รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงห้องบรอดคาสต์มิกซิ่ง
Broadcast Mixing Room Improvement

นางสาวณภัทร ฟ้ากระจ่าง
นางสาวธัญวรัตม์ จำปาศรี

สาขาวิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงห้องบรอดคาสต์มิกซิ่ง
Broadcast Mixing Room Improvement

นางสาวณภัทร ฟ้ากระจ่าง

นางสาวธัญวรัตม์ จำปาศรี

สาขาวิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การปรับปรุงห้องบรอดคาสต์มิกซิ่ง

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นางสาวณภัทร ฟ้ากระจ่าง และนางสาวธัญวรัตม์ จำปาศรี

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **สาขาวิชา** วิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.ณัชนันท์ ชิตานนท์ และอาจารย์พลสิทธิ์ ทินกร ณ อยุธยา

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายไตรเทพ วงศ์ไพบูลย์

สถานประกอบการ บริษัท กันตนา ซาวด์ สตูดิโอ จำกัด

บทคัดย่อ

รายงานสหกิจฉบับนี้ถูกจัดทำขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อต้องการปรับปรุงและแก้ไขคุณภาพของเสียงภายในห้องบรอดคาสต์มิกซิ่ง เนื่องจากห้องบรอดคาสต์มิกซิ่งไม่ได้ถูกสร้างขึ้นมาในยุคปัจจุบัน ทำให้การก่อสร้างและการออกแบบนั้นไม่ได้มาตรฐานตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน กล่าวคือการก่อสร้างและการออกแบบไม่ได้ให้ความสำคัญกับระบบอะคูสติกภายในห้องเท่าที่ควร แต่สำหรับการทำงานในด้านเสียงนั้น สิ่งที่สำคัญและมีบทบาทอย่างมากคือระบบอะคูสติกภายในห้อง ถ้าระบบอะคูสติกภายในห้องไม่ดีจะส่งผลให้เสียงที่เกิดขึ้นภายในห้องไม่มีคุณภาพ ทำให้ประสิทธิภาพในการได้ยินของผู้ฟังผิดเพี้ยนตามไปด้วย ดังนั้นระบบอะคูสติกจึงมีความสำคัญอย่างมากสำหรับห้องทำงานที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการทำงานในด้านเสียง อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ระบบอะคูสติกภายในห้องดีแต่ถ้าผู้ฟังอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง ประสิทธิภาพการได้ยินก็จะไม่มีคุณภาพ ผู้ฟังจะได้ยินเสียงที่ผิดเพี้ยนไป ดังนั้นระบบอะคูสติกและตำแหน่งที่นั่งของผู้ฟังนั้นมีบทบาทที่สำคัญอย่างมาก เพื่อประสิทธิภาพที่ดีในการได้ยินของผู้ฟัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title: Broadcast Mixing Room Improvement
Student intern name: Miss Napat Fahkrajang and Miss Tunwarat Champasri
Faculty: Engineering **Department:** Music Engineering and Multimedia
Advisor name: Dr.Nachanant Chitanont and Mr.Phonlasit Thinnakorn Na Ayuthaya
Mentor name: Mr.Traithep Wongpaivboon
Company: Kantana Sound Studio

ABSTRACT

The cooperate education report is created to improve the quality of sound at the broadcast mixing room. Since the broadcast mixing room does not build in the present then the construction and design are not standard according to the purpose of the user. In fact, the most important thing of the sound studio is the acoustic system in the room. The quality of sound depends on the acoustic system in the room. If the room has poor sound quality, it will cause an error to the listener. Hence, the acoustic system is the most important thing that should be given priority to the sound studio. Though, the good acoustic system in the room does not mean the listener will receive the original sound if the listener stays in the wrong position. Therefore, the right position of the listener is as important as the acoustic system in the room for the good sound quality to the listener.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานสหกิจฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานสหกิจศึกษาทั้งสองท่านคือ ดร.ณัชนันท์ ชิตานนท์ และอาจารย์พลสิทธิ์ ทินกร ณ อยุธยา ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้จัดทำได้ตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ทั้งสองท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบพระคุณ นายไตรเทพ วงศ์ไพบูลย์ กรรมการผู้จัดบริษัท กันตนา ซาวด์ สตูดิโอ รวมถึงเจ้าหน้าที่บริษัท กันตนา ซาวด์ สตูดิโอ ทุกท่านที่ให้ข้อมูลต่าง ๆ อันเอื้อต่อการทำงานวิจัยและดูแลเอาใจใส่ผู้ทำโครงงานสหกิจศึกษาอย่างดีตลอดระยะเวลาการทำสหกิจศึกษา เป็นผลทำให้โครงงานสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อนึ่ง ผู้จัดทำหวังว่าโครงงานสหกิจศึกษาฉบับนี้จะมีประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจไม่มากก็น้อย หากโครงงานสหกิจฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้จัดทำขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และกราบขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ณภัทร ฟ้ากระจ่าง
ธัญวรัตม์ จำปาศรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญ(ต่อ) V

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 1

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ค่า TL (Sound transmission loss) หรือค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง 3

2.2 ค่า STC (Sound Transmission Class) หรือการสูญเสียในการส่งผ่านของเสียง 3

2.3 เสียงที่เกิดขึ้นในห้อง 10

2.4 การหา sweet spot 13

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 19

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน 19

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน 25

บทที่ 4 ผลการวิจัย 39

4.1 การหาค่า STC 39

4.2 การหา sweet spot ของลำโพงและจุดนั่งฟัง 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 44
5.1 ข้อสรุป..... 44
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 44
เอกสารอ้างอิง..... ...45
ภาคผนวก ก ภาพสถานที่จัดทำโครงการ..... 48
ภาคผนวก ข ภาพการวัดเสียงภายในห้อง..... 50
ภาคผนวก ค ลิงก์ดาวน์โหลดโปรแกรม..... 51
ประวัติผู้เขียน..... 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าของกราฟ STC....4
ตารางที่ 2.2 แสดงค่า room mode ของห้องขนาดสูง 8 ฟุต กว้าง 11 ฟุต ยาว 23 ฟุต....11
ตารางที่ 3.1 แสดงค่า Transmission Loss (TL)....26
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความถี่ของ room mode....29
ตารางที่ 3.3 แสดงค่าความถี่ของ room mode ที่ทำให้เกิดปัญหา....29

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ 2.1 แสดงกราฟ STC (STC contour).....5
ภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างค่า TL ที่นำมาพล็อตกราฟ.....5
ภาพที่ 2.3 แสดงการนำกราฟ STC มาเลื่อนขึ้น-ลงทับกราฟ TL ตามกฎ.....5
ภาพที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบค่า STC กับการได้ยินเสียงที่ทะลุผ่านผนัง.....6
ภาพที่ 2.5 แสดงการเพิ่มค่า STC ด้วยการเพิ่มมวลของวัสดุ.....7
ภาพที่ 2.6 แสดงการเพิ่มค่า STC ด้วยการใส่ฉนวนในโครงผนัง.....8
ภาพที่ 2.7 แสดงตัวอย่างการติดตั้งแผ่นกันเสียง.....8
ภาพที่ 2.8 แสดงการเพิ่มค่า STC ด้วยการเพิ่มความหนาของฉนวนที่ใส่ในโครง.....9
ภาพที่ 2.9 แสดงการเพิ่มค่า STC ด้วยการเพิ่มความกว้างของโครง.....9
ภาพที่ 2.10 แสดงกับดักเสียงทุ้ม (Bass Trap).....11
ภาพที่ 2.11 แสดงการจัดวาง bass trap ที่มุมห้องทั้งสี่มุม.....12
ภาพที่ 2.12 แสดงตัวอย่างการแบ่งห้องเป็น2ส่วนที่เท่ากันที่ด้านกว้าง
และแบ่งห้องออกเป็น 3 ส่วนที่เท่ากันที่ด้านยาว.....13
ภาพที่ 2.13 แสดงตัวอย่างการแบ่งห้องออกเป็น 4 ส่วนที่เท่ากัน ที่ด้านยาว.....14
ภาพที่ 2.14 แสดงตัวอย่างระยะห่างที่แนะนำเบื้องต้นสำหรับลำโพงทุกคู่.....15
ภาพที่ 2.15 แสดงตัวอย่างตำแหน่งลำโพงที่ดีสำหรับห้องทั่ว ๆ ไป.....16
ภาพที่ 2.16 แสดงตัวอย่างตำแหน่งนั่งฟังของ sound engineer.....17
ภาพที่ 2.17 แสดงตัวอย่างตำแหน่งนั่งฟังของลูกค้า.....18
ภาพที่ 3.1 แสดงลำโพง Yamaha DXR15.....20
ภาพที่ 3.2 แสดง dbx RTA-M Reference Microphone.....21
ภาพที่ 3.3 แสดง XLR connector.....21
ภาพที่ 3.4 แสดง Sound Level Meter.....21
ภาพที่ 3.5 แสดง Steinberg UR22 Interface.....23
ภาพที่ 3.6 แสดง TRS cable.....23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.7 แสดงตัวอย่างหน้าตาโปรแกรม REW.....24
ภาพที่ 3.8 แสดงตัวอย่างหน้าตาโปรแกรม MATLAB.....24
ภาพที่ 3.9 แสดงภาพจำลองห้อง broadcast mixing และห้อง edit 2.....25
ภาพที่ 3.10 แสดงตำแหน่งในการวัดค่า TL.....25
ภาพที่ 3.11 แสดงกราฟ TL จากห้อง broadcast mixing ไปสู่ห้อง edit 2.....27
ภาพที่ 3.12 แสดงกราฟ TL จากห้อง broadcast mixing ไปสู่ทางเดิน.....27
ภาพที่ 3.13 แสดงการหาค่า STC ของผนังระหว่างห้อง broadcast mixing กับห้อง edit 2.....28
ภาพที่ 3.14 แสดงการหาค่า STC ของผนังระหว่างห้อง broadcast mixing กับทางเดิน.....28
ภาพที่ 3.15 แสดงตำแหน่งที่เป็นปัญหาของความถี่ 234 Hz และ 280 Hz.....31
ภาพที่ 3.16 แสดงจุดวางลำโพงและจุดนั่งฟังปัจจุบันของห้อง broadcast mixing.....32
ภาพที่ 3.17 แสดงการแบ่งห้องออกเป็น 2 ส่วนเท่ากันที่ด้านยาว.....33
ภาพที่ 3.18 แสดงการแบ่งห้อง Broadcast Mixing ออกเป็น 4 ส่วนที่เท่ากัน.....34
ภาพที่ 3.19 แสดงระยะห่างระหว่างลำโพงแต่ละข้างไปถึงผนังห้องที่ใกล้ลำโพงตัวนั้นเท่า ๆ กัน
ของห้อง Broadcast Mixing.....35
ภาพที่ 3.20 แสดงตำแหน่งลำโพงที่แนะนำของห้อง Broadcast Mixing.....36
ภาพที่ 3.21 แสดงตำแหน่งนั่งฟังของ sound engineer ภายในห้อง Broadcast Mixing.....37
ภาพที่ 3.22 แสดงตำแหน่งนั่งฟังของลูกค้าภายในห้อง Broadcast Mixing.....38
ภาพที่ 4.1 แสดงค่า STC ที่หาได้ของผนังระหว่างห้อง broadcast mixing กับห้อง edit 2.....39
ภาพที่ 4.2 แสดงค่า STC ที่หาได้ของผนังระหว่างห้อง broadcast mixing กับทางเดิน.....39
ภาพที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบตำแหน่งใหม่ของลำโพงและ
จุดนั่งฟังกับตำแหน่งที่เป็นปัญหาของ room mode.....40
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดง frequency response ของห้อง broadcast mixing
ก่อนจัดตำแหน่งลำโพงและจุดนั่งฟังใหม่.....41
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดง Frequency response ของห้อง Broadcast mixing
หลังจัดตำแหน่งลำโพงและจุดนั่งฟังใหม่.....41
ภาพที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบ frequency response ของห้อง Broadcast mixing
ก่อนและหลังจัดตำแหน่งลำโพงและจุดนั่งฟังใหม่.....42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.7 แสดงจุดวางลำโพงและจุดนั่งฟังเดิมของห้อง broadcast mixing.....43
ภาพที่ 4.8 แสดงจุดวางลำโพงและจุดนั่งฟังใหม่ของห้อง broadcast mixing.....43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในการทำงานด้านเสียงสำหรับละครโทรทัศน์และโฆษณาต่าง ๆ นั้น การทำงานที่มีประสิทธิภาพจะต้องอาศัยปัจจัยหลายด้าน เช่น รูปทรงของห้องทำงาน ตำแหน่งที่นั่งของผู้ทำงานและผู้ฟัง รวมไปถึงวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างสร้าง โดยปัจจัยที่กล่าวมานั้นล้วนจะต้องคำนึงถึงเสียงที่เกิดขึ้นภายในห้องเป็นหลักเพื่อให้ผู้ทำงานนั้นได้ยินเสียงที่ชัดเจน ไม่ผิดเพี้ยน ทำให้งานที่ออกมานั้นมีคุณภาพที่ดี

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

หลังจากที่ข้าพเจ้าได้มีโอกาสฝึกงานที่ บริษัท กันตนา ซาวด์ สตูดิโอ จำกัด พบว่าในระหว่างการทำงานได้มีเสียงรบกวนเกิดขึ้นภายในห้อง Broadcast Mixing โดยเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นเสียงที่เล็ดลอดมาจากห้องทำงานที่อยู่ติดกัน ส่งผลทำให้เกิดความรำคาญในระหว่างการทำงาน นอกจากนั้น ผู้ทำงานและลูกค้ายังได้ยินเสียงที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ทำให้ผู้ทำงานจะต้องแก้ไขงานที่ทำมาเสร็จเรียบร้อยเกือบทุกครั้งเพราะการได้ยินเสียงที่ไม่เหมือนกันของผู้ทำงานกับลูกค้า ส่งผลให้การทำงานนั้นล่าช้าออกไปและเสียเวลาแก้ไขงานมากขึ้น โดยห้องทำงานที่ดีนั้นควรจะไม่มีเสียงรบกวนภายในห้องและได้ยินเสียงที่ตรงตามความจริง ทำให้ข้าพเจ้าได้คำนึงถึงปัญหาที่พบและต้องการที่จะแก้ไข ข้าพเจ้าจึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับปัจจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเสียงที่เกิดขึ้นภายในห้อง รวมถึงวัสดุต่างๆที่จะช่วยแก้ไขปัญหาด้านเสียงที่เกิดขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อแก้ไขปัญหาเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากภายนอกและภายในห้องทำงาน

1.2.2 จัดสรรพื้นที่ภายในห้องทำงานเพื่อให้ผู้ฟังได้ยินเสียงที่มีคุณภาพดี ไม่ผิดเพี้ยน

1.2.3 เพื่อพัฒนาคุณภาพการทำงานให้ดียิ่งขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วิเคราะห์หาสาเหตุของห้องที่ทำให้เกิดเสียงรบกวน

1.3.2 ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับค่าทางอะคูสติกเบื้องต้นที่ใช้ในการวัดระดับเสียงรบกวน

1.3.3 วิเคราะห์หาตำแหน่งภายในห้องทำงานเพื่อให้ผู้ฟังได้ยินเสียงที่ไม่ผิดเพี้ยน

1.3.4 ศึกษาค้นคว้าวิธีการที่จะเพิ่มสมรรถนะการกันเสียงของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.5 วิเคราะห์ตำแหน่งการจัดวางของระบบเสียงภายในห้อง

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาข้อมูลของสถานที่(ห้องทำงาน)

1.4.2 กำหนดขอบเขตของการทำงาน

1.4.2.1 วัดค่า STC และศึกษาวิธีการปรับปรุง

1.4.2.2 จัดสรรตำแหน่งที่นั่งใหม่สำหรับผู้ฟัง

1.4.2.3 จัดสรรตำแหน่งการจัดวางลำโพงใหม่

1.4.3 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบอะคูสติก

1.4.4 ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการทำงาน

1.4.4.1 โปรแกรม Room EQ Wizard (REW)

1.4.4.2 โปรแกรม MATLAB

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการทำสหกิจในครั้งนี้ ผู้จัดทำหวังว่าจะสามารถนำความรู้ทางทฤษฎีที่ได้ศึกษาเรียนรู้มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์และสามารถปฏิบัติได้จริง อีกทั้งยังช่วยให้บุคลากรของสถานประกอบการนั้นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ค่า TL (Sound transmission loss) หรือค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง

เป็นค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของโครงสร้างที่วัดเป็นปริมาณ เรียกว่า ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound transmission loss, TL) ซึ่งหมายถึง จำนวนเดซิเบล ของพลังงานเสียงที่สูญเสียไปเมื่อมีการส่งผ่านโครงสร้าง จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ถ้าความหนาแน่นสูง ค่า TL จะมาก การคำนวณค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงที่เป็นมาตรฐานของ The American Society for Testing and Material (ASTM) E90-70T จาก "Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions" และ ISO Recommendation R140, "Field and Laboratory Measurement of Airborne and Impact Sound Transmission" 1960 มีดังนี้ [1]

$$TL = 10 \log (W1/W2) = 10 \log 1/\lambda$$

เมื่อ TL =ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของโครงสร้าง (ผนัง,พื้น,ฝ้าเพดาน) dB

W1 = กำลังเสียงที่ตกกระทบผนัง, watt

W2 = กำลังเสียงที่ส่งผ่านผนัง, watt

λ = สัมประสิทธิ์ค่าความเป็นฉนวนเฉลี่ยของวัสดุที่ได้จากห้องทดลอง

$$\lambda = 1/\text{antilog}10\ (TL/10)$$

2.2 ค่า STC (Sound Transmission Class) หรือการสูญเสียในการส่งผ่านของเสียง

คือมาตรฐานเพื่อใช้ในการวัดระดับการสูญเสียของเสียงที่ส่งผ่านวัสดุต่างๆ โดยหลัก การพื้นฐานนี้ใช้ในการคำนวณหาความแตกต่างระหว่างระดับเสียงรบกวนจากนอกห้อง กับสัญญาณที่เล็ดลอดรบกวนจากภายใน อย่างเช่น หากสัญญาณรบกวนจากภายนอกมีความแรง 100 dB และภายในสตูดิโอมีสัญญาณรบกวนไม่น้อยกว่า 20 dB ใน สตูดิโอดังกล่าวต้องการมาตรฐาน STC = 80 dB หากสัญญาณรบกวนภายนอก = 70 dB และสัญญาณรบกวนในสตูดิโอ = 30 dB ภายในสตูดิโอดังกล่าวต้องใช้มาตรฐาน STC = 40 dB [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การหาค่า STC

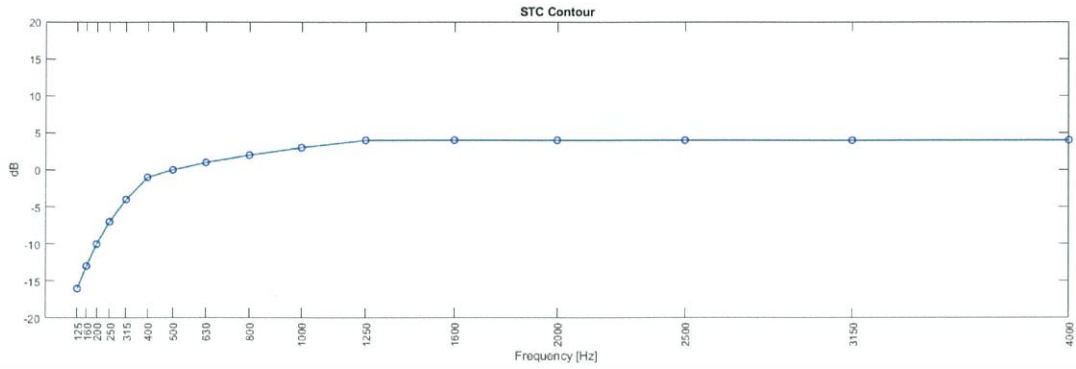
กราฟ STC (STC contour) ที่แสดงในภาพที่ 2.1 มีค่าดังตารางที่ 2.1

ความถี่ (Hz)	ค่า dB
125	-16
160	-13
200	-10
250	-7
315	-4
400	-1
500	0
630	1
800	2
1000	3
1250	4
1600	4
2000	4
2500	4
3150	4
4000	4

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าของกราฟ STC

[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



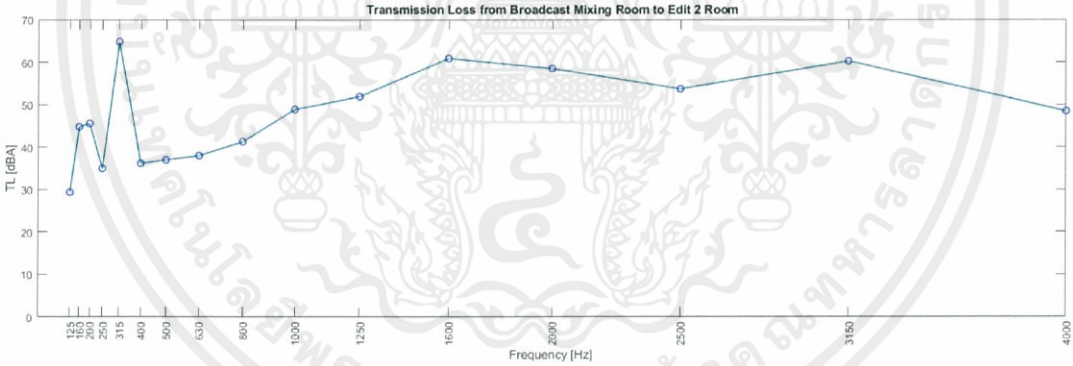
ภาพที่ 2.1 แสดงกราฟ STC (STC contour)

การหาค่า STC คือ ให้นำค่า TL มาพล็อตกราฟ แล้วนำกราฟ STC มาเลื่อนขึ้น-ลงทับกราฟ TL ตามกฎ 2 ข้อ คือ

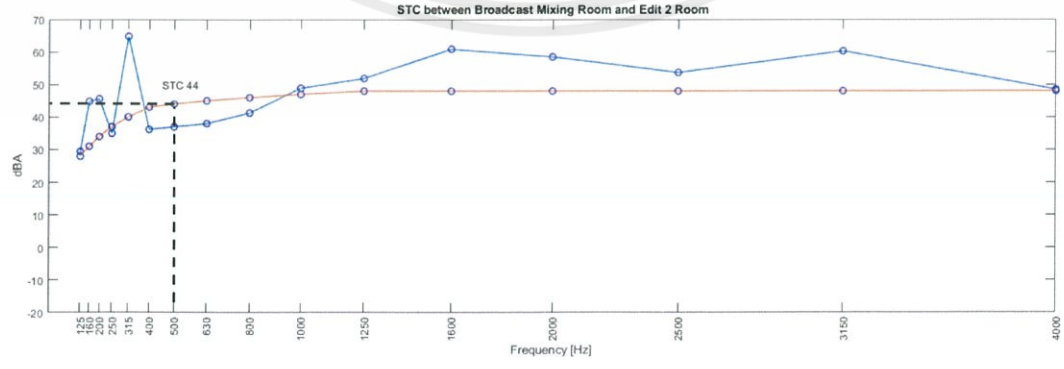
1. ในบริเวณที่กราฟ STC อยู่เหนือกราฟ TL ต้องต่างกันไม่เกิน 8 dB

2. ผลรวมค่าความต่างในบริเวณที่กราฟ STC อยู่เหนือกราฟ TL ต้องรวมกันแล้วไม่เกิน 32 dB

เมื่อเลื่อนกราฟได้ตามกฎแล้ว ให้ลากเส้นจาก 500 Hz ขึ้นไปชนกราฟ STC แล้วดูค่า dB ณ ตำแหน่งที่ 500 Hz จะได้ค่า STC ออกมา ดังตัวอย่าง [3]



ภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างค่า TL ที่นำมาพล็อตกราฟ



ภาพที่ 2.3 แสดงการนำกราฟ STC มาเลื่อนขึ้น-ลงทับกราฟ TL ตามกฎ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ค่า STC ที่เหมาะสม

ค่า STC ต่าง ๆ มีผลต่อการได้ยินเสียงดังนี้

STC 30 ต่ำเกินไป คุยกันได้ยิน

STC 40 เริ่มกันเสียงได้ดี คุยกันแทบไม่ได้ยิน

STC 50 เสียงตะโกนแทบไม่ได้ยิน (ระดับนี้เหมาะกับห้องประชุมที่ใช้พูดคุยกันและห้องนอน)

STC 60 ระดับนี้เสียงตะโกนไม่ได้ยินเลย (ระดับนี้เหมาะกับห้องที่ต้องการความเงียบ เช่น โฮมเธียเตอร์)

STC 70 ขึ้นไป เป็นผนังพิเศษ สำหรับโรงภาพยนตร์ ผับ ฯลฯ ที่ต้องการกันเสียงดังมากเป็นพิเศษ

ภาพที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบค่า STC กับการได้ยินเสียงที่ทะลุผ่านผนัง

[3]

ในสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดมาตรฐานของค่าการกั้นเสียงของผนังระหว่างยูนิต ดังต่อไปนี้

- ค่าการกั้นเสียงต่ำที่สุดที่ยอมรับได้สำหรับผนังกั้นระหว่างห้องต้องมีค่า STC อย่างน้อย 48
- สำหรับอาคารที่พักทั่วไปต้องมีค่าการกั้นเสียง หรือค่า STC อย่างน้อย 52
- สำหรับอาคารระดับโรงแรม 5 ดาวต้องมีค่าการกั้นเสียง หรือค่า STC อย่างน้อย 55

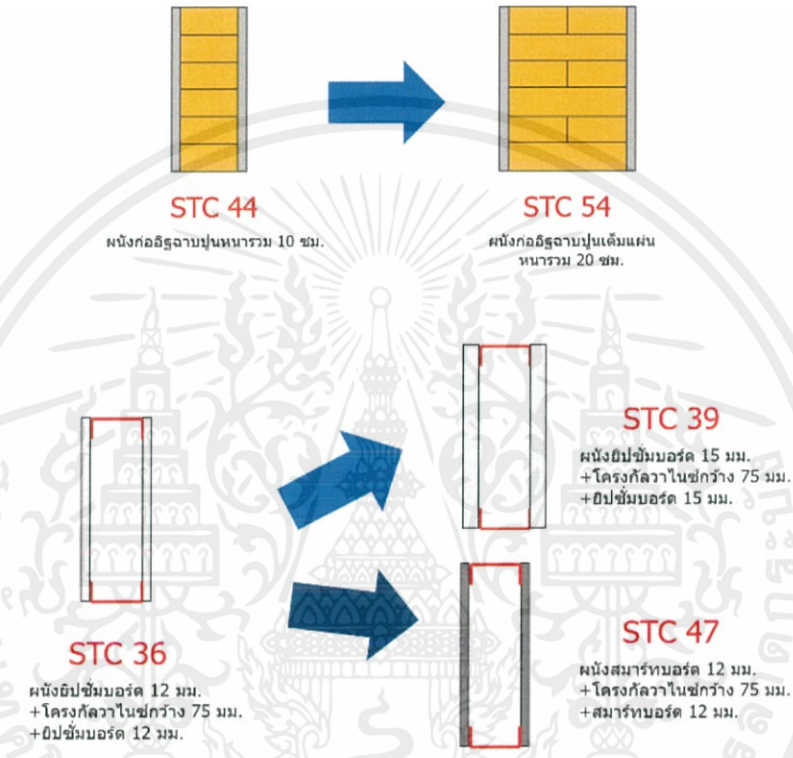
ในเมืองไทย วิศวกรแนะนำให้อย่างน้อยประสิทธิภาพในการกั้นเสียงของผนังกั้นระหว่างห้องหรือกั้นระหว่างยูนิต จะต้องมีค่าการกั้นเสียงหรือค่า STC อย่างน้อย 45 [4], [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 วิธีการเพิ่มค่า STC

2.2.3.1 การเพิ่มมวลของวัสดุ

การเพิ่มมวล คือ การเพิ่มน้ำหนัก วัสดุที่หนักขึ้นย่อมกันเสียงได้ดีขึ้น ตามกฎของมวล (Mass Law) ดังนั้นการเพิ่มค่า STC ด้วยวิธีนี้ต้องเพิ่มความหนาของวัสดุ หรือเปลี่ยนไปใช้วัสดุที่หนักขึ้น

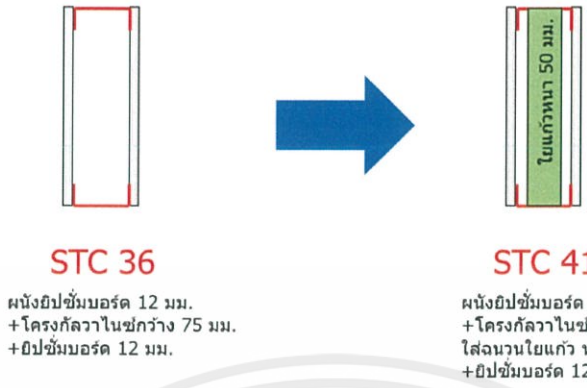


ภาพที่ 2.5 แสดงการเพิ่มค่า STC ด้วยการเพิ่มมวลของวัสดุ [6]

จากภาพที่ 2.5 ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 10 ซม. ถ้าเพิ่มเป็น 20 ซม. ก็จะหนักมากขึ้นเกือบ 2 เท่า ค่าการกันเสียง STC ก็เพิ่มขึ้นจาก STC 44 เป็น STC 54 หรือ ภาพล่าง ผนังเบายิปซัม 12 มม.ก็เพิ่มเป็น 15 มม. หนาขึ้นหนักขึ้น ค่า STC ก็เพิ่มขึ้น หรือ เปลี่ยนจากยิปซัมบอร์ดเป็นสมาร์ทบอร์ดที่มีน้ำหนักมากขึ้น ก็จะได้ค่าการกันเสียง STC เพิ่มขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 ใส่ฉนวนในโครงผนัง



ภาพที่ 2.6 แสดงการเพิ่มค่า STC ด้วยการใส่ฉนวนในโครงผนัง

[6]

จากภาพที่ 2.6 ผนังยิปซั่มบอร์ด 12 มม. เมื่อใส่ฉนวนใยแก้วกันเสียงเข้าไปในโครง ทำให้ค่า STC เพิ่มขึ้นจาก STC 36 เป็น STC 41 กันเสียงได้มากยิ่งขึ้น

วิธีการนี้ฉนวนที่ใช้ต้องเป็นฉนวนประเภทกันเสียง เช่น Cylence ZoundBlock ของ SCG ไม่ควรใช้ฉนวนกันร้อนมาใส่ในโครงเพื่อกันเสียง เพราะฉนวนกันร้อนมักมีความหนาแน่นต่ำ ทำให้ประสิทธิภาพกันเสียงไม่เพิ่มขึ้นมาก [6]

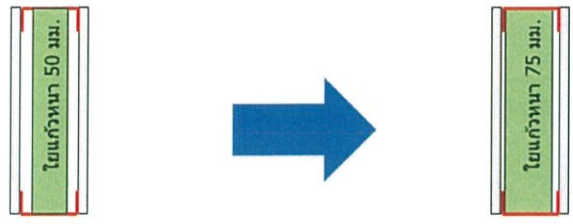
ภาพที่ 2.7 แสดงตัวอย่างการติดตั้งแผ่นกันเสียง

[11]

2.2.3.3 เพิ่มความหนาของฉนวนที่ใส่ในโครง

อีกวิธีการที่ต่อเนื่องจากวิธีที่ 2 คือ การเพิ่มความหนาของฉนวนที่ใส่ค่า STC ที่เพิ่มขึ้นจะน้อยหรือมากขึ้นอยู่กับภาพแบบของผนัง และความกว้างของโครงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



STC 41

ผนังยิปซั่มบอร์ด 12 มม.
+โครงกัลวาไนซ์กว้าง 75 มม.
ใส่ฉนวนใยแก้ว หนา 50 มม.
+ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.

STC 42

ผนังยิปซั่มบอร์ด 12 มม.
+โครงกัลวาไนซ์กว้าง 75 มม.
ใส่ฉนวนใยแก้ว หนา 75 มม.
+ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.

ภาพที่ 2.8 แสดงการเพิ่มค่า STC ด้วยการเพิ่มความหนาของฉนวนที่ใส่ในโครง

[6]

จากภาพที่ 2.8 ผนังยิปซัมบอร์ด 12 มม. เมื่อใส่ฉนวนใยแก้วกันเสียงที่หนาขึ้น ค่า STC จะเพิ่มขึ้นจาก STC 41 เป็น STC 42

2.2.3.4 เพิ่มความกว้างของโครง

วิธีนี้อาจจะมีข้อเสียบ้าง เพราะจะต้องเสียพื้นที่ของห้องเนื่องจากผนังจะต้องหนาขึ้น

STC 36

ผนังยิปซั่มบอร์ด 12 มม.
+โครงกัลวาไนซ์กว้าง 75 มม.
+ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.

STC 38

ผนังยิปซั่มบอร์ด 12 มม.
+โครงกัลวาไนซ์กว้าง 90 มม.
+ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.

ภาพที่ 2.9 แสดงการเพิ่มค่า STC ด้วยการเพิ่มความกว้างของโครง

[6]

จากภาพที่ 2.9 ผนังยิปซัมบอร์ด 12 มม. เมื่อปรับโครงให้กว้างขึ้นจาก 75 มม. เป็น 90 มม. ค่า STC จะเพิ่มขึ้นจาก STC 36 เป็น STC 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เสียงที่เกิดขึ้นในห้อง

เสียงที่เกิดขึ้นในห้อง แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1) Direct sound คือเสียงที่พุ่งตรงออกมาจากลำโพงแล้วกระทบหูผู้ฟัง

2) Early reflection หรือการสะท้อนในเบื้องปฐม คือเสียงที่กระทบผนังด้านข้างของห้องแล้วถูกผนังสะท้อนเสียงออกมาเข้าหู

3) Standing wave คือเสียงสะท้อนที่วิ่งกลับไปกลับมาระหว่างผนังสองด้านที่ขนานกัน และอยู่ตรงข้ามกัน บางความถี่สัญญาณเสียงที่สะท้อนอาจเสริมหรือหักล้างกันกับคลื่นเสียงที่ออกจากลำโพง เรียกคลื่นเสียงความถี่นี้ว่า รีโซแนนซ์ (resonance) ทำให้ ณ ที่บางตำแหน่งฟังจะถูกเน้นเด่นเกินต้องการ และบางความถี่คลื่นเสียงจะหักล้างกันจนไม่ได้ยินเสียง ผลสรุปคือ ในห้องนั้นจะมีเสียงทุ้มที่ผิดเพี้ยน ความถี่รีโซแนนซ์ที่เกิดจากผนังห้องคู่หนึ่ง อาจไปตรงกับความถี่รีโซแนนซ์ของผนังคู่อื่น ๆ ได้ [7]

2.3.1 Room mode

Room modes เป็น standing wave ชนิดหนึ่ง ที่ทำให้เกิดปัญหากับเสียงในย่านความถี่ต่ำ (เสียงเบส,เสียงทุ้ม คือความถี่ที่ต่ำกว่า 300 Hz) เกิดการสะท้อนไปมาในห้องสี่เหลี่ยมที่มีผนังขนานกัน (ซึ่งพบบ่อยกับโฮมสตูดิโอ) การสะท้อนไปมาระหว่างผนังของความถี่ต่ำนี้ส่งผลให้บางบริเวณในห้องเกิดการการเสริมกันของความถี่ และบางบริเวณในห้องเกิดการหักล้างกัน เราจึงรับรู้ได้จากการได้ยินเสียงย่านความถี่ต่ำที่เปลี่ยนไป ทำให้เราจะได้ยินเสียงทุ้มหรือเสียงเบสบางจุดดังเกินไป บางจุดเบาเกินไปในห้องนั้น และยังพบว่าเสียงเบสจะมีปริมาณมากในบริเวณที่ใกล้กับผนังและที่บริเวณมุมห้อง room mode มีสูตรการคำนวณหาดังนี้ [7]

Room mode = อัตราเร็วเสียงในอากาศ / (2xระยะห่างระหว่างผนังที่ขนานกัน)

Room mode = 1130 ฟุตต่อวินาที/(2xระยะห่างระหว่างผนังที่ขนานกัน)

หรือสามารถใช้อัตราเร็วเสียงในอากาศเป็น 343 เมตรต่อวินาที [10]

ตัวอย่างการคำนวณ

ห้องขนาดสูง 8 ฟุต กว้าง 11 ฟุต ยาว 23 ฟุต

ที่ด้านยาว room mode(A) = 1130/(2x23) = 25 Hz

ที่ด้านกว้าง room mode(B) = 1130/(2x11) = 51 Hz

ที่ความสูง room mode(C) = 1130/(2x8) = 71 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งสามค่านี้เป็นค่าความถี่หลักซึ่งจะยังต้องมีความถี่ที่เป็นฮาร์มอนิกที่สอง,สาม,สี่ และต่อไปอีก ดังตารางที่ 2.2

Mode	Length (23ft)	Width (11 ft)	Height (8 ft)
1	25	51	71
2	50	102	141
3	75	153	212
4	100	204	282
5	150	255	355
6	200	306	
7	250	357	
8	300		

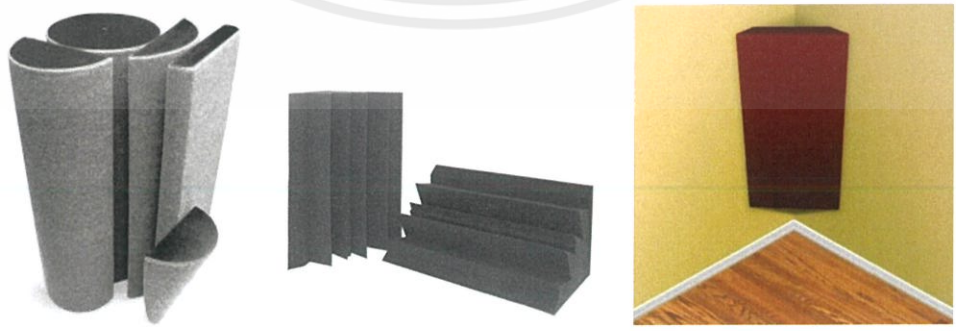
Resonance Mode Frequencies appearing in more than one dimension will be trouble frequencies. In this example these trouble frequencies will be 50, 100, and 355 Hz.

ตารางที่ 2.2 แสดงค่า room mode ของห้องขนาดสูง 8 ฟุต กว้าง 11 ฟุต ยาว 23 ฟุต

[7]

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นว่ามีความถี่รีโซแนนซ์หรือความถี่ที่เป็นปัญหาสำหรับการฟังอยู่ถึงสามตัว คือที่ 50 Hz , 100 Hz และ 355 Hz ซึ่งความกว้าง ความยาว และความสูงช่วยกันสร้างขึ้นมาให้เสริมหรือหักล้างซึ่งกัน ณ ที่ใดที่หนึ่งหรือหลายที่ในห้อง หากเราย้ายตำแหน่งฟังไปที่ตำแหน่งนั้น ๆ เราจะได้ยินเสียงทุ้มที่แตกต่างกัน นี้คือสิ่งที่เรียกว่า การตอบสนองความถี่ของห้อง (frequency response) ผิดเพี้ยนไป

การควบคุมเสียงเหล่านั้นให้ดี คือการกำจัดหรือลดความดังของความถี่ย่านเสียงทุ้มที่เป็นคลื่นความถี่รีโซแนนซ์ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ดูดซับเสียงทุ้มเรียกว่า “ กับดักเสียงทุ้ม (Bass Trap) ”

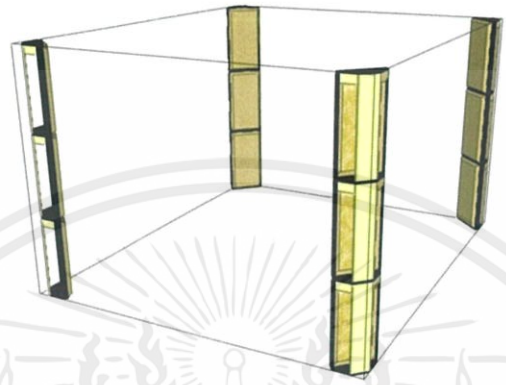


ภาพที่ 2.10 แสดงกับดักเสียงทุ้ม (Bass Trap)

[12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดวาง bass trap ควรวางที่มุมห้องทั้งสี่มุม เพราะว่าจุดที่ผนังห้องสามด้านมาพบกัน เสียงที่สะท้อนออกมาจากผนังแต่ละด้านอาจเสริมหรือหักล้างกัน เสียงทุ้มจะโด่งหรืออับมากที่สุดแล้วแต่ความถี่ ทุกมุมในห้องฟังจึงเป็นจุดที่ต้องวาง bass trap บางห้องที่มีปัญหา resonanceเด่นชัด อาจติดตั้ง bass trap ชนิดที่เจาะจงไปที่ความถี่นั้น [7]



ภาพที่ 2.11 แสดงการจัดวาง bass trap ที่มุมห้องทั้งสี่มุม

[13]

จากเรื่องของ room mode แสดงให้เห็นว่าความกว้าง ความยาวและความสูงของห้องมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อเสียงสะท้อนที่อาจทำให้เกิดปัญหา ดังนั้นสิ่งที่ต้องจัดการให้ดีเบื้องต้น คือ ต้องออกแบบห้องให้มีสัดส่วนกว้าง, ยาว, สูง ที่เหมาะสม คือ ถ้าความกว้าง, ยาว และสูงของห้องมีด้านหนึ่งด้านใดเท่ากัน หรือเป็นสองเท่าสามเท่าของด้านหนึ่งด้านใด ความถี่รีโซแนนซ์ก็จะถูกเสริมกัน ดังนั้นจึงมีข้อกำหนดสรุปได้ว่า ห้องฟังหรือห้องบันทึกเสียงที่ดีจะต้อง

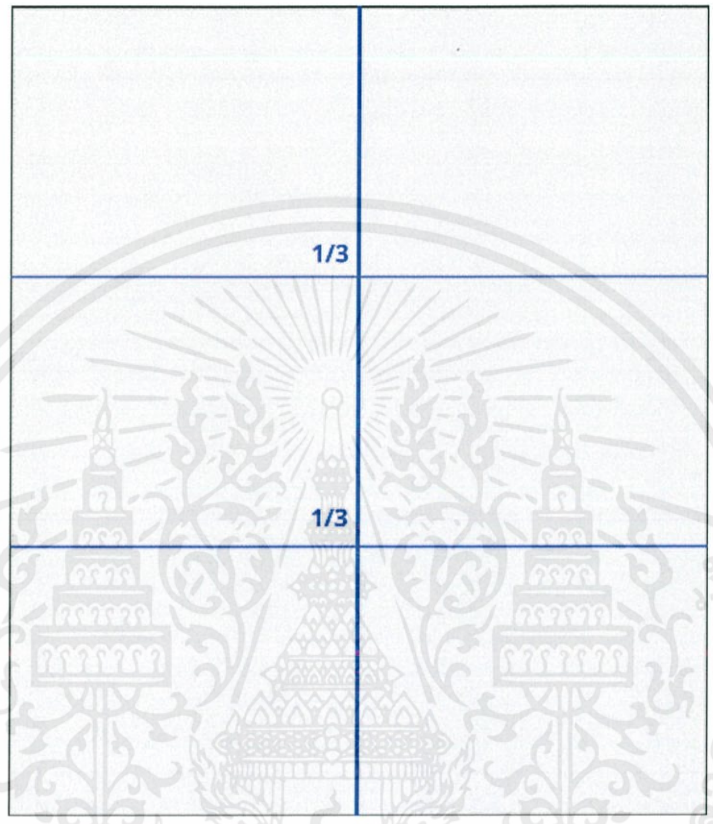
- ไม่มีด้านที่เท่ากันทุกด้าน (สี่เหลี่ยมทรงลูกเต๋า)
- ไม่มีด้านหนึ่งด้านใดมิติเป็นสองเท่า สามเท่า หรือตัวคูณด้วยจำนวนเลขเต็ม [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การหา sweet spot

วิธีกำหนดจุดวางลำโพงและจุดของผู้ฟัง [8], [9]

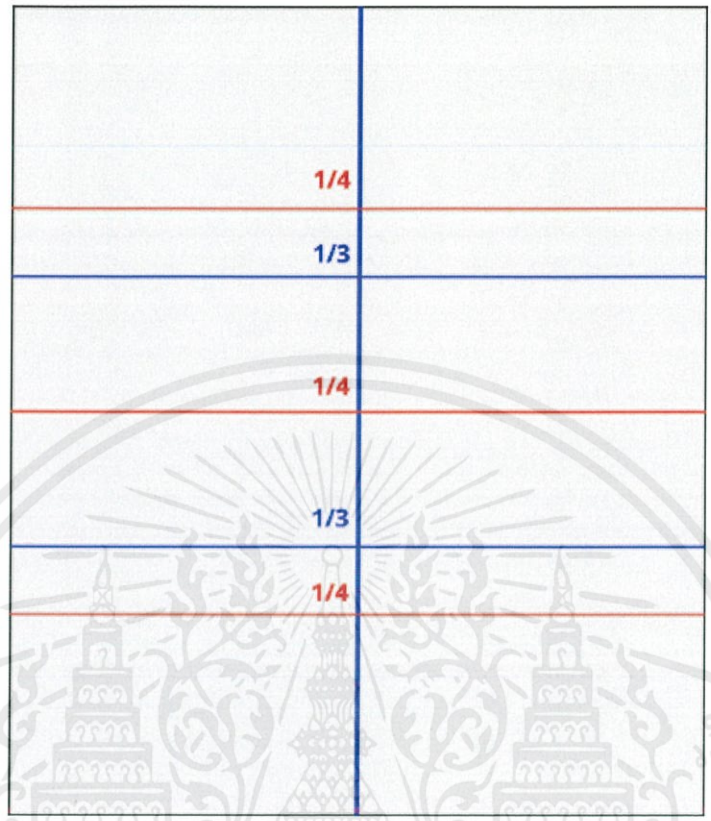
ขั้นตอนที่ 1 ที่ด้านกว้าง แบ่งห้องออกเป็น 2 ส่วนที่เท่ากัน และที่ด้านยาว แบ่งห้องออกเป็น 3 ส่วนที่เท่ากัน ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 แสดงตัวอย่างการแบ่งห้องเป็น2ส่วนที่เท่ากันที่ด้านกว้าง และแบ่งห้องออกเป็น 3 ส่วนที่เท่ากันที่ด้านยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 ที่ด้านยาว ให้แบ่งห้องออกเป็น 4 ส่วนที่เท่ากัน ใช้เส้นคนละสีเพื่อความไม่สับสน ดังภาพที่ 2.13

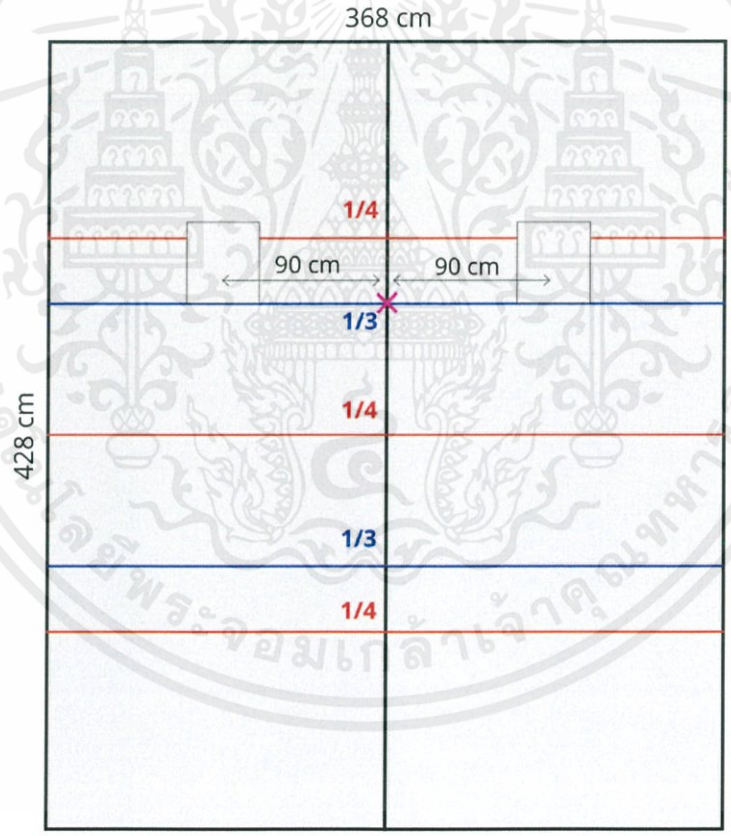


ภาพที่ 2.13 แสดงตัวอย่างการแบ่งห้องออกเป็น 4 ส่วนที่เท่ากัน ที่ด้านยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 ที่จัดวางลำโพงข้างซ้ายกับข้างขวาลงในตำแหน่งหลังเส้นแบ่ง 1/3 ด้านที่ตรงข้ามกับ ตำแหน่งนั่งฟัง โดยเล็งให้แผงหน้าของตัวลำโพงขนานทับลงบนเส้นแบ่ง 1/3 พอดี จากนั้นนำตลับเมตรวัดระยะจากจุดตัดกากบาทบนเส้นแบ่ง 1/3 นี้ไปทางซ้ายและข้างขวา ข้างละ 90 ซม. แล้วทำเครื่องหมายไว้บนเส้นแบ่ง 1/3 แล้วขยับลำโพงให้จุดกึ่งกลางของแผงหน้าอยู่ตรงกับจุด 90 ซม. ที่ทำเครื่องหมายไว้ แล้วทำแบบเดียวกันนี้กับลำโพงอีกข้าง ซึ่งจะทำให้ลำโพงทั้งสองข้าง

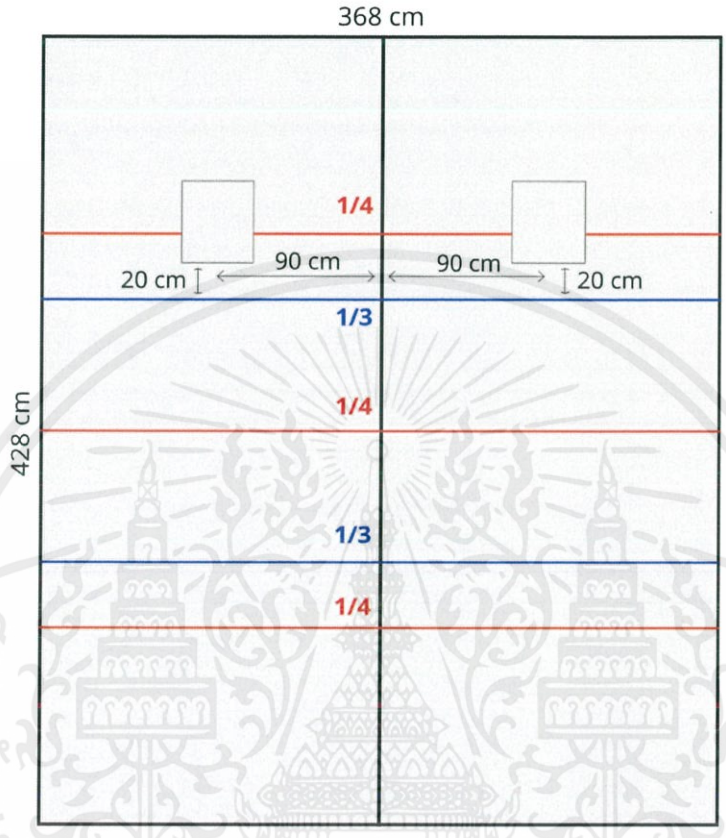
- วางอยู่ในตำแหน่งที่ห่างจากผนังด้านหลังเท่ากับ 1/3 คูณด้านยาวของห้อง
- ลำโพงทั้งสองข้างมีระยะห่างจากกันเท่ากับ 180 ซ.ม. ซึ่งเป็นระยะห่างที่แนะนำเป็นเบื้องต้นสำหรับลำโพงทุกคู่
- จะได้ระยะห่างระหว่างลำโพงแต่ละข้างไปถึงผนังห้องที่ใกล้ลำโพงตัวนั้นเท่า ๆ กัน จะได้ดังตัวอย่างภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 แสดงตัวอย่างระยะห่างที่แนะนำเบื้องต้นสำหรับลำโพงทุกคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

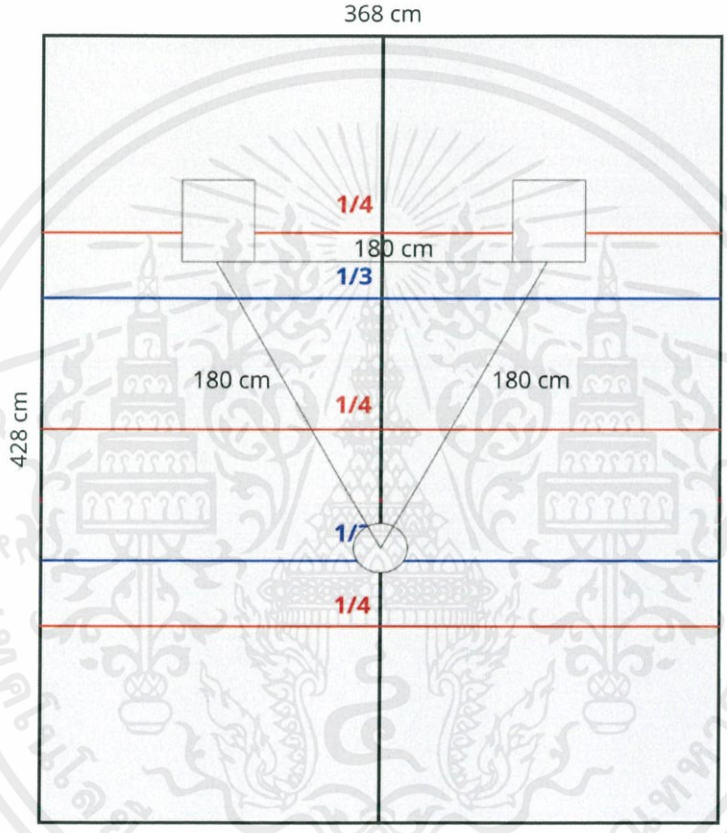
หรือ ในห้องทั่ว ๆ ไป (ความยาว 4-6 เมตร) ตำแหน่งลำโพงที่ดีมักจะมีตำแหน่งบวก ลบ จาก ระยะ 1/3 ของความยาวห้องอยู่ 10 – 20 เซนติเมตร ดังตัวอย่างภาพที่ 2.15 ให้ลำโพงขยับขึ้นจากระยะ 1/3 ของความยาวห้อง 20 เซนติเมตร



ภาพที่ 2.15 แสดงตัวอย่างตำแหน่งลำโพงที่ดีสำหรับห้องทั่ว ๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

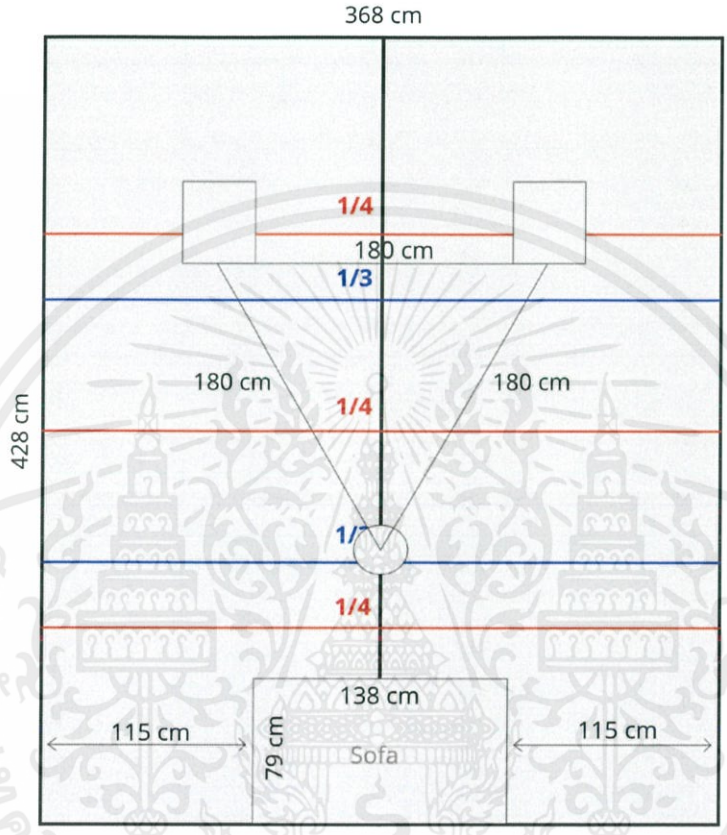
ขั้นตอนที่ 4 สำหรับตำแหน่งนั่งฟังของ sound engineer เป็นการฟังแบบ Near Field Listening ให้ขยับเดินหน้าเข้าหาลำโพง (จากเส้น 3/4 ของความยาวห้อง โดยวัดจากผนังด้านลำโพง หรือจากเส้น 1/4 ของความยาวห้อง โดยวัดจากผนังด้านหลัง) เล็กน้อย หรือให้อยู่ที่จุดกึ่งกลางของเส้น 1/3 ของความยาวห้องที่วัดจากผนังด้านหลัง จะได้ระยะห่างระหว่างลำโพงซ้ายกับจุดนั่งฟัง และระยะห่างระหว่างลำโพงขวากับจุดนั่งฟังเท่ากับระยะห่างระหว่างลำโพงสองตัวพอดี ซึ่งคือสามเหลี่ยมด้านเท่า ดังตัวอย่างภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 แสดงตัวอย่างตำแหน่งนั่งฟังของ sound engineer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 สำหรับตำแหน่งนั่งฟังของลูกค้า ให้ถอยหลังออกจากเส้น 3/4 ของความยาวห้อง โดยวัดจากผนังด้านลำโพง หรือจากเส้น 1/4 ของความยาวห้อง โดยวัดจากผนังด้านหลัง สามารถถอยหลังมาติดผนังห้องได้ แต่ควรมีวัสดุซับเสียงเพื่อลดปัญหาการได้ยินความถี่ต่ำผิดเพี้ยน ดังตัวอย่างภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 แสดงตัวอย่างตำแหน่งนั่งฟังของลูกค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน

3.1.1 อุปกรณ์ทั่วไป

3.1.1.1 ลำโพง Yamaha DXR15

Specifications :

Speaker type		15" 2-way, Bi-amp powered speaker, Bass-reflex type
Frequency Range (-10dB)		49Hz - 20kHz
Nominal coverage	H	90°
	V	60°
Components	LF	Diameter:15" cone, Voice Coil:2.5", Magnet:Ferrite
	HF	Diaphragm:1.4", Type: 1" throat compression driver, Magnet:Ferrite
Crossover		FIR-X tuning™ (linear phase FIR filter)
Output power		Dynamic:1100W (LF: 950W HF: 150W) / Continuous: 700W (LF: 600W HF: 100W)
Maximum output level (1m; on axis)		133dB SPL
I/O connectors		INPUT: XLR-3-31 x1 , INPUT2: Phone x2, INPUT3: RCA PIN x 2, THRU: XLR3-32 x 1 (Parallel with INPUT 1), LINK OUT: XLR x 1
Processors		D-CONTOUR: FOH/MAIN, MONITOR, OFF
Power requirements		100V - 240V, 50Hz/60Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power consumption		110W
Flying and mounting hardware		Top x2, Rear x1 (Fits for M8 x 15mm eyebolts)
Pole socket		35mm with 2-way features (0 or 7 degrees)
Dimensions	W	445mm (17 4/8")
	H	700mm (27 4/8")
	D	380mm (15")
Net weight		22.5kg (49.6lbs)
Accessories		UB-DXR15 (U-barcket)
Others		Material: ABS (Matte Finish, Black)

ภาพที่ 3.1 แสดงลำโพง Yamaha DXR15

[14]

3.1.1.2 ขาตั้งลำโพง

3.1.1.3 dbx RTA-M Reference Microphone

ใช้ในการวัด frequency response ของห้อง

Features

- Polar Pattern : omni-directional
- Element : back electret-Condenser
- Frequency Response : 20 Hz - 20 kHz
- Impedance : 250 30% (at 1,000Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sensitivity : -63 dB +-3 dB (0 dB=1V/ microbar 1,000 Hz indicated by open circuit)
- Operating Voltage : phantom power 9V-52VDC

ภาพที่ 3.2 แสดง dbx RTA-M Reference Microphone

[15]

3.1.1.4 ขาตั้งไมค์

3.1.1.5 XLR connector

ใช้เชื่อมต่อไมค์กับ audio interface

ภาพที่ 3.3 แสดง XLR connector

[16]

3.1.1.6 Sound Level Meter

ใช้วัดระดับเสียงสำหรับการหาค่า TL

ภาพที่ 3.4 แสดง Sound Level Meter

[17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.7 Steinberg UR22 Interface

ใช้ในการแปลงสัญญาณเสียงเป็นข้อมูลดิจิจตอล และแปลงข้อมูลดิจิตอลกลับมาเป็นเสียง

Specifications

- MIC INPUT 1/2 (Balanced)
  - Maximum Input Level -10 dBu
  - Input Impedance 4k Ohm
  - GAIN Range +16 dB +60 dB
- LINE INPUT (Unbalanced)
  - Maximum Input Level +16 dBu
  - Input Impedance 20k Ohm
  - GAIN Range -10 dB +34 dB
- HI-Z INPUT (Unbalanced)
  - Maximum Input Level -4 dBV
  - Input Impedance 470k Ohm
  - GAIN Range -8 dB +52 dB
- LINE OUTPUT (Balanced)
  - Maximum Output Level +10 dBu
  - Output Impedance 150 Ohm
- PHONES 1/2 Maximum Output Level: 6 mW+6 mW, @ 40 Ohm
- USB Specification: USB 2.0, 24 bit, 44.1 kHz/48 kHz/88.2 kHz/
- 96 kHz/176.4 kHz/192 kHz
- XLR Input Polarity
  - Pin 1: Ground
  - Pin 2: Hot (+)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Pin 3: Cold (-)

ภาพที่ 3.5 แสดง Steinberg UR22 Interface

[18]

3.1.1.8 TRS cable

ใช้เชื่อมต่อลำโพงกับ audio interface

ภาพที่ 3.6 แสดง TRS cable

[19]

3.1.1.9 Computer

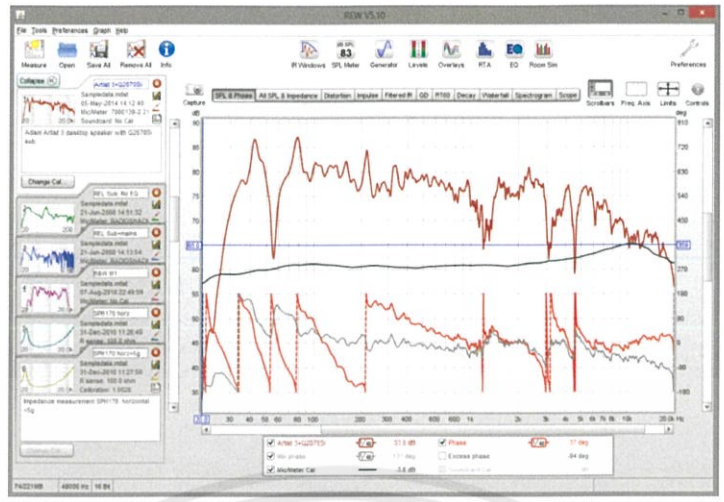
ใช้เชื่อมต่อโปรแกรม REW กับ audio interface

3.1.2 โปรแกรม

3.1.2.1 Room EQ Wizard (REW)

เป็นโปรแกรมวัดและวิเคราะห์ผลด้านอะคูสติกของห้อง ในที่นี้ใช้โปรแกรม REW ในการปล่อย sine wave ตั้งแต่ความถี่ 125-4000 Hz เพื่อทำการวัดค่า TL และใช้โปรแกรมนี้ในการหา frequency response ของห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

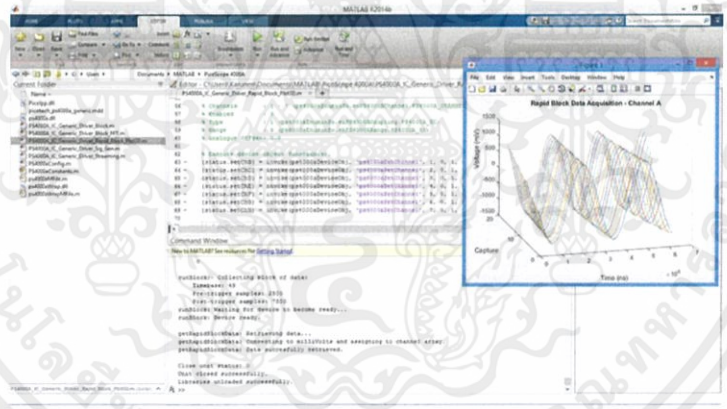


ภาพที่ 3.7 แสดงตัวอย่างหน้าตาโปรแกรม REW

[20]

3.1.2.2 MATLAB

เป็นโปรแกรมเพื่อการคำนวณและแสดงผลได้ทั้งตัวเลขและภาพภาพ ในที่นี้ใช้ในการพล็อตกราฟ TL และ STC



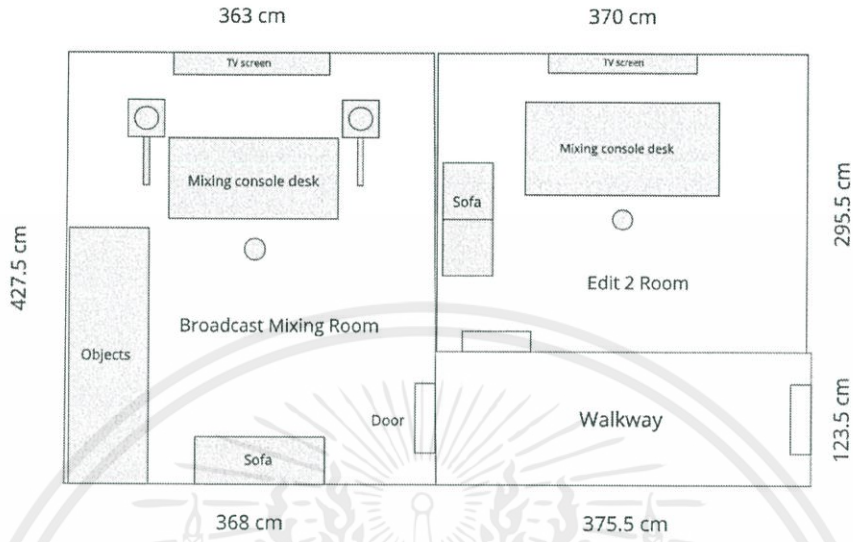
ภาพที่ 3.8 แสดงตัวอย่างหน้าตาโปรแกรม MATLAB

[21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

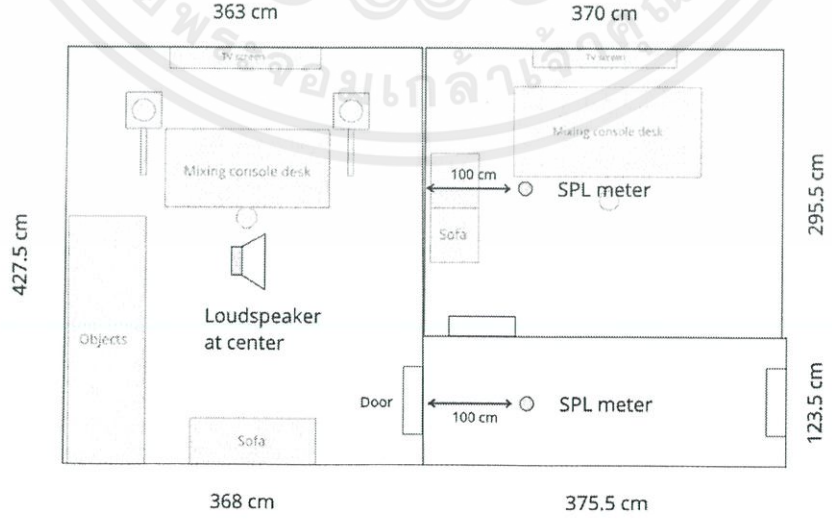
3.2.1 ทำการวัดขนาดห้องและวาดแบบจำลองเก็บไว้เป็นข้อมูล



ภาพที่ 3.9 แสดงภาพจำลองห้อง broadcast mixing และห้อง edit 2

3.2.2 แก้ไขปัญหาเรื่องเสียงรบกวนจากห้อง broadcast mixing

โดยเริ่มจากทำการวัดค่า TL โดยให้ลำโพงอยู่กลางห้อง broadcast mixing หันหน้าลำโพงไปทางด้านห้อง edit2 แล้วใช้ sound level meter วัดเสียงที่ห้อง edit 2 และทางเดิน โดยให้อยู่ห่างจากผนังที่ติดกับห้อง broadcast mixing 100 cm ดังภาพที่ 27 จากนั้นเปิด sine wave ที่ความดัง 100 dB ทีละความถี่ตั้งแต่ 125-4000 Hz แล้วจดบันทึกค่าที่ได้จาก sound level meter ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.10 แสดงตำแหน่งในการวัดค่า TL

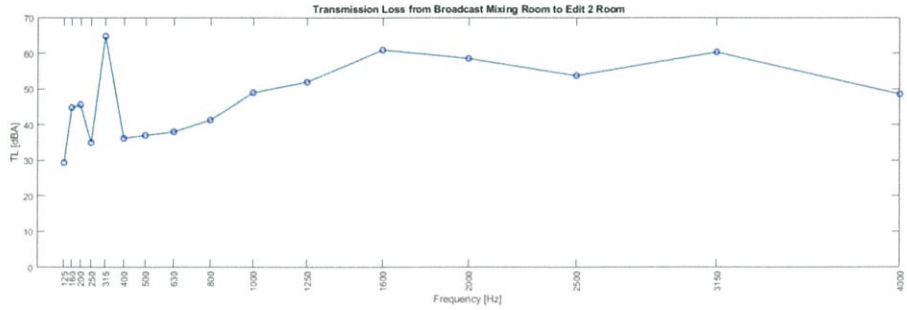
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ (Hz)	ห้อง Broadcast mixing (dBA)	ห้อง Edit 2 (dBA)	ทางเดิน (dBA)	TL จากห้อง Broadcast ไป Edit 2 (dBA)	TL จากห้อง Broadcast ไป ทางเดิน (dBA)
125	100	70.6	66.3	29.4	33.7
160	100	55.2	76.1	44.8	23.9
200	100	54.4	68.5	45.6	31.5
250	100	65.0	62.0	35.0	38.0
315	100	65.2	76.1	64.8	23.9
400	100	63.8	66.5	36.2	33.5
500	100	63.0	74.1	37.0	25.9
630	100	62.0	73.0	38.0	27.0
800	100	58.7	71.8	41.3	28.2
1000	100	51.1	54.5	48.9	45.5
1250	100	48.1	59.9	51.9	40.1
1600	100	39.1	64.8	60.9	35.2
2000	100	41.5	62.4	58.5	37.6
2500	100	46.3	62.8	53.7	37.2
3150	100	39.7	67.9	60.3	32.1
4000	100	51.5	72.6	48.5	27.4

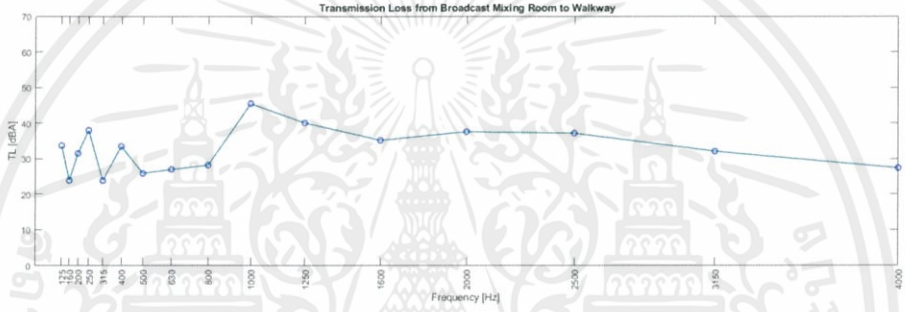
ตารางที่ 3.1 แสดงค่า Transmission Loss (TL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 นำค่าที่จดบันทึกมาพล็อตกราฟจะได้ดังภาพที่ 3.11 และภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.11 แสดงกราฟ TL จากห้อง broadcast mixing ไปสู่ห้อง edit 2



ภาพที่ 3.12 แสดงกราฟ TL จากห้อง broadcast mixing ไปสู่ทางเดิน

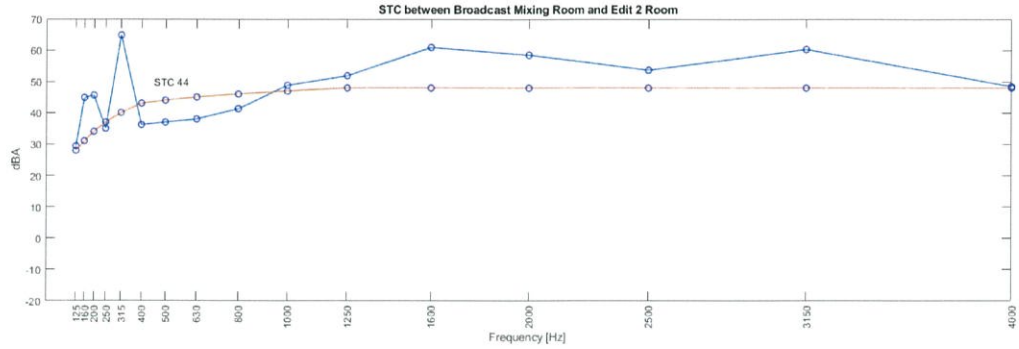
3.2.4 ทำการหาค่า STC โดยที่กราฟ STC (STC contour) มีค่าดังตารางที่ 2.1 โดยนำกราฟ STC มาเลื่อนขึ้น-ลงทับกราฟ TL ตามกฎ 2 ข้อ คือ

1) ในบริเวณที่กราฟ STC อยู่เหนือกราฟ TL ต้องต่างกันไม่เกิน 8 dB

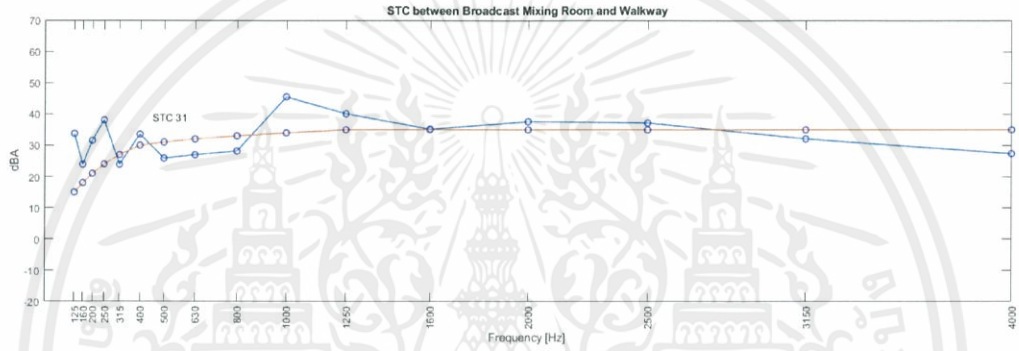
2) ผลรวมค่าความต่างในบริเวณที่กราฟ STC อยู่เหนือกราฟ TL ต้องรวมกันแล้วไม่เกิน 32 dB

เมื่อเลื่อนกราฟได้ตามกฎแล้ว ให้ลากเส้นจาก 500 Hz ขึ้นไปชนกราฟ STC แล้วดูค่า dB ณ ตำแหน่งที่ 500 Hz จะได้ค่า STC ออกมา ซึ่งค่า STC ของผนังระหว่างห้อง broadcast mixing กับห้อง edit 2 ที่ได้คือ STC 44 ดังภาพที่ 3.13 และค่า STC ของผนังระหว่างห้อง broadcast mixing กับทางเดินคือ STC 31 ดังภาพที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.13 แสดงการหาค่า STC ของผนังระหว่างห้อง broadcast mixing กับห้อง edit 2



ภาพที่ 3.14 แสดงการหาค่า STC ของผนังระหว่างห้อง broadcast mixing กับทางเดิน

3.2.5 ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มค่า STC และปรึกษากับสถานประกอบการ พบว่า ไม่มีความประสงค์จะใช้งบประมาณในส่วนนี้ คณะผู้จัดทำจึงเดินหน้าแก้ปัญหาเรื่องถัดไป

3.2.6 ทำการแก้ไขปัญหาเรื่องการได้ยินเสียงของ sound engineer และลูกค้าที่แตกต่างกันมาก โดยการหา sweet spot ใหม่ เริ่มจากการคำนวณหาตำแหน่งที่เป็นปัญหาของ room mode โดยมีสูตร คือ

Room mode = อัตราเร็วเสียงในอากาศ / (2xระยะห่างระหว่างผนังที่ขนานกัน)

= 343 เมตรต่อวินาที / (2xระยะห่างระหว่างผนังที่ขนานกัน)

ห้อง Broadcast Mixing มีความกว้าง 3.68 เมตร ยาว 4.275 เมตร และสูง 2.185 เมตร

ที่ด้านยาว room mode(A) = 343/(2x4.275) = 40.1170 Hz

ที่ด้านกว้าง room mode(B) = 343/(2x3.680) = 46.6033 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความสูง room mode(C) = 343/(2x2.185) = 78.4897 Hz

แต่ละ mode จะคำนวณดูแค่ความถี่ที่ต่ำกว่า 300 Hz จะได้ดังตารางที่ 3.2

Mode	ความถี่ด้านกว้าง 3.68m (Hz)	ความถี่ด้านยาว 4.275m (Hz)	ความถี่ด้านสูง 2.185m (Hz)
1	46.6033	40.117	78.4897
2	93.2066	80.2340	156.9794
3	139.8099	120.3510	235.4691
4	186.4132	160.4680	313.9588
5	233.0165	200.5850	
6	279.6198	240.7020	
7	326.2231	280.8190	
8		320.9360	

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความถี่ของ room mode

จากนั้นดูความถี่ที่มีค่าใกล้กันมาก ๆ ความถี่เหล่านั้นเป็นความถี่ที่มีปัญหา ให้นำมาบวกกัน แล้วหาร 2 เพื่อที่จะนำไปหาตำแหน่งต่อไป

Mode	ความถี่ด้านกว้าง 3.68m (Hz)	ความถี่ด้านยาว 4.275m (Hz)	ความถี่ด้านสูง 2.185m (Hz)
1	46.6033	40.117	78.4897
2	93.2066	80.2340	156.9794
3	139.8099	120.3510	235.4691
4	186.4132	160.4680	313.9588
5	233.0165	200.5850	
6	279.6198	240.7020	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	326.2231	280.8190	
8		320.9360	

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าความถี่ของ room mode ที่ทำให้เกิดปัญหา

จะได้ (78.4897+80.2340)/2 = 79.3619 = 79 Hz

(233.0165+235.4691)/2 = 234.2428 = 234 Hz

(279.6198+280.8190)/2 = 280.2194 = 280 Hz

จากนั้นคำนวณหาความยาวคลื่นเสียง จากสูตร

ความยาวคลื่นเสียง = อัตราเร็วเสียง / ความถี่เสียง

จะได้ 79 Hz ; ความยาวคลื่น = 343/79 = 4.342 เมตร

234 Hz ; ความยาวคลื่น = 343/234 = 1.466 เมตร

280 Hz ; ความยาวคลื่น = 343/280 = 1.225 เมตร

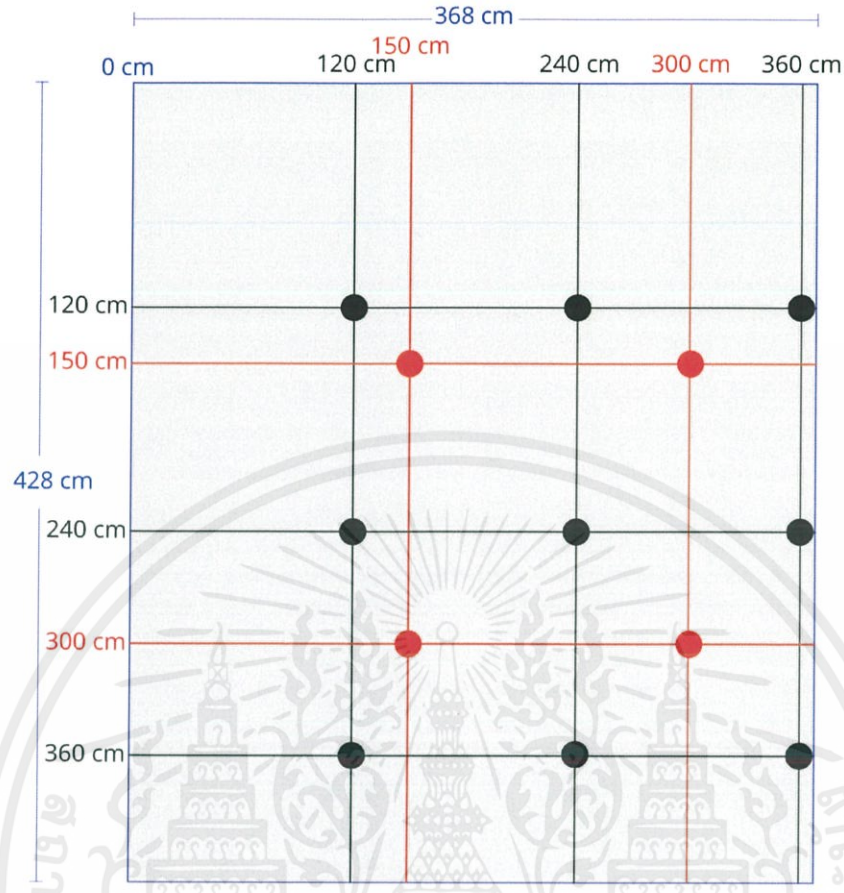
ความถี่ 234 Hz มีความยาวคลื่น 1.5 เมตร จะเกิดปัญหาที่ตำแหน่ง 1.5 และ 3 เมตร ของทั้งด้านกว้างและยาวของห้อง

ความถี่ 280 Hz มีความยาวคลื่น 1.2 เมตร จะเกิดปัญหาที่ตำแหน่ง 1.2 2.4 และ 3.6 เมตร ของทั้งด้านกว้างและยาวของห้อง

เนื่องจากความถี่ 79 Hz มีความยาวคลื่นเกินความกว้าง ยาว สูงของห้อง จึงไม่นำมาคิด

จะได้ตำแหน่งที่เป็นปัญหาของ room mode ดังภาพที่ 32 จุดสีแดง คือ ตำแหน่งที่เป็นปัญหาของความถี่ 234 Hz จุดสีดำ คือ ตำแหน่งที่เป็นปัญหาของความถี่ 280 Hz

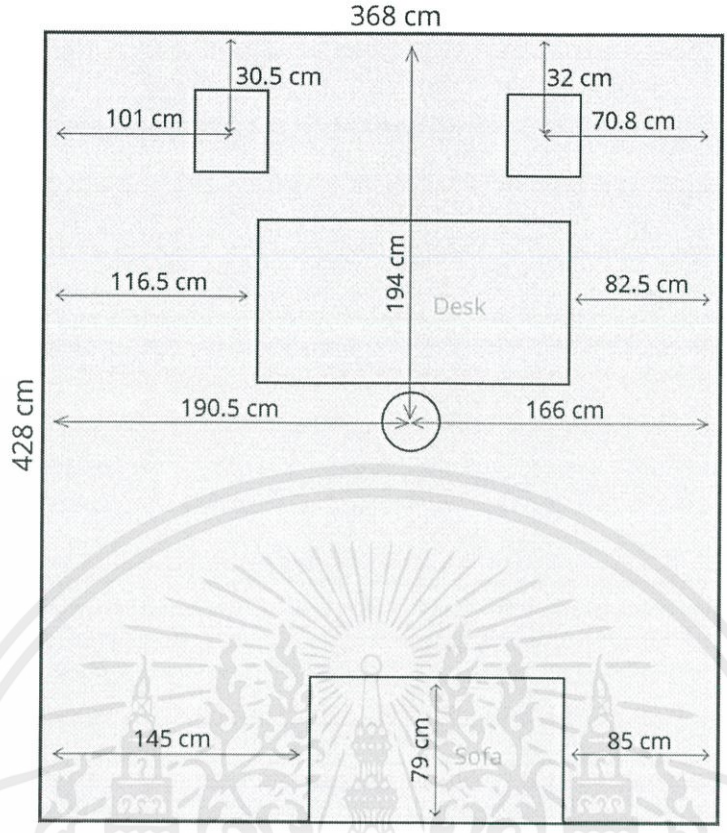
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.15 แสดงตำแหน่งที่เป็นปัญหาของความถี่ 234 Hz และ 280 Hz

3.2.7 หา sweet spot ของตำแหน่งลำโพงและจุดนั่งฟังใหม่ โดยตำแหน่งลำโพงและจุดนั่งฟังเดิมแสดงดังภาพที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

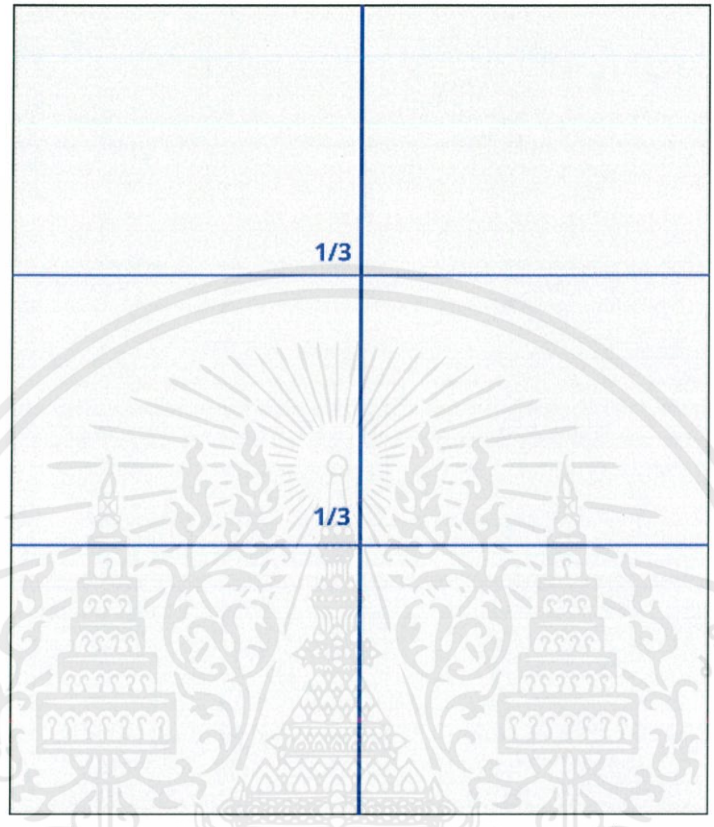


ภาพที่ 3.16 แสดงจุดวางลำโพงและจุดนั่งฟังปัจจุบันของห้อง broadcast mixing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีกำหนดจุดวางลำโพงและจุดนั่งฟัง

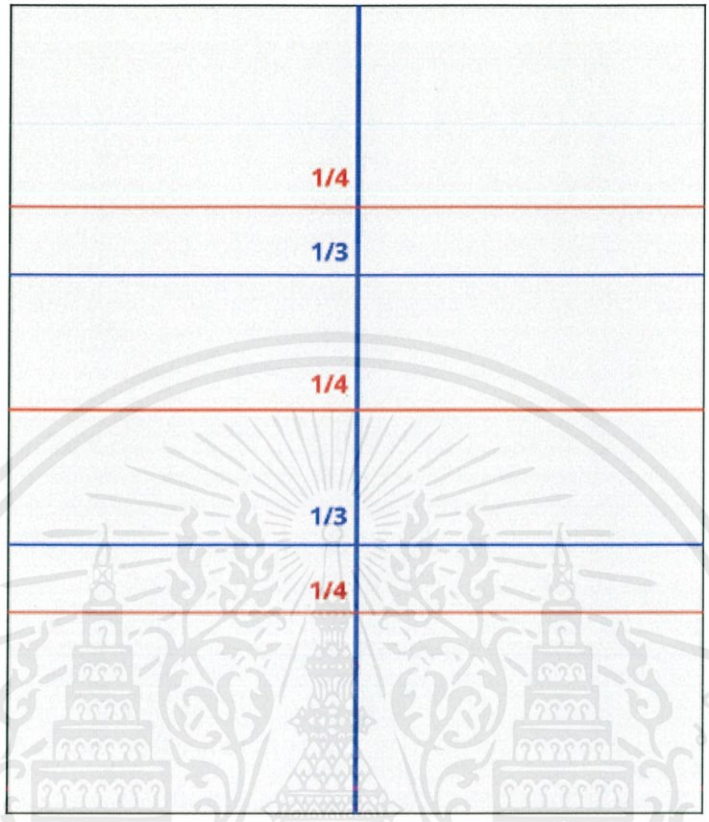
ขั้นตอนที่ 1 ที่ด้านกว้าง แบ่งห้องออกเป็น 2 ส่วนที่เท่ากัน และที่ด้านยาว แบ่งห้องออกเป็น 3 ส่วนที่เท่ากัน ดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 แสดงการแบ่งห้องออกเป็น 2 ส่วนเท่ากันที่ด้านยาว และแบ่งห้องออกเป็น 3 ส่วนเท่ากันที่ด้านยาวของห้อง Broadcast Mixing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 ที่ด้านยาว ให้แบ่งห้องออกเป็น 4 ส่วนที่เท่ากัน ใช้เส้นคนละสีเพื่อความไม่สับสน ดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 แสดงการแบ่งห้อง Broadcast Mixing ออกเป็น 4 ส่วนที่เท่ากัน

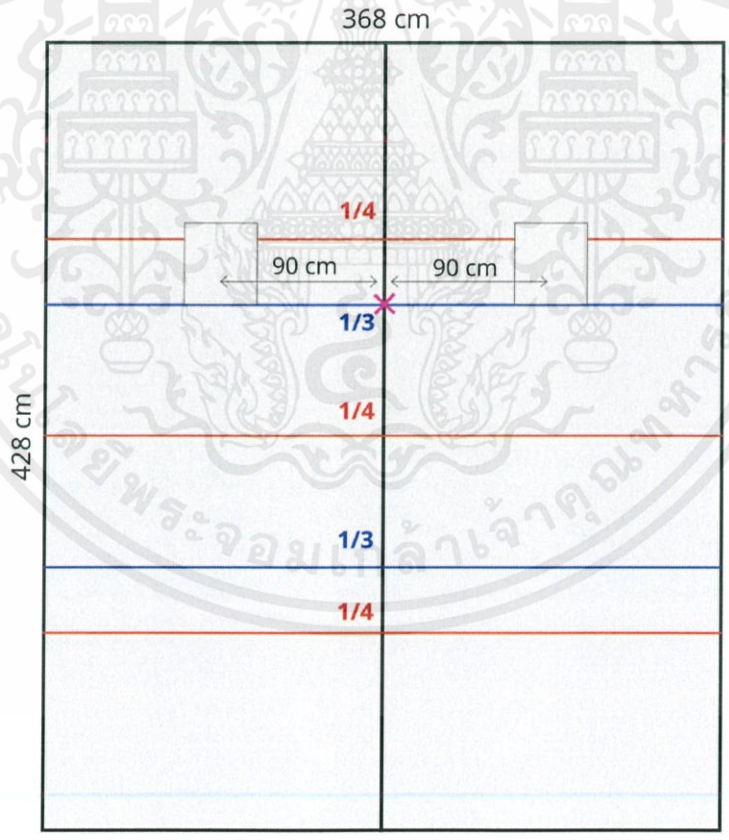
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 จัดวางลำโพงข้างซ้ายกับข้างขวาลงในตำแหน่งหลังเส้นแบ่ง 1/3 ด้านที่ตรงข้ามกับตำแหน่งนั่งฟัง โดยเล็งให้แผงหน้าของตัวลำโพงขนานทับลงบนเส้นแบ่ง 1/3 พอดี จากนั้น

ตลับเมตรวัดระยะจากจุดตัดกากบาทบนเส้นแบ่ง 1/3 นี้ไปทางซ้ายและข้างขวาข้างละ 90 ซม. แล้วทำเครื่องหมายไว้บนเส้นแบ่ง 1/3 แล้วขยับลำโพงให้จุดกึ่งกลางของแผงหน้าอยู่ตรงกับจุด 90 ซม. ที่ทำเครื่องหมายไว้

ทำแบบเดียวกันนี้กับลำโพงอีกข้าง ซึ่งจะทำให้ลำโพงทั้งสองข้าง

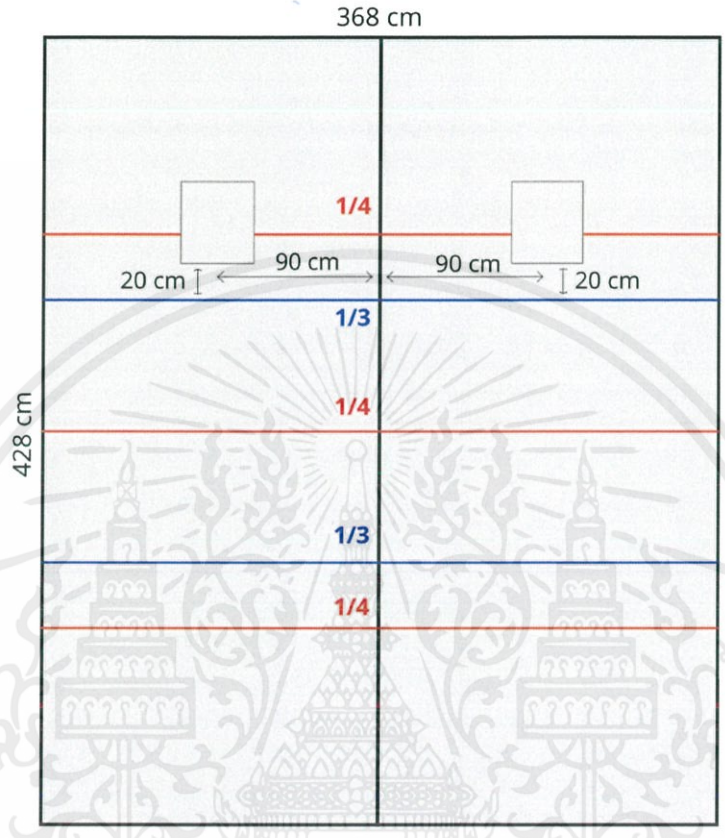
- วางอยู่ในตำแหน่งที่ห่างจากผนังด้านหลังเท่ากับ 1/3 คูณด้านยาวของห้อง
- ลำโพงทั้งสองข้างมีระยะห่างจากกันเท่ากับ 180 ซ.ม. ซึ่งเป็นระยะห่างที่แนะนำเป็นเบื้องต้นสำหรับลำโพงทุกคู่
- จะได้ระยะห่างระหว่างลำโพงแต่ละข้างไปถึงผนังห้องที่ใกล้ลำโพงตัวนั้นเท่า ๆ กัน จะได้ดังภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 แสดงระยะห่างระหว่างลำโพงแต่ละข้างไปถึงผนังห้องที่ใกล้ลำโพงตัวนั้นเท่า ๆ กันของห้อง Broadcast Mixing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

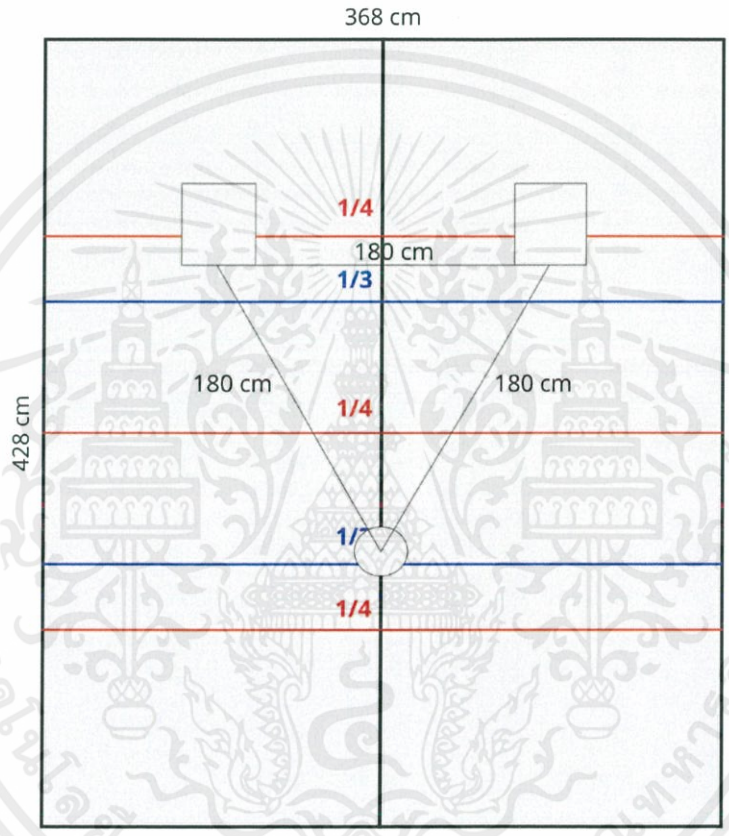
หรือในห้องทั่ว ๆ ไป (ความยาว 4-6 เมตร) ตำแหน่งลำโพงที่ดีมักจะมีตำแหน่งบวก-ลบจาก ระยะ 1/3 ของความยาวห้องอยู่ 10 – 20 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3.20 ให้ลำโพงขยับขึ้นจากระยะ 1/3 ของความยาวห้อง 20 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.20 แสดงตำแหน่งลำโพงที่แนะนำของห้อง Broadcast Mixing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

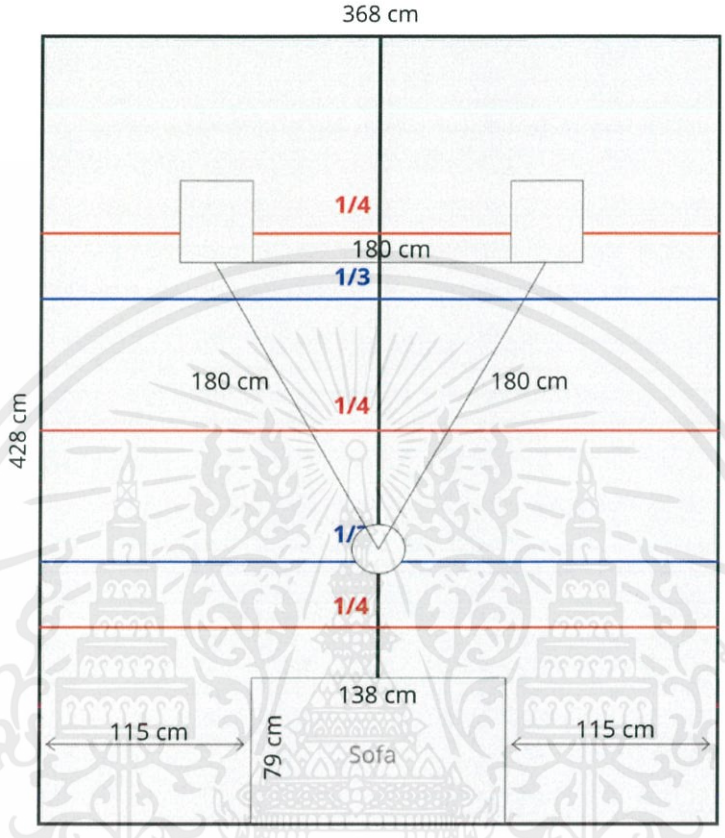
ขั้นตอนที่ 4 สำหรับตำแหน่งนั่งฟังของ sound engineer เป็นการฟังแบบ Near Field Listening ให้ขยับเดินหน้าเข้าหาลำโพง (จากเส้น 3/4 ของความยาวห้อง โดยวัดจากผนังด้านลำโพง หรือจากเส้น 1/4 ของความยาวห้อง โดยวัดจากผนังด้านหลัง) เล็กน้อย หรือให้อยู่ที่จุดกึ่งกลางของเส้น 1/3 ของความยาวห้องที่วัดจากผนังด้านหลัง จะได้ระยะห่างระหว่างลำโพงซ้ายกับจุดนั่งฟัง และระยะห่างระหว่างลำโพงขวากับจุดนั่งฟังเท่ากับระยะห่างระหว่างลำโพงสองตัวพอดี ซึ่งคือสามเหลี่ยมด้านเท่า



ภาพที่ 3.21 แสดงตำแหน่งนั่งฟังของ sound engineer ภายในห้อง Broadcast Mixing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 สำหรับตำแหน่งนั่งฟังของลูกค้า ให้ถอยหลังออกจากเส้น 3/4 ของความยาวห้อง โดยวัดจากผนังด้านลำโพง หรือจากเส้น 1/4 ของความยาวห้อง โดยวัดจากผนังด้านหลัง สามารถถอยหลังมาติดผนังห้องได้ แต่ควรมีวัสดุซับเสียงเพื่อลดปัญหาการได้ยินความถี่ต่ำผิดเพี้ยน



ภาพที่ 3.22 แสดงตำแหน่งนั่งฟังของลูกค้าภายในห้อง Broadcast Mixing

3.2.8 ศึกษาเรื่องอุปกรณ์ควบคุมเสียงทุ้ม (bass trap) เพิ่มเติม

3.2.9 นำเสนอและปรึกษากับทางสถานประกอบการ

3.2.10 วัด frequency response ของห้องก่อนและหลังจัดตำแหน่งวางลำโพงและจุดนั่งฟังใหม่

3.2.11 จัดทำเล่มรายงาน

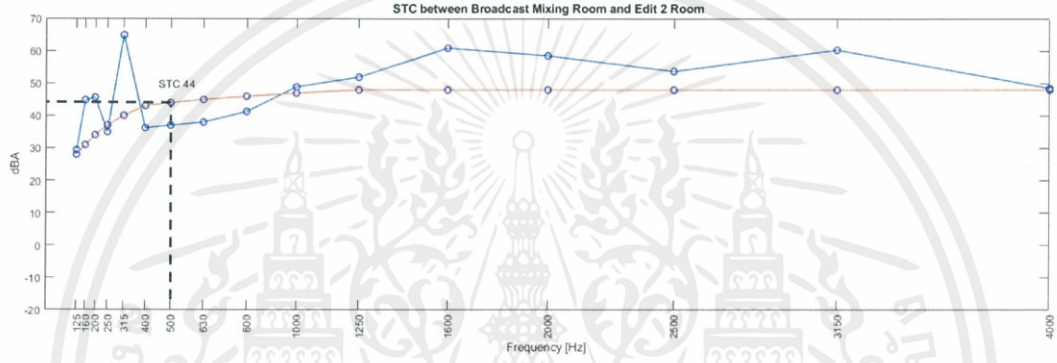
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

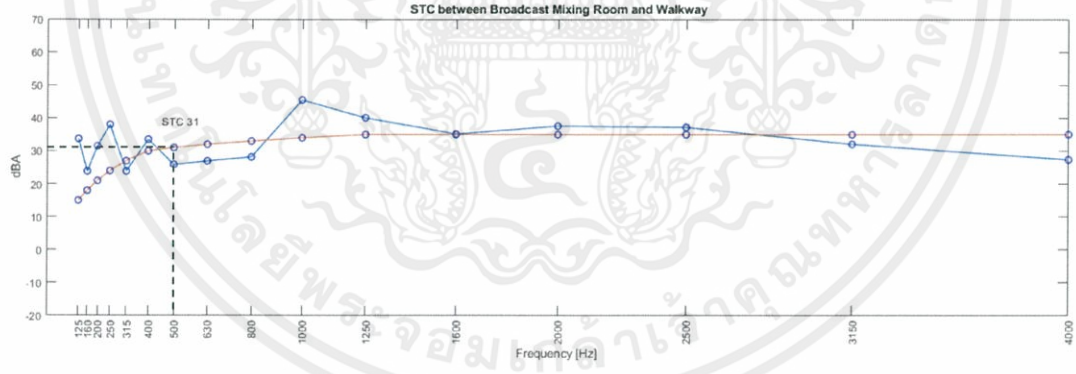
ผลการวิจัย

4.1 การหาค่า STC

จากภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 ค่า STC ของผนังระหว่างห้อง broadcast mixing กับห้อง edit 2 ที่ได้คือ STC 44 และค่า STC ของผนังระหว่างห้อง broadcast mixing กับทางเดินคือ STC 31



ภาพที่ 4.1 แสดงค่า STC ที่หาได้ของผนังระหว่างห้อง broadcast mixing กับห้อง edit 2



ภาพที่ 4.2 แสดงค่า STC ที่หาได้ของผนังระหว่างห้อง broadcast mixing กับทางเดิน

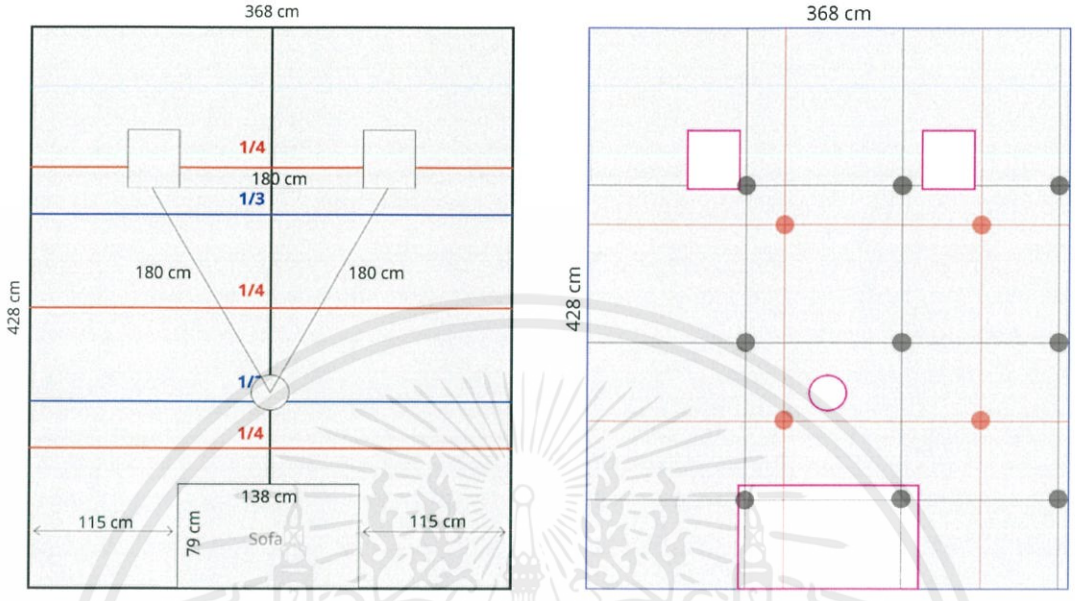
4.2 การหา sweet spot ของลำโพงและจุดนั่งฟัง

จากหลักการวางลำโพงและจุดนั่งฟัง ผลที่ได้เมื่อนำไปเทียบกับกราฟตำแหน่งที่เป็นปัญหาของ room mode ดังภาพที่ 4.3 จะพบว่า

- ตำแหน่งการวางลำโพงและจุดนั่งฟังใหม่ของ sound engineer อยู่ในจุดปลอดภัยจากปัญหา room mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุดนั่งฟังของลูกค้าหากนั่งตรงกึ่งกลางของโซฟาจะปลอดภัย แต่ถ้านั่งด้านขวาหรือซ้ายของโซฟา จะได้ยินเสียงทุ้มที่อาจดังหรือเบาเกินไป (ที่ความถี่ 280 Hz)



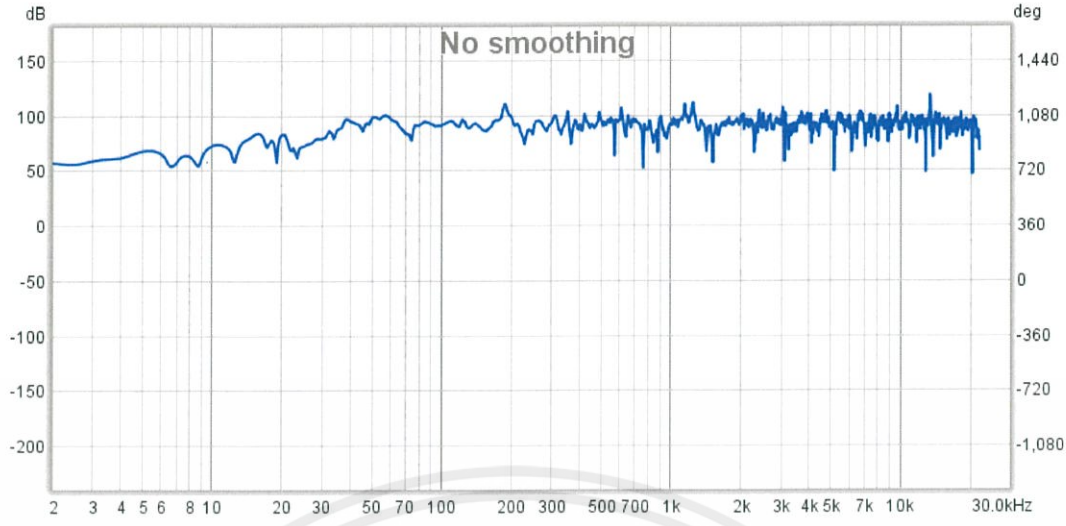
ภาพที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบตำแหน่งใหม่ของลำโพงและ

จุดนั่งฟังกับตำแหน่งที่เป็นปัญหาของ room mode

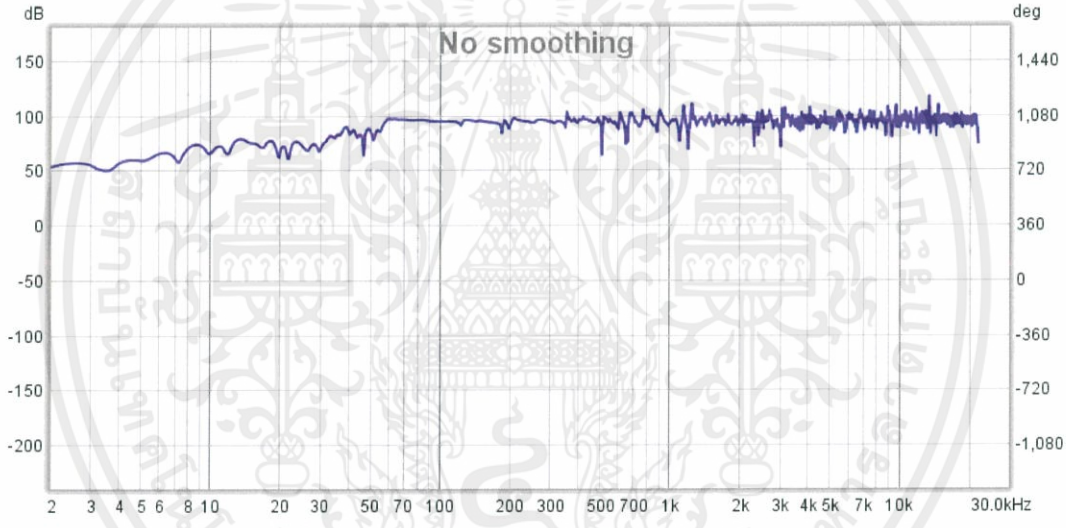
4.2.1 frequency response ของห้อง

frequency response ของห้องก่อนจัดตำแหน่งลำโพงและจุดนั่งฟังใหม่แสดงดังภาพที่ 4.4 เมื่อจัดตำแหน่งลำโพงและจุดนั่งฟังใหม่แล้ว frequency response ของห้องโดยรวมดีขึ้นจากเดิม โดยกราฟมีความ flat ขึ้น ดังภาพที่ 4.5 โดยเห็นความ flat ของกราฟได้ชัดเจนที่ช่วงความถี่ 60-500 Hz ในวงกลมสีแดงของภาพที่ 4.6 ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่เป็นเสียงต่ำ-กลางต่ำ ได้แก่เสียงประเภทเบสและเสียงต่ำของเครื่องดนตรีประเภทให้เสียงย่านความถี่กลาง เช่น กีตาร์, เสียงร้อง และ คีย์บอร์ด เมื่อกราฟยิ่ง flat ยิ่งทำให้ได้ยินเสียงได้ตรงตามจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

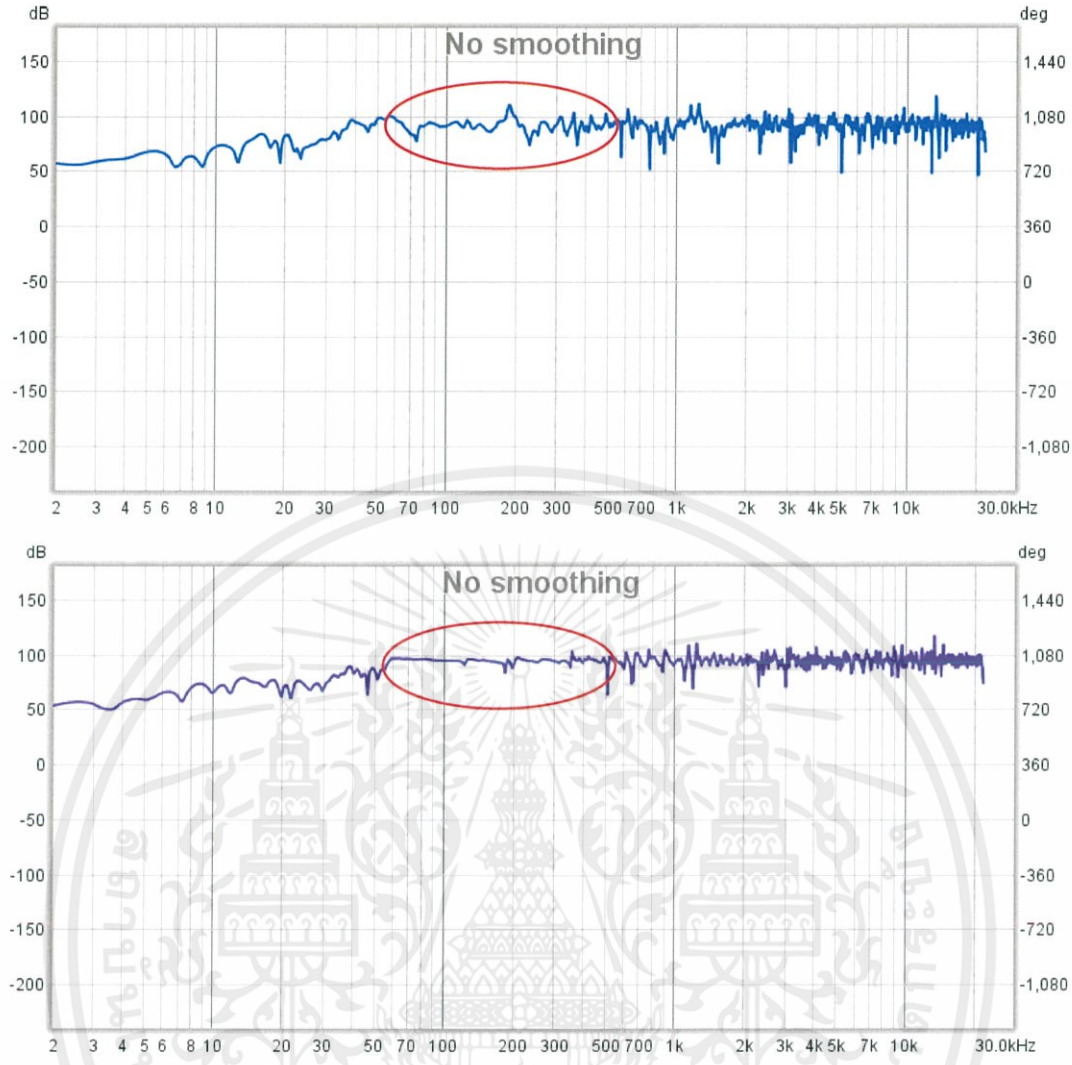


ภาพที่ 4.4 กราฟแสดง frequency response ของห้อง broadcast mixing ก่อนจัดตำแหน่งลำโพงและจุดนั่งฟังใหม่



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดง Frequency response ของห้อง Broadcast mixing หลังจัดตำแหน่งลำโพงและจุดนั่งฟังใหม่

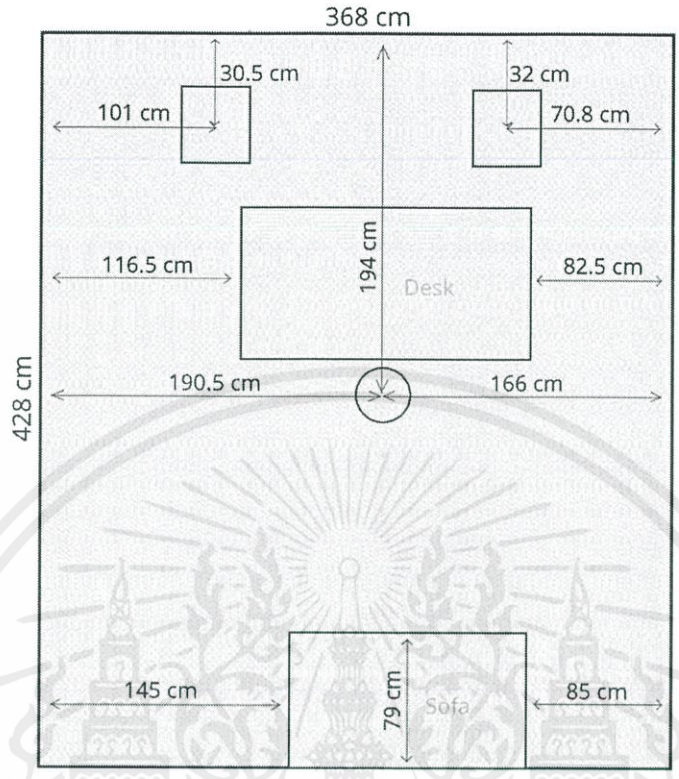
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



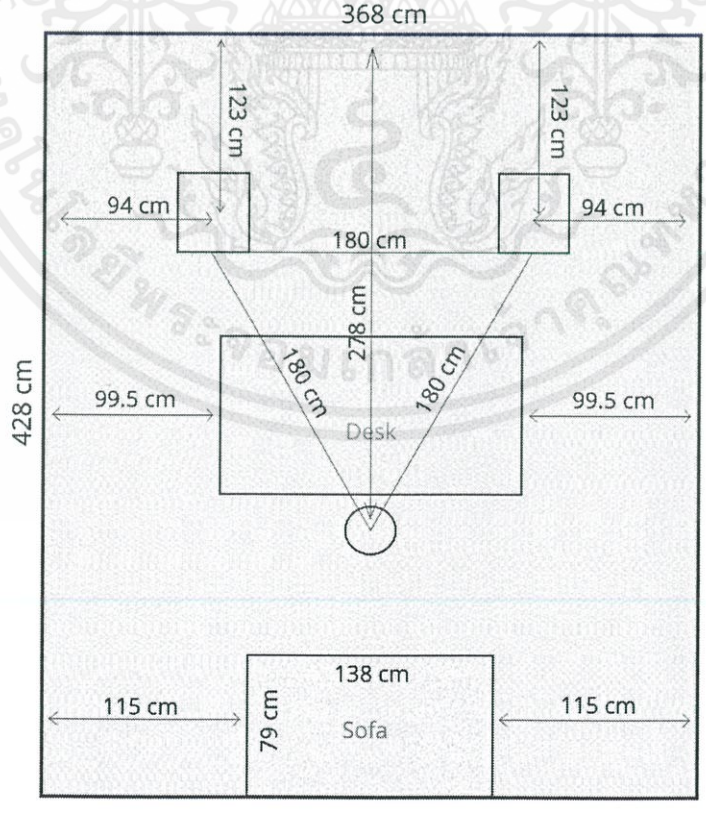
ภาพที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบ frequency response ของห้อง Broadcast mixing ก่อนและหลังจัดตำแหน่งลำโพงและจุดนั่งฟังใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 จุดวางลำโพงและจุดนั่งฟังก่อนและหลังจัดตำแหน่งใหม่ของห้อง broadcast mixing



ภาพที่ 4.7 แสดงจุดวางลำโพงและจุดนั่งฟังเดิมของห้อง broadcast mixing



ภาพที่ 4.8 แสดงจุดวางลำโพงและจุดนั่งฟังใหม่ของห้อง broadcast mixing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุป

การปรับปรุงห้อง broadcast mixing ในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาเสียงที่ทะลุผ่านผนังไปรบกวนห้องที่อยู่ติดกัน และปัญหาการได้ยินเสียงที่ต่างกันมากระหว่าง sound engineer กับลูกค้า สำหรับปัญหาเสียงที่ทะลุผ่านผนังไปรบกวนห้องที่อยู่ติดกัน ได้ทำการวัดหาค่า STC ของผนัง ซึ่งผนังระหว่างห้อง broadcast mixing กับห้อง edit 2 มีค่า STC 44 ตามหลักการที่ได้ศึกษาพบว่าผนังมีค่า STC ที่ต่ำกว่ามาตรฐานสำหรับห้องทำงานที่อยู่ติดกัน จึงศึกษาค้นคว้าวิธีเพิ่มค่า STC ดังแสดงในบทที่ 2 แล้วนำไปปรึกษากับทางสถานประกอบการ พบว่าทางสถานประกอบการยังไม่มีความประสงค์จะใช้งบประมาณในส่วนนี้ เนื่องจากมีการวางแผนที่จะใช้ห้องนี้เป็นการชั่วคราวเท่านั้น ทางคณะผู้จัดทำจึงได้เน้นการศึกษาและแก้ไขปัญหาไปที่เรื่องการได้ยินเสียงที่ต่างกันระหว่าง sound engineer กับลูกค้า โดยทำการหา sweet spot ใหม่ ผลที่ได้คือ ตำแหน่งการวางลำโพงและจุดนั่งฟังใหม่ของ sound engineer อยู่ในจุดปลอดภัยจากปัญหา room mode แต่จุดนั่งฟังของลูกค้า หากนั่งตรงกลางของโซฟาจะปลอดภัย แต่ถ้านั่งด้านขวาหรือซ้ายของโซฟา จะได้ยินเสียงทุ้มที่อาจดังหรือเบาเกินไป (ที่ความถี่ 280 Hz) และเมื่อวัดดูกราฟ frequency response ของห้อง พบว่า frequency response ของห้องดีขึ้นจากเดิม โดยเฉพาะเสียงทุ้มที่ช่วงความถี่ 60-500 Hz

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ดูดซับเสียงทุ้ม (bass trap) โดยติดตั้งที่ทั้งสี่มุมของห้องเพื่อลดการเสริมหรือหักล้างกันของเสียงที่สะท้อนออกมาจากผนังสามด้านที่มาบรรจบกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Maple Integration. (2555). ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound transmission loss, TL). แหล่งข้อมูล: http://mapleintegration.com/sound_transmission2.php. ค้นเมื่อวันที่ 8 มกราคม 2562.

[2] AVL Design Community. (2557). ค่าวิศวกรรมของเสียงที่มีผลต่อการใช้งานของห้องประชุม. แหล่งข้อมูล: http://www.avl.co.th/article.php?p=10&id=23. ค้นเมื่อวันที่ 8 มกราคม 2562.

[3] Zen Acoustic. ค่า STC คืออะไร. แหล่งข้อมูล: http://www.zen-acoustic.com/what-is-stc.html. ค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2562.

[4] Get Best Sound. เทคนิคการเลือกระบบผนังกันเสียงสำหรับกั้นระหว่างยูนิตในอาคารชุด. แหล่งข้อมูล: www.getbestsound.com/partywallguide.html. ค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2562.

[5] Z. Maekawa and P. Lord. (2547). Environmental and Architectural Acoustics. แหล่งข้อมูล: https://books.google.co.th/books?id=evCcS0KxYdEC&pg=PA338&lpg=PA338&dq=STC+by+federal+housing+administration&source=bl&ots=z5lFpWXu8U&sig=ACfU3U3MBW8h4NmJrjdEX_UrA_1m3iR9Mw&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwjY4aHulobgAhUKL48KHZj-CulQ6AEwFnoECAwQAQ#v=onepage&q=STC%20by%20federal%20housing%20administration&f=false. ค้นเมื่อวันที่ 24 มกราคม 2562.

[6] Zen Acoustic. การปรับปรุงค่า STC. แหล่งข้อมูล: http://www.zen-acoustic.com/how-to-improve-STC-rating.html. ค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2562.

[7] ประพันธ์ ฟักเทศ (2557). Room Acoustic(1). แหล่งข้อมูล: http://whathifi.whatgroupmag.com/room-acoustic1. ค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2562.

[8] ธานี โหมดสง่า. (2559). HOW-TO : วิธีเซ็ตอัพห้องฟังเพลงที่สมบูรณ์แบบ ตอนที่ ๑ / กำหนดตำแหน่งวางลำโพงแต่ละแชนเนล. แหล่งข้อมูล: https://gmlive.com/HOW-TO-วิธีเซ็ตอัพห้องฟังเพลงที่สมบูรณ์แบบตอนที่๑-กำหนดตำแหน่งวางลำโพงแต. ค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2562.

[9] Keen Acoustics Foundation. การหาตำแหน่งลำโพง. แหล่งข้อมูล: http://www.kaf-acoustics.com/articles/detail_pd.php?id_pd=15. ค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] Wikipedia. (2562). Speed of sound. แหล่งข้อมูล: https://en.wikipedia.org/wiki/Speed_of_sound. ค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2562

[11] SCG. แผ่นกันเสียง/แผ่นซับเสียง. แหล่งข้อมูล: https://www.scgbuildingmaterials.com/th/products/SCG-Acoustic-Insulation-ZoundBlock-Series-S050/8852424088155. ค้นเมื่อวันที่ 12 มกราคม 2562.

[12] Acoustimac. CORNER BASS TRAPS IN DMD MESH FABRIC 4'X2'X4" -15 COLORS. แหล่งข้อมูล: https://www.acoustimac.com/cbt424. ค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2562.

[13] Tim Perry. Bass Traps 101: Placement Guide. แหล่งข้อมูล: http://arqen.com/bass-traps-101/placement-guide/. ค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2562.

[14] Sweetwater. Yamaha DXR15 1100W 15" Powered Speaker. แหล่งข้อมูล: https://www.sweetwater.com/store/detail/DXR15--yamaha-dxr15-1100w-15-inch-powered-speaker. ค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2562.

[15] Musician's Friend. dbx RTA-M Reference Microphone for DriveRack PA. แหล่งข้อมูล: https://www.musiciansfriend.com/pro-audio/dbx-rta-m-reference-microphone-for-driverack-pa. ค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2562.

[16] Sweetwater. Mogami CorePlus Microphone Cable - 15' XLR-XLR. แหล่งข้อมูล: https://www.sweetwater.com/store/detail/MCPXLR15--mogami-coreplus-microphone-cable-15-foot-xlr-xlr. ค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2562.

[17] Alexnld.com. GM1356 DIGITAL USB NOISE METER SOUND LEVEL METER DECIBEL METER 30-130DB A/C FAST/SLOW DB + SOFTWARE WITH CARRY BOX. แหล่งข้อมูล: https://alexnld.com/product/gm1356-digital-usb-noise-meter-sound-level-meter-decibel-meter-30-130db-a-c-fast-slow-db-software-with-carry-box/. ต้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2562.

[18] Chris Frasco. (2556). New Steinberg UR-22 Audio Interface. แหล่งข้อมูล: https://www.bhphotovideo.com/explora/news/new-steinberg-ur-22-audio-interface. ค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2562.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[19] B&H PHOTO-VIDEO-PRO AUDIO. Pearstone PM-TRS 1/4" TRS Male to 1/4" TRS Male Interconnect Cable (6'). แหล่งข้อมูล: https://www.bhphotovideo.com/c/product/1036635-REG/pearstone_pm_trs06_pm_series_trs_m_to.html. ค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2562.

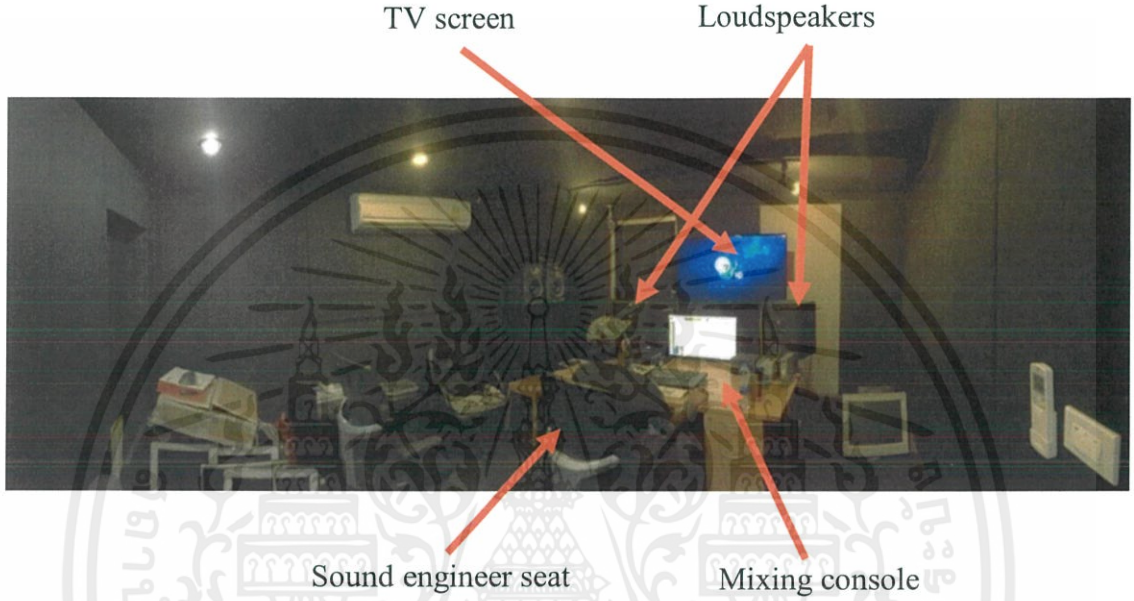
[20] REW. Features. แหล่งข้อมูล: https://www.roomeqwizard.com/features.html. ค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2562.

[21] mirzamubasher. I Will Assist Your Matlab Projects,Tasks And Simulations. แหล่งข้อมูล: https://www.fiverr.com/mirzamubasher/do-matlab-projects-and-simulations. ค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2562.

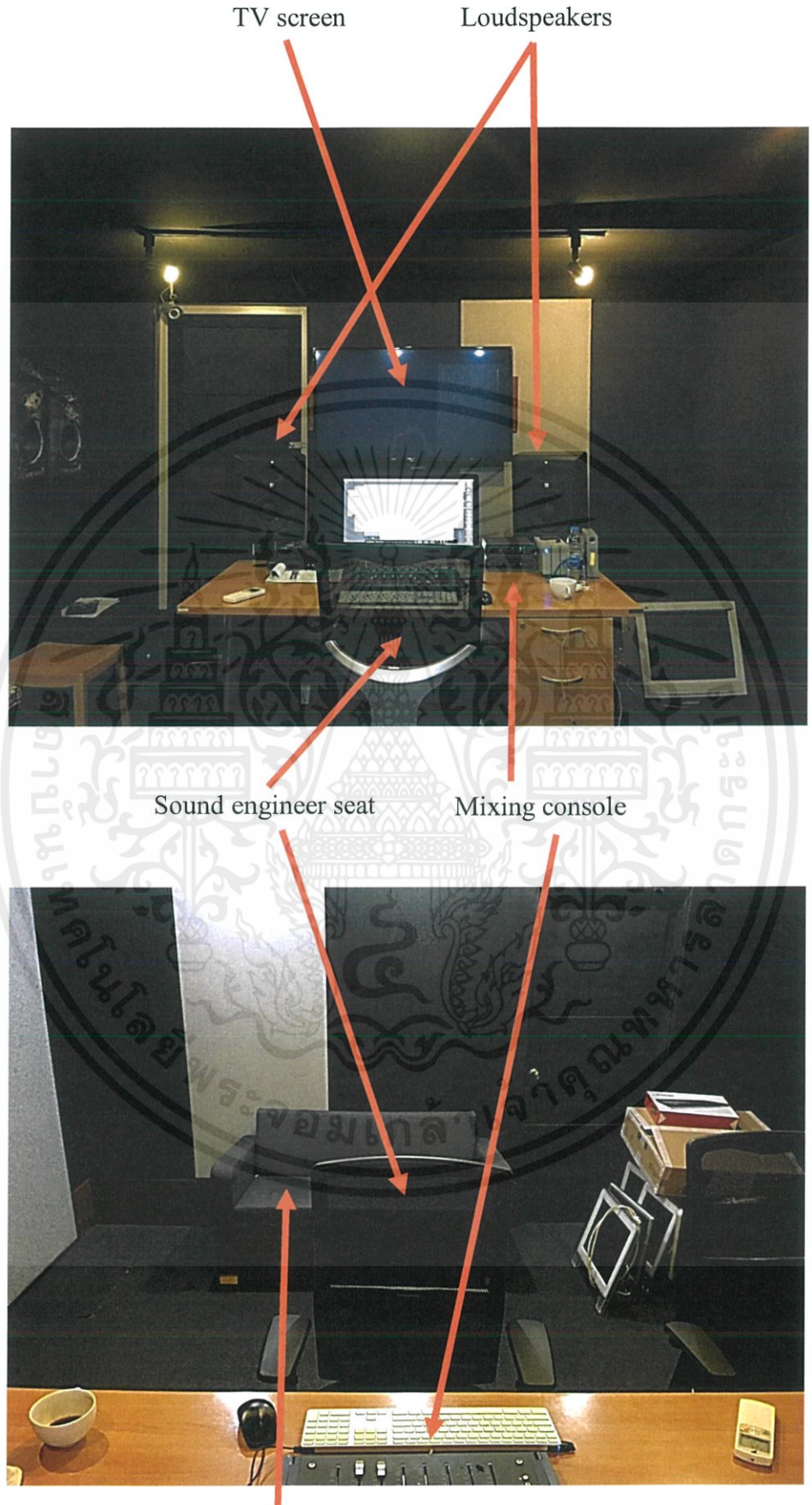
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ภาพสถานที่จัดทำโครงการ



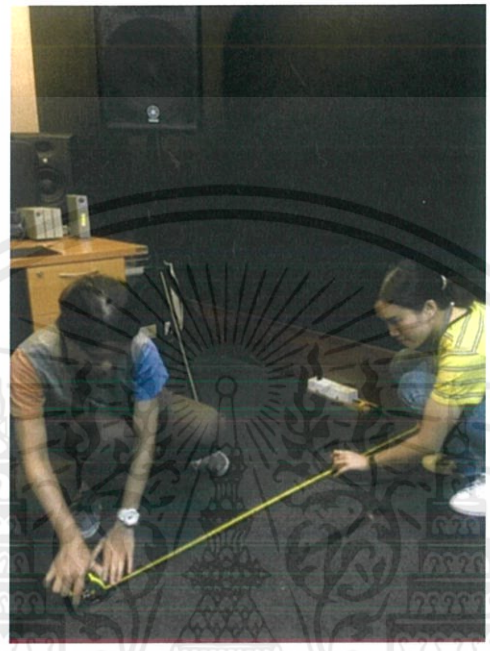
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

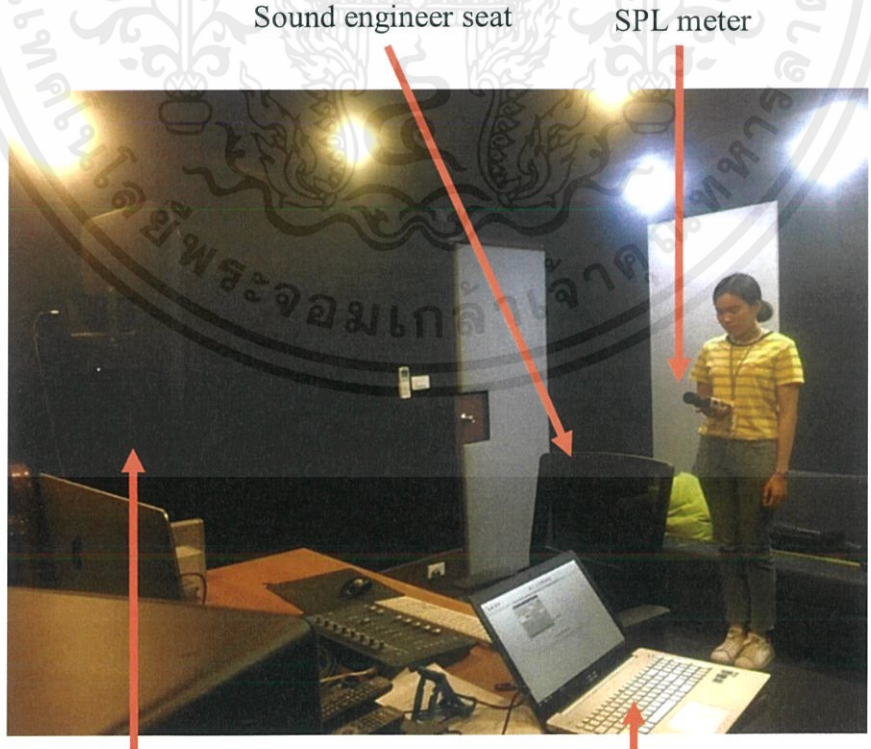


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ภาพการวัดเสียงภายในห้อง





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ลิงก์ดาวน์โหลดโปรแกรม

Room EQ Wizard: https://www.roomeqwizard.com

MATLAB: https://www.mathworks.com/products/matlab.html

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวณภัทร ฟ้ากระจ่าง เลขประจำตัวนักศึกษา 58010343

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สาขาวิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ที่อยู่ปัจจุบัน 129/271 V condo ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กทม. 10520

โทรศัพท์มือถือ 086-8552208

Email napatfaah@gmail.com

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี

คุณวุฒิการศึกษา	สถาบัน	ปีการศึกษาที่จบ
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล	2558
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล	2554

นางสาวธัญวรัตม์ จำปาศรี เลขประจำตัวนักศึกษา 58010577

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สาขาวิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ที่อยู่ปัจจุบัน 5/2 ม.1 ต.คลองขุด อ.ท่าใหม่ จันทบุรี 22120

โทรศัพท์มือถือ 084-7187315

Email touchwarun@gmail.com

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี

คุณวุฒิการศึกษา	สถาบัน	ปีการศึกษาที่จบ
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดจันทบุรี	2558
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนยอแซฟวิทยา	2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้