รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

Studio Vocal Booth

นายกิตติธร หิมะสุข
นายวีรภัทร์ พงษ์ญาติ

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
สาขาวิชาวิศวกรรมดนตรีละสื่อประสม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

รายงานสหกิจฉบับสมบูรณ์

Studio Vocal Booth

นายกิตติธร หิมะสุข

นายวีรภัทร์ พงษ์ญาติ

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

สาขาวิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา Studio Vocal Booth

ชื่อ-สกุลนักศึกษา นายกิตติธร หิมะสุข,นายวีรภัทร์ พงษ์ญาติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ **สาขาวิชา** วิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม

ชื่อ-สกุลอาจารย์นิเทศ อ.ขจรศักดิ์ กิตติเมธาวีนันท์,อ.พลสิทธิ์ ทินกร ณ อยุธยา

ชื่อ-สกุลนิเทศงาน นายวรวรรธน์ วิวรรธน์วณิชย์

สถานประกอบการ Grand's Studio

บทคัดย่อ

โครงงานสหกิจศึกษานี้จัดทำขึ้นเนื่องจากความต้องการของทางสตูดิโอที่ต้องการแก้ไขปัญหาทางด้านเสียงในการบันทึกเสียงร้อง ที่จำเป็นต้องย้ายมาทำการบันทึกเสียงในห้องบันทึกเสียงกลองซึ่งมีเอกลักษณ์ทางเสียงที่ไม่เหมาะสมต่อการบันทึกเสียงร้องโดยมีลักษณะเป็นห้องกว้าง เพดานสูงทำให้เกิดเสียงในแบบที่ไม่ต้องการขึ้น ทางผู้จัดทำจึงเข้าร่วมปรึกษาและเสนอวิธีแก้ปัญหาจึงเกิดเป็นโครงงานนี้ขึ้น

สำหรับโครงงานสหกิจศึกษานั้น เราได้ทำการออกแบบและสร้าง Vocal Booth เพื่อนำมาทดลองแก้ไขปัญหาเรื่องขนาดของห้องบันทึกเสียงกลองที่ใหญ่เกินจำเป็นต่อการบันทึกเสียงร้อง

โดยผลที่ได้คือ Vocal Booth ที่ออกแบบมาสามารถช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ และได้เสียงจากการบันทึกตามความต้องการของทางสตูดิโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title: Studio Vocal Booth

Student intern name: Mr.Kittitorn Himasuk, Mr.Veerapat Pongyart

Faculty: Engineering **Department**: Computer Engineering

Program: Music Engineering and Multimedia

Advisor name: Aj.Kajornsak Kittimathaveenan, Aj.Phonlasit Thinnakorn Na Ayuthaya

Mentor name: Mr.Voravat Vivatvanich

Company: Grand's Studio

ABSTRACT

The cooperative education is about Vocal Booth. The purpose of this cooperative education is to design and build the vocal booth to solve the problem about vocal recording. That have to record the vocal sound in drum recording room, but the drum recording room have too much room characteristic, because it is a big room. The ceiling is around 4 meter height, which produces too much reverberation for recording vocal sound

For the operation, we design and build the Vocal Booth to solve the vocal sound problem

The result is the vocal booth can solve the vocal sound problem and get the sound that Studio needs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาปริญญาตรีสำเร็จลุล่วงไปด้วยความกรุณาจาก อ.ขจรศักดิ์ กิตติเมธาวีนันท์ และ อ.พลสิทธิ์ ทินกร ณ อยุธยา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์นิเทศงานสหกิจศึกษา ณ Grand's Studio ที่ให้คำปรึกษา เสนอแนวคิดและให้คำแนะนำพร้อมทั้งให้กำลังใจทำให้รายงานสหกิจศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณพระคุณอาจารย์ และบุคลากรทางการศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจและการสนับสนุนในการทำรายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้พร้อมทั้งให้คำปรึกษาแก้ไขปรับปรุงให้การทำงานครั้งนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณผู้นิเทศงานของทาง Grand's Studio นายวรวรรธน์ วิวรรธน์วณิชย์ที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุนผลงาน ช่วยเสนอความคิดเห็นให้งานสหกิจศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายกิตติธร หิมะสุข
นายวีรภัทร์ พงษ์ญาติ
คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
ABSTRACT	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญภาพ	viii
บทที่ 1	1
บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.1 จุดมุ่งหมายแและวัตถุประสงค์	2
1.2 ขอบเขตของการทำงาน	2
1.3 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ข้อจำกัดในการทำงาน	2
บทที่ 2	3
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 พื้นฐานของเสียง	3
2.1.1 การเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในอากาศ	3
2.1.2 ความยาวคลื่น,ความถี่,และความเร็วของเสียง	4
2.1.3 คุณสมบัติของเสียง	4
2.1.3.1 สมบัติการเลี้ยวเบน(Diffraction)	4
2.1.3.2 สมบัติการหักเห(Refraction)	5
2.1.3.3 คุณสมบัติการแทรกสอด(Interference)	5
2.1.3.4 สมบัติการสะท้อน(Reflection)	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การรับรู้ถึงเสียงของมนุษย์ 7

2.2.1 ระดับความดันของเสียง (Sound Pressure Level) 7

2.2.2 ความสามารถในการรับรู้เสียงของหูมนุษย์ 8

2.3 คลื่นเสียง 9

2.3.1. ทิศทางการเดินทางของเสียงของการพูด 9

2.3.2 การสั่นพ้องของคลื่น(Resonance) 11

2.3.2.1 ความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) 11

2.3.2.2 การสั่นพ้องในท่อปลายปิดข้างหนึ่ง 11

2.3.2.3 การสั่นพ้องในท่อปลายเปิด 2 ข้าง 12

2.3.3 Note&Frequency 13

2.3.3.1 Music Note 13

2.3.3.2 Note&Frequency 14

2.4 อคูสติกของเสียงภายในห้อง 16

2.4.1 Reverberation time 16

2.5 การถูกดูดซับของเสียง(Sound Absorption) 17

2.5.1 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient) 18

2.5.2 Noise Reduction Coefficient 18

2.6 Acoustic in recording studio 19

2.6.1 ห้องบันทึกเสียง(Recording studio) 19

2.6.1.1 ห้องควบคุมเสียง(Control room) 19

2.6.1.2 ห้องบันทึกเสียง(Live room) 20

2.6.2 Acoustic in recording studio 20

2.6.2.1 Acoustic in control room 20

2.6.2.2 Acoustic in live room 20

2.7 Vocal Booth 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 คุณสมบัติของ vocal booth 20
2.7.2 ชนิดของ Vocal booth ที่มีขายอยู่ในท้องตลาด 21
2.7.2.1 Permanent Vocal Booth 21
2.7.2.2 Modular Vocal Booth 21
2.7.2.3 Portable Vocal Booth 21
บทที่ 3 22
วิธีดำเนินงานวิจัย 22
3.1 สอบถามและปรึกษาเกี่ยวปัญหากับทางสตูดิโอ 22
3.2 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับอคูสติกของห้องอัดเสียง 23
3.3 เตรียมอุปกรณ์ก่อนทำการวัดคุณภาพเสียงห้อง 23
3.3.1 คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค 23
3.3.2 ซอฟท์แวร์ Room EQ Wizard 23
3.3.3 Audio Interface (Steinberg UR22) 24
3.3.4 Loud Speaker (Yamaha DXR15) 24
3.3.5 Measurement Microphone (dbx RTAm) 25
3.3.6 อุปกรณ์อื่นๆ 26
3.4 ทำการวัดค่าทางอคูสติกของห้อง (Room Measurement) 26
3.4.1 ตำแหน่งในการวัด 26
3.4.2 ตั้งค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดเสียง 27
3.4.3 ดำเนินการวัดเสียง 28
3.5 วิเคราะห์ผลและนำเสนอปัญหากับทาง Studio 29
3.6 ออกแบบ Vocal Booth 30
3.6.1 รูปทรงของ Vocal Booth 30
3.6.2 เลือกวัสดุทางอคูสติกที่จะนำมาติด 33
3.7 วัดผลหลังจากติดตั้ง Vocal Booth ในห้องบันทึกเสียง 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1 ตำแหน่งในการวัด 35
3.7.2 ตั้งค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดเสียง 37
3.7.3 ดำเนินการวัดเสียง 37
3.8 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลก่อนและหลังใช้ Vocal Booth 38
บทที่ 4 39
ผลการวิจัย 39
4.1 ผลการวัดเสียงก่อนติดตั้ง Vocal Booth 39
4.1.1 Frequency Response 39
4.1.2 Reverberation Time 40
4.2 ผลการวัดเสียงหลังจากติดตั้ง Vocal Booth 41
4.2.1 Frequency Response 41
4.2.2 Reverberation Time 42
บทที่ 5 43
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 43
5.1 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากกราฟ Frequency Response 43
5.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากกราฟ Reverberation Time 45
เอกสารอ้างอิง 47
ภาคผนวก 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่2.1 แสดงให้เห็นถึงส่วนอัดและส่วนขยายของโมเลกุลในอากาศเทียบกับกราฟความดันและเวลา 3

รูปที่2.2 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในอากาศและทิศทางของส่วนอัดและส่วนขยาย3

รูปที่ 2.3 รูป Sine wave แสดงให้เห็นถึงความยาวคลื่น 4

รูปที่2.4 รูปแสดงตัวอย่างของการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง 5

รูปที่2.5 รูปแสดงตัวอย่างการเกิดการหักเหของคลื่น 5

รูปที่2.6 รูปแสดงการเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันและแบบหักล้างกัน 6

รูปที่2.8 รูปแสดงตัวอย่างการตกกระทบของคลื่น 7

รูปที่2.9 รูปแสดงกราฟ Equal Loudness Contour 8

รูปที่2.10 รูปกราฟแสดง Area of audibility ของหูมนุษย์ 8

รูปที่2.11การเดินทางของเสียงในแนวราบ 9

รูปที่ 2.12 การเดินทางของเสียงในแนวตั้ง 10

รูปที่ 2.13 การเดินทางของเสียงมนุษย์โดยแบ่งช่วงความถี่เป็น2ช่วง 125Hz-250Hzและ 1400Hz-2000Hz 10

รูปที่ 2.15 แสดงจำนวนลูปของคลื่นนิ่งในท่อเปิด2ด้าน ยาว L 12

รูปที่2.16 ตัวโน๊ตตาม solfege Do-Do 13

รูปที่ 2.17ตัวโน๊ตตาม ตัวอักษร Do-Do 13

รูปที่ 2.18 เครื่องหมาย accidental รูปแบบต่างๆ 14

รูปที่2.19 ตารางแสดงความถี่ของตัวโน๊ตในหน่วย Hz 15

รูปที่ 2.20 รูปแสดงการเดินทางของเสียงภายในห้อง 16

รูปที่2.21รูปแสดงกราฟอธิบายความหมายของRT60 16

รูปที่ 2.22 รูปแสดงมาตรฐาน ISO3382 RT60 17

รูปที่ 2.23 รูปแสดงการตกกระทบของเสียงกับพื้นผิวของห้อง 18

รูปที่ 2.24 รูปตัวอย่างตารางค่า Sound Absorption Coefficient 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 ห้องสตูดิโอบันทึกเสียงบอกตำแหน่งกระจกและตำแหน่งที่ต้องการใช้บันทึกเสียงร้อง 22
รูปที่ 3.2 รูปแสดงแผนภาพการวัด Room response 23
รูปที่ 3.3 รูปแสดงตัวอย่างหน้าต่างใช้งานซอฟท์แวร์ REW 24
รูปที่ 3.4 รูปตัวอย่าง Interface Steinberg UR22 24
รูปที่ 3.5 รูปลำโพง Yamaha DXR15 25
รูปที่ 3.6 รูปแสดง Frequency Response ของลำโพง Yamaha DXR15 25
รูปที่ 3.7 รูป dbx RTA microphone 26
รูปที่ 3.8 แสดง Frequency Response ของ dbx RTAm 26
รูปที่ 3.9 รูปแสดงตำแหน่งของนักร้องและไมโครโฟนในห้อง Studio room 27
รูปที่ 3.10 Audio Interface setup 28
รูปที่ 3.11 รูปแสดงตัวอย่างหน้าต่างฟังค์ชั่น calibrate ของ Room eq wizard 28
รูปที่ 3.12 รูปตำแหน่งการวางลำโพงในการวัดเสียงห้อง Studio room 29
รูปที่ 3.13 รูปการทดลองการวัดเสียงภายในห้อง Studio room 29
รูปที่ 3.14 รูปแสดง Polar plot of human talker 30
รูปที่ 3.15 รูปแสดงการออกแบบมุมในการวางของ Vocal Booth 31
รูปที่ 3.16 รูปแสดงค่าเฉลี่ยความสูงและขนาดตัวของคนไทย 31
รูปที่ 3.17 รูปแสดงความสูงของ Vocal Booth 32
รูปที่ 3.20 แบบแปลนของ Vocal Booth 33
รูปที่ 3.21 Hardboard Wood 33
รูปที่ 3.22 รูปแผ่น Polyester ขนาด 60x120x5 cm 34
รูปที่ 3.23 แสดง Sound absorption coefficient ของ Polyester 34
รูปที่ 3.24 แสดงตำแหน่งการวางVocal Booth, Microphone และ Speaker 35
รูปที่ 3.25 ตำแหน่งการวางลำโพงหันเข้าหา Vocal Booth 36
รูปที่ 3.26 ตำแหน่งการวางไมโครโฟนและ Vocal Booth 36
รูปที่ 3.27 การวัดเสียงภายในสตูดิโอหลังจากติดตั้ง Vocal Booth 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างกราฟ Frequency Response ของห้อง Studio room ก่อนติดตั้ง Vocal Booth 39

รูปที่ 4.2 กราฟ Frequency Response แสดงความถี่ที่เกิดปัญหา 40

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างกราฟ RT60 ที่วัดได้จากห้อง Studio Room ก่อนติดตั้ง Vocal Booth 40

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างกราฟ Frequency Response ของห้อง Studio room หลังติดตั้ง Vocal Booth 41

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างกราฟ RT60 ที่วัดได้จากห้อง Studio Room หลังติดตั้ง Vocal Booth 42

รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบกราฟ Frequency Response ก่อนและหลังติดตั้ง Vocal Booth 43

รูปที่ 5.2 Frequency Response ของห้องก่อนติดตั้ง Vocal Booth และช่วงความถี่เสียงร้องมนุษย์ 44

รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบ Reverberation Time ก่อนและหลังติดตั้ง Vocal Booth 45

รูปที่ 5.4 ค่าเฉลี่ย Reverberation Time ก่อนและหลังติดตั้ง Vocal Booth 46

รูปที่ 5.5 มาตรฐาน ISO3382 ค่า RT60 ของห้อง Recording Studio 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

โวคอลบู๊ท(Vocal booth) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการควบคุมเสียงร้องในขณะบันทึกเสียงซึ่งจะทำให้เสียงร้องที่ถูกบันทึกมานั้นง่ายต่อการนำไปใช้งานในด้านต่างๆต่อไป โดยการใช้ vocal boothเป็นการแก้ไขที่ง่ายหากไม่สามารถแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงสภาพห้องจริงได้ หรือสามารถนำไปใช้ในการบันทึกเสียงร้องใน home studio ที่ไม่ได้มีห้องบันทึกเสียง หรืออาจจะอยากบันทึกเสียงร้องภายในบ้านหรือห้องนอนเป็นต้น

ความเป็นมาและความสำคัญ

โครงงานจัดทำขึ้นเนื่องจากความต้องการของบริษัทที่ต้องการแก้ไขปัญหาเรื่องการบันทึกเสียงร้อง ที่มีปัญหาจากเสียงที่เกิดจากการสะท้อนภายในห้องที่ไม่ควรจะเกิดขึ้นในการบันทึกเสียงร้องเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปมิกซ์หรือมาสเตอร์ต่อไป ซึ่งเราได้เลือกการออกแบบและสร้าง vocal booth เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวของทางสตูดิโอ

โวคอลบู๊ท(vocal booth) คืออุปกรณ์ที่ทำการจำกัดระยะการเดินทางของเสียงให้ถูกสะท้อนอยู่ในพื้นที่ที่ต้องการเท่านั้น โดยคุณภาพของ vocal booth ขึ้นอยู่กับวัสดุที่เลือกใช้และรูปแบบในการสร้าง โดยจะมีรูปแบบต่างกันออกไปตามการใช้งานและความต้องการของผู้ใช้ โดยบางรูปแบบถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มการสะท้อนของเสียง บ้างถูกออกแบบเพื่อดูดซับเสียงส่วนเกิน บ้างถูกออกแบบเพื่อวางจำลองขนาดห้อง ยกตัวอย่างเช่น หากคุณต้องบันทึกเสียงร้องในห้องกว้างที่มีเสียงสะท้อนมาก เมื่อบันทึกออกมาเสียงสะท้อนจะเข้าติดมากับการบันทึกด้วย หากใช้ vocal booth เพื่อจำกัดการสะท้อนและป้องกันเสียงที่สะท้อนเข้าสู่ไมคโครโฟน ก็จะตัดปัญหาเรื่องเสียงสะท้อนได้ และยังทำให้เสียงมีความชัดเจมมากขึ้นอีกด้วย

ปัญหาของที่พบของสตูดิโอคือทางนักร้องที่กำลังทำการบันทึกเสียงต้องการที่เห็นหน้าคนทางฝั่งห้องควบคุมเสียงจึงไม่สามารถเข้าไปทำการบันทึกเสียงภายในห้องบันทึกเสียงร้องได้เนื่องจากห้องบันทึกเสียงร้องเป็นห้องปิดทึบไม่สามารถมองออกมาด้านนอกได้ จึงมาทำการบันทึกเสียงร้องภายในห้องบันทึกเสียงกลองซึ่งมีกระจกใสสามารถมองไปยังห้องควบคุมเสียงได้ แต่สิ่งที่ตามมาคือเสียงที่เป็นเอกลักษณ์ของห้องบันทึกเสียงกลอง ที่มีค่า reverberation time มากซึ่งไม่เหมาะต่อการบันทึกเสียงร้อง โดยจากการสอบถามปัญหาจากทาง audio engineer ที่ทำงานอยู่ภายในสตูดิโอได้กล่าวว่า รู้สึกว่าเสียงไม่โฟกัส หลังจากการบันทึกเสียงร้องมาแล้วรู้สึกเสียงฟังดูไกล จำเกิดเป็นโครงงานสหกิจครั้งนี้ขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาข้างต้นได้

สำหรับโครงการนี้จะทำการออกแบบและสร้าง vocal booth แล้วนำไปทดลองกับการบันทึกเสียงร้องภายในสตูดิโอ โดยการนำ vocal booth ไปวางไว้ในห้องบันทึกเสียงกลองในตำแหน่งที่นักร้องทำการร้องเพื่อบันทึกเสียงแล้วทำการบันทึกผลจากการทดสอบการทำงานของ vocal booth ว่ามีผลกระทบมากน้อยเพียงใดต่อเสียงร้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยผลที่ได้รับจากการทดลองนั้นสัญญาณเสียงที่ถูกบันทึกออกมา สามารถลดปัญหาที่เกิดขึ้นได้ใกล้เคียงความต้องการที่กำหนดไว้ ซึ่งปัญหาเสียงสะท้อนที่เกิดขึ้นได้ถูกจำกัดการสะท้อนและดูดซัดไปโดย vocal booth จึงได้เสียงร้องที่มีความชัดเจนมากขึ้นและง่ายต่อการทำงานต่อไป

1.1 จุดมุ่งหมายแและวัตถุประสงค์

1.1.1 เพื่อศึกษาลักษณะและรูปแบบต่างๆของ vocal booth

1.1.2 เพื่อศึกษาการเลือกใช้วัสดุซับเสียงชนิดต่าง

1.1.3 นำความรู้เรื่องรูปแบบของ vocal booth และวัสดุซับเสียงชนิดต่างๆมาประยุกต์ในการออกแบบและสร้างเป็น vocal booth ของโครงงาน

1.1.4 เพื่อแก้ไขปัญหาเสียงสะท้อนที่ไม่เหมาะกับการบันทึกเสียงร้องในห้องบันทึกเสียงกลองภายในสตูดิโอ

1.2 ขอบเขตของการทำงาน

โดยขอบเขตการทำงานนั้น จะทำการวัดค่าของ reverberation time ที่เป็นปัญหาและวัด frequency respone เพื่อดูว่า vocal booth จะส่งผลต่อความถี่หรือไม่ จากนั้นทำการออกแบบและสร้าง ตัว vocal booth ออกมาแล้วนำไปทดสอบว่าสามารถใช้งานได้จริงหรือไม่

1.3 ขั้นตอนการศึกษา

1.3.1 ศึกษารายระเอียดเกี่ยวกับค่า reverberation time

1.3.2 ศึกษาและทำความเข้าใจเรื่อง acoustic in studio

1.3.3 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบต่างๆของ vocal booth

1.3.4 ศึกษาและคัดเลือกวัสดุที่สามารถดูดซับเสียงในช่วงความถี่ของเสียงร้องได้

1.3.5 ศึกษาลักษณะและคุณสมบัติต่างๆของเสียงร้อง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับนั้นคือความรู้ความเข้าใจจากการออกแบบ vocal booth ความรู้ในเรื่องวัสดุซับเสียงชนิดต่างๆ ความรู้ทาง acoustic ของ studio และความรู้. ลักษณะและคุณสมบัติต่างๆของเสียงร้องว

1.5 ข้อจำกัดในการทำงาน

1.5.1 ทางผู้จัดทำไม่มีเครื่องมือที่แม่นยำในการวัดเสียงภายในสตูดิโอ

1.5.2 ทางสตูดิโอต้องใช้ห้องบันทึกเสียงในการทำงานแทบตลอด จึงหาเวลาว่างให้ผู้จัดทำไปทำการทดลองต่างๆได้น้อย

1.5.3 ไม่มีที่ปรึกษาที่มีความรู้เฉพาะทางในการออกแบบ vocal booth จึงต้องศึกษา. กันเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

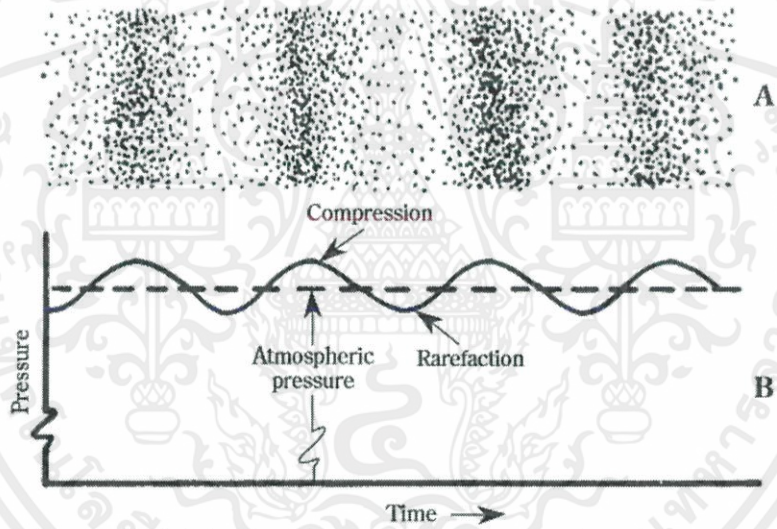
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและนำมาอ้างอิงในการดำเนินงาน

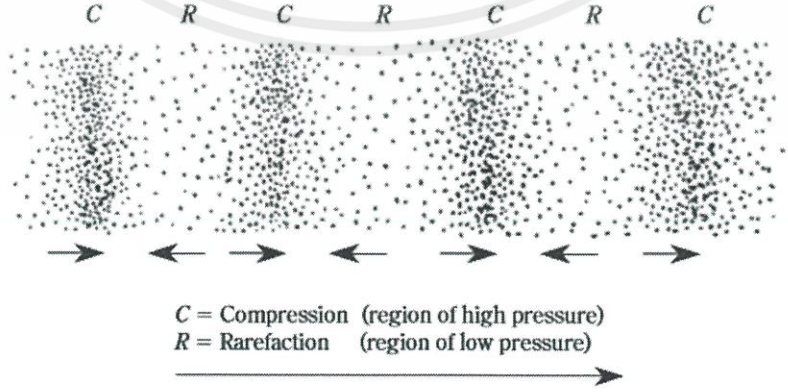
2.1 พื้นฐานของเสียง

2.1.1 การเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในอากาศ

คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของแหล่งกำเนิดเสียง(Sound source) โดย เกิดการถ่ายโอนพลังงานผ่านโมเลกุลของอากาศ โดยลักษณะในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของอากาศจะอยู่ในรูปของคลื่นตามยาว(Longitudinal Wave) ซึ่งมีผลทำให้โมเลกุลของอากาศนั้นสั่นสะเทือนในทิศทางเดียวกัน(ขนานกัน)กับทิศทางการดินทางของคลื่นเสียง และทำให้ความดันอากาศบริเวณนั้นมีการถ่ายทอดพลังงานและมีการเปลี่ยนแปลงของความดัน เกิดบริเวณที่ความดันของอากาศมากกว่าปกติเรียกว่าส่วนอัด(Compression) และบริเวณที่ความดันของอากาศน้อยกว่าปกติเรียกว่าส่วนขยาย(Rarefaction)



รูปที่2.1 แสดงให้เห็นถึงส่วนอัดและส่วนขยายของโมเลกุลในอากาศเทียบกับกราฟความดันและเวลา
ที่มา : F. Alton Everest , The Master Handbook of Acoustic หน้าที่ 8



รูปที่2.2 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในอากาศและทิศทางของส่วนอัดและส่วนขยาย
ที่มา : F. Alton Everest , The Master Handbook of Acoustic หน้าที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่2.1 จะแสดงให้ว่าอนุภาคของอากาศบริเวณส่วนอัด(Compression)มีจำนวนมากขึ้นทำให้เกิดความดันอากาศสูงขึ้นด้วยบริเวณนี้จึงเป็นบริเวณที่ทำให้เกิดเสียงดังและมีแอมพลิจูดของความดังมากที่สุด ขณะเดียวกันอนุภาคของอากาศบริเวณส่วนขยาย(Rarefaction)มีจำนวนน้อยลงทำให้ความดันอากาศบริเวณนี้มีค่าต่ำลงและทำให้เกิดเสียงเช่นกัน

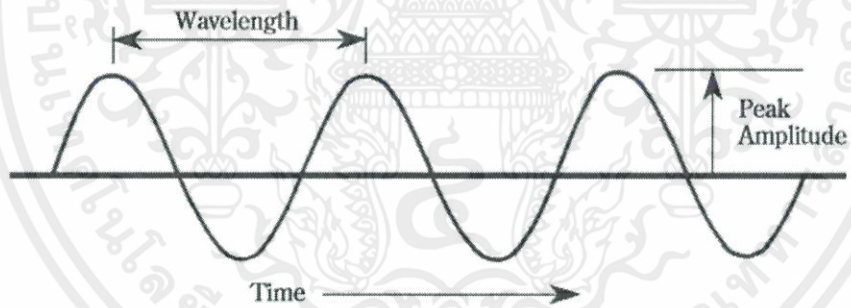
2.1.2 ความยาวคลื่น,ความถี่,และความเร็วของเสียง

จากตัวอย่าง Sine wave อย่างง่ายดังรูปที่ 2.3 นั้น ความยาวคลื่น (Wavelength: λ)นั้นก็คือระยะทางที่คลื่นนั้นเดินทางไปได้ในเวลาครบ1รอบ(cycle) หรือก็คือระยะห่างระหว่างจุดสองจุดของลูกคลื่นก่อนและลูกคลื่นลำดับถัดมาที่มีเฟสตรงกัน

ความถี่(Frequency: f) คือจำนวนคลื่นที่เคลื่อนผ่านจุดใดๆไปต่อวินาทีมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์(Hertz : Hz) โดยความถี่ของเสียงนั้นจะมีค่าเท่ากับความถี่ของการสั่นสะเทือนของแหล่งกำเนิดเสมอ

ความเร็วของเสียง(Speed of sound : v)ความเร็วของเสียงนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพของตัวกลางที่เสียงนั้นเดินทางผ่าน โดยความเร็วของเสียงที่เดินทางในอากาศมีค่า 343 ms /s ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น ความถี่ และความเร็วของเสียงมีดังนี้

$$Frequency = \frac{Speed\ of\ sound}{Wavelength}$$



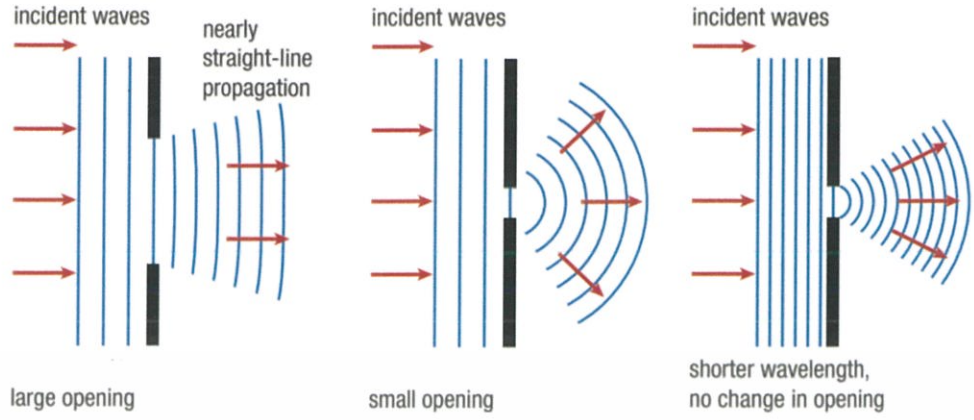
รูปที่ 2.3 รูป Sine wave แสดงให้เห็นถึงความยาวคลื่น

2.1.3 คุณสมบัติของเสียง

2.1.3.1 สมบัติการเลี้ยวเบน(Diffraction)

การเลี้ยวเบนของเสียงนั้นเป็นการเกิดการเปลี่ยนทิศทางของเสียงที่จะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเดินทางไปเจอกับสิ่งกีดขวางซึ่งมีช่องให้คลื่นเสียงสามารถผ่านไปได้หรืออ้อมผ่านสิ่งกีดขวางมาได้ ซึ่งจะมีบางส่วนที่เดินทางชนสิ่งกีดขวางและสะท้อนกลับมา แต่คลื่นเสียงบางส่วนเดินทางผ่านช่องได้และเกิดเป็นแหล่งกำเนิดเสียงใหม่ จาก Huygan's principle ที่กล่าวว่าทุกๆจุดบนหน้าคลื่นนั้นถือเป็นแหล่งกำเนิดของคลื่นใหม่ได้ ซึ่งคลื่นที่มีความยาวคลื่นยาวหรือคลื่นที่มีความถี่ต่ำนั้นจะเกิดการ เลี้ยวเบน(Diffraction) ได้มากกว่าคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นหรือคลื่นที่มีความถี่สูง ยกตัวอย่างการเกิดการเลี้ยวเบนเช่น เมื่อเปิดประตูห้องแล้วมีเสียงจากข้างในห้องผ่านออกมาทางช่องประตู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

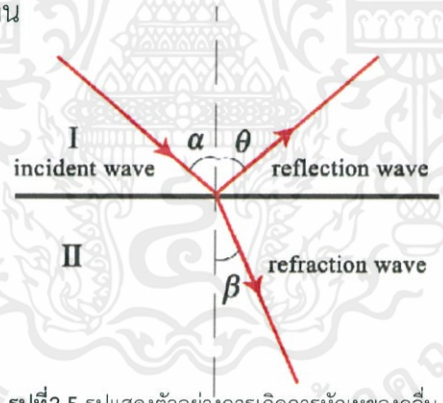


รูปที่2.4 รูปแสดงตัวอย่างของการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง

ที่มา : http://willowwoodlessons.weebly.com/lesson-4---diffraction--8203interference-of-water-waves.html

2.1.3.2 สมบัติการหักเห(Refraction)

การหักเหของคลื่นเสียงนั้นเกิดจากการที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งหรือตัวกลางเดียวกันแต่มีคุณสมบัติต่างกันจนทำให้เกิดการเปลี่ยนทิศทางของคลื่น และยังทำให้ความเร็วและความยาวคลื่นเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ความถี่ไม่เปลี่ยนแปลง ยกตัวอย่างการเกิดการหักเหเช่น การที่เสียงเดินทางจากบนสระน้ำแล้วคนใต้น้ำได้ยินเสียงที่ต่างออกไป หรือการที่เสียงความเร็วของเสียงต่างกันในเวลากลางวันและเวลากลางคืนอันเนื่องมาจากอุณภูมิของตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่าน



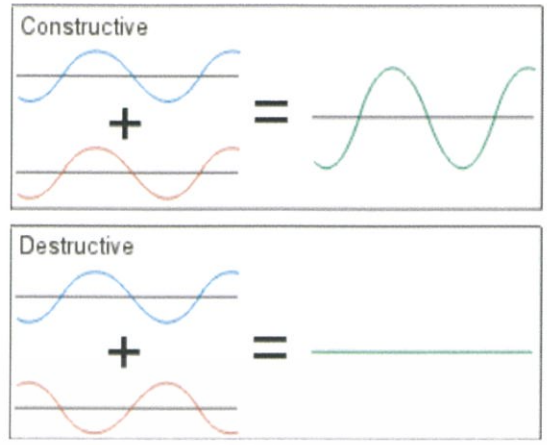
รูปที่2.5 รูปแสดงตัวอย่างการเกิดการหักเหของคลื่น

ที่มา : https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-incident-angle-a-reflection-angle-h-and-refraction-angle-b_fig1_320498580

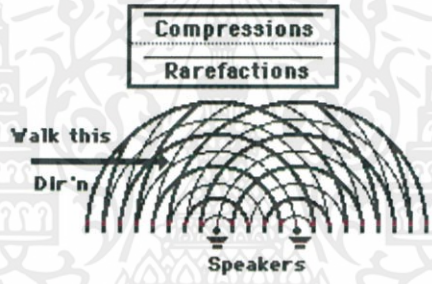
2.1.3.3 คุณสมบัติการแทรกสอด(Interference)

การแทรกสอดนั้นเกิดจากการที่มีคลื่นเสียงมากกว่า 2 คลื่นเดินทางมาเจอกันในขณะที่อยู่ในตัวกลางเดียวกัน และเกิดการทับซ้อนกันเกิดขึ้น ซึ่งจะเกิดเป็นริ้วของการแทรกสอด จะมีได้2ลักษณะคือ การแทรกสอดแบบเสริมกัน(Constructive Interference) ซึ่งจะทำให้เกิดตำแหน่งที่เรียกว่าปฏิบัพ(Antinode) เป็นจุดที่เสียงดังและมีแอมพลิจูดมากที่สุด และ การแทรกสอดแบบหักล้างกัน(Destructive Interference) ซึ่งจะเกิดตำแหน่งที่เรียกว่าบัพ(Node) เป็นจุดที่เสียงเบาและมีแอมพลิจูดเข้าใกล้ศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.6 รูปแสดงการเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันและแบบหักล้างกัน
ที่มา : https://www.thinglink.com/scene/751830103373119488



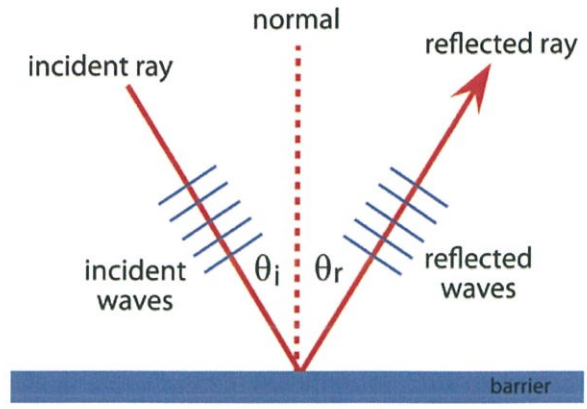
รูปที่2.7 รูปแสดงการเกิดการแทรกสอดระหว่างแหล่งกำเนิดเสียง2แหล่ง
ที่มา : https://www.physicsclassroom.com/class/sound/Lesson-3/Interference-and-Beats

จากรูปที่2.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีแหล่งกำเนิดเสียง2แหล่งปล่อยคลื่นเสียงออกมา2คลื่นจะทำให้เกิดการแทรกสอดของคลื่นหลายจุดด้วยกัน ทำให้เกิดเสียงที่มาจากลำโพงดังไม่เท่ากันในแต่ละจุดของห้อง ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบทางอคูสติกด้วย

2.1.3.4 สมบัติการสะท้อน(Reflection)

การสะท้อนเกิดจากที่คลื่นเสียงเดินทางมาตกกระทบกับพื้นผิวของตัวกลางที่ต่างชนิดกันหรือสิ่งกีดขวางเรียกคลื่นนี้ว่า คลื่นตกกระทบ(Incident wave)และเกิดการเปลี่ยนทิศทางของคลื่นหรือสะท้อนเรียกคลื่นที่สะท้อนว่า คลื่นสะท้อน(Reflect wave) โดยมีกฎของการสะท้อนว่า มุมตกกระทบ เท่ากับมุมสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.8 รูปแสดงตัวอย่างการตกกระทบของคลื่น
ที่มา : https://www.ck12.org/physics/reflection-of-mechanical-waves/lesson/Reflection-of-Mechanical-Waves-PHYS/

สมบัติการสะท้อนนั้นยังทำให้เกิด เสียงสะท้อน(Echo) หรือเสียงก้อง(Reverberation) ตามมาอีกด้วยซึ่งทั้งสองอย่างนี้เกิดจากการสะท้อนกันของเสียงภายในห้องและเป็นปัญหาที่ต้องคำนึงในการออกแบบทางด้านอคูสติก

2.2 การรับรู้ถึงเสียงของมนุษย์

การศึกษาเรื่องของการได้ยินเสียงของมนุษย์นั้นเป็นเรื่องสำคัญในกาทำงานด้านอคูสติกเพราะการที่เราจะทราบได้ว่าอคูสติกของห้องนี้ดีหรือไม่ดีอย่างไร นั้นจำเป็นจะต้องรู้ถึงความสามารถในการได้ยินหรือลักษณะโดยเฉพาะของหูมนุษย์ด้วย ซึ่งเราได้ทราบแล้วว่าเสียงนั้นเกิดจากการสั่นสะเทือนจากแหล่งกำเนิดและเดินทางผ่านตัวกลางโมเลกุลอากาศส่งต่อกันจนมาถึงผู้ฟังหรือหูของมนุษย์ โดยหูของมนุษย์นั้นมีความสามารถในการได้ยินในย่านความถี่ที่จำกัดคือที่ความถี่ 20 Hz ถึง 20,000 Hz และมีความสามารถในการได้ยินแต่ละย่านความถี่ดังไม่เท่ากัน

2.2.1 ระดับความดันของเสียง (Sound Pressure Level)

ความดันเสียง (Sound Pressure) คือ ค่าความดันของอากาศที่เป็นตัวกลางของคลื่นเสียงที่เปลี่ยนแปลงไปจากความดันบรรยากาศปกติ โดยค่าความดันเสียงจะวัดเป็นค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square: RMS) มีหน่วยคือปาสคาล(Pascal: Pa)

โดยการคำนาณทางด้านเสียงต้องใช้มาตรวัดที่เป็นระดับ(Level) และใช้สเกลลอการิทึม(Logarithmic)ซึ่งสอดคล้องกับการได้ยินเสียงของหูมนุษย์ ในการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างปริมาณที่สนใจกับปริมาณที่อ้างอิง และมีหน่วยที่เรียกว่า เบล(Bel)

โดยการหาค่าระดับความดันเสียง(Sound Pressure Level)มีสมการดังนี้

$$SPL = 20\log_{10}\frac{p}{p_0} \quad [\text{DB}]$$

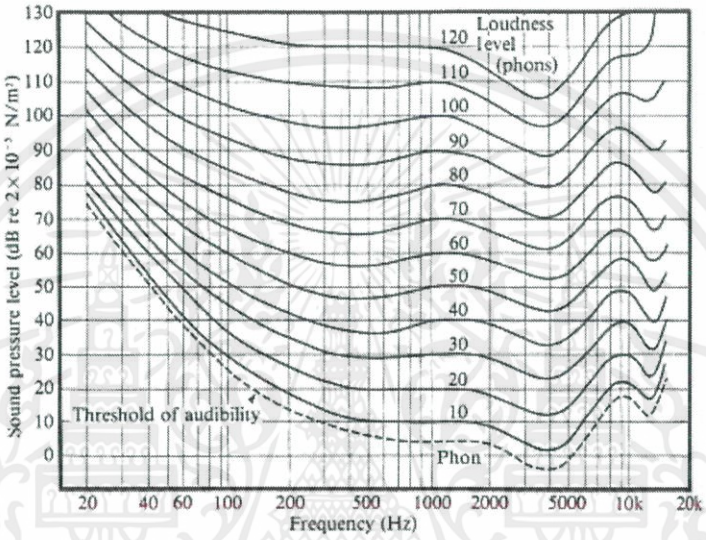
p คือ ความดันเสียง (root mean square pressure)

p_0 คือ ความดันเสียงอ้างอิง(reference pressure) โดยอ้างอิงจากความดันเสียงของในอากาศมีค่าเท่ากับ 20 μPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

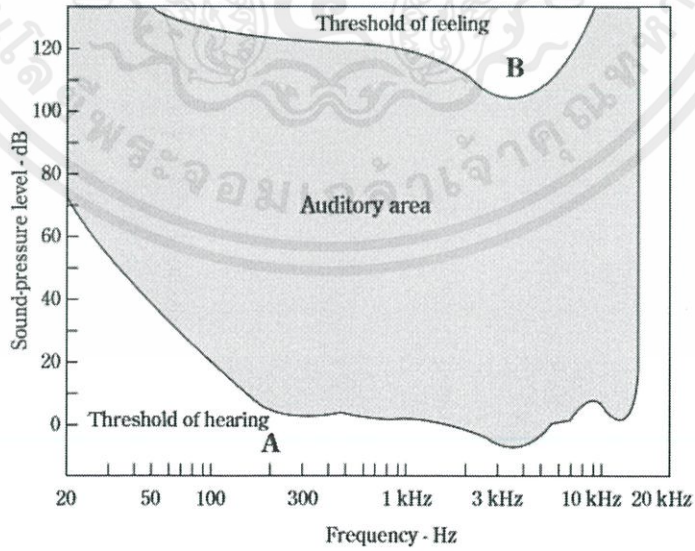
2.2.2 ความสามารถในการรับรู้เสียงของหูมนุษย์

จากที่กล่าวไปข้างต้นนั้นว่าหูของมนุษย์เรามีความสามารถในการได้ยินไม่เท่ากัน จากการศึกษาของ Fletcher และ Munson ที่ได้ทดลองปล่อย Pure tone ในระดับความดันเสียงที่เท่ากันในแต่ละความถี่ พบว่าหูของมนุษย์นั้นได้ยินความดังของเสียงในแต่ละความถี่ที่มีระดับความดันเสียงเท่ากันได้ไม่เท่ากัน จึงได้นำมาพลอตเป็นกราฟระดับความดัน(Sound Pressure Level) เทียบกับแต่ละความถี่(Frequency Spectrum) และเกิดหน่วยของการวัดระดับความดังนี้ขึ้นมาเรียกว่า Phon หรือก็คือระดับความดังของเสียง และเรียกกราฟอ้างอิงนี้ว่า Equal Loudness Contour



รูปที่2.9 รูปแสดงกราฟ Equal Loudness Contour

ที่มา :https://line6.com/support/page/kb/general-faq/studio-tone-vs-live-tone-and-the-fletcher-munson-curve-r448/



รูปที่2.10 รูปกราฟแสดง Area of audibility ของหูมนุษย์

ที่มา : F. Alton Everest, The Master Handbook of Acoustic หน้าที่ 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

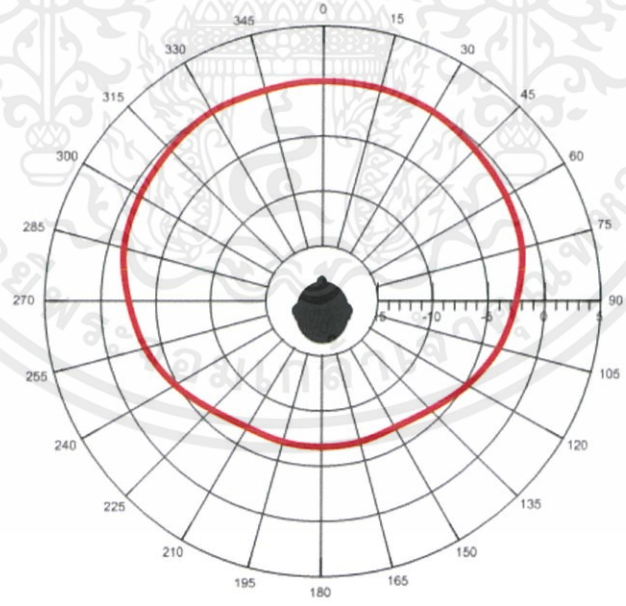
จากรูปที่2.9 จะแสดงได้ว่าเมื่ออ้างอิงที่จุดความถี่1,000Hz ระดับความดังที่ 20phon มีค่าเท่ากับระดับความดันเสียงที่ 20 dBSPL แต่เมื่อดูที่จุดความถี่ 100Hz ที่ระดับความดัง20phon เท่ากันจะมีค่าระดับความดันเสียงที่ 38 dBSPL แสดงว่าเราต้องเพิ่มระดับความดันเสียงของความถี่100Hzถึง 18dBSPL ถึงจะได้ยินในระดับความดังเท่ากันกับความถี่1000Hz

จากรูปที่2.10 แสดงให้เห็นถึงช่วงความถี่ที่หูมนุษย์สามารถรับรู้ได้โดยมีช่วงความถี่ 20Hz ถึง 20kHz และแสดงเส้น Threshold of hearing คือระดับความดันเสียงที่ต่ำที่สุดที่หูมนุษย์สามารถรับรู้ถึงเสียงได้ และ Threshold of feeling หรือ Threshold of pain คือระดับความดันเสียงที่อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อหูมนุษย์

2.3 คลื่นเสียง

2.3.1. ทิศทางการเดินทางของเสียงของการพูด

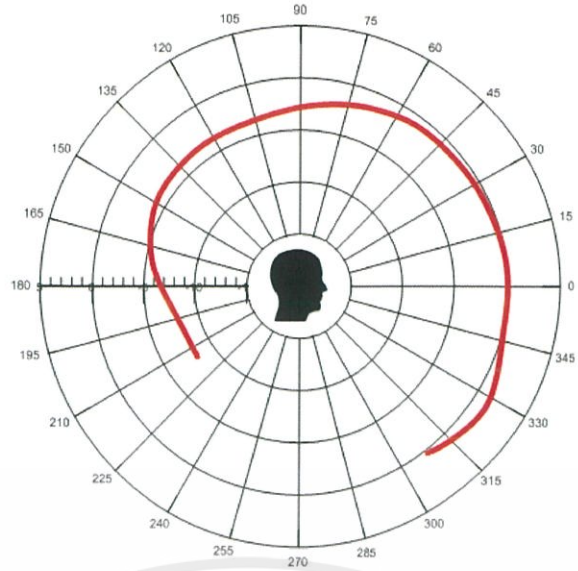
เสียงพูดของคนนั้นมีความถี่อยู่ในช่วง 70Hz-1.6kHz การเดินทางของเสียง ไม่เพียงแต่รับผลกระทบทางกายภาพของระบบเสียงเท่านั้น แต่ได้รับจากผลกระทบจากลักษณะทางกายภาพของศรีษะและร่างกายของของแต่ละบุคคลอีกด้วย ซึ่งการเดินทางของเสียงพูดจะมีเส้นทางการเดินทางในแนวราบเป็นดังรูปที่ 2.11 และเดินทางในแนวตั้งเป็น ดังรูปที่ 2.12



รูปที่2.11การเดินทางของเสียงในแนวราบ

ที่มา: https://www.dpamicrophones.com/mic-university/facts-about-speech-intelligibility

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

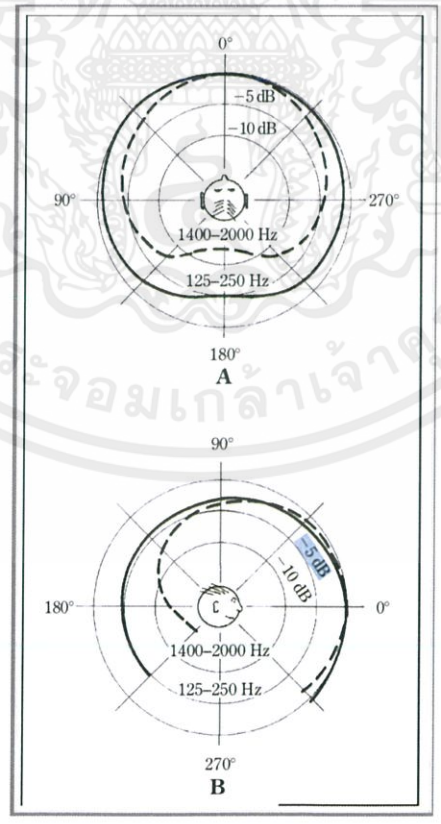


รูปที่ 2.12 การเดินทางของเสียงในแนวตั้ง

ที่มา : https://www.dpamicrophones.com/mic-university/facts-about-speech-intelligibility

โดยจากรูปเบื้อต้นเป็นการเดินทางของเสียงในระยะ 1 เมตร จากรูปที่...จะเห็นว่าเสียงด้านหน้าและหลังศรีษะ มีความดังไม่เท่ากันซึ่ง มีความดังห่างกันอยู่ที่ประมาณ 7dB

และหากทำการแยกช่วงความถี่ดังรูปที่... ในช่วง ความถี่ต่ำ 125Hz-250Hz เสียงด้านหน้าจะมีความดังมากกว่าเสียงด้านหลังประมาณ 5 dB แต่ในช่วงความถี่ 1400Hz-2000Hz ความดังของเสียงด้านหน้าจะมีความดังกว่าเสียงของทางด้านหลังถึง 12 dB



รูปที่ 2.13 การเดินทางของเสียงมนุษย์โดยแบ่งช่วงความถี่เป็น2ช่วง 125Hz-250Hzและ 1400Hz-2000Hz

ที่มา : The Master Handbook of Acoustic Fourth Edition by F.alton Everest page 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การสั่นพ้องของคลื่น(Resonance)

เมื่อพูดถึงการออกแบบระบบเสียงในที่เปิดจะคำนึงถึงอยู่เพียง2อย่างคือ ความดังของเสียงที่ผลิตได้และความคลอบคลุมของการกระจายเสียง ซึ่งต่างจากการออแบบระบบเสียงในที่ปิดเพราะต้องคำนึงถึงปัจจัยอีกหลายอย่าง และยังต้องเจอกับสภาวะการสะท้อนของไปมาของเสียงเมื่อเดินทางไปกระทบกับพื้นผิวต่างๆ เช่น กำแพง พื้น เพดานเป็นต้น โดยการสะท้อนเหล่านั้นมีบทบาทสำคัญในการลดความชัดเจนของเสียง ทำให้เกิดการ in phase และการ out of phase มากกว่าระบบเสียงในที่เปิดหลายเท่านัก นอกจากนั้นยังทำให้เกิดคลื่นเสียงมนช่วงความถี่ที่โดดเด่นขึ้นมาอีกด้วย โดยปรากฏการเหล่านี้นี้เรียกว่า การสั่งพ้องของเสียง(Resonance)

2.3.2.1 ความถี่ธรรมชาติ (natural frequency)

วัตถุหรืออนุภาค จะมีความถี่ในการสั่นตามธรรมชติเฉพาะตัวอยู่เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง ช่นลูกตุ้มที่แขวนด้วยเชือกยาว L อยู่ในบริเวณที่มีความเร่งจากความโน้มถ่วง g จะมีความถี่ตามธรรมชาติเท่ากับ

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{L}}$$

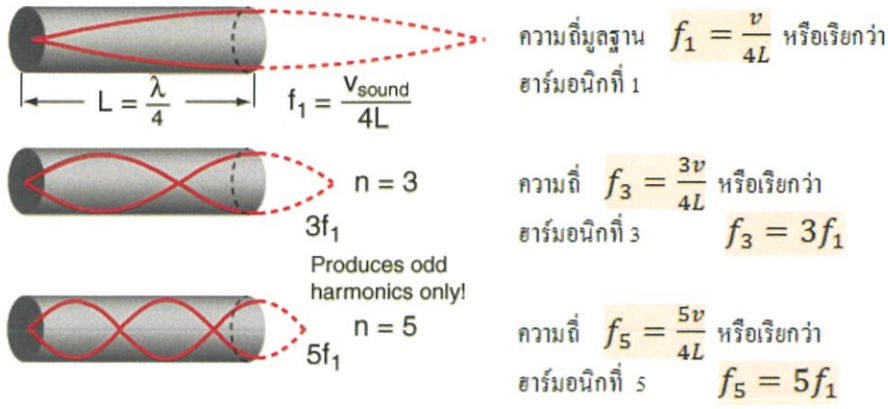
มวล m ติดสปริงอันหนึ่งมีค่าคงที่สปริง k เมื่อถูกกระตุ้นให้สั่นก็จะมีความถี่ธรรมชาติ ซึ่งหาค่าความถี่ได้จากสมการ

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

2.3.2.2 การสั่นพ้องในท่อปลายปิดข้างหนึ่ง

เมื่ออากาศในท่อสั่นตามยาว โดยอิสระจะเกิดคลื่นนิ่งขึ้นในท่อ ปลายปิดจะเป็นตำแหน่งบัพ(ของการกระจัด) ปลายเปิดจะเป็นตำแหน่งปฏิบัพ(ของการกระจัด) ดังนั้น ถ้าท่อยาว L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงจำนวนลูปของคลื่นนิ่งในท่อปิด1ด้าน ยาว L
ที่มา : http://www.sa.ac.th/winyoo/mechanicswave/wa_resonace.htm

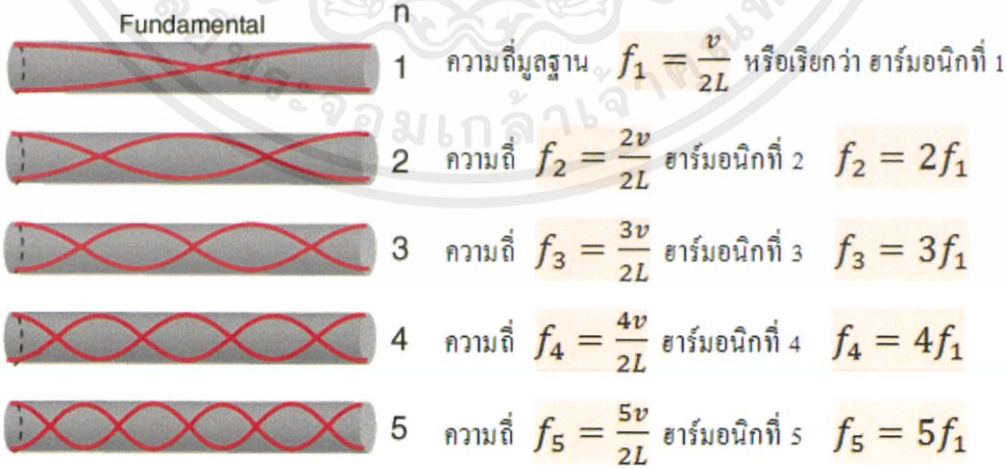
จะสามารถเกิดคลื่นนิ่งที่มีความถี่ได้หลายค่า หรือเขียน เป็นสมการความสัมพันธ์ ได้ว่า

$$f_n = \frac{nv}{4L}$$

เมื่อ n = 1, 3, 5, ... ความถี่ f_n เรียกว่า ฮาร์มอนิกที่ n และ v เป็นอัตราเร็วของเสียงในอากาศขณะนั้นซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ คือ $v_t = 331 + 0.6t$

2.3.2.3 การสั่นพ้องในท่อปลายเปิด 2 ข้าง

เมื่ออากาศในท่อสั่นตามยาว โดยอิสระจะเกิดคลื่นนิ่งขึ้นในท่อ ปลายเปิดทั้งสองข้างจะเป็นตำแหน่งปฏิบัพ(ของการกระจัด) ดังนั้น ถ้าท่อยาว L



รูปที่ 2.15 แสดงจำนวนลูปของคลื่นนิ่งในท่อเปิด2ด้าน ยาว L
ที่มา : http://www.sa.ac.th/winyoo/mechanicswave/wa_resonace.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสามารถเกิดคลื่นนิ่งที่มีความถี่ได้หลายค่า หรือเขียน เป็นสมการความสัมพันธ์ ได้ว่า

$$f_n = \frac{nv}{2L}$$

เมื่อ n = 1, 3, 5, ... ความถี่ f_n เรียกว่า ฮาร์มอนิกที่ n และ v เป็นอัตราเร็วของเสียงในอากาศขณะนั้นซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ คือ $v_t = 331 + 0.6t$

2.3.3 Note&Frequency

2.3.3.1 Music Note

ในทางดนตรีตัวโน๊ตสามารถบอกได้ทั้งความสูง-ต่ำของเสียง(pitch)และความยาวของเสียง(Duration) ซึ่งตัวโน๊ตนั้นใช้กันอย่างแพร่หลายในโลก ในแต่ละประเทศก็มีตัวโน๊ตในทางดนตรีของตนเองแบ่งจังหวะเสียงในรูปแบบต่างๆกัน ซึ่งที่เป็นสากลที่สุดคือ Do-Re-Mi-Fa-Sol-La-Si (Solfege) หรือ ใช้ตัว7อักษรแรกของภาษาอังกฤษ A-B-C-D-E-F-G ในโน๊ตตัวที่แปดหรือคู่แปด(Octave)จะใช้ชื่อเหมือนกันกับโน๊ตตัวแรก

รูปที่2.16 ตัวโน๊ตตาม solfege Do-Do
ที่มา : http://www.eartrainninghq.com/solfege-the-things-you-ought-to-know/

รูปที่ 2.17ตัวโน๊ตตาม ตัวอักษร Do-Do
ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Letter_notation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในทางดนตรียังมีตัวโน๊ตที่เป็นครึ่งเสียงโดยการเติมเครื่องหมาย Accidentals หรือก็คือเครื่องหมาย ♯(sharp) และเครื่องหทาย ♭ (flat) เป็นต้นและยังมีเครื่องหมายอื่นดังรูป

Accidental	Symbol	Description
Sharp	♯	Raises note one half step
Flat	♭	Lowers note one half step
Natural	♮	Cancels an accidental
Double Sharp	𝄪	Raises note a whole step
Double Flat	𝄫	Lowers note a whole step

รูปที่ 2.18 เครื่องหมาย accidental รูปแบบต่างๆ

ที่มา : https://www.quora.com/What-are-accidentals-in-music

2.3.3.2 Note&Frequency

ในทางเทคนิคแล้วตัวโน๊ตสามารถระบุเป็นค่าความถี่ได้ เพราะเมื่อเราทำการสร้างเสียงขึ้นมานั้น จะเกิดการสั่นขั้นซึ่งในการสั่นนั้นจะมีหน่วยเป็น hertz(Hz) โดย 1Hz หมายถึงการสั่น 1 ครั้งต่อวินาที ซึ่งมี โน๊ตตัว A4 เป็น center pitch ที่มีความถี่เท่ากับ 440Hz โดยเราสามรถหาค่าความถี่ของตัวโน๊ตจาก center pitch ได้ดังนี้

$$f = 2^{\frac{n}{12}} \times 440Hz$$

ตัวอย่าง : หากเราต้องการหาความถี่ของโน๊ต C5 ซึ่งสูงกว่า A4 อยู่3ครึ่งเสียง (A4-A♯4-B4-C5) ดังนั้น n มีค่าเท่ากับ 3 จะได้

$$f = 2^{\frac{3}{12}} \times 440Hz$$

$$f \approx 523.2Hz$$

ตัวอย่าง : หากเราต้องการหาความถี่ของโน๊ต F4 ซึ่งต่ำกว่า A4 อยู่4ครึ่งเสียง (A4-Ab4-G4-Gb4-F4) ดังนั้น n จะมีค่าเท่ากับ -4 จะได้

$$f = 2^{-\frac{4}{12}} \times 440Hz$$

$$f \approx 349.2Hz$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยความถี่ของแต่ละตัวโน๊ตแสดงดังตาราง

NOTE TO FREQUENCY CHART

NOTE	HZ	NOTE	HZ	NOTE	HZ
A0	27.5000	D3	146.832	G5	783.991
A♯0 or Bb0	29.1352	D♯3 or Eb3	155.563	G♯5 or Ab5	830.609
B0	30.8677	E3	164.814	A5	880.000
C1	32.7032	F3	174.614	A♯5 or Bb5	932.328
C♯1 or Db1	34.6478	F♯3 or Gb3	184.997	B5	987.767
D1	36.7081	G3	195.998	C6	1046.50
D♯1 or Eb1	38.8909	G♯3 or Ab3	207.652	C♯6 or Db6	1108.73
E1	41.2034	A3	220.000	D6	1174.66
F1	43.6535	A♯3 or Bb3	233.082	D♯6 or Eb6	1244.51
F♯1 or Gb1	46.2493	B3	246.942	E6	1318.51
G1	48.9994	C4	261.626	F6	1396.91
G♯1 or Ab1	51.9131	C♯4 or Db4	277.183	F♯6 or Gb6	1479.98
A1	55.0000	D4	293.665	G6	1567.98
A♯1 or Bb1	58.2705	D♯4 or Eb4	311.127	G♯6 or Ab6	1661.22
B1	61.7354	E4	329.628	A6	1760.00
C2	65.4064	F4	349.228	A♯6 or Bb6	1864.66
C♯2 or Db2	69.2957	F♯4 or Gb4	369.994	B6	1975.53
D2	73.4162	G4	391.995	C7	2093.00
D♯2 or Eb2	77.7817	G♯4 or Ab4	415.305	C♯7 or Db7	2217.46
E2	82.4069	A4	440.000	D7	2349.32
F2	87.3071	A♯4 or Bb4	466.164	D♯7 or Eb7	2489.02
F♯2 or Gb2	92.4986	B4	493.883	E7	2637.02
G2	97.9989	C5	523.251	F7	2793.83
G♯2 or Ab2	103.826	C♯5 or Db5	554.365	F♯7 or Gb7	2959.96
A2	110.000	D5	587.330	G7	3135.96
A♯2 or Bb2	116.541	D♯5 or Eb5	622.254	G♯7 or Ab7	3322.44
B2	123.471	E5	659.255	A7	3520.00
C3	130.813	F5	698.456	A♯7 or Bb7	3729.31
C♯3 or Db3	138.591	F♯5 or Gb5	739.989	B7	3951.07
				C8	4186.01

รูปที่2.19 ตารางแสดงความถี่ของตัวโน๊ตในหน่วย Hz

ที่มา : https://www.quora.com/What-are-accidentals-in-music

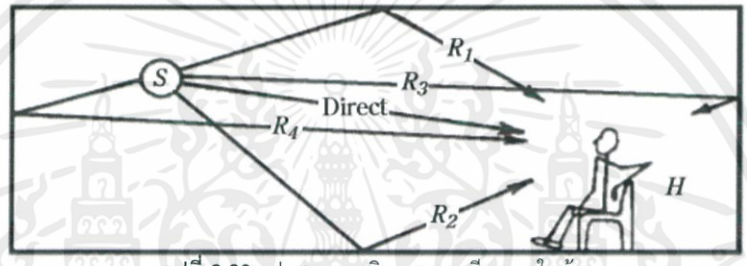
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อคูสติกของเสียงภายในห้อง

จากภาพที่ 2.20 แสดงให้เห็นถึงการเดินทางของเสียงภายในห้องจะเห็นได้ว่าเมื่อเสียงเกิดจากแหล่งกำเนิดแล้วนั้นจะเดินทางไปทั่วทุกทิศทางภายในห้องและเกิดการสะท้อนขึ้นมากมาย ซึ่งหูของเรานั้นจะไม่ได้ได้ยินเสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดโดยตรงเพียงอย่างเดียว แต่ยังได้ยินเสียงที่เดินทางมากระทบกับพื้นผิวของห้องแล้วสะท้อนกลับมายังหูของเราอีกด้วย

ซึ่งเสียงที่เดินทางจากแหล่งกำเนิดเสียงมาที่หูของเราโดยตรงเรียกว่า Direct sound เราจะสามารถรับรู้ถึงเสียงนี้ก่อนเป็นอันดับแรก และเรียกเสียงที่เดินทางจากแหล่งกำเนิดแล้วเกิดการสะท้อนกับพื้นผิวจนมาถึงหูของเราทีหลังว่า Reflected sound

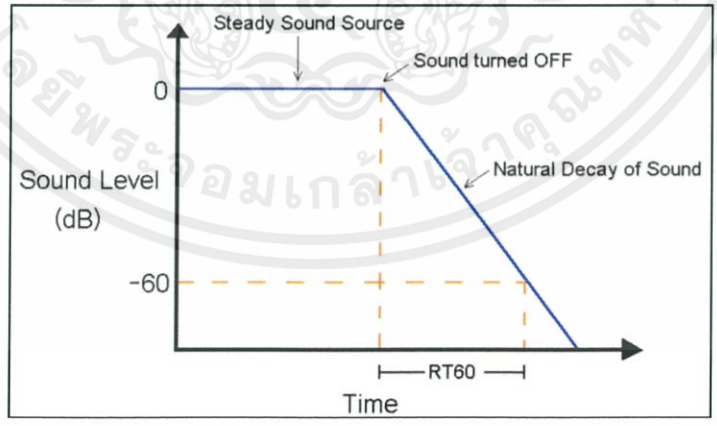
Reflected sound ภายในห้องนั้นยังทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่าเสียงสะท้อน(Echo) และ เสียงก้อง(Reverb)อีกด้วย



รูปที่ 2.20 รูปแสดงการเดินทางของเสียงภายในห้อง
ที่มา : F. Alton Everest, The Master Handbook of Acoustic หน้าที่ 133

2.4.1 Reverberation time

Reverberation time คือ ระยะเวลาในการก้องสะท้อนของเสียงที่ยังคงเหลืออยู่หลังจากที่แหล่งกำเนิดเสียงนั้นหยุดกำเนิดเสียงและค่อยๆสูญเสียพลังงานลงจนหมดไป โดยค่าทางอคูสติกที่เรียกว่า RT60 นั้นคือระยะเวลาที่ Reverberation timeนั้นลดลงไป60dBดังรูปที 2.21



รูปที่2.21รูปแสดงกราฟอธิบายความหมายของRT60
ที่มา : http://www.sengpielaudio.com/calculator-RT60.htm

โดยเมื่อ Reverberation time นั้นมีค่ามากแสดงว่าห้องนั้นมีการสะท้อนของเสียงที่มากหรือมีการลดทอนของเสียง(decay)ค่อนข้างนาน ทำให้เสียงภายในห้องนั้นก้องมีความชัดเจนของเสียง(Clarity)น้อย แต่เมื่อ Reverberation time นั้นมีค่าน้อยแสดงว่าห้องนั้นมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะท้อนของเสียงน้อยหรือถูกดูดกลืน(Absorb)โดยพื้นผิวต่างๆภายในห้องมาก ทำให้เสียงภายในห้องมีความชัดเจน(Clarity)สูงแต่ถ้ามีค่า RT60 น้อยเกินไปอาจทำให้เสียงดูแห้งและไม่เป็นธรรมชาติ

ในการออกแบบทางอคูสติกนั้นควรคำนึงถึงค่า Reverberation time เสมอและควรที่จะมีค่าที่เหมาะสม จากรูป 2.22 คือค่า RT60 ที่เหมาะสมตามความต้องการของห้องแต่ละแบบ

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

รูปที่ 2.22 รูปแสดงมาตรฐาน ISO3382 RT60

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

ในการคำนวณหาค่า RT60 สามารถหาได้จากสูตร Sabin's equation ดังนี้

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

$RT60$ = Reverberation time,(วินาที)

V = ปริมาตรของห้อง (m^3)

S = พื้นที่ผิว (m^2)

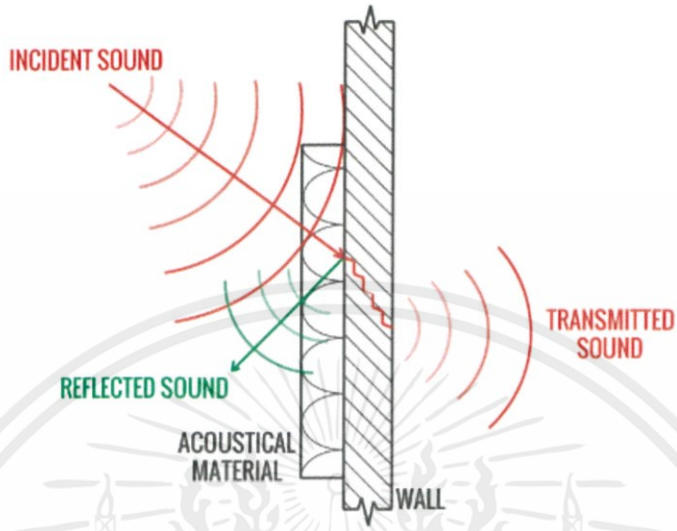
α = สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ (Sabin)

2.5 การถูกดูดซับของเสียง(Sound Absorption)

พลังงานของเสียงเมื่อเดินทางภายในห้องนั้นเมื่อเกิดการตกกระทบกับพื้นผิวของห้อง นอกจากจะเกิดการสะท้อนของเสียงแล้วสิ่งที่ทำให้เสียงที่เดินทางภายในห้องนั้นหายไปหรือเบาลงคือเสียงนั้นเกิดการสูญเสียพลังงานไปจากการถูกดูดซับพลังงานจากพื้นผิวของห้องและวัตถุต่างๆภายในห้อง อธิบายได้ดังรูปที่ 2.23 เสียงนั้นเมื่อเดินทางตกกระทบกับพื้นผิวของห้องแล้วจะเกิดปรากฏการณ์ คือ บางส่วนจะเกิดการสะท้อนของเสียง(Reflected Sound) บางส่วนที่ผ่านเข้าไปในพื้นผิวนั้นๆและเกิดการถูกดูดซับของเสียง(Absorbed Sound) และเสียงบางส่วนสามารถทะลุผ่านชั้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวนั้นไปได้(Transmitted Sound) โดยวัสดุหรือวัตถุต่างๆก็จะมีความสามารถในการดูดซับเสียงแตกต่างกันไป และแต่ละวัสดุจะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.23 รูปแสดงการตกกระทบของเสียงกับพื้นผิวของห้อง
ที่มา : http://www.technature.ca/acoustics-101/sound-absorption/

2.5.1 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient : SAC) คือ ค่าที่บอกถึงสัดส่วนของพลังงานเสียงที่ถูกดูดซับไปเมื่อตกกระทบเทียบกับพลังงานของเสียงจากแหล่งกำเนิด บอกเป็นค่าสัดส่วนระหว่าง 1.0 คือ ถูกดูดซับทั้งหมด(Perfect Absorption) ถึง 0 คือ ถูกสะท้อนทั้งหมด(Total Reflection) โดยค่า Sound Absorption Coefficient จะวัดในหลายช่วงความถี่ตั้งแต่ 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz

2.5.2 Noise Reduction Coefficient

Noise Reduction Coefficient คือ ค่าที่สามารถนำมาบอกความสามารถในการดูดซับเสียงโดยรวมของวัสดุได้ เช่น วัสดุนี้มีค่า NRC = 0.85 แสดงว่าวัสดุนี้สามารถดูดซับเสียงในได้มากถึง 85% โดยค่า Noise Reduction Coefficient สามารถคำนวณได้จากการนำค่า Sound Absorption Coefficient ในช่วงความถี่ 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz มาเฉลี่ยกัน โดยทั่วไปวัสดุทางอคูสติกนั้นต้องมีค่า NRC มากกว่า 0.40 ขึ้นไปถึงจะถือว่าเป็นวัสดุดูดซับเสียง

วัสดุดูดซับเสียงได้ดีนั้นมักมีลักษณะมีผิวนิ่มและเป็นรูพรุน(Porous) เพราะจะยอมให้คลื่นเสียงผ่านเข้าไปภายในและเปลี่ยนพลังงานเสียงเป็นพลังงานความร้อนสะท้อนไปมาภายในจนพลังงานเสียงนั้นค่อยๆลดลงจนหมดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Material	Coefficients 125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Brick, unglazed	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
Carpet, heavy on concrete	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65
Carpet, with latex backing on 40-oz hairfelt of foam rubber	0.08	0.27	0.39	0.34	0.48	0.63
Concrete block, coarse	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25
Light velour, 10 oz per sq-yd in contact with wall	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35
Concrete or terrazo	0.01	0.01	0.015	0.02	0.02	0.02
Wood	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
Glass, large heavy plate	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
Glass, ordinary window	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
Gypsum board, nailed to 2 by 4 studs on 16-inch centers	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
Plaster, gypsum, or lime, smooth finish on tile or brick	0.013	0.015	0.02	0.03	0.04	0.05
Plywood, ⅜-inch	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11
Air, Sabins per 1000-cu. ft.	—	—	—	—	2.3	7.2
Audience, seated in upholstered seats, per sq. ft. of floor area	0.44	0.54	0.60	0.62	0.58	0.50
Wooden pews occupied, per sq. ft. of floor area	0.57	0.61	0.75	0.86	0.91	0.86
Chairs, metal or wooden, seats unoccupied	0.15	0.19	0.22	0.39	0.38	0.30

รูปที่ 2.24 รูปตัวอย่างตารางค่า Sound Absorption Coefficient

ที่มา : https://patchbay.wordpress.com/2011/01/19/room-acoustics-basic-principles/

2.6 Acoustic in recording studio

2.6.1 ห้องบันทึกเสียง(Recording studio)

ห้องที่ใช้บันทึกเสียงมีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆในการบันทึกเสียง เช่น ไมโครโฟน, เครื่องดนตรี, มิกซ์เซอร์, คอมพิวเตอร์ เช่น ซึ่งห้องนั้นจะถูกออกแบบโดยผู้มีความรู้ด้านอะคูสติก โดยออกแบบให้เหมาะสมกับความต้องการในงานบันทึกเสียงที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ห้องบันทึกเสียงร้อง, ห้องบันทึกเสียงกลอง, ห้องบันทึกเสียงพากษ์หนัง, ห้องบันทึกเสียง Foley ซึ่งห้องบันทึกเสียงจะแบ่งห้องย่อยออกเป็น Live Room และ Control Room ซึ่ง Live Room คือ ห้องที่นักดนตรีจะทำการร้องเพลงหรือเล่นดนตรีที่ต้องการซึ่งจะรับเสียงผ่านไมค์โครโฟนหรือเครื่องรับสัญญาณและส่งสัญญาณเสียงไปยังห้อง Control Room ที่จะมี Audio Engineer และมีอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการบันทึกเสียง

2.6.1.1 ห้องควบคุมเสียง(Control room)

คือห้องที่ audio engineer และ record producer ทำงาน โดยการควบคุณระดับของสัญญาณที่มาจากห้องบันทึกเสียง(live room) และทำการบันทึกเสียง และฟังเสียงที่ทำการบันทึกด้วย ลำโพงมอนิเตอร์หรือหูฟัง แล้วทำการมิกซ์ด้วย mixing consloe ก่อนจะส่งไปทำการmixing ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.2 ห้องบันทึกเสียง(Live room)

เป็นห้องที่มีไว้ให้นักร้องหรือนักดนตรีทำการเล่นแล้วสังสัญญาณเสียงไปยังห้องควบคุมผ่านทางไมคโครโฟนหรือทางกล่องสัญญาณ(DI box)โดยห้องบันทึกเสียงจะสามารถแบ่งได้อีกหลายแบบตามการใช้งานในการบันทึกแต่ละเครื่องดนตรี เช่น ห้องบันทึกกลอง ห้องบันทึกเสียงร้อง ห้องสำหรับแอมป์กีตาร์และเบส ห้องอัดเครื่องสาย เป็นต้นโดยแต่ละห้องก็จะมีลักษณะของห้องและขนาดแตกต่างกันไปตามความเหมาะสม

2.6.2 Acoustic in recording studio

ลักษณะทางอะคูสติกที่ห้องบันทึกเสียงควรมี คือการมี reverberation time ที่สั้นหรือที่เรียกว่ามีความ ‘dead’ นอกจากนั้นสิ่งสำคัญอีกอย่างที่ควานเป็นคือควรเป็นห้องที่มีการเก็บและกันเสียงได้ดี ต้องสามารถตัดเสียงรบกวนจากด้วยออกได้ เช่นเสียงการจราจรบนท้องถนนหรือเสียวลงเครื่องบิน ซึ่งสามารถทำได้จากการสร้างเป็นกำแพงแบบ2ชั้น และที่ต้องระวังเป็นพิเศษคือเพดานที่กันความร้อนได้และระบบขอทางเดินเครื่องปรับอากาศภายในห้อง

2.6.2.1 Acoustic in control room

ห้องควบคุมควรมีรูปร่างที่สมมาตร และควรเป็นห้องที่มี reverb สั้นมากๆ และมีเสียงทุกจุดภายในห้องเหมือนกัน หรือทำให้เสียงกระจายได้ทั่วห้อง เพื่อฟังเสียงที่เราต้องการจริงๆไม่มีเอกลักษณ์ทางเสียงของห้องมาเสริมด้วย เรียกง่ายว่าเป็นห้องที่ ‘dead’ และควรเป็นห้องที่มี freqency respone เท่ากันทุกความถี่หรือที่เรียกว่ามีความ ‘flat’

2.6.2.2 Acoustic in live room

ด้านห้องบันทึกเสียงรวมๆแล้วต้องการ reverb ที่ยาวกว่าห้องควบคุมเสียงแต่ไม่เยอะเกินไป และไม่จำเป็นต้องสมมาตร แต่ต้องการเสียงที่ดีสำหรับการบันทึกเสียง ห้องบันทึกเสียงที่ดีควรมีเอกลักษณ์ทางเสียงเป็นของตนเองที่สามารถช่วยเสริมเสียงร้องหรือเสียงของเครื่องดนตรีให้ทีความชัดเจนมากขึ้น

2.7 Vocal Booth

ปัจจุบัน vocal booth มีการใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากการสะดวก และง่ายต่อการติดตั้ง ทำให้ผู้ที่ต้องการทำการบันทึกเสียงร้องสามารถทำได้ในทุกที่โดยสามารถตัดเสียงรบกวนออกได้แทบจะเกือบทั้งหมด แถมยังมีราคาที่ไม่แพงเกินไป หรือบางที่สามารถสร้างได้ด้วยตนเอง

2.7.1 คุณสมบัติของ vocal booth

จริงๆแล้วตัว vocal booth จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปตามวัสดุที่ใช้ แต่จะมีคุณสมบัติหลักๆที่ควรมีได้แก่ คุณสมบัติในการตัดเสียงรบกวนภาพนอกเช่นเสียง การจราจร เสียงเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิน เสียงรถยนต์ เป็นต้น มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงเพื่อจำกัดค่าการสะท้อนของเสียงจนทำให้เกิดค่า reverberation time ที่มากเกินไปในการบันทึกเสียง และยังช่วยทำให้เสียงมีความชัดเจมมากขึ้นอีกด้วย

2.7.2 ชนิดของ Vocal booth ที่มีขายอยู่ในท้องตลาด

2.7.2.1 Permanent Vocal Booth

เป็น vocal booth แบบติดตั้งถาวรเหมาะกับการใช้งานใน studio หรือหากต้องการใช้ในระยะยาว

2.7.2.2 Modular Vocal Booth

เป็น vocal booth แบบแยกส่วนประกอบ สะดวกต่อการขนย้าย เหมาะสำหรับการใช้ในห้องที่มีพื้นที่แคบสามารถแยกส่วนเก็บได้หลังการใช้งาน

2.7.2.3 Portable Vocal Booth

เป็น vocal booth ขนาดเล็กน้ำหนักเบาพกพาได้สะดวกแต่แลกมาด้วยการกันเสียงรบกวนที่น้อย เป็นตัวเลือกสำหรับคนที่เดินทางไปทำการบันทึกเสียงในต่างสถานที่บ่อยครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

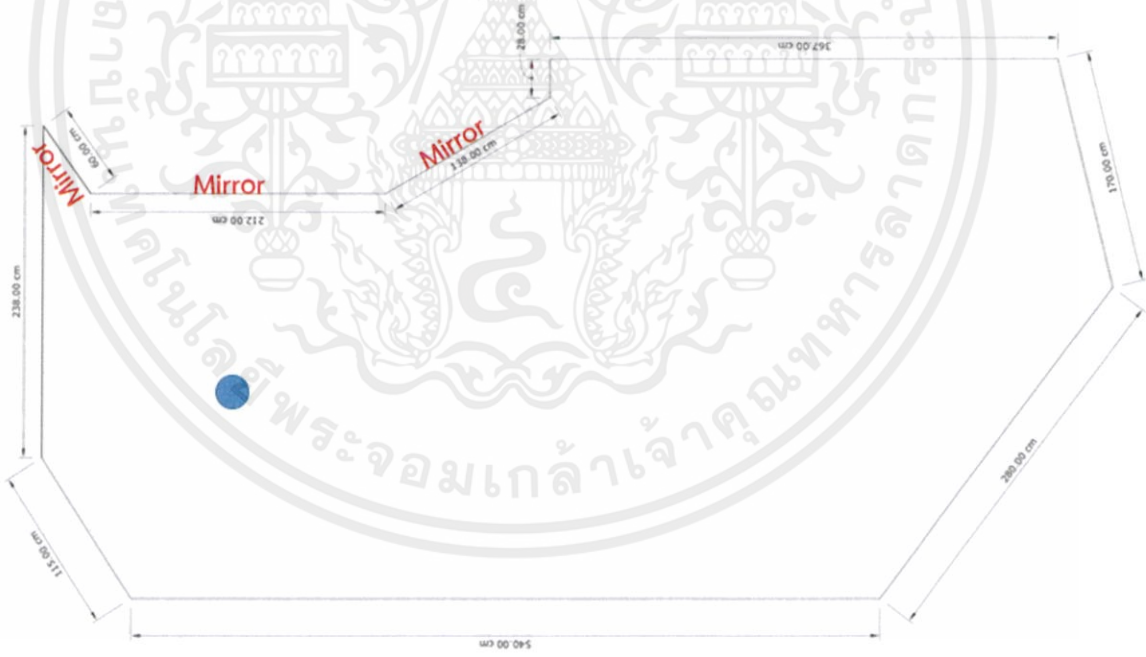
บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยที่ บริษัทแกรนด์สตูดิโอ

3.1 สอบถามและปรึกษาเกี่ยวปัญหากับทางสตูดิโอ

จากการปรึกษากับทางเจ้าของสตูดิโอได้ทราบว่าปัญหาที่ต้องการแก้ไขคือการบันทึกเสียงร้องในห้องบันทึกเสียงนั้นเสียงที่ได้ยังมี Reverberation Time ที่มากเกินไปและจากการฟังเสียงนั้นยังรู้สึกเหมือนเสียงที่ได้นั้นไม่ค่อยโฟกัสหรือมีความรู้สึกถึงระยะห่างของเสียง(Distance) มากเกินไป เนื่องมาจากห้องบันทึกเสียงของทางแกรนด์สตูดิโอนั้นเป็นห้องบันทึกเสียงที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่และเพดานค่อนข้างสูง และถูกใช้ทั้งในงานบันทึกเสียงร้อง บันทึกเสียงคอรัส และ บันทึกเสียงกลองด้วย ซึ่งขนาดห้องที่ใหญ่นั้นทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเสียงร้องดังที่กล่าวไป จึงต้องการที่จะปรับปรุงแก้ไขปัญหานี้โดยมีโจทย์หลักๆคือ ข้อแรกในการบันทึกเสียงร้องนั้นต้องการให้นักร้องอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมและสามารถมองเห็นสื่อสารกับทางห้อง Recording Room ได้ผ่านทางกระจก ดังรูปที่ 3.1 ข้อที่สองไม่ต้องการให้ปรับเปลี่ยนลักษณะทางอคูสติกของห้องหรือติดตั้งวัสดุทางอคูสติกที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ เช่น ติดอคูสติกบอร์ด(Acoustic Board) หรือ เบสแทรป(Bass Trap) เพราะจะทำให้ในการบันทึกเสียงกลองนั้นได้เสียงที่ต่างออกไปจากเดิมซึ่งดีอยู่แล้ว



รูปที่ 3.1 ห้องสตูดิโอบันทึกเสียงบอกตำแหน่งกระจกและตำแหน่งที่ต้องการใช้บันทึกเสียงร้อง

เมื่อทราบถึงปัญหาและความต้องการของทางสตูดิโอแล้วจึงได้คิดปรึกษาแนวทางในการแก้ไขปัญหานี้ร่วมกับทางสตูดิโอและได้ข้อสรุปว่าจะทำเป็น Vocal Booth ขึ้นมาโดยตัว Vocal Booth นั้นตอบโจทย์ปัญหาในเรื่องช่วยลดเสียงสะท้อน(Reflection) จากกำแพงของห้องแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วนกลับมาเข้าไมโครโฟน และสามารถเคลื่อนย้ายออกไปได้เวลามีการอัดเสียงเครื่องดนตรีอื่นๆ จึงเกิดเป็นโปรเจคนี้ขึ้นมา

3.2 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับอคูสติกของห้องอัดเสียง

ในการที่จะทราบถึงปัญหาและชี้จุดที่เป็นปัญหาของห้องได้นั้นจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลในเรื่องที่เกียวข้องทั้งหมดก่อน โดยเริ่มจากพื้นฐานของเสียง, การเดินทางของเสียงภายในห้อง, การได้ยินเสียงของหูมนุษย์ และเมื่อทราบถึงพื้นฐานแล้ว ก็เริ่มศึกษาในเรื่องของ Room Acoustic ทั้งเรื่องคุณภาพของเสียงในห้องบันทึกเสียง และ การตรวจวัดคุณภาพของเสียงภายในห้อง เมื่อเข้าใจแล้วจึงเริ่มศึกษาเกี่ยวกับค่ามาตรฐานทางอคูสติก เช่น Reverberation Time (RT60), Sound Pressure Level(SPL) เพื่อทำการตรวจวัดและแจ้งปัญหาเกี่ยวกับเสียงในห้องได้ จากนั้น ศึกษาเกี่ยวกับการแก้ปัญหาทางอคูสติกของห้องโดยใช้วัสดุทางอคูสติก(Acoustic materials) และการออกแบบ Vocal Booth เพื่อเริ่มทำการออกแบบและนำมาทดลองแก้ไขปัญหา

3.3 เตรียมอุปกรณ์ก่อนทำการวัดคุณภาพเสียงห้อง

รูปที่ 3.2 รูปแสดงแผนภาพการวัด Room response

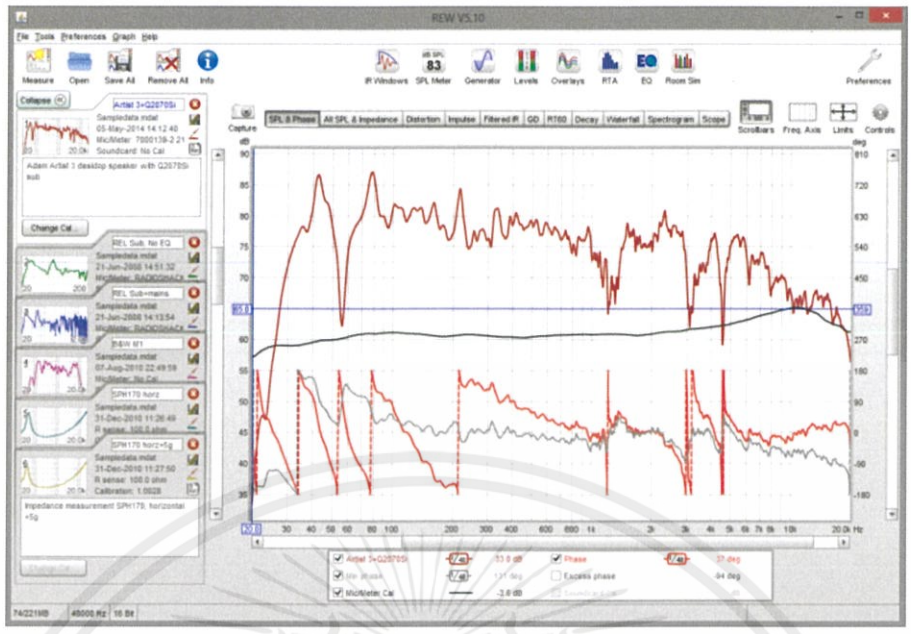
3.3.1 คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค

ใช้สำหรับติดตั้งซอฟท์แวร์ในการวัดเสียงของห้อง ใช้รุ่นใดก็ได้ที่สามารถพกพาได้เพื่อนำไปใช้ที่ห้องบันทึกเสียง

3.3.2 ซอฟท์แวร์ Room EQ Wizard

ซอฟท์แวร์ใช้สำหรับวัดเสียง สามารถบันทึกเสียงเข้ามาในโปรแกรมและดูกราฟ Frequency Response , Impulse Response, Reverberation Time, Energy Time Curve ของเสียงที่วัดมาได้ โดยจะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์แก้ไขปัญหา

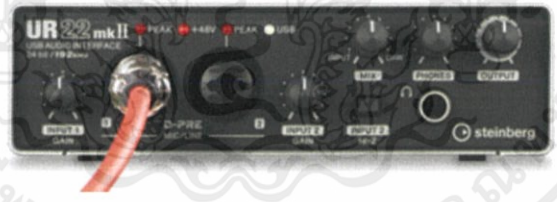
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 รูปแสดงตัวอย่างหน้าต่างใช้งานซอฟท์แวร์ REW
ที่มา : https://www.roomeqwizard.com/features.html

3.3.3 Audio Interface (Steinberg UR22)

ใช้ Audio Interface เป็นทั้ง Microphone preamplifier สำหรับ Measurement Microphone และใช้เชื่อมต่อระหว่าง ไมโครโฟน และลำโพง เข้ากำคอมพิวเตอร์



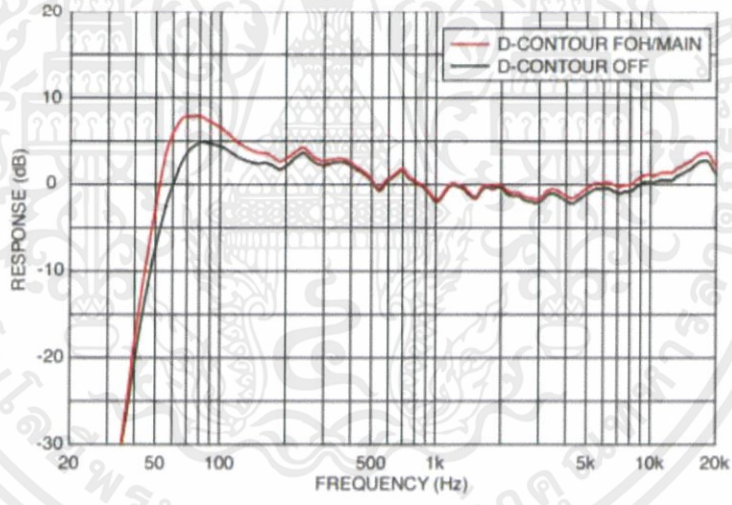
รูปที่ 3.4 รูปตัวอย่าง Interface Steinberg UR22
ที่มา : https://www.steinberg.net/en/products/audio_interfaces/ur_series/models/ur22mkii.html

3.3.4 Loud Speaker (Yamaha DXR15)

เราใช้ลำโพงในการปล่อย Test Signal ที่ใช้สำหรับการวัดค่า Frequency response และ Reverberation time ของห้อง ซึ่งใช้ลำโพงที่เป็นแบบ Active มี Amplifier ในตัว เพื่อให้สามารถเพิ่มค่า Signal to noise ratio ของสัญญาณเสียงที่ปล่อยออกมาได้เพื่อให้สามารถเห็นค่าที่วัดมาได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 รูปลำโพง Yamaha DXR15
ที่มา : https://usa.yamaha.com/products/proaudio/speakers/dxr/index.html



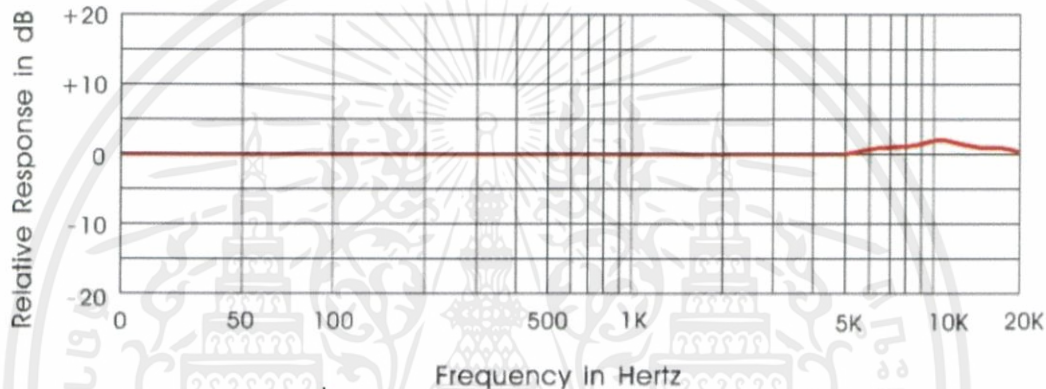
รูปที่ 3.6 รูปแสดง Frequency Response ของลำโพง Yamaha DXR15
ที่มา : https://usa.yamaha.com/products/proaudio/speakers/dxr/downloads.html

3.3.5 Measurement Microphone (dbx RTAm)

ใช้ไมโครโฟนในการบันทึกเสียง Test signal ที่ปล่อยออกมาจากลำโพงกลับเข้ามาในโปรแกรมและดูค่าทางอคูสติกต่างๆ โดยในการวัดค่าทางอคูสติกของเสียงนั้น จำเป็นต้องใช้ Microphone ที่มีลักษณะ Polar pattern เป็น Omnidirectional และมีการตอบสนองต่อความถี่เท่ากันในทุกย่าน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นคุณลักษณะของห้องนั้นจริงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 รูป dbx RTA microphone



รูปที่ 3.8 แสดง Frequency Response ของ dbx RTAm

ที่มา : https://dbxpro.com/en/products/rta-m

3.3.6 อุปกรณ์อื่นๆ

สาย XLR ใช้สำหรับเชื่อมต่อจากไมโครโฟนเข้ามายัง Audio Interface

สาย TRS ใช้สำหรับเชื่อมต่อจาก Audio Interface ไปยังลำโพง

ขาตั้งไมโครโฟนและขาตั้งลำโพง – ใช้สำหรับเพิ่มระดับของลำโพงและไมโครโฟนให้อยู่ในระดับปกติแทนแหล่งกำเนิดเสียงและตำแหน่งไมโครโฟนร้องปกติในห้อง

3.4 ทำการวัดค่าทางอคูสติกของห้อง (Room Measurement)

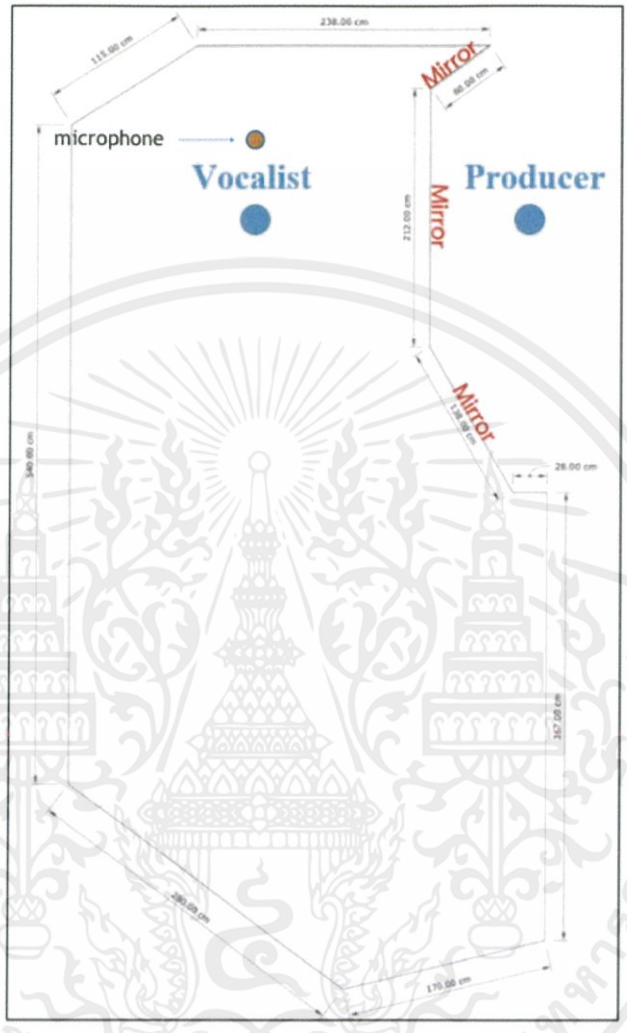
หลังจากศึกษาถึงปัญหาความต้องการและเตรียมอุปกรณ์ในการวัดเรียบร้อยแล้ว จึงทำการเข้าไปวัดค่าทางอคูสติกของห้องเพื่อนำมาวิเคราะห์ในกระบวนการต่อไป

3.4.1 ตำแหน่งในการวัด

ในขั้นตอนการวัดนั้นจำเป็นจะต้องกำหนดจุดที่จะใช้อ้างอิงในการวัดขึ้นมาโดยการวางลำโพงนั้นเราจะวางในจุดที่เป็นจุดแหล่งกำเนิดเสียงโดยปกติของห้องนั้นในกรณีนี้คือจุดที่นักร้องหรือผู้บันทึกเสียงยืนอยู่ดังในรูปที่ 3.9 และในการวางไมโครโฟนนั้นโดยปกติจะวางในหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของห้องเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยของห้องนั้นมา แต่ในกรณีนี้เราวางไมโครโฟน ณ ตำแหน่งที่เป็นตำแหน่งวางไมโครโฟนในการบันทึกเสียงตามรูปที่ 3.9



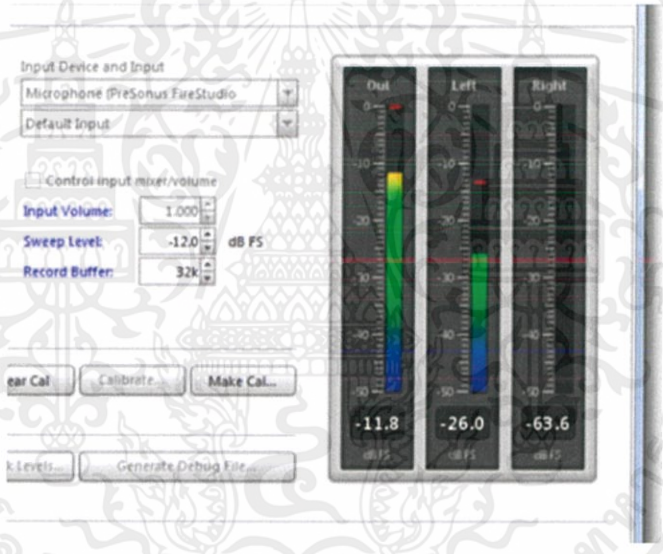
รูปที่ 3.9 รูปแสดงตำแหน่งของนักร้องและไมโครโฟนในห้อง Studio room

3.4.2 ตั้งค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดเสียง

ทำการตั้งค่า Input และ Output ในโปรแกรมให้รับจาก Audio interface และทำการสอบเทียบ (Calibration) gain ของไมโครโฟน โดยใช้ฟังค์ชั่น Calibration ในโปรแกรม Room Eq Wizard โดยให้เราปรับ gain ของไมโครโฟนจนระดับสัญญาณที่รับมาได้นั้นเท่ากับระดับสัญญาณของเสียงที่ปล่อยออกมา แล้วจึงพร้อมที่จะดำเนินการวัดเสียงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 Audio Interface setup

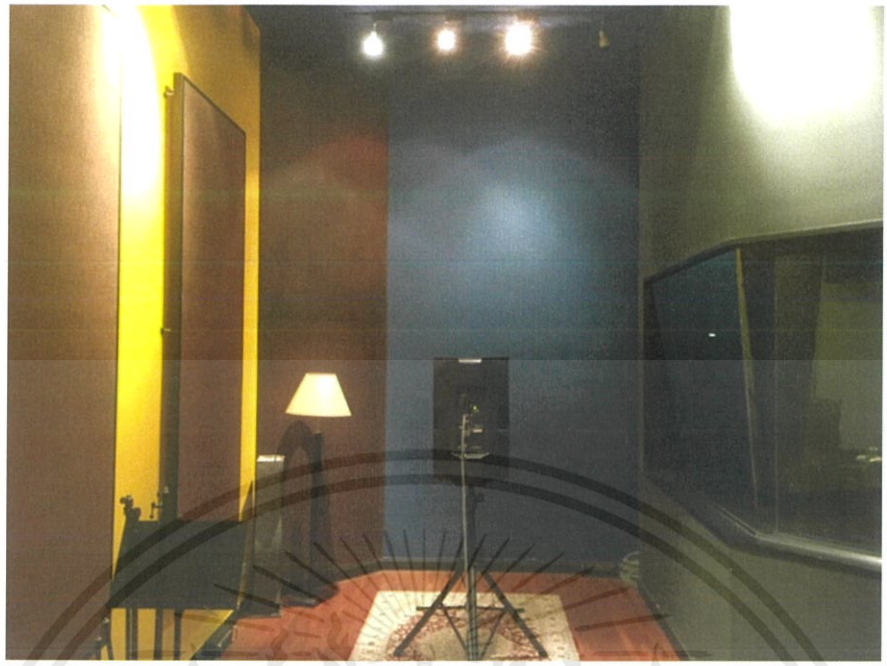


รูปที่ 3.11 รูปแสดงตัวอย่างหน้าต่างฟังค์ชั่น calibrate ของ Room eq wizard

3.4.3 ดำเนินการวัดเสียง

ดำเนินการวัดโดยให้โปรแกรม Generate เสียง Sine Sweep ความถี่ระหว่าง 20Hz ถึง 20,000Hz ออกมาจากลำโพง Yamaha DXR15 และถูกบันทึกโดยไมโครโฟน dbx RTAm แล้วโปรแกรม Room Eq Wizard จะเก็บข้อมูลไว้ซึ่งสามารถเรียกดูได้ทั้งกราฟ Frequency Response, Reverberation Time ทำการวัดซ้ำ 10 ครั้ง และนำข้อมูลกราฟที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 รูปตำแหน่งการวางลำโพงในการวัดเสียงห้อง Studio room

รูปที่ 3.13 รูปการทดลองการวัดเสียงภายในห้อง Studio room

3.5 วิเคราะห์ผลและนำเสนอปัญหากับทาง Studio

นำผลที่ได้จากการวัดเสียงภายในห้อง Studio Room มาวิเคราะห์ดูกราฟ Frequency Response และค่า Reverberation time จากนั้นนำเสนอข้อมูลที่ได้มากับทางสตูดิโอ และปรึกษาหาแนวทางแก้ไขปัญหาร่วมกันกับทาง Studio

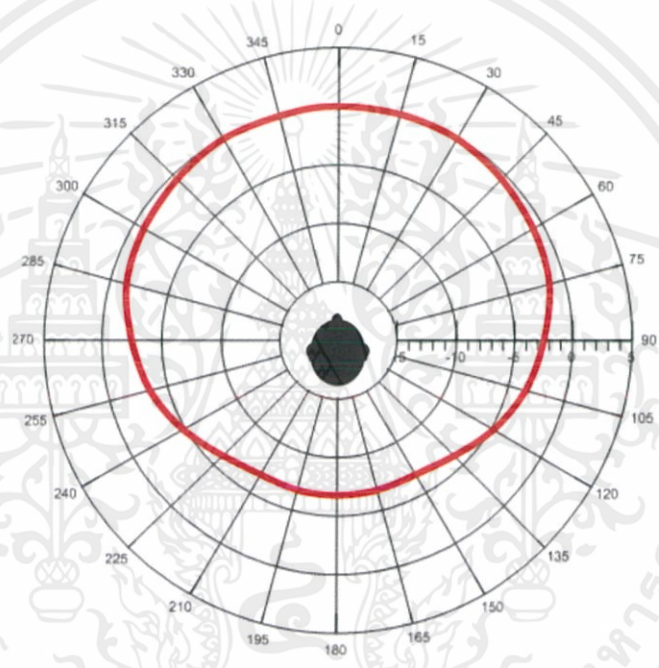
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ออกแบบ Vocal Booth

หลังจากได้ข้อสรุปร่วมกับทางสตูดิโอว่าต้องการจะทำ Vocal Booth ขึ้นมาและหลังศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆเกี่ยวกับ Vocal Booth ตั้งแต่ Vocal Booth คืออะไร หน้าที่ของ Vocal Booth และศึกษาด้านการออกแบบว่าต้องใช้วัสดุอะไรทำโครงและใช้ Acoustic material แบบใดจึงจะเหมาะสม จึงได้เริ่มออกแบบ Vocal Booth ขึ้นมา

3.6.1 รูปทรงของ Vocal Booth

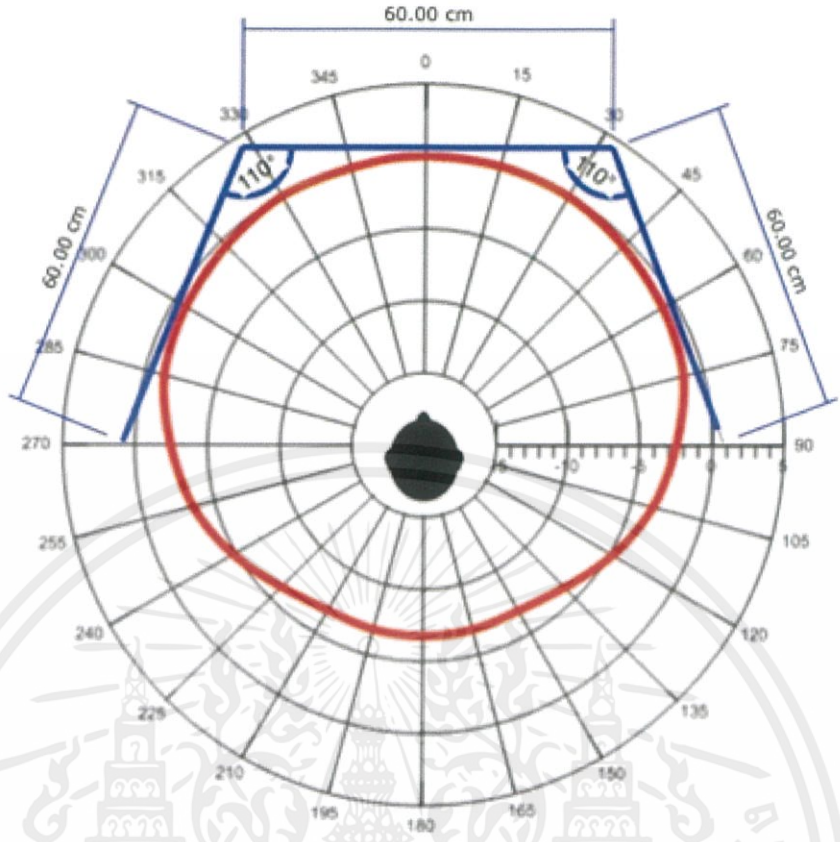
เริ่มออกแบบรูปทรงของ Vocal Booth จากการศึกษาและอ้างอิงถึงเรื่อง Polar pattern ของเสียงพูดของมนุษย์ ซึ่งโดยปกติแล้วเมื่อมนุษย์นั้นพูดจะเกิดเสียงเดินทางออกไปปรอบทิศทางของผู้พูดและมีทิศทางดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 รูปแสดง Polar plot of human talker
ที่มา : https://www.dpamicrophones.com/mic-university/facts-about-speech-intelligibility

จากรูปที่ 3.14 จะเห็นได้ถึงทิศทางของเสียงพูดดังนั้นจึงนำมาออกแบบ Vocal Booth โดยคำนึงว่า Vocal Booth นั้นจะต้องสามารถลดเสียง Reflection ที่จะเกิดขึ้นจากการสะท้อนของเสียงจากผนังและเพดานของห้อง Studio room ได้ จึงออกแบบว่ามุมและขนาดของ Vocal Booth จะต้องสามารถครอบคลุมเสียงที่ออกมาจากผู้พูดได้ทั้งหมดเพื่อไม่ให้เสียงนั้นเกิดการสะท้องกับผนังและเพดานของห้องได้ดังรูปที่ 3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 รูปแสดงการออกแบบมุมในการวางของ Vocal Booth

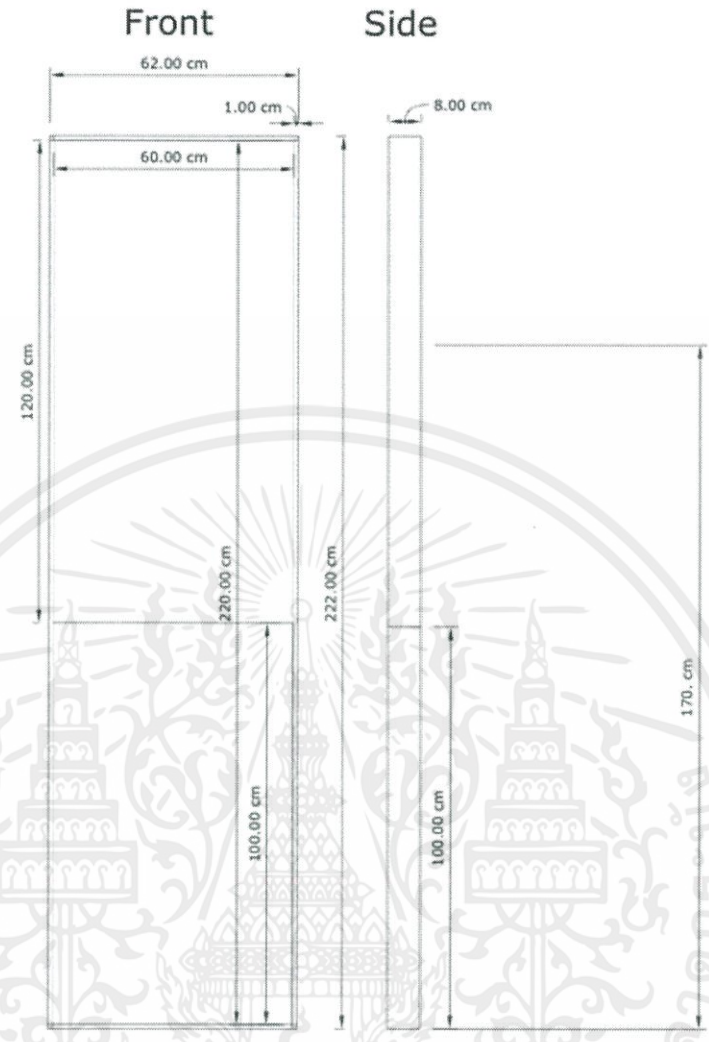
หลังจากได้มุมแล้วและความกว้างแล้วจึงได้กำหนดความสูงของ Vocal Booth โดยอ้างอิงความสูงของ Vocal Booth จากการศึกษาค่าเฉลี่ยความสูงของคนไทยดังรูปที่ 3.16 เพราะคนที่มาบันทึกเสียงที่ห้องสตูดิโอนี้โดยปกติเป็นคนไทย และได้คำนวณความสูงของส่วนที่จะใช้ติด Acoustic material ดังรูปที่ 3.17

เพศ	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	รอบอก		รอบเอว		รอบสะโพก	
			นิ้ว	เซ็นติเมตร	นิ้ว	เซ็นติเมตร	นิ้ว	เซ็นติเมตร
ชาย	68.83	169.46	39.10	99.20	33.50	84.79	37.40	95.0
หญิง	57.40	157.00	36.00	91.09	31.50	79.83	38.50	97.8

รูปที่ 3.16 รูปแสดงค่าเฉลี่ยความสูงและขนาดตัวของคนไทย
ที่มา : http://www.sizethailand.org/region_all.html

โดยจากการศึกษาค่าเฉลี่ยความสูงของคนไทยจะได้ตำแหน่งความสูงที่นักร้องนั้นร้องและตำแหน่งที่วางไมโครโฟนอยู่ตรงกึ่งกลางของ Vocal Booth ในส่วนที่จะติดตั้ง Acoustic material พอดี

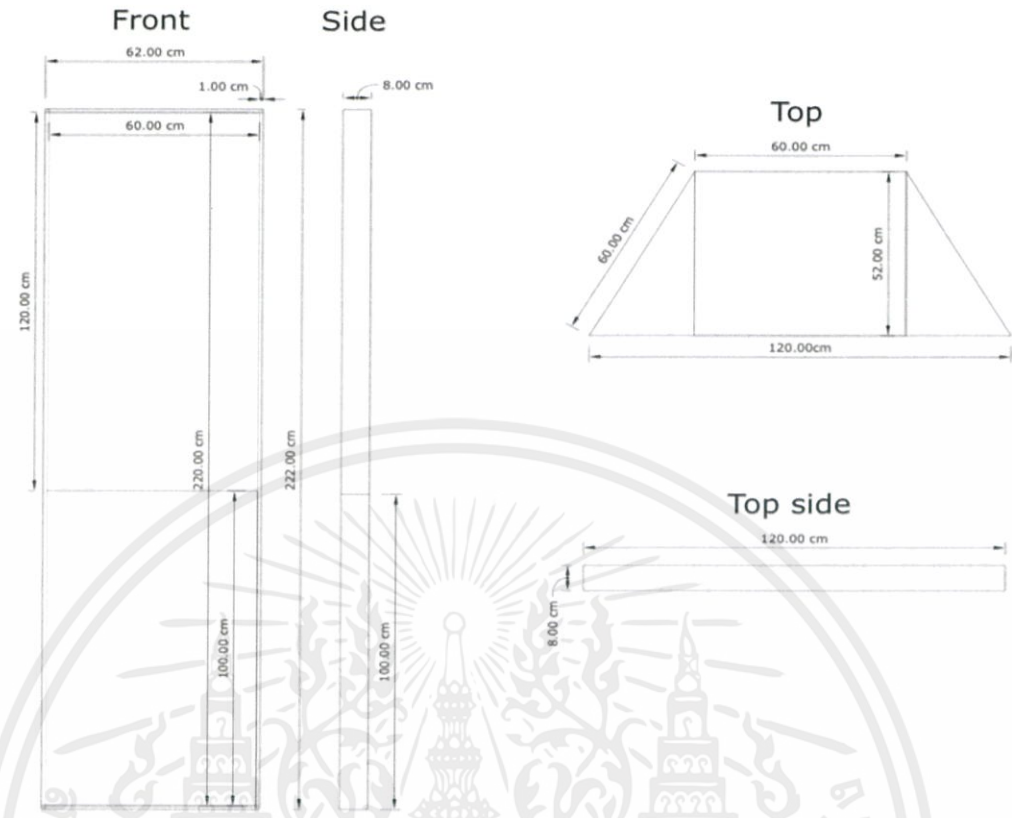
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 รูปแสดงความสูงของ Vocal Booth

จากนั้นก็ออกแบบในส่วนหัวของ Vocal Booth ที่ใช้ครอบเพื่อปิดไม่ให้เสียงนั้นเดินทางขึ้นไปสะท้อนกับเพดานด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แบบแปลนของ Vocal Booth

ในส่วนวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างนั้นได้ใช้เป็น Hardboard wood ซึ่งมีคุณลักษณะคือคงทนมีราคาถูกและมีน้ำหนักเบาเพื่อให้สามารถขนย้าย Vocal Booth ได้เมื่อไม่ได้ใช้

รูปที่ 3.21 Hardboard Wood

ที่มา : https://www.indiamart.com/proddetail/moisture-proof-hard-board-4792816512.html

3.6.2 เลือกวัสดุทางอคูสติกที่จะนำมาติด

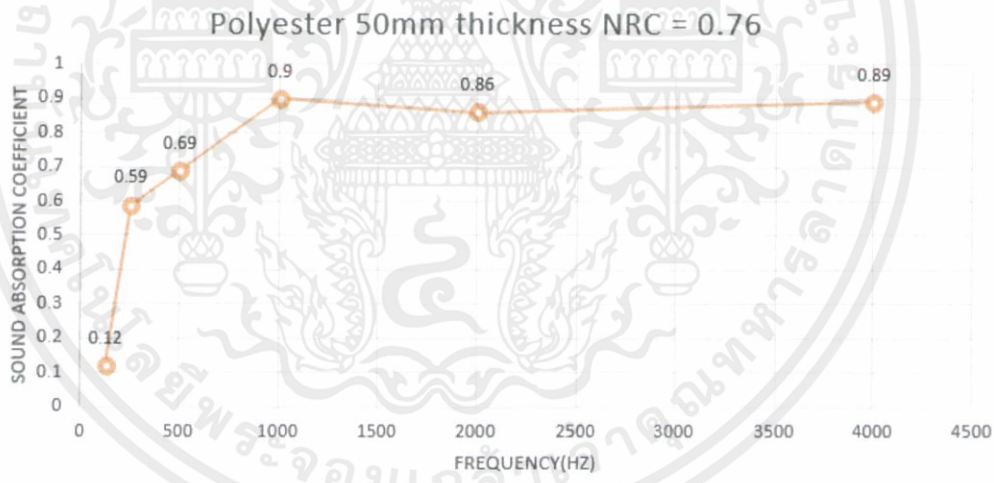
โดยการเลือกวัสดุทางอคูสติกนั้นเราคำนึงถึงเรื่องคุณสมบัติการดูดซับเสียงความถี่ที่เท่าๆกันในทุกย่านโดยเฉพาะย่านความถี่เป็นเสียงของมนุษย์ และที่สำคัญที่สุดคือความปลอดภัยต่อมนุษย์ ซึ่งวัสดุในตลาดส่วนมากนั้นจะส่งผลกระทบที่ไม่ดีต่อมนุษย์ส่วนจำพวก Acoustic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

foam ต่างๆที่ไม่ส่งผลไม่ดีต่อมนุษย์นั้นก็มีค่ามาตรฐานทางอคูสติกที่ไม่ชัดเจน เราจึงเลือกใช้ Polyester ในการนำมาทดลองกับ Vocal Booth ด้วยราคาที่ไม่แพงและมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ดังที่กล่าวไป

รูปที่ 3.22 รูปแผ่น Polyester ขนาด 60x120x5 cm

ที่มา : http://www.elec2rak.com/th/การกั้นเสียงรบกวน/1397-แผ่นกันเสียง-iso-noise.html



รูปที่ 3.23 แสดง Sound absorption coefficient ของ Polyester

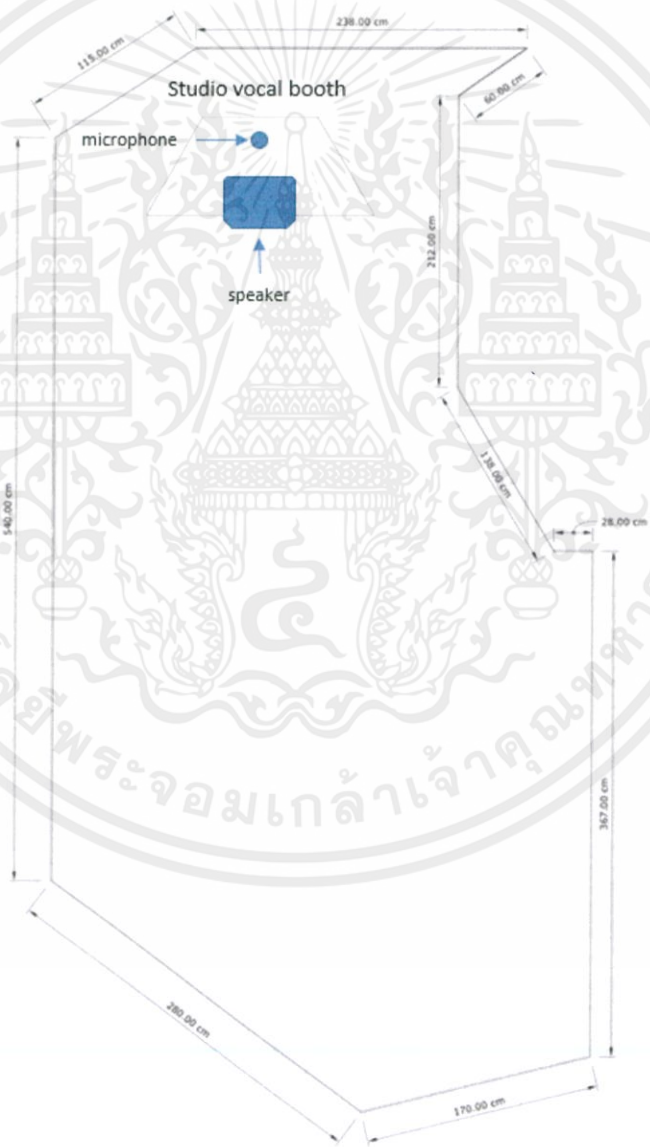
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 วัดผลหลังจากติดตั้ง Vocal Booth ในห้องบันทึกเสียง

หลังจากออกแบบ Vocal Booth ขึ้นมาแล้วจึงนำมาทดลองโดยการวัดเสียงภายในห้อง Studio room เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังติดตั้ง Vocal Booth

3.7.1 ตำแหน่งในการวัด

ในขั้นตอนการวัดนั้นจำเป็นจะต้องกำหนดจุดที่จะใช้อ้างอิงในการวัดขึ้นมาโดยการวางลำโพงนั้นเราจะวางในจุดที่เป็นจุดแหล่งกำเนิดเสียงโดยปกติของห้องนั้นในกรณีนี้คือจุดที่นักร้องหรือผู้บันทึกเสียงยืนอยู่ และในการวางไมโครโฟนนั้นโดยปกติจะวางในหลายตำแหน่งของห้องเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยของห้องนั้นมา แต่ในกรณีนี้เราวางไมโครโฟน ณ ตำแหน่งที่เป็นตำแหน่งวางไมโครโฟนในการบันทึกเสียง โดยมี Vocal Booth เพิ่มเข้ามาดังรูปที่ 3.24

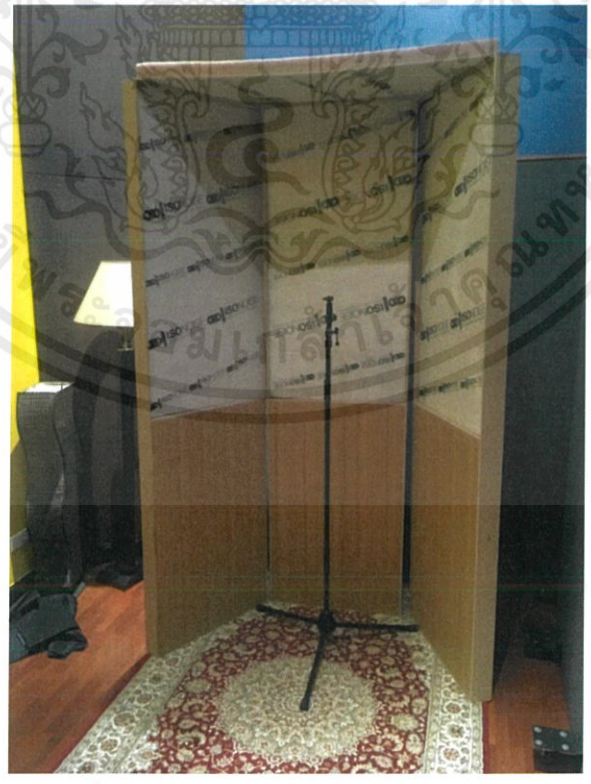


รูปที่ 3.24 แสดงตำแหน่งการวางVocal Booth, Microphone และ Speaker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วางลำโพงในตำแหน่งที่นักร้องยืนในเวลาบันทึกเสียงปกติและหันหน้าเข้าหา Vocal Booth และวางตำแหน่งไมโครโฟนเสมือนกับการวางไมโครโฟนในตอนบันทึกเสียงปกติ

รูปที่ 3.25 ตำแหน่งการวางลำโพงหันเข้าหา Vocal Booth



รูปที่ 3.26 ตำแหน่งการวางไมโครโฟนและ Vocal Booth

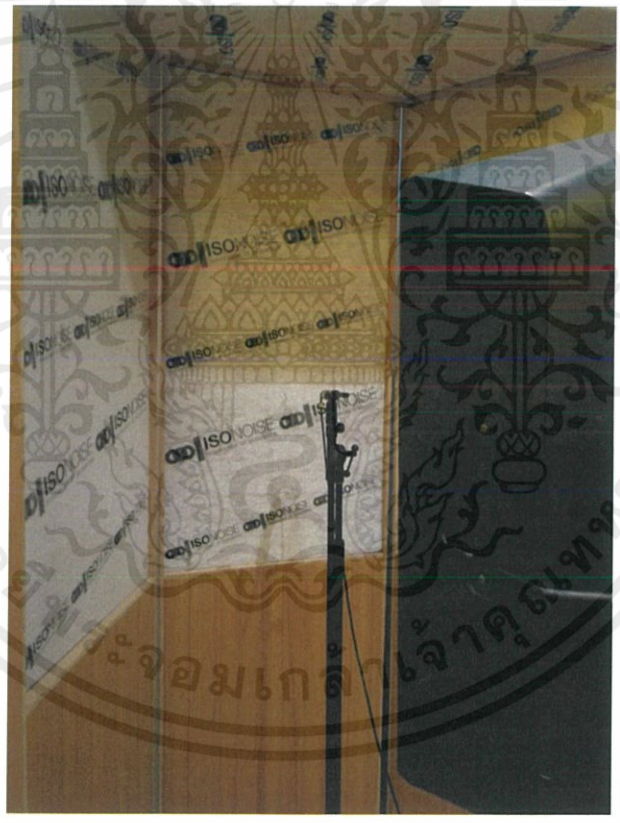
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 ตั้งค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดเสียง

ทำการตั้งค่า Input และ Output ในโปรแกรมให้รับจาก Audio interface และทำการสอบเทียบ (Calibration) gain ของไมโครโฟน โดยใช้ฟังค์ชั่น Calibration ในโปรแกรม Room Eq Wizard โดยให้เราปรับ gain ของไมโครโฟนจนระดับสัญญาณที่รับมาได้นั้นเท่ากับระดับสัญญาณของเสียงที่ปล่อยออกมา แล้วจึงพร้อมที่จะดำเนินการวัดเสียงต่อไป

3.7.3 ดำเนินการวัดเสียง

ดำเนินการวัดโดยให้โปรแกรม Generate เสียง Sine Sweep ความถี่ระหว่าง 20Hz ถึง 20,000Hz ออกมาจากลำโพง Yamaha DXR15 และถูกบันทึกโดยไมโครโฟน dbx RTAm แล้วโปรแกรม Room Eq Wizard จะเก็บข้อมูลไว้ซึ่งสามารถเรียกดูได้ทั้งกราฟ Frequency Response, Reverberation time ทำการวัดซ้ำ 10 ครั้ง และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์



รูปที่ 3.27 การวัดเสียงภายในสตูดิโอหลังจากติดตั้ง Vocal Booth

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลก่อนและหลังใช้ Vocal Booth

หลังจากได้ข้อมูลจากการวัดคุณภาพเสียงภายในห้อง Studio room ทั้งก่อนและหลังติดตั้ง Vocal Booth แล้ว จึงนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบทั้ง กราฟ Frequency response เปรียบเทียบในเรื่องความถี่ที่ได้ว่ามี character ต่างกันยังไงมีความถี่ใดที่ลดทอนลงไปหรือเพิ่มขึ้นมาบ้างและความถี่นั้นมีปัญหากับเสียงร้องของมนุษย์หรือไม่ และในด้านค่า Reverberation time นำมาวิเคราะห์ดูค่าเวลาว่าแตกต่างกันมากน้อยเพียงใดและค่าที่ได้ตรงตามมาตรฐานหรือไม่ และ Vocal Booth นี้ถือว่าใช้ได้หรือเปล่า แล้วจึงนำเสนอให้กับทางสตูดิโอทราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

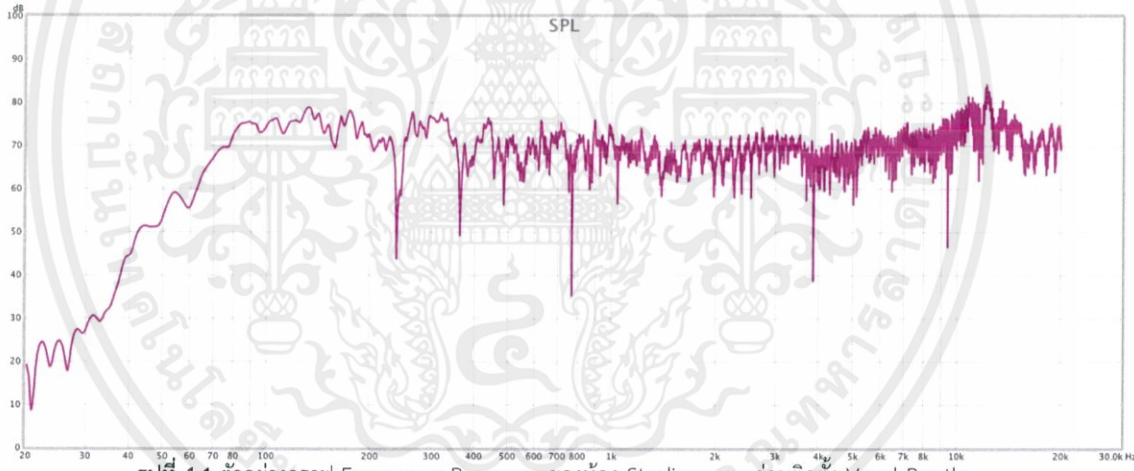
บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ผลการวัดเสียงก่อนติดตั้ง Vocal Booth

หลังจากทำการวัดเสียงภายในห้อง Studio room โดยทำการวัดเสียงขณะที่ห้อง Studio room อยู่ในสภาพที่ถูกใช้งานในเวลาปกติ จะได้กราฟ Frequency response และกราฟ Reverberation time มาวิเคราะห์ถึง characteristic ของห้อง Studio room และปัญหาที่เกิดขึ้นที่ต้องการทำการแก้ไขได้ดังนี้

4.1.1 Frequency Response

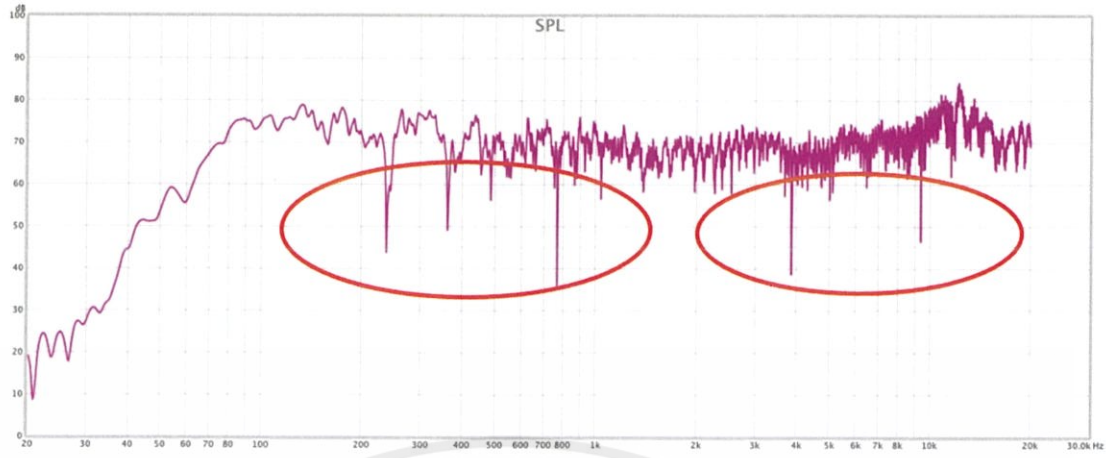
จากการวิเคราะห์กราฟ Frequency Response ทั้งหมดที่วัดมาได้พบว่ากราฟมีความถี่บางช่วงที่หายไปเกิดจากการที่เสียงที่ออกจากลำโพงกับเสียงที่สะท้อนจากพื้นผิวของห้องนั้นเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกัน (Destructive Interference) ทำให้ค่าแอมพลิจูดของช่วงความถี่นั้นเกิดลดลงดังรูปที่ 4.1และช่วงความถี่นั้นส่งผลกระทบกับเสียงร้องของมนุษย์ทำให้เสียงร้องในบางโน๊ตที่ตรงกับความถี่เหล่านี้เบาลงและเป็นปัญหาที่ต้องการแก้ไข



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างกราฟ Frequency Response ของห้อง Studio room ก่อนติดตั้ง Vocal Booth

ซึ่งจากการวิเคราะห์กราฟ Frequency Response ทั้งหมดแล้วพบว่าช่วงความถี่ที่เกิดปัญหานี้ขึ้นคือความถี่ประมาณ 250Hz, 400Hz, 500Hz, 800Hz, 1kHz, 3kHz, 9kHz ดังรูปที่ 4.2 นั้นอยู่ในช่วง Fundamental frequency และช่วง Harmonic ของเสียงร้องมนุษย์

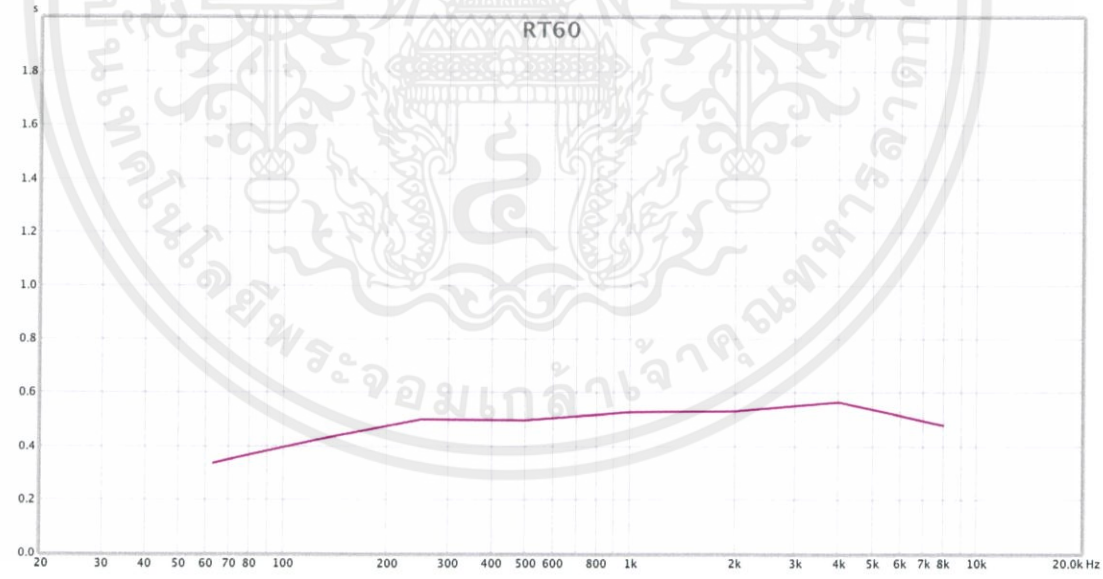
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟ Frequency Response แสดงความถี่ที่เกิดปัญหา

4.1.2 Reverberation Time

จากการวิเคราะห์กราฟ Reverberation time ทั้งหมดที่วัดมาได้แล้วนำมาเฉลี่ยหาค่า Reverberation time ในทุกความถี่พบว่ามีค่า Reverberation time มากเกินกว่าค่ามาตรฐาน ISO 3382 ที่บอกไว้ โดยเฉพาะในช่วงความถี่ 800Hz ถึง 5,000Hz ที่สูงกว่าปกติทำให้เสียงนั้นดูมีระยะห่าง (Distance) มากเกินไปในการบันทึกเสียงร้องและต้องแก้ไข



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างกราฟ RT60 ที่วัดได้จากห้อง Studio Room ก่อนติดตั้ง Vocal Booth

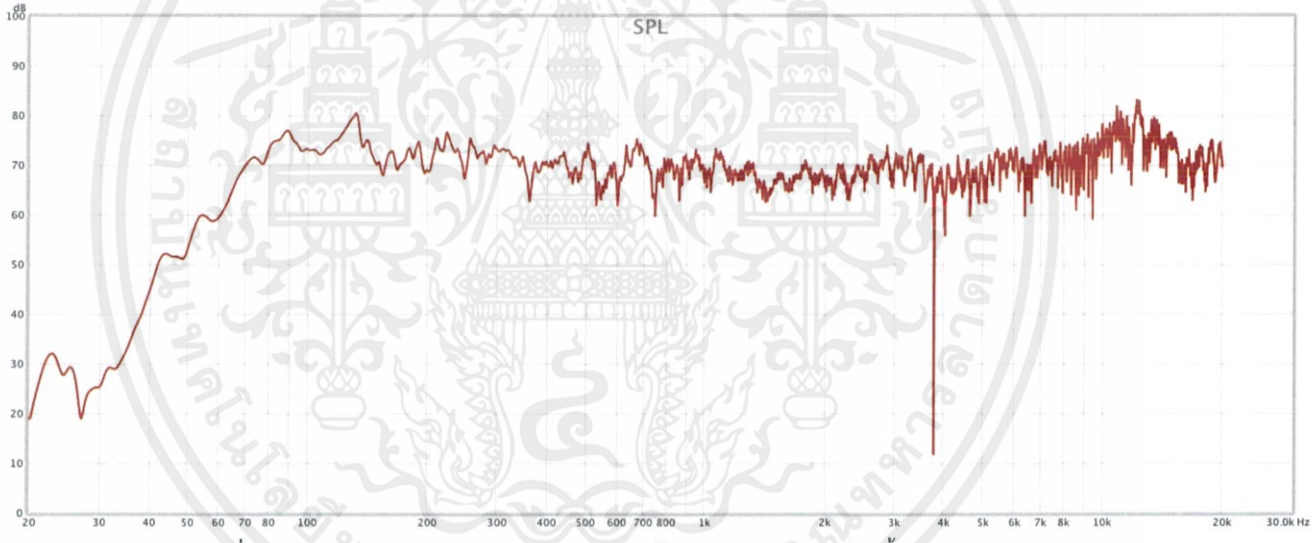
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวัดเสียงหลังจากติดตั้ง Vocal Booth

หลังจากทำการออกแบบ Vocal Booth แล้วจึงนำมาวัดผลทดสอบโดยการนำ Vocal Booth มาติดตั้งภายในห้อง Studio room ณ ตำแหน่งเดียวกันกับตอนที่วัดเสียงห้องปกติ และทำการวัด จะได้กราฟ Frequency response และ กราฟ Reverberation time มาวิเคราะห์เพื่อนำข้อมูลไปเปรียบเทียบก่อนและหลังติดตั้ง Vocal Booth ดังนี้

4.2.1 Frequency Response

จากการวิเคราะห์กราฟ Frequency Response ทั้งหมดที่วัดมาได้พบว่ากราฟนั้นมีความ flat มากขึ้นแต่ยังคงมีความถี่ช่วงที่หายไปจากการที่เสียงที่ออกจากลำโพงกับเสียงที่สะท้อนจากพื้นผิวของห้องนั้นเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกัน (Destructive Interference) ทำให้ค่าแอมพลิจูดของช่วงความถี่นั้นเกิดลดลงดังรูปที่ 4.4 แต่ช่วงความถี่นี้ไม่ตรงกับช่วงที่เป็น Fundamental frequency ของเสียงร้องมนุษย์แล้ว แต่ไปตรงกับช่วงความถี่ที่เป็น Harmonic ของเสียงร้องแทน

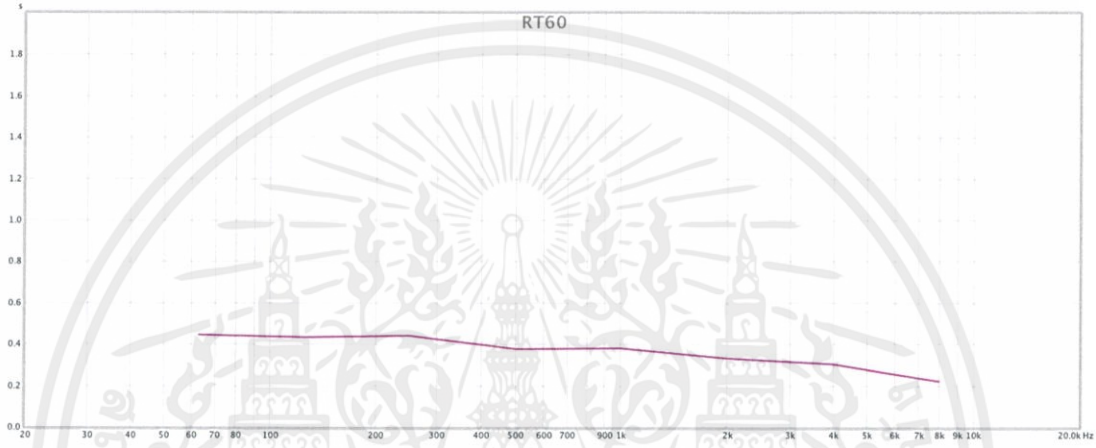


รูปที่ 4.4 ตัวอย่างกราฟ Frequency Response ของห้อง Studio room หลังติดตั้ง Vocal Booth

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 Reverberation Time

จากการวิเคราะห์กราฟ Reverberation time ทั้งหมดที่วัดมาได้แล้วนำมาเฉลี่ยหาค่า Reverberation time ในทุกความถี่พบว่ามีค่า Reverberation time เข้าใกล้ค่ามาตรฐาน ISO 3382 ของห้อง Recording studio มากขึ้น โดยเฉพาะในช่วงความถี่ 800Hz ถึง 5,000Hz ที่สูงกว่าปกติทำให้เสียงนั้นดูมีระยะห่าง (Distance) นั้นลดลงจากตอนที่ไม่มี Vocal Booth อย่างเห็นได้ชัดดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างกราฟ RT60 ที่วัดได้จากห้อง Studio Room หลังติดตั้ง Vocal Booth

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

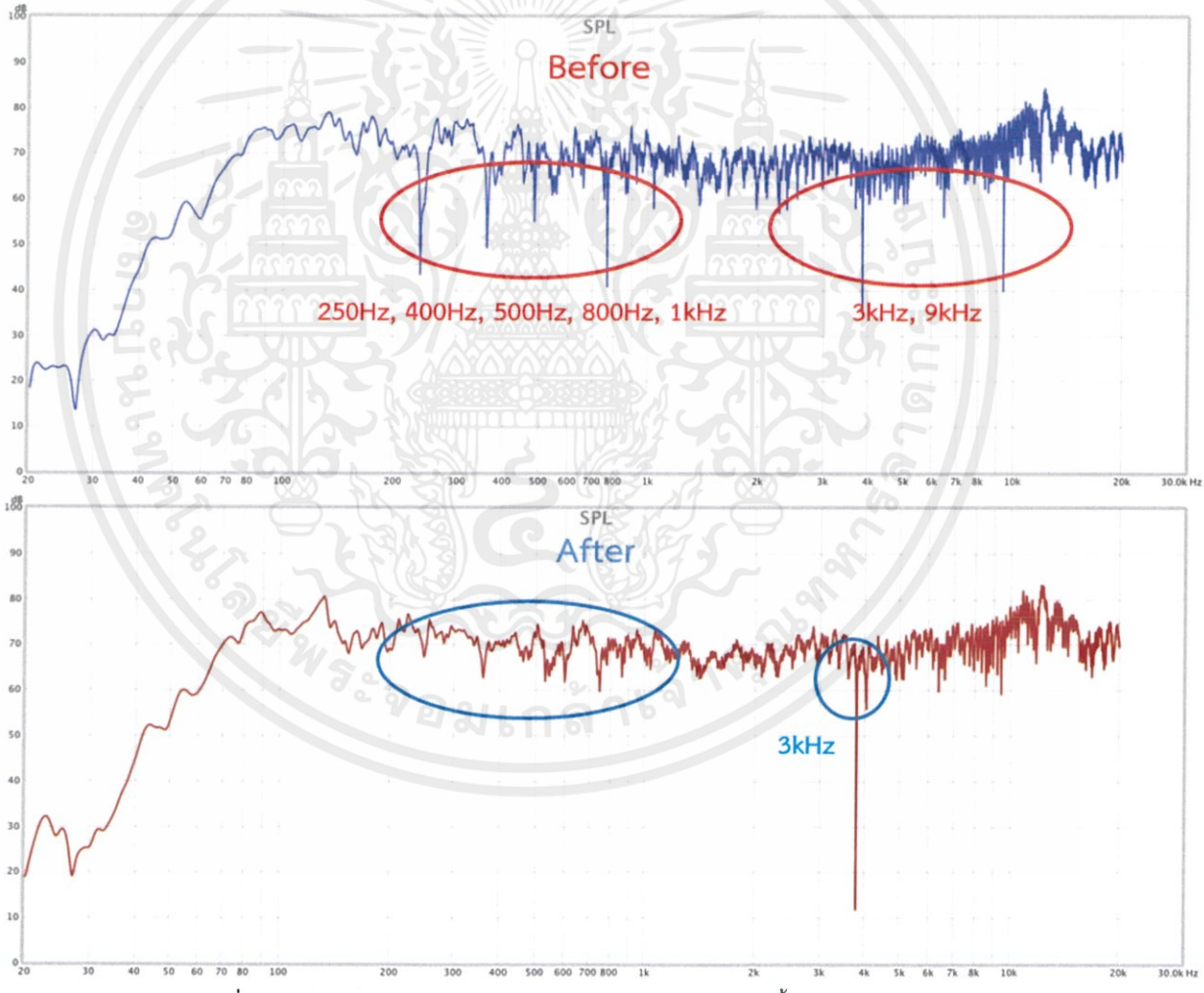
บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เปรียบเทียบผลการวัดเสียงภายในห้อง Studio room ก่อนและหลังติดตั้ง Vocal Booth และวิเคราะห์สรุปผลการวิจัย

5.1 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากกราฟ Frequency Response

เปรียบเทียบผลโดยพิจารณาจากกราฟ Frequency Response ระหว่างก่อนติดตั้ง Vocal Booth และหลังติดตั้ง Vocal Booth เพื่อพิจารณาว่า Vocal Booth ที่ได้ออกแบบมานั้นสามารถแก้ไขปัญหาที่ทางสตูดิโอต้องการแก้ไขได้หรือไม่

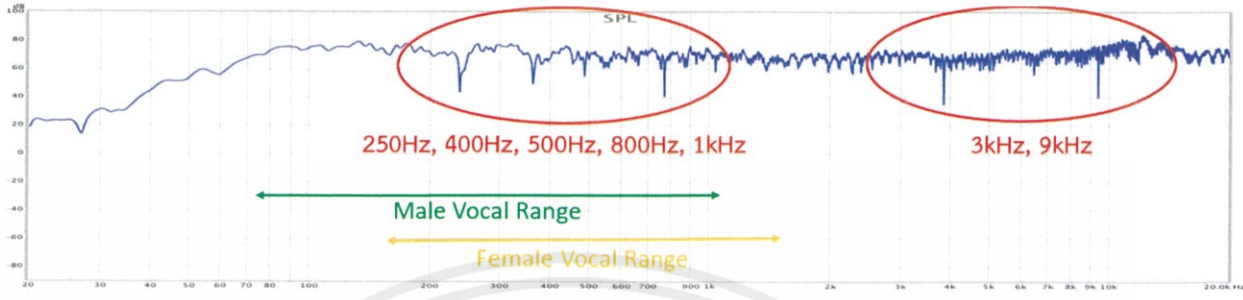


รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบกราฟ Frequency Response ก่อนและหลังติดตั้ง Vocal Booth

จากรูปที่ 5.1 เห็นได้ว่ากราฟ Frequency Response ก่อนติดตั้ง Vocal Booth นั้นเกิดช่วงที่ความถี่หายไปคือความถี่ที่ 250Hz, 400Hz, 500Hz, 800Hz, 1kHz, 3kHz และ 9kHz ซึ่งช่วงความถี่ 250Hz, 400Hz, 500Hz, 800Hz และ 1kHz นั้นส่งผลกระทบต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fundamental frequency ของเสียงร้องของมนุษย์โดยตรงดังรูปที่ 5.2 และช่วงความถี่ 3kHz และ 9kHz นั้นตรงกับช่วง Harmonic ของเสียงร้องของมนุษย์



รูปที่ 5.2 Frequency Response ของห้องก่อนติดตั้ง Vocal Booth และช่วงความถี่เสียงร้องมนุษย์

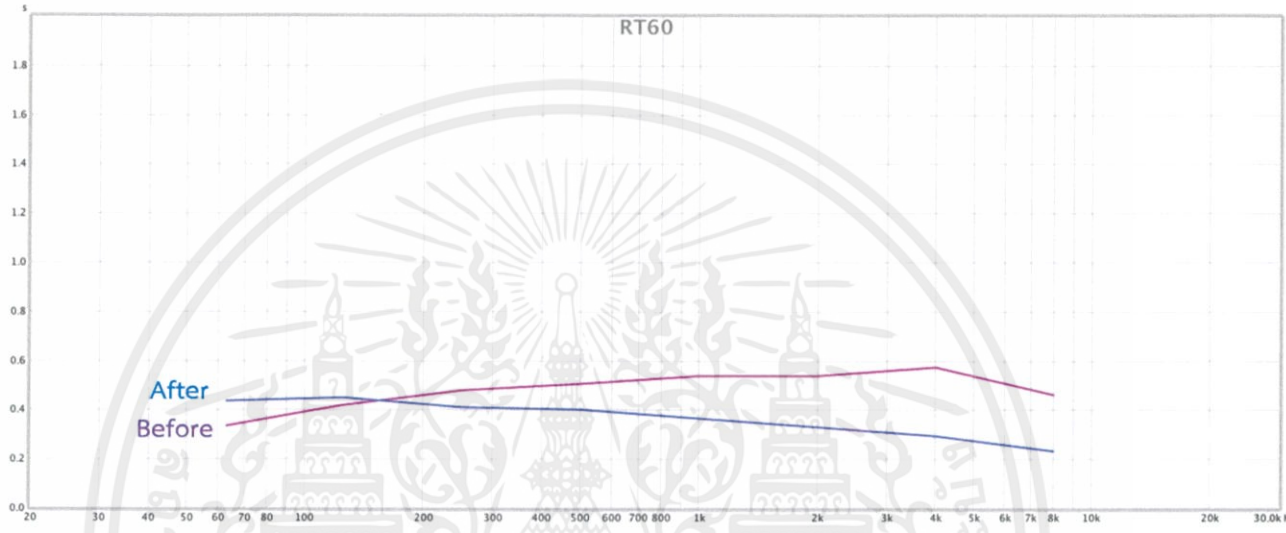
และจากการศึกษาเรื่อง Note's frequency ทำให้ทราบได้ว่าเสียงร้องในช่วงความถี่ดังกล่าวนี้อาจส่งผลกระทบต่อโน๊ต A3, A#3, B3, C4, C#4, A4, A#4, B4, C5, C#5, F#5, G5, G#5, A5, A#5, B5, C6, C#6, และ D6 ซึ่งทำให้เสียงในโน๊ตเหล่านี้นั้นเบาลง ทำให้เป็นปัญหาในการได้ยินไม่ชัดเจนหรือเสียงเบลอไม่โฟกัส

แต่หลังจากการติดตั้ง Vocal Booth แล้วจะเห็นได้ดังรูปที่ 5.1 ว่าช่วงความถี่ 250Hz, 400Hz, 500Hz, 800Hz, 1kHz และ 9kHz นั้นมีความ flat มากขึ้นเนื่องมากจาก Vocal Booth สามารถลด Reflection sound ที่เกิดขึ้นภายในห้อง Studio room ได้ทำให้ลดการเกิด Interference ของคลื่นเสียงนั่นเอง แต่ยังคงมีปัญหาในช่วงความถี่ 3kHz อยู่ ซึ่งในช่วงความถี่นี้ตรงกับช่วง Harmonic ของเสียงร้อง ไม่ได้กระทบกับเสียงร้องโดยตรง จึงเป็นปัญหาที่ยังรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากกราฟ Reverberation Time

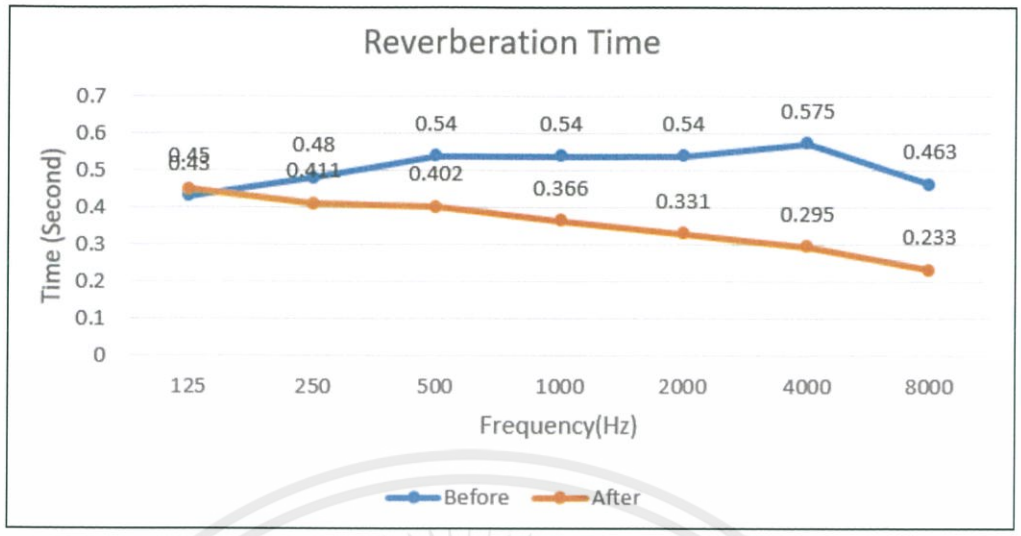
เปรียบเทียบผลโดยพิจารณาจากกราฟ Reverberation Time ระหว่างก่อนติดตั้ง Vocal Booth และหลังติดตั้ง Vocal Booth และคำนวณค่าเฉลี่ยของ Reverberation Timeเพื่อพิจารณาว่า Vocal Booth ที่ได้ออกแบบมานั้นสามารถแก้ไขปัญหาที่ทางสตูดิโอต้องการแก้ไขได้หรือไม่



รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบ Reverberation Time ก่อนและหลังติดตั้ง Vocal Booth

จากรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าค่า Reverberation time ของห้อง Studio room หลังจากติดตั้ง Vocal Booth แล้วนั้นมีค่าน้อยกว่าค่า Reverberation time ของห้อง Studio room ก่อนติดตั้ง Vocal Booth โดยเฉพาะในช่วงความถี่ 800Hz ถึง 5,000Hz นั้นลดลงอย่างเห็นได้ชัดซึ่งช่วงความถี่นี้เป็นช่วงความถี่ย่านกลางที่ทำให้เสียงร้องนั้นดูมีระยะห่าง(distance) จากการฟังเทียบจะรู้สึกถึงระยะห่างที่ลดลงหลังจากติดตั้ง Vocal Booth แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ค่าเฉลี่ย Reverberation Time ก่อนและหลังติดตั้ง Vocal Booth

International Standards

The RT60 reverberation time measurement is defined in the ISO 3382-1 standard for performance spaces, the ISO 3382-2 standard for ordinary rooms, and the ISO 3382-3 for open plan offices, as well as the ASTM E2235 standard.

Here is a list of location types with suggested RT60 values:

Location	Volume	Critical Distance D_c	Recommended RT60
Recording Studio	< 50 m^3	1.5 m	0.3 s

รูปที่ 5.5 มาตรฐาน ISO3382 ค่า RT60 ของห้อง Recording Studio
ที่มา : https://www.nti-audio.com/en/applications/room-building-acoustics/reverberation-time-rt60

จากการคำนวณค่าเฉลี่ย Reverberation time ของห้อง Studio room ก่อนและหลังติดตั้ง Vocal Booth ดังรูปที่ 5.4 สรุปได้ว่า
ค่าเฉลี่ย RT60 ของห้อง Studio room ก่อนติดตั้ง Vocal Booth อยู่ที่ 0.513 วินาที,
ค่าเฉลี่ย RT60 ของห้อง Studio room หลังติดตั้ง Vocal Booth อยู่ที่ 0.353 วินาที
ซึ่งหลังจากติดตั้ง Vocal Booth แล้วค่า RT60 ของห้อง Studio room มีค่าเข้าใกล้กับมาตรฐาน ISO3382 RT60 ซึ่งอยู่ที่ 0.3 วินาที ดังรูปที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] F.Alton Everest.(2001). The Master Handbook of Acoustic. (Fourth Edition).pp. 1-452.

[2] Duncan Templeton and David Saunders. (1987) . Acoustic Design

[3] Sound Waves and Music - Lesson 3 Behavior of Sound Waves.Sound Waves and Music - Lesson 3 Behavior of Sound Waves. https://www.physicsclassroom.com/class/sound/Lesson-3/Interference-and-Beats

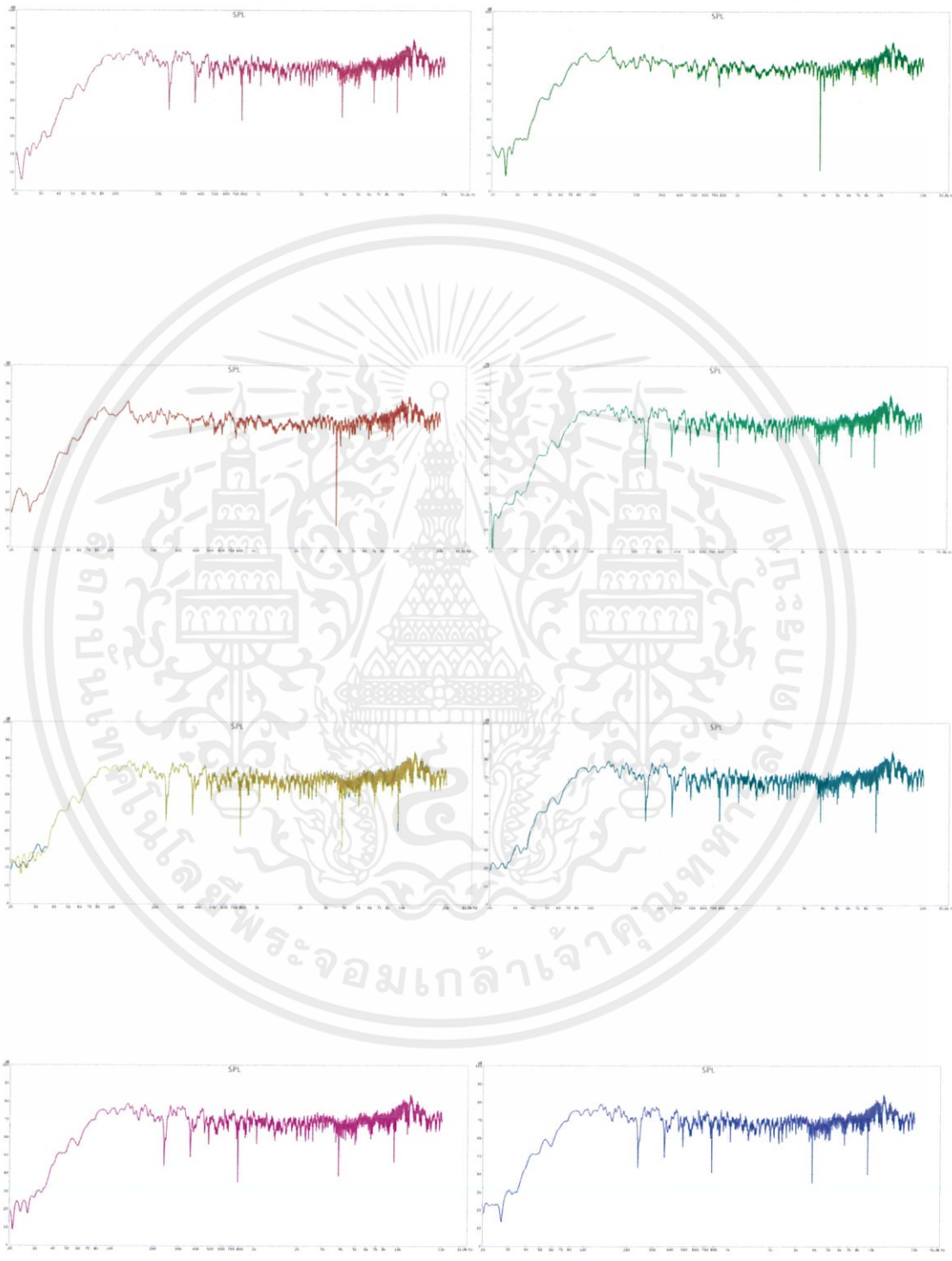
[4] Eddy B. Brixen - Audio Specialist.FACTS ABOUT SPEECH INTELLIGIBILITY. https://www.dpamicrophones.com/mic-university/facts-about-speech-intelligibility

[5] Sizethai.ผลการสำรวจรูปร่างทั่วประเทศ.http://www.sizethailand.org/region_all.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

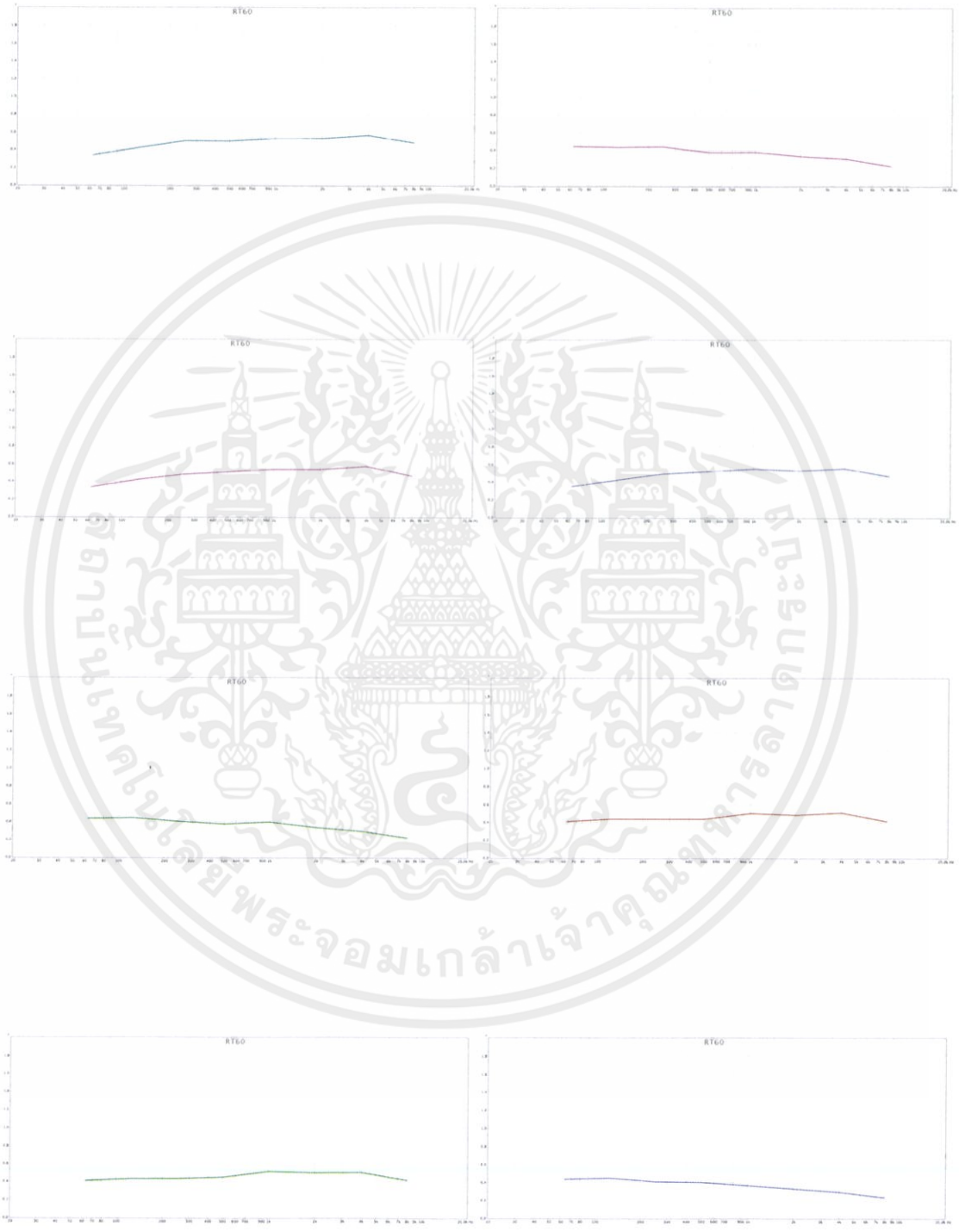
ภาคผนวก

ผลการวัดค่า Frequency response



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวัดค่า RT60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้