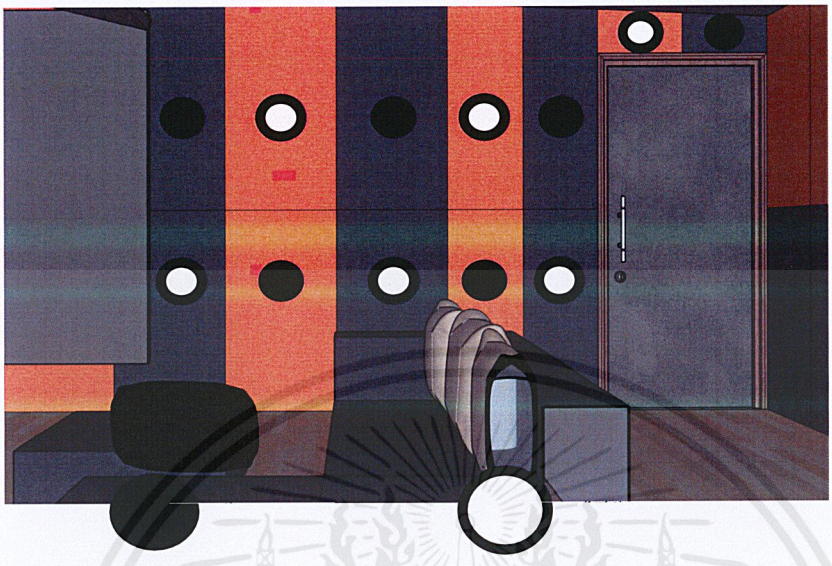
ที่มา : http://whathifi.whatgroupmag.com/room-acoustic-2-สงครามเสียงในห้องฟัง/



ภาพที่ 3.37 การออกแบบผนังที่จะใช้ในการปรับปรุง

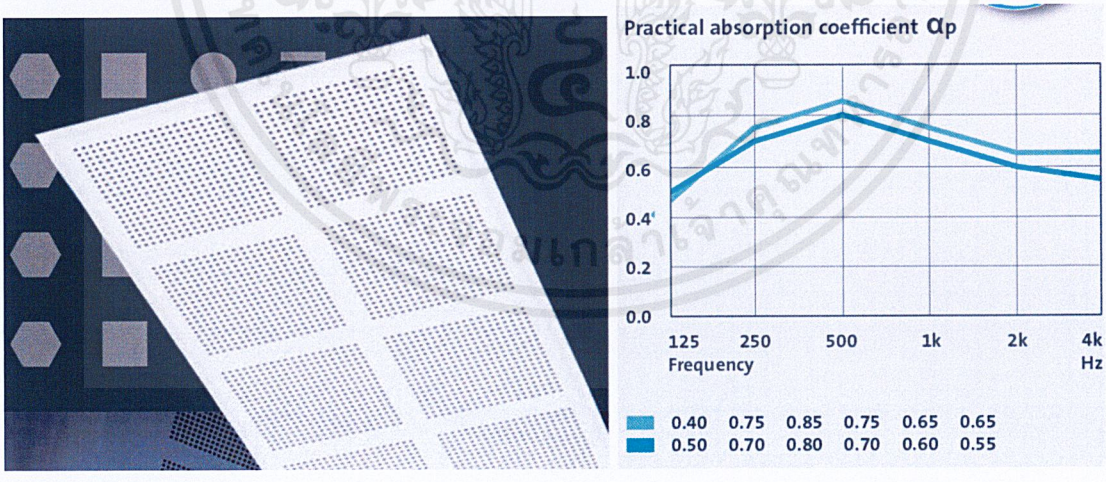
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยออกแบบพื้นผิวให้วางสลับกันทั่วทั้งห้อง ดังนี้



ภาพที่ 3.38 การออกแบบพื้นผิวผนังห้อง

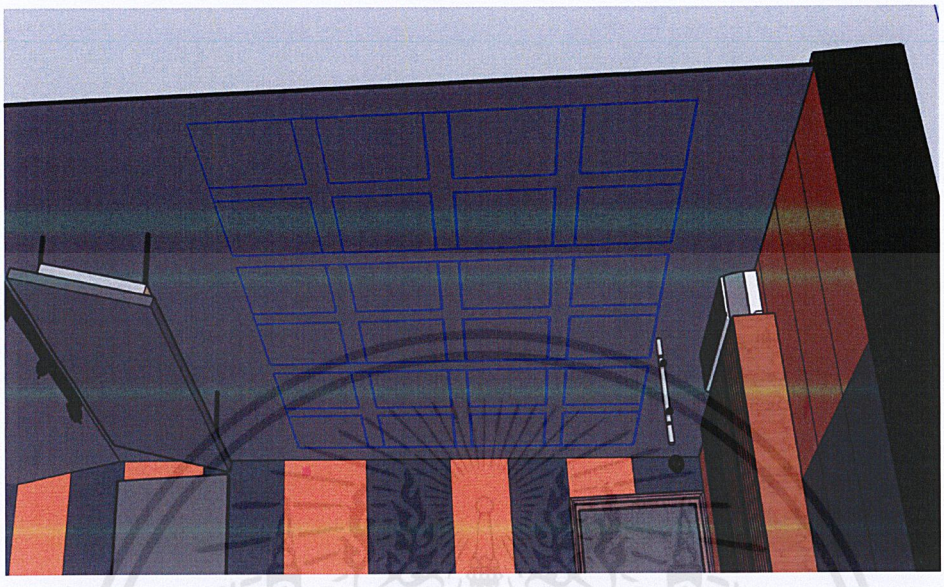
ถัดไปเป็นส่วนของฝ้าเพดาน Gyptone Activ'Air BIG™ Quattro 41 และ Bass Trap ที่เสริมเข้ามาเพื่อลดความถี่ต่ำที่เป็นเสียงรบกวนระหว่างการทำงาน



ภาพที่ 3.39 Gyptone Activ'Air BIG™ Quattro 41

ที่มา : https://www.gyproc.co.th/th/node/3476

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.40 ตำแหน่งการติดตั้ง Gyptone บนฝ้าเพดาน

ภาพที่ 3.41 Bass Trap ที่ติดตั้งบริเวณมุมห้อง

ที่มา : https://www.gikacoustics.com/product/gik-acoustics-tri-trap/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

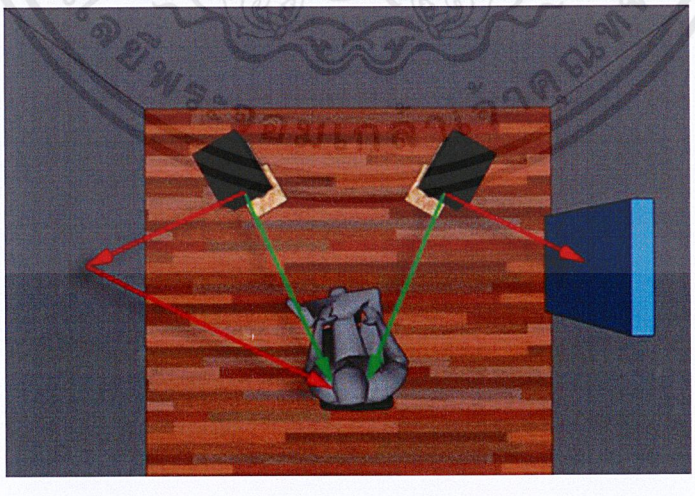
3.2.5.2 แก้ไข Early Reflection

ซึ่งวิธีการแก้ไข้มีสองวิธีคือ ใช้วัสดุดูดซับเสียงเพื่อลดพลังงานเสียงให้น้อยลง หรือนำ Panel ให้เอียงไปทางทิศทางอื่นเพื่อให้เสียงไปสะท้อนเข้าหูผู้ฟังโดยตรง

ภาพที่ 3.42 Acoustic Panel

ที่มา : https://www.bhphotovideo.com/c/product/1171738-REG/geerfab_acoustics_pz48coin1_prozorber_24x48_acoustic_panel.html

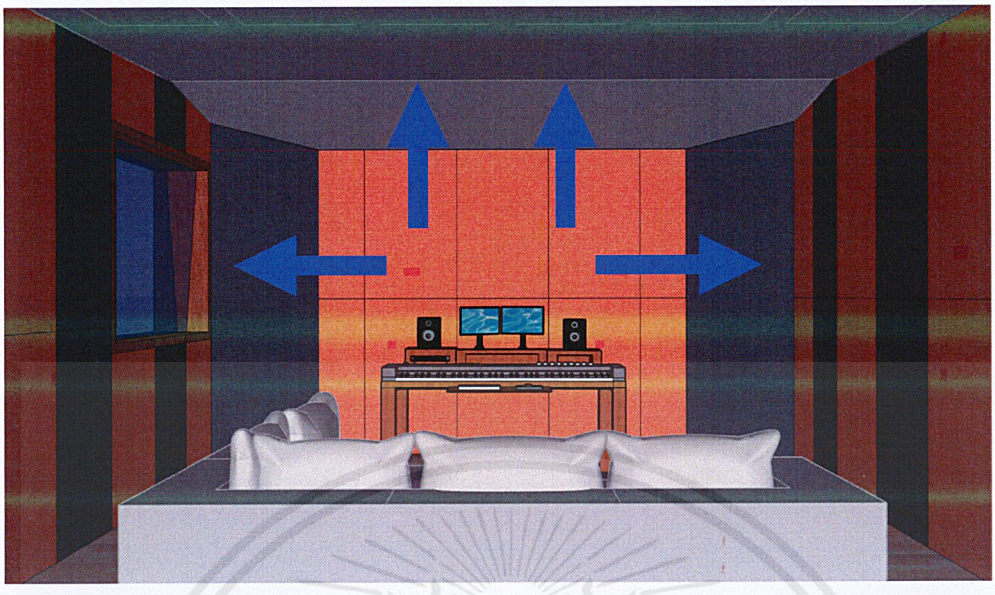
การติดตั้ง Acoustic Panel จะช่วยลดพลังงานของย่าน high ซึ่งจะช่วยลด Early Reflection ให้น้อยลงจนไม่รู้สึกถึงเสียงสะท้อนก่อนถึงหูผู้ฟัง



ภาพที่ 3.43 การแก้ปัญหา Early Reflection

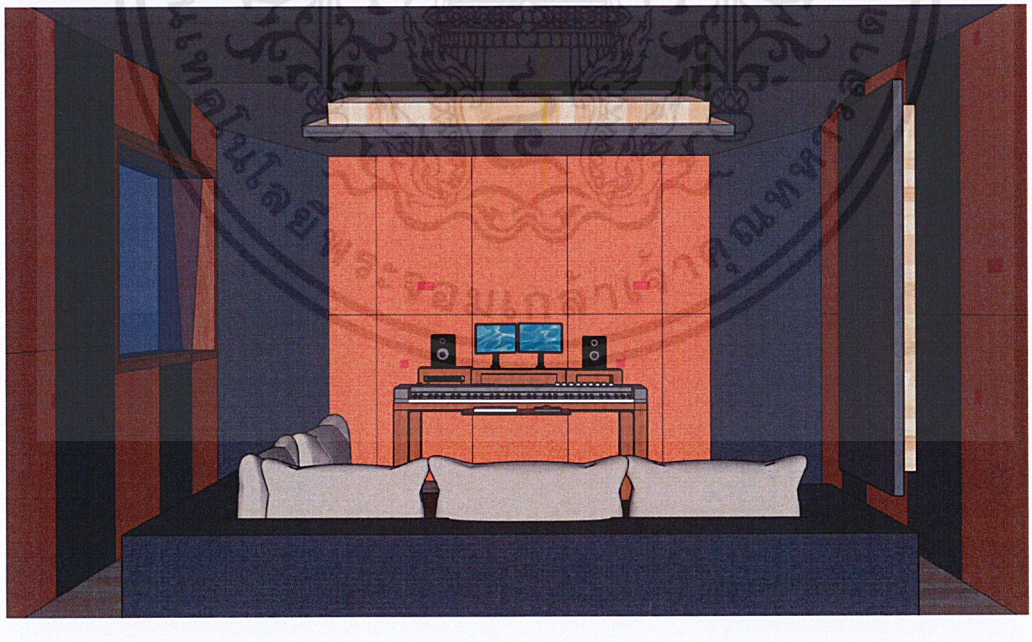
ที่มา : https://jannekorpela.com/kotistudion-akustointi/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.44 ทิศทางการสะท้อนของเสียงภายในห้อง

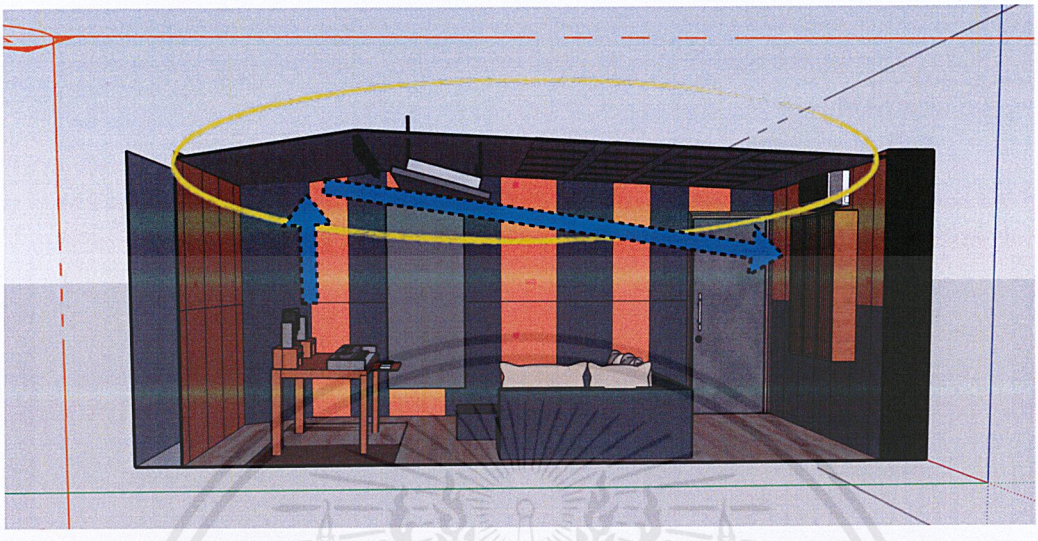
ติดตั้ง Acoustic Panel ในบริเวณตำแหน่งที่เกิดการสะท้อนดังภาพในบริเวณด้านขวา และ ด้านบน ส่วนฝั่งซ้ายมีกระจกเอียงแล้วจึงไม่ต้องติดตั้งอะไรเพิ่ม



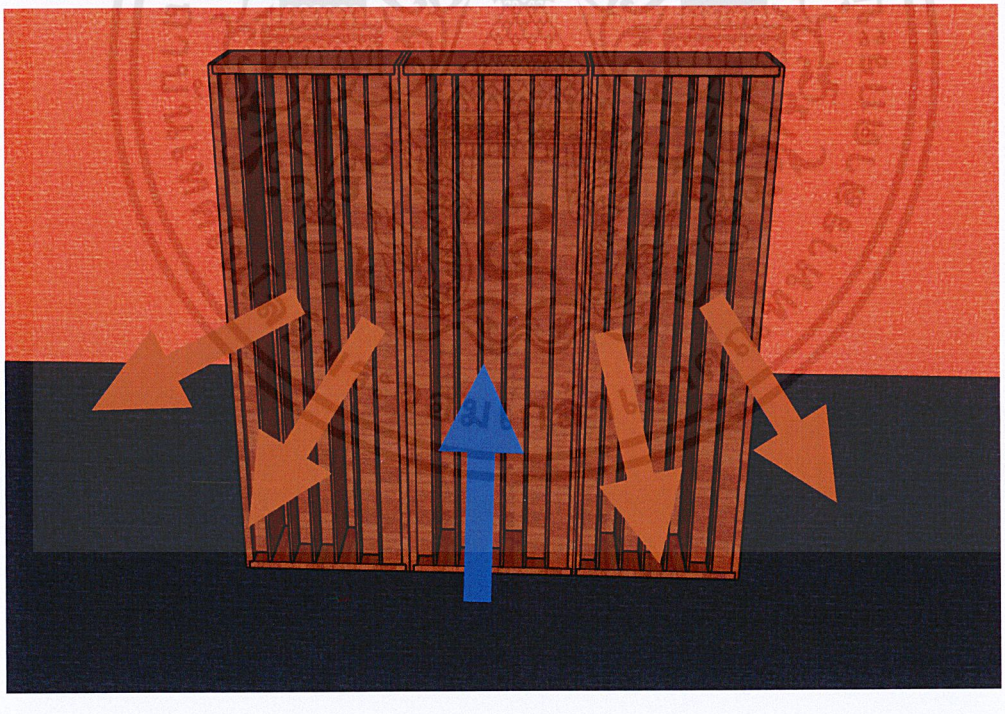
ภาพที่ 3.44 การออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหา Early Reflection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำฝ้าเอียงจะช่วยให้เสียงที่พุ่งไปข้างบนสะท้อนไปด้านหลังจนกระทบกับ Diffuser เพื่อให้เสียงกระจายทิศทางออกไป และทำให้พลังงานเสียงลดลงไปจำนวนมากก่อนถึงหูผู้ฟัง



ภาพที่ 3.45 ทิศทางของเสียงที่กระทบฝ้าเอียงและ Diffuser

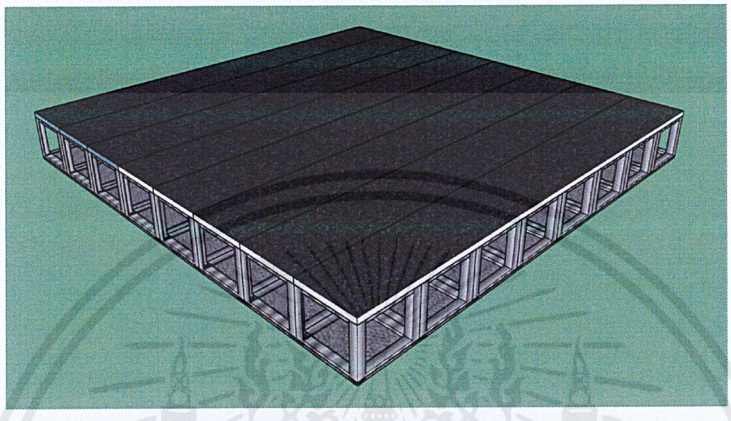


ภาพที่ 3.46 ทิศทางของเสียงที่ Diffuser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

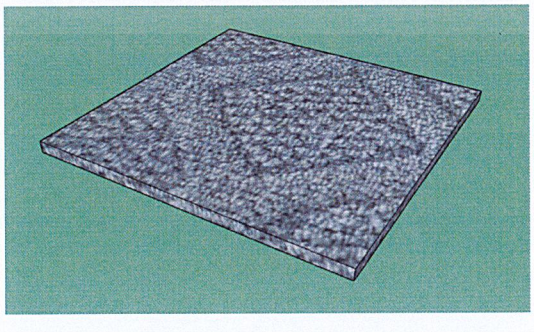
3.2.5.3 ติดตั้งเวทียกพื้นกลอง

การยกพื้นช่วยทำให้ลดแรงกระแทกและลดการสั่นสะเทือนไปถึงโครงสร้างของห้อง ซึ่งทำให้เวลาตีกลอง โครงสร้างหลักของห้องจะสั่นน้อยลง ยางจะช่วยลดแรงกระแทก ใยแก้วจะช่วยซับความถี่ต่ำ และ เมื่ออัดเสียงกลอง Noise ที่เกิดจากการสั่นของโครงสร้างก็จะน้อยลงเช่นกัน ประกอบด้วย เต๋ายาง, ใยแก้ว, โครงเหล็ก และ วีว่าบอร์ด



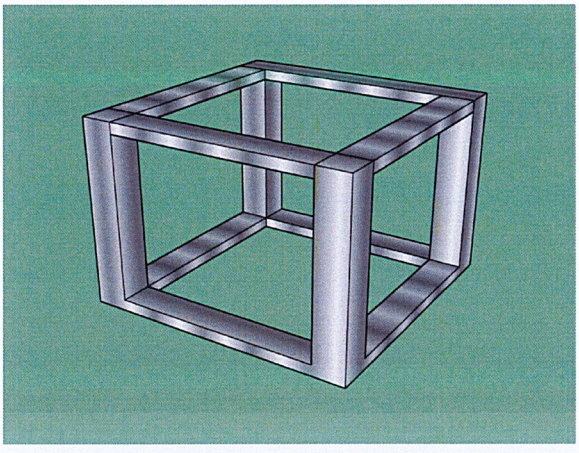
ภาพที่ 3.47 เวทียกพื้นกลอง

ภาพที่ 3.48 เต๋ายาง

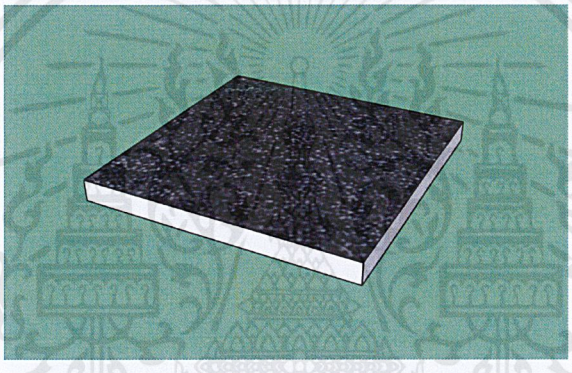


ภาพที่ 3.49 ใยแก้ว

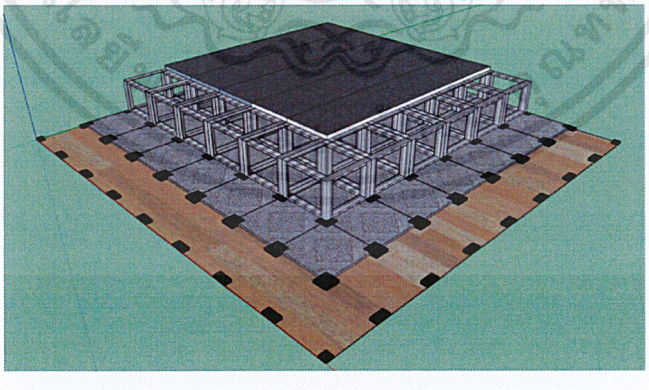
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.50 โครงเหล็ก



ภาพที่ 3.51 วีว่าบอร์ด ขนาด 20 มิลลิเมตร

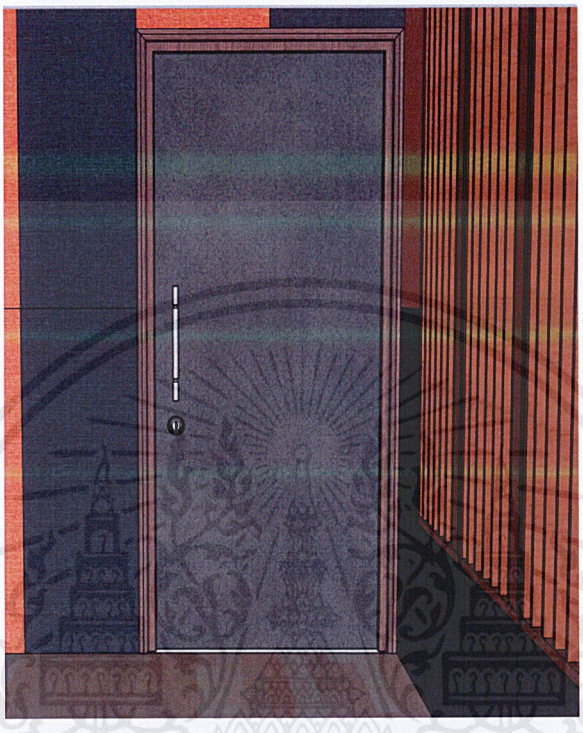


ภาพที่ 3.52 โครงสร้างในการประกอบวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5.4 เปลี่ยนประตู

เปลี่ยนประตูไม้ธรรมดาเป็นประตูปูผิวด้วยพรม ช่วยแก้ปัญหาประตูที่ปิดไม่สนิทจนทำให้เกิดเสียงรั่วเข้ามาอีกห้องหนึ่งได้ ใช้พรมที่เป็นวัสดุ Acoustic ช่วยในการดูดซับเสียงอีกทาง

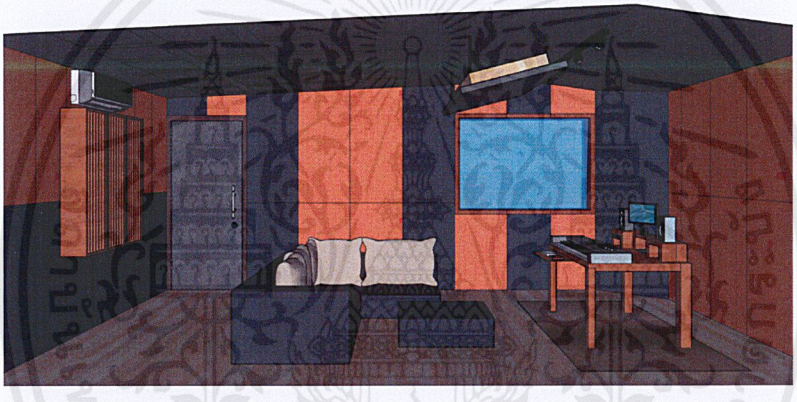


ภาพที่ 3.53 ประตูปูผิวด้วยพรม

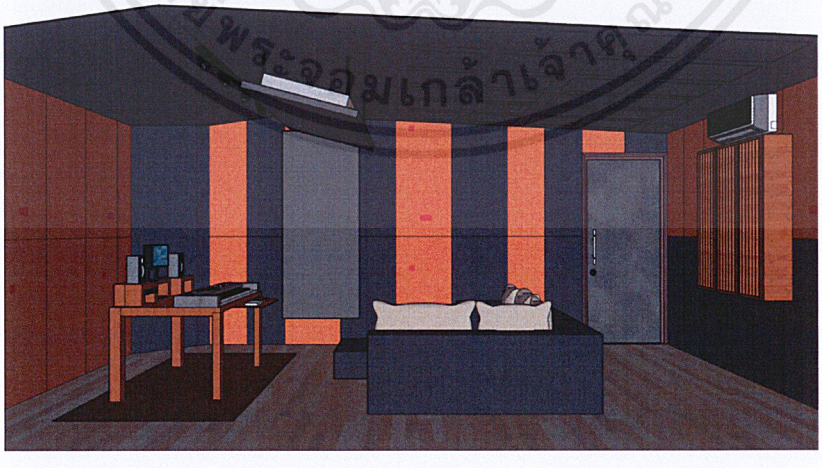
ภาพที่ 3.54 มุมมองด้านหน้าของแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.55 มุมมองด้านหลังของแบบ



ภาพที่ 3.56 มุมมองด้านซ้ายของแบบ



ภาพที่ 3.57 มุมมองด้านขวาของแบบ

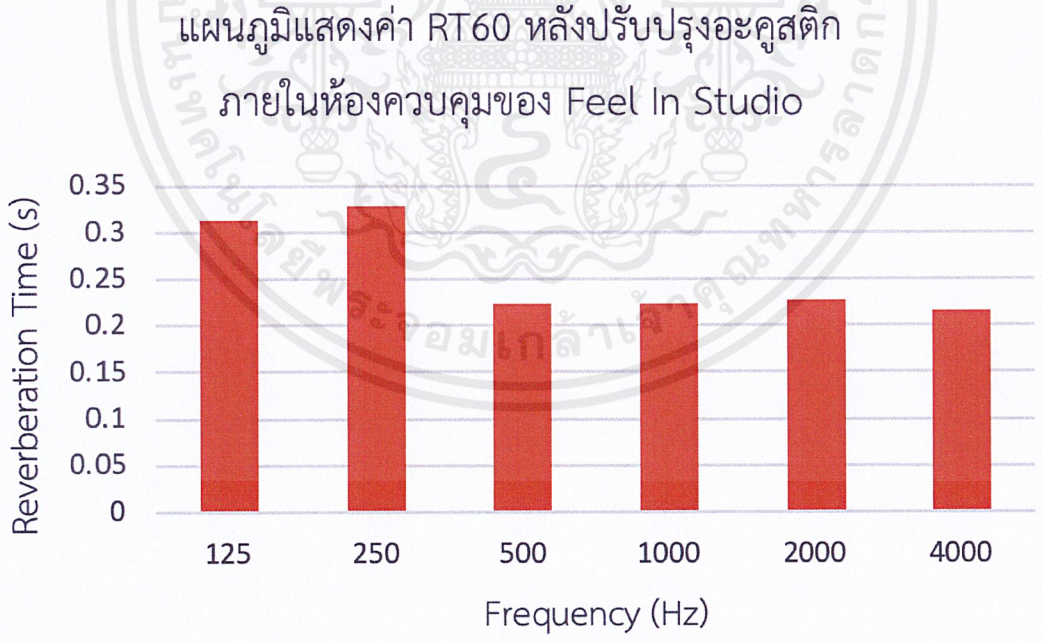
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5.5 จำลองผลการทดสอบ

คำนวณโดยใช้ความถี่ 125 Hz 250 Hz 500 Hz 1000 Hz 2000 Hz และ 4000 Hz ตามมาตรฐานในการคำนวณแบบ 1/1 Octave ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยปริมาตรห้องรวมเป็น 49.954989 m^3 และพื้นที่ภายในห้องรวมเป็น 90.026 m^2 สรุปแล้วจะได้ผลลัพธ์สุดท้ายดังแผนภูมิข้างต้น

ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุทั้งหมดที่ใช้ในการออกแบบ (α)

Sound Absorption Coefficients (1/3 octave)						
Materials	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Gypsum	0.3	0.1	0.05	0.04	0.07	0.1
Acoustic Foam	0.11	0.3	0.91	1.05	0.99	1
Bass Trap	0.6	0.5	0.63	0.82	0.45	0.34
Acoustic Panel	0.57	1	1.38	1.3	1.2	1.24
Diffuser QRD-7 Unvarnished	0.2	0.3	0.5	0.35	0.37	0.5
Carpet Floor	0.05	0.1	0.25	0.4	0.6	0.7
Heavy Carpet on the Door	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Window (Glasses)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
Wooden Floor (Parquet)	0.25	0.15	0.1	0.09	0.08	0.07
Wood	0.15	0.11	0.1	0.07	0.06	0.07
Gyproc	0.5	0.7	0.8	0.7	0.6	0.55



ภาพที่ 3.58 แผนภูมิแสดงค่า RT60 จำลองผลหลังการสร้างจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การประเมินราคา

การประเมินราคานั้นจะรวมค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เช่น ค่าวัสดุ ค่าแรง และกำไร ซึ่งบริษัทที่รับหน้าที่ประเมินราคาคือ บริษัท แฮนส์ โซลูชั่น จำกัด ซึ่งรายละเอียดการประเมินราคานั้นเป็นความลับของทางบริษัท และไม่สามารถเปิดเผยได้ จึงทราบเฉพาะราคาการประเมินสุทธิเท่านั้นคือ 494,125 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

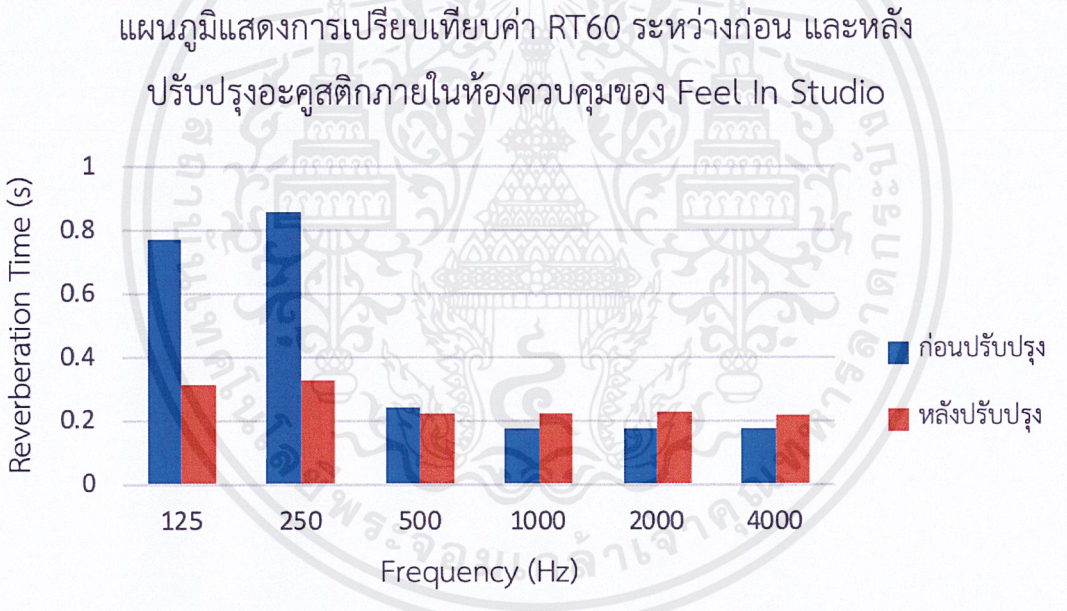
4.1 ผลการออกแบบการปรับปรุงแบบแปลน

4.1.1 ค่า RT 60 ก่อนออกแบบ

ห้องควบคุมของ Feel In Studio มีค่า RT60 ค่อนข้างที่จะไม่สมดุล ซึ่งความถี่ต่ำนั้นมีค่าสูงเกินมาตรฐาน ส่วนความถี่กลาง และความถี่สูงนั้นก็ยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานห้องบันทึกเสียง จึงจำเป็นต้องจัดการความถี่ในห้องให้สมดุล เพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการทำงาน

4.1.2 ค่า RT 60 หลังออกแบบ

ผลลัพธ์ออกมาค่า RT60 ของทุกความถี่อยู่ในช่วง 0.2 - 0.6 วินาที ตามมาตรฐานและอยู่ในระดับที่ดีเยี่ยม



ภาพที่ 4.1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่า RT60 ระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงอะคูสติก

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่า RT60 ระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงอะคูสติก

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
ก่อนปรับปรุง	0.77 วินาที	0.858 วินาที	0.242 วินาที	0.176 วินาที	0.176 วินาที	0.176 วินาที
หลังปรับปรุง	0.3141 วินาที	0.328 วินาที	0.223 วินาที	0.223 วินาที	0.228 วินาที	0.216 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการประเมินราคา

รายการวัสดุอุปกรณ์ที่จัดสรรไว้ ได้แก่ ประตูเก็บเสียง 3 บาน, ค่า Seal ผนังใหม่, ฝ้าใหม่แยกระหว่าง 2 ห้อง, ฝ้าเอียง, ยกพื้นกลอง, Bass Trap 2 ชุด, Acoustic Panel 2 ชุด, QRD Diffuser และโครงหุ้มผนังแต่ละจุด รวมราคาสุทธิ 494,125 บาท

การจัดสรรงบประมาณเป็นไปตามแผน ไม่เกิน 500,000 บาท และราคาของแต่ละรายการถือเป็นความลับของทาง บริษัท แฮนส์ โซลูชั่น จำกัด ซึ่งทางนักศึกษาทำหน้าที่ออกแบบเท่านั้น ส่วนทาง บริษัท แฮนส์ โซลูชั่น จำกัด ประเมินราคา และจะดำเนินการสร้างในช่วงต้นปี พ.ศ. 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

การออกแบบและแก้ไขอะคูสติกภายในห้องบันทึกเสียงฟีลอิน สตูดิโอ ครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาที่ส่งผลทำให้วิศวกรเสียงที่ทำงานในห้องบันทึกเสียงฟีลอิน สตูดิโอ นั้นทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยทำการวัดค่า RT60, NC และ STC ซึ่งค่าที่ได้มานั้นเราจัดการเฉพาะเรื่อง RT60 เนื่องจากงบประมาณของทางสถานประกอบการนั้นมีจำกัด โดยค่า RT60 ที่ได้วัดมานั้นมีค่าตรงเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งการทำงานนั้นแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

5.1.1 ออกแบบการจัดวางวัสดุอะคูสติก เพื่อช่วยให้ค่า RT60 นั้นมีค่าตามมาตรฐาน

5.1.2 แก้ไข Early Reflection เพื่อทำให้เสียงที่จะสะท้อนเข้าถึงหูของวิศวกรเสียงนั้นมีพลังงานน้อยลงจนไม่ได้ยินเสียงสะท้อน

5.1.3 ทำการยกพื้นเฉพาะส่วนบริเวณกลอง เพื่อลดแรงกระแทกของกลองที่มีผลต่อโครงสร้างหลักของอาคาร และติดตั้งประตู หลังจากแก้ไขทุกอย่างเสร็จสิ้นแล้วจึงสามารถเก็บรายละเอียดต่าง ๆ เพื่อความสวยงามและบรรยากาศการใช้งานในสตูดิโอ

5.1.4 ประเมินราคาของงานทั้งหมดรวมกำไรของทางบริษัทที่ก่อสร้าง ซึ่งเราได้ทำงานร่วมกับบริษัท แฮนส์ โซลูชั่น จำกัด ทางบริษัทได้ประเมินราคาและทำการก่อสร้าง โดยงบที่สามารถใช้ได้คือ 500,000 บาท ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานของสตูดิโอบันทึกเสียงนั้นมีค่าดีที่สุดอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.6 วินาที

หลังจากแก้ไขปัญหาเสียงก้องสะท้อนเสร็จสิ้นพบว่า ค่าที่ออกมานั้นอยู่ในช่วง 0.3 ถึง 0.6 วินาที ซึ่งทำให้การแก้ไขปัญหาของเรานั้นสำเร็จและตรงตามมาตรฐานโดยใช้งบประมาณ 494,125 บาท ซึ่งไม่เกินงบที่ตั้งไว้ ดังนั้นการปรับปรุงห้องสตูดิโอให้ได้ตามมาตรฐานและได้ประสิทธิภาพนั้นทำให้วิศวกรเสียงที่ทำงานในสตูดิโอนั้นทำงานได้ง่ายขึ้นไม่มีปัญหามารบกวนการทำงาน และสามารถสร้างผลงานดี ๆ ออกมาให้ทั่วโลกได้ฟังกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลจากการทำโครงงานศึกษาในหัวข้อโครงงานการออกแบบและแก้ไขอะคูสติกที่ห้องบันทึกเสียงฟีลอิน สตูดิโอ ในครั้งนี้ ผู้จัดทำโครงงานมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.2.1 ควรวัดค่าเสียงเก็บไว้ให้เร็วกว่านี้ เนื่องจากใช้เวลามากเกินไป

5.2.2 ถ้ามีงบและเวลามากนี้จะทำให้สร้างสตูดิโอที่มีประสิทธิภาพมาขึ้นออกมาได้

5.2.3 ควรทราบค่าการซับเสียงของวัสดุที่มีอยู่ในห้องนั้น เพราะทำให้เวลาคำนวณค่าเสียงก้องสะท้อนจะได้ไม่แม่นยำยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

AVL Design Community. (ม.ป.ป.). **ค่าวิศวกรรมของเสียงที่มีผลต่อการใช้งานของห้องประชุม.** ค้นเมื่อ 22 พฤศจิกายน 2562, จาก http://www.avl.co.th/article.php?p=10&id=23

Harris, David A. (1991). **Noise Control Manual.** New York, NY: Van Nostrand Reinhold

Maple Integration. (ม.ป.ป.). **ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound transmission loss, TL).** ค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2562, จาก http://mapleintegration.com/sound_transmission2.php

Newtech Insulation. (ม.ป.ป.). **SAC and NRC.** ค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2562, จาก https://www.noisecontrol.company/noise/knowledge/sac-and-nrc/

NTI Audio. (ม.ป.ป.). **Reverberation Time RT60 Measurement.** ค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2562, จาก https://www.nti-audio.com/en/applications/room-building-acoustics/reverberation-time-rt60-measurement

Zen Acoustic. (ม.ป.ป.). **อะคูสติก คือ อะไร?.** ค้นเมื่อ 3 พฤศจิกายน 2562, จาก http://www.zen-acoustic.com/what-are-acoustics.html

ประพันธ์ ฟักเทศ. (2557). **Room acoustic 2: สงครามเสียงในห้องฟัง**. ค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2562, จาก http://whathifi.whatgroupmag.com/room-acoustic-2-สงครามเสียงในห้องฟัง/

สมรรถ บุณยรัตพันธุ์. (ม.ป.ป.). **เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 263 113 อุโฆษวิทยาสถาปัตย์**: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

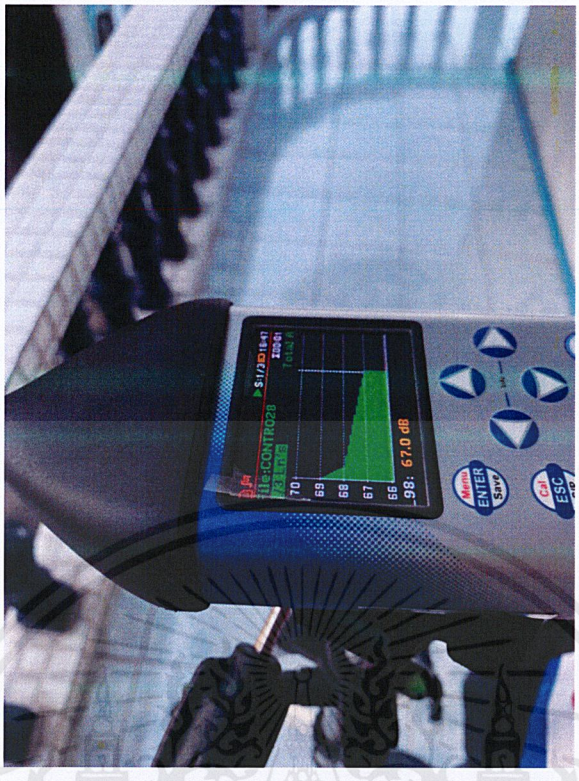
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพขณะบันทึกเสียงแบบ Live Session

ภาพขณะปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

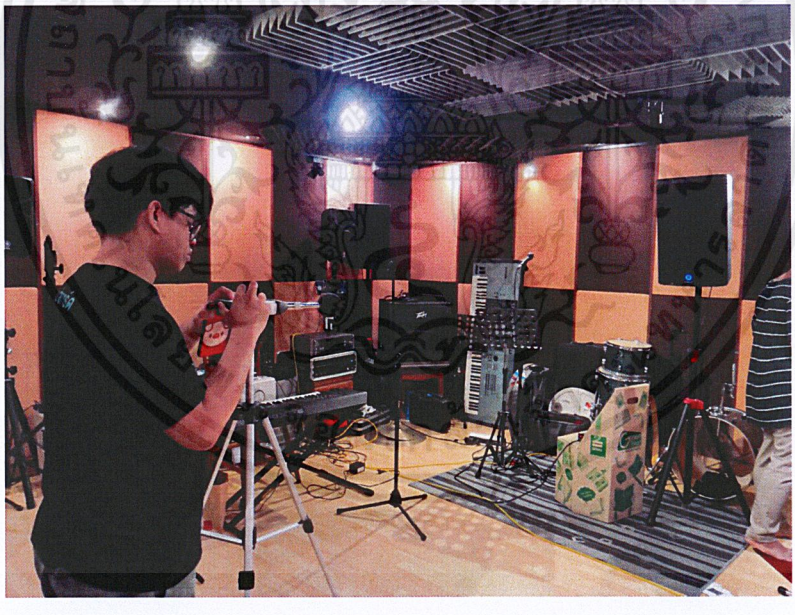


ภาพขณะบันทึกเสียงบริเวณระเบียง

ภาพถ่ายกับศิลปิน Can Nayika และ Jan Chan

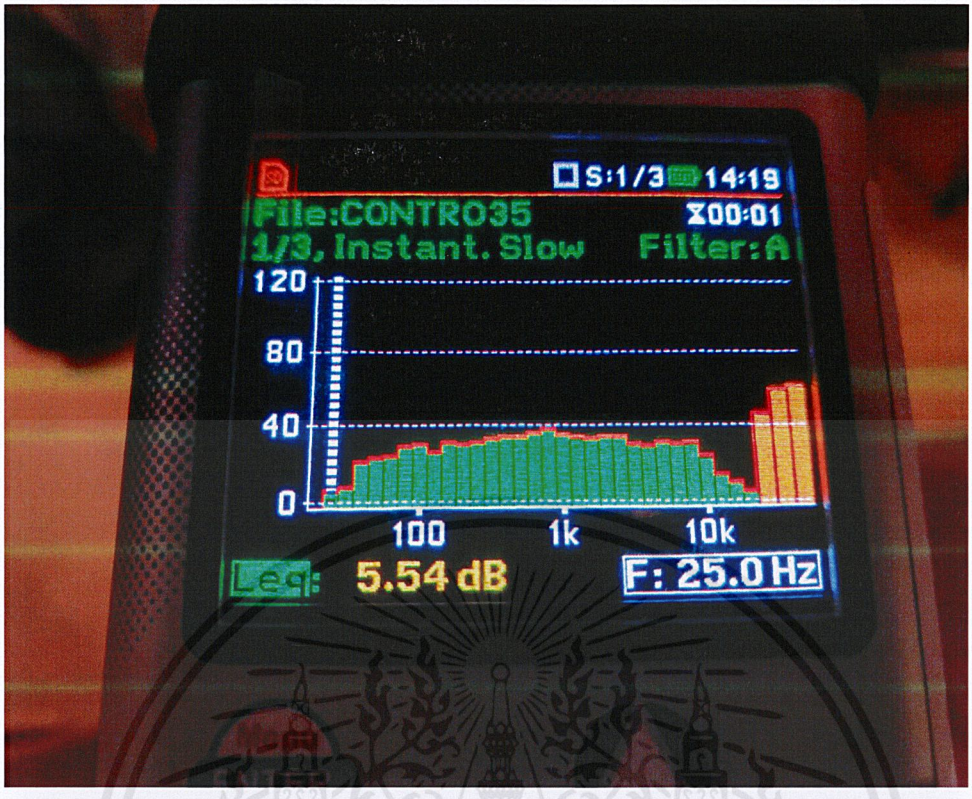
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

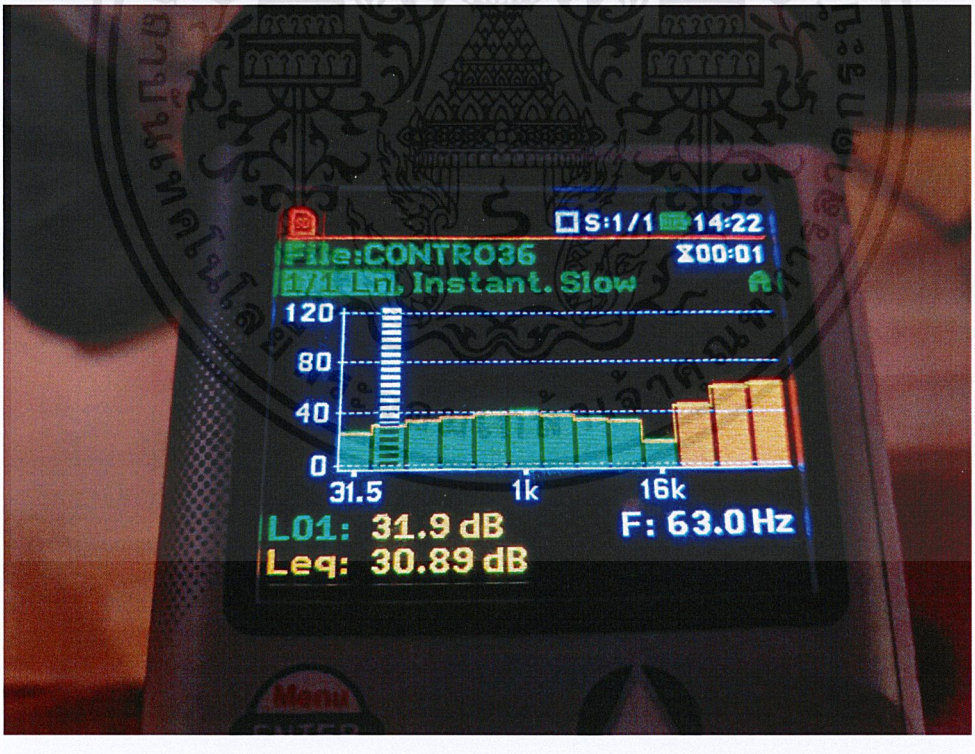
ภาพการปฏิบัติงานร่วมกับ บริษัท แฮนส์ โซลูชั่น จำกัด



ภาพระหว่างการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ภาพการทำงานของเครื่องวัดเสียง SVAN 977

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ : นายจิรายุ งามทอง

รหัสนักศึกษา : 59010216

เบอร์โทรศัพท์ : 092-264-2122

E-mail : 59010216@kmitl.ac.th

ที่อยู่ : 21/22 ถ.แม้นรำลึก ต.หน้าเมือง อ.เมือง ราชบุรี จ.ราชบุรี 70000

ประวัติการศึกษา

ปี 2555 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนต้นที่ โรงเรียนเบญจมราชูทิศ ราชบุรี

ปี 2558 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายที่ โรงเรียนเบญจมราชูทิศ ราชบุรี

ประวัติการทำงาน

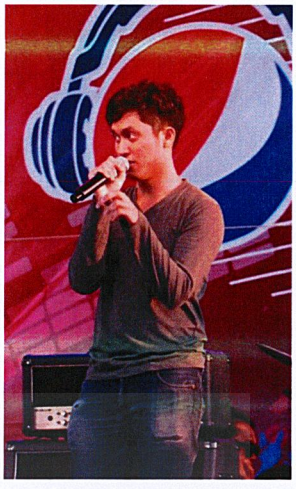
ผู้ช่วยวิศวกรเสียงที่ Minerva Studio

ทักษะและความสามารถพิเศษอื่น ๆ

สามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ ได้ เช่น Pro Tools, Logic Pro, SketchUp, Microsoft Office, Adobe Photoshop, Adobe Lightroom

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ : นายศุภฤกษ์ รักษา

รหัสนักศึกษา : 59011334

เบอร์โทรศัพท์ : 095-094-6308

E-mail : 59011334@kmitl.ac.th

ที่อยู่ : 91 ม.1 ต.ในเตา อ.ห้วยยอด จ.ตรัง 92130

ประวัติการศึกษา

ปี 2555 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนต้นที่ โรงเรียนห้วยยอด จังหวัดตรัง

ปี 2558 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายที่ โรงเรียนห้วยยอด จังหวัดตรัง

ประวัติการทำงาน

ผู้ช่วยวิศวกรเสียงที่ บริษัท สตูดิโอ 28 จำกัด

ทักษะและความสามารถพิเศษอื่น ๆ

สามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ ได้ เช่น Pro Tools, Logic Pro, SketchUp, Microsoft Office, Guitar Pro, Final Cut Pro

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้