รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

โครงการออกแบบระบบอะคูสติกภายในพร้อมติดตั้งระบบโสตทัศนูปกรณ์เพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี

Acoustics and Audio-visual Systems Design for The Best Acoustics Quality

นางสาวชลนภัส พฤษภา

นางสาววิรินธร ครองไตรรัตน์

ภาควิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

โครงการออกแบบระบบอะคูสติกภายในพร้อมติดตั้งระบบโสตทัศนูปกรณ์เพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี

Acoustics and Audio-visual Systems Design for The Best Acoustics Quality

นางสาวชลนภัส พฤษภา
นางสาววิรินธร ครองไตรรัตน์

ภาควิชาวิศวกรรมดนตรีและสื่อประสม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา โครงการออกแบบระบบอะคูสติกภายในพร้อมติดตั้งระบบโสตทัศนูปกรณ์เพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นางสาวชลนภัส พฤษภา และนางสาววิรินธร ครองไตรรัตน์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมดนตรี และสื่อประสม

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ นายพลสิทธิ์ ทินกร ณ อยุธยา

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายดิเรก ตั้งจิตยืนยง

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท แอ็ดว้านซ์ เทคโนโลยี คอนแทรคติ้ง จำกัด

บทคัดย่อ

โครงการสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการออกแบบระบบอะคูสติกภายในพร้อมติดตั้งระบบโสตทัศนูปกรณ์เพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดีของห้อง ประชุมสภา ห้องรับรอง และห้องอเนกประสงค์ ชั้น 5 อาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ในปัจจุบันการออกแบบห้องมักไม่ได้ให้ความสำคัญกับการออกแบบระบบเสียงหรือระบบอะคูสติกภายในห้องมากนักเพราะเสียงเป็นสิ่งที่ไม่สามารถมองเห็นได้ ทำให้ถูกละเลยไปแต่ในความเป็นจริงนั้นเสียงมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำกิจกรรมต่างๆ เช่น ประสิทธิภาพในการได้ยินของผู้ฟังที่อยู่ในห้องประชุม ถ้าห้องมีประสิทธิภาพเสียงที่ไม่ดีก็อาจจะทำให้ผู้ฟังได้รับข้อมูลที่ผิดเพี้ยนไป ดังนั้นการออกแบบระบบอะคูสติกในพื้นที่ที่ต้องการสภาพแวดล้อมทางเสียงที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง นอกจากจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำกิจกรรมต่างๆแล้วยังส่งผลให้ผู้ที่อยู่ในสถานที่นั้นรู้สึกสงบและสบายอีกด้วย การออกแบบระบบอะคูสติกภายใน และการติดตั้งระบบโสตทัศนูปกรณ์ก็เพื่อให้สถานที่นั้นๆมีประสิทธิภาพเสียงที่ดีต่อการได้ยิน

Co-operative Title: Acoustics and Audio-visual Systems Design for The Best Acoustics Quality

Student Intern Name: Miss Chonnapat Prueksapa and Miss Wirintron Krongtriratn

Faculty: Engineering **Department:** Music Engineering and multimedia

Advisor Name: Mr.Phonlasit Thinnakorn Na Ayuthaya

Mentor Name: Mr.Dhireak Tangjityuenyong

Company : Advanced Technology Contracting Co.,Ltd

ABSTRACT

The cooperative education is part of a project to acoustics and audio-visual systems design for the best acoustics quality of conference room ,multipurpose room and reception room in the Nakhon Pathom Rajabhat University.At present interioi designers normally does not receive much attention in the acoustical parameters because the sound, what can't be seen.In fact, the sound is important to the efficiency of the activities such as the hearing ability of the listeners in conference room.If the room has poor sound quality that could make the listeners get the wrong information.Therefore,the design of acoustic to have good sound quality that suits place is important.In addition,it will help to improve the efficiency of the activities and make them feel calm and comfortable.Design of acoustic and audio-visual system is to provide a place that has good sound quality to hear.

กิตติกรรมประกาศ

การที่ข้าพเจ้าได้มาปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท แอ็ดว้านซ์ เทคโนโลยี คอนแทรคติ้ง จำกัดตั้งแต่วันที่ 5 มิถุนายน พ.ศ.2560 ถึงวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ.2560 ส่งผลให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้และประสบการณ์ต่างๆ ที่มีค่ามากมาย สำหรับรายงานวิชาสหกิจศึกษาฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายฝ่าย ดังนี้

1. คุณดิเรก ตั้งจิตยืนยง ซึ่งเป็น Audio Visual Division Chief
2. คุณกุลพัชร หมวดสง ซึ่งเป็น ผู้จัดการฝ่ายออกแบบ

รวมถึงบุคลากรท่านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการจัดทำรายงาน

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลเป็นที่ปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแล และให้ความเข้าใจเกี่ยวกับชีวิตของการทำงานจริง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ชลนภัส พฤษภา และ วิรินธร ครองไตรรัตน์
ผู้จัดทำรายงาน
10 พฤศจิกายน 2560

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญ(ต่อ).....V

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญภาพ.....VIII

สารบัญภาพ(ต่อ).....VIIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....1

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....1

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1.1 เสียงคืออะไร.....3

2.1.2 การเกิดเสียง.....5

2.1.3 ความถี่.....5

2.1.4 ความเร็วของเสียง.....5

2.1.5 คุณสมบัติของเสียง.....7

2.1.6 ทิศทางของต้นกำเนิดเสียง.....8

2.1.7 ปรากฏการณ์ของเสียง.....9

2.1.8 ค่ามาตรฐานทางระบบอะคูสติก.....14

2.1.9 ช่วงความถี่ที่หูมนุษย์สามารถได้ยิน.....20

2.1.10 ความถี่ของเสียงที่มีผลต่อการรับฟัง.....21

2.1.11 การเกิด Audio feedback.....22

2.1.12 กฎกำลังสองผกผัน.....22

2.1.13 วัสดุกันเสียง.....22

2.1.14 การสั่นพ้องของเสียง.....23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.15 การพิจารณาในการออกแบบให้มีการรับฟังเสียงที่ดี....24
2.1.16 การออกแบบห้องประชุม....29
2.1.17 ประเภทของสัญญาณภาพ....37
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....39
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย....41
3.1 กำหนดแนวคิดการออกแบบระบบอะคูสติก....41
3.2 กำหนดแนวคิดการออกแบบระบบโสตทัศนูปกรณ์....41
3.3 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบอะคูสติก....41
3.4 ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ....41
3.4.1 โปรแกรมAUTOCAD....41
3.4.2 โปรแกรม SKETCH UP....42
3.4.3 โปรแกรม EASE....42
3.5 ศึกษาเครื่องวัดเสียง....43
3.6 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ที่ต้องออกแบบ....44
3.7 ทำการจัดรูปแบบของห้องที่ต้องการออกแบบ....44
3.7.1 ห้องประชุม....44
3.7.2 ห้องอเนกประสงค์....45
3.7.3 ห้องรับรอง....46
3.8 วัดค่าทางอะคูสติก....46
3.9 ออกแบบระบบอะคูสติกของห้อง....47
3.9.1 การออกแบบผนังกั้นเสียง....47
3.9.2 การออกแบบผนังควบคุมเสียงภายใน....48
3.9.3 เขียนแบบโครงสร้างห้องผ่านโปรแกรม SKETCH UP....48
3.9.4 จำลองค่าทางอะคูสติกผ่านโปรแกรม EASE....49
3.10 ออกแบบระบบโสตทัศนูปกรณ์ของห้อง....50
3.10.1 ออกแบบระบบเสียง....50
3.10.2 ออกแบบระบบภาพ....54
บทที่ 4 ผลการวิจัย....58
4.1 ผลการออกแบบระบบอะคูสติก....58

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.1 ค่า RT60 ก่อนออกแบบ....58
4.1.2 ค่า RT60 หลังออกแบบ....60
4.2 ผลการออกแบบระบบโสตทัศนูปกรณ์....61
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....62
5.1 สรุปผลการวิจัย....62
5.2 ข้อเสนอแนะ....62
เอกสารอ้างอิง....64
ภาคผนวก....65
ภาคผนวก ก....65
ภาคผนวก ข....66
ภาคผนวก ค....67

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงตัวอย่างค่า RT60 ของห้องแต่ละรูปแบบ.....14
2.2 แสดงค่าการแบ่งเกรดของวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง.....17
2.3 ปริมาตรของห้องแต่ละประเภท.....37

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 แสดงว่าเสียงไม่สามารถเดินทางในสุญญากาศได้....3
2.2 คลื่นของน้ำอันเกิดจากการขว้างก้อนหินของน้ำ....4
2.3 ส่วนสำคัญของคลื่นเสียง แสดงการส่งคลื่น เกิดการอัดและการขยายตัว....4
2.4 ความเร็วของคลื่นเสียงที่วิ่งไปสู่ผู้รับฟัง....6
2.5 รูปร่างของคลื่นเสียง (Wave forms) ของอุปกรณ์เครื่องมือและเครื่องดนตรี 3 ชิ้น....7
2.6 การสะท้อนของคลื่นเสียง....10
2.7 การหักเหของเสียง....11
2.8 การเลี้ยวเบนของเสียง....12
2.9 มาตรฐานค่า NC ของห้องแต่ละรูปแบบ....15
2.10 มาตรฐานค่า STC ของผนัง....15
2.11 แสดงค่ามาตรฐาน Reverberation Time ที่เหมาะสมกับประเภทของห้อง....17
2.12 ช่วงความถี่ของเสียงแต่ละเครื่องดนตรี....21
2.13 รูปการสะท้อนกลับไปกลับมา 3 ทิศทางของห้อง....23
2.14 เสียงออกจากต้นกำเนิดเสียงแล้วสะท้อนกลับสู่ต้นเสียง....24
2.15 เสียงสะท้อนและเสียงจากต้นกำเนิดเสียงโดยตรง....25
2.16 เสียงสะท้อนรวมกันอันเกิดจากพื้นผิวเว้าเข้า....25
2.17 การแก้ไขพื้นผิวเว้าเข้าด้วยพื้นผิวเว้าออก....26
2.18 สัดส่วนรูปทรงห้องที่เหมาะสม....27
2.19 รูปทรงห้องที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส....27
2.20 ส่วนประกอบของห้องประชุมรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า....30
2.21 ส่วนประกอบของห้องประชุมแบบรูปพัด....30
2.22 ห้องประชุมแบบรูปเกือกม้า....31
2.23 ห้องประชุมรูปทรงกลม....31
2.24 ห้องประชุมแบบอิสระ....32
2.25 จุดที่ตั้งแผงสะท้อนเสียง....34
2.26 ตัวแผงสะท้อนเป็นร่อง....34
2.27 แผงสะท้อนติดวัสดุดูดซับเสียง....35
2.28 การบังคับทิศทางของเสียงไปทางทิศทางที่ต้องการ....35
2.29 การหักมุมฝ้าเพดานด้านหลังเพื่อให้เสียงสะท้อนตกลงส่วนหลังของที่นั่ง....35

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

2.30 การหามุมมององศาของ reflector....36
2.31 การหา Image ของอาคาร....36
3.1 โปรแกรม AutoCAD....42
3.2 โปรแกรม SketchUp....42
3.3 โปรแกรม EASE....43
3.4 เครื่องวัดเสียง NTi....44
3.5 รูปแบบห้องประชุม....45
3.6 รูปแบบห้องอเนกประสงค์....45
3.7 รูปแบบห้องรับรอง....46
3.8 ค่า NC (Noise Criteria for Rooms) เกณฑ์ของเสียงรบกวนที่วัดได้....46
3.9 ค่า RT60 (Reverberation Time) ค่าระยะเวลาความก้องสะท้อนที่วัดได้....47
3.10 การออกแบบผนังกั้นเสียง....48
3.11 การออกแบบผนังควบคุมเสียงภายใน....48
3.12 โครงสร้างของห้องประชุมก่อนและหลังการปรับปรุง....49
3.13 โครงสร้างของห้องอเนกประสงค์ก่อนและหลังการปรับปรุง....49
3.14 โครงสร้างของห้องรับรองก่อนและหลังการปรับปรุง....49
3.15 การจำลองค่าทางอะคูสติกของห้องประชุมผ่านโปรแกรม EASE....50
3.16 การจำลองค่าทางอะคูสติกของห้องอเนกประสงค์ผ่านโปรแกรม EASE....50
3.17 การจำลองค่าทางอะคูสติกของห้องรับรองผ่านโปรแกรม EASE....50
3.18 ตำแหน่งการวางลำโพงห้องอเนกประสงค์....52
3.19 ตำแหน่งการวางลำโพงห้องประชุม....53
3.20 ระยะการติดตั้งไมโครโฟน....54
3.21 การติดตั้งไมโครโฟนชุดประชุม....54
3.22 ความละเอียดของภาพ....55
3.23 ขนาดและสัดส่วนของภาพ....56
4.1 ค่า RT60 ของห้องรับรองก่อนออกแบบ....58
4.2 ค่า RT60 ของห้องเอนกประสงค์ก่อนออกแบบ....59
4.3 ค่า RT60 ของห้องประชุมก่อนออกแบบ....59
4.4 ค่า RT60 ของห้องรับรองหลังออกแบบ....60

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.5 ค่า RT60 ของห้องอเนกประสงค์หลังออกแบบ.....60
4.6 ค่า RT60 ของห้องประชุมหลังออกแบบ.....61
4.7 ค่า STI ของห้องอเนกประสงค์.....61

บทที่ 1
บทนำ

ในการออกแบบห้องให้มีประสิทธิภาพจะต้องอาศัยปัจจัยหลายๆอย่าง เช่น ความสวยงาม ความสะดวกสบายในการใช้งาน รวมถึงสภาพแวดล้อมภายในห้อง โดยการออกแบบห้องจะต้องคำนึงถึงเสียงที่เกิดภายในห้อง ดังนั้นการออกแบบระบบอะคูสติกและระบบโสตทัศนูปกรณ์ จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การออกแบบห้องมีประสิทธิภาพและมีคุณภาพเสียงที่ดี

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในยุคปัจจุบันการทำงานอยู่ในห้องเป็นเวลานานๆเป็นสิ่งที่หลีกเลี้ยงได้ยาก ดังนั้นห้องที่ทำงานควรจะเป็นห้องที่ดี เหมาะสมกับการทำงาน และไม่มีเสียงรบกวนเกิดขึ้น ซึ่งลักษณะห้องที่ดีจะต้องเกิดจากกระบวนการคิดและการออกแบบในด้านความสวยงาม ด้านระบบอะคูสติกและระบบโสตทัศนูปกรณ์ ซึ่งทางมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมได้มีแนวคิดที่จะปรับเปลี่ยนห้องเรียน ชั้น 5 อาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ให้เป็นห้องประชุม ห้องอเนกประสงค์ และห้องรับรอง เพื่อรองรับการทำงานของคณะอาจารย์ภายในมหาลัย และได้เลือกบริษัท แอ็ดว้านซ์ เทคโนโลยี คอนแทรคติ้ง จำกัด ในการออกแบบห้อง รวมทั้งออกแบบระบบอะคูสติกและระบบโสตทัศนูปกรณ์ทั้งหมด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อจัดสรรพื้นที่ภายในอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมให้เหมาะสมกับการใช้งาน

1.2.2 เพื่อลดปัญหาเสียงรบกวนจากภายนอก และภายในให้มีคุณภาพเสียงที่ดี

1.2.3 เพื่อเพิ่มบรรยากาศในการทำงาน และพัฒนาคุณภาพการทำงานให้ดีขึ้น

1.2.4 เพื่อรองรับรับระบบภาพ และเสียงให้ง่ายแก่การใช้งาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาความแตกต่างของค่าทางอะคูสติกระหว่างซอฟแวร์และเครื่องมือวัด

1.3.2 วิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างว่ามีผลต่อคุณภาพเสียงภายในห้อง

1.3.3 ศึกษาการวางตำแหน่งของระบบโสตทัศนูปกรณ์

1.3.4 วิเคราะห์หาสาเหตุของห้องที่ทำให้เกิดเสียงรบกวน

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 กำหนดแนวคิดการออกแบบระบบอะคูสติก

1.4.2 กำหนดแนวคิดการออกแบบระบบโสตทัศนูปกรณ์

1.4.3 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบอะคูสติก

1.4.4 ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ

1.4.4.1 โปรแกรมAUTOCAD

1.4.4.2 โปรแกรม SKETCH UP

1.4.4.3 โปรแกรม EASE (Enhanced Acoustic Simulator for Engineers)

1.4.5 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ที่ต้องออกแบบ

1.4.6 ทำการจัดรูปแบบของห้องที่ต้องการออกแบบ

1.4.6.1 ห้องประชุม

1.4.6.2 ห้องอเนกประสงค์

1.4.6.3 ห้องรับรอง

1.4.7 ทำการออกแบบระบบอะคูสติกของห้อง

1.4.7.1 การออกแบบผนังกั้นเสียง

1.4.7.2 การออกแบบผนังควบคุมเสียงภายใน

1.4.8 ทำการออกแบบระบบโสตทัศนูปกรณ์ของห้อง

1.4.8.1 ออกแบบระบบเสียง

1.4.8.2 ออกแบบระบบภาพ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการทำสหกิจศึกษาในครั้งนี้ทางเราหวังว่าจะสามารถนำความรู้ทางทฤษฎีที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ สามารถนำไปปฏิบัติงานได้จริง และได้เรียนรู้การออกแบบระบบภาพและเสียงแบบสมบูรณ์ เพื่อที่จะสามารถปรับปรุงห้องธรรมดาที่มีเสียงรบกวน ให้กลายเป็นห้องที่มีคุณภาพของเสียงที่ดีเหมาะสมกับการใช้งาน

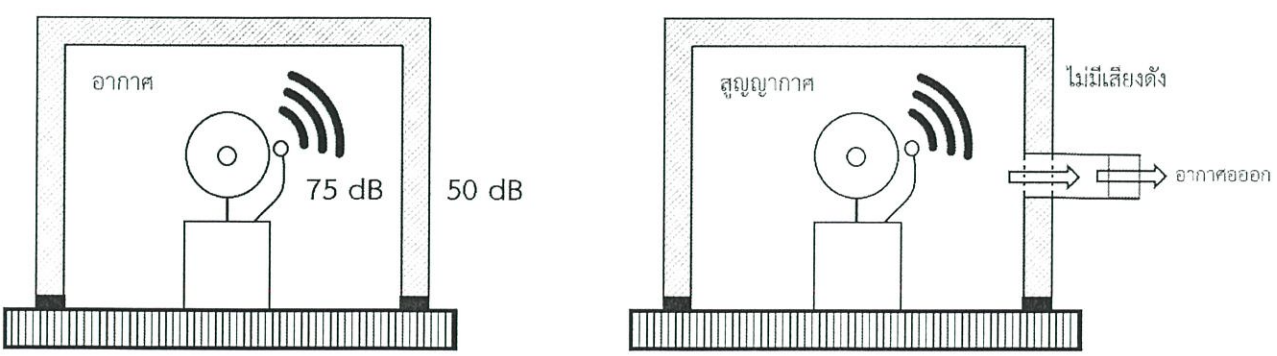
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

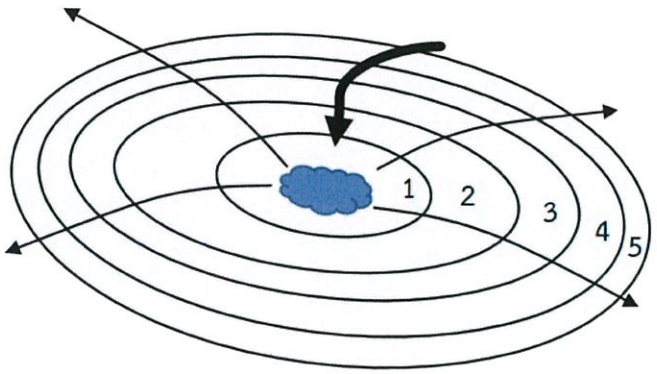
2.1.1 เสียงคืออะไร

ตามหลักการของวิชาฟิสิกส์ เสียงเป็นคลื่น (wave) ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับแสงสามารถทำให้เกิดโสตสัมผัส คือหูที่อยู่ในสภาพปกติได้ยินได้ ส่วนแสงนั้นจะสัมผัสด้วยตา คลื่นเสียงเป็นคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนในอากาศและวัตถุอย่างอื่น กระสั่นสะเทือนนี้ทำให้โมเลกุลของตัวกลางเกิดการสั่นไปด้วย อันเป็นผลทำให้เสียงแผ่ไปได้ในตัวกลางนั้น ทิศทางการสั่นของโมเลกุลของตัวกลางจะขนานกับทิศทางการแผ่ของเสียง อันเป็นสมบัติของคลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการแผ่ เมื่อมีการถ่ายทอดคลื่นตัวกลางนี้จะต้องมีการยืดหยุ่น(Elasticity)ของโมเลกุลของวัตถุ ซึ่งตัวกลาง (Medium) ที่กล่าวถึงนี้จะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซได้ แต่ในสุญญากาศเสียงจะผ่อนไม่ได้เลย คลื่นเสียงจัดว่าเป็นเชิงคลื่นกล (Mechancial Wave) ชนิดหนึ่งต่างจากแสง ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็ก (Magnetic Wave) จึงไม่จำเป็นต้องมีตัวกลาง แสงสามารถส่องผ่านสุญญากาศได้

การเกิดคลื่นเสียงในอากาศ อันเกิดจากการสั่นของต้นกำเนิดเสียงนั้น ทำให้โมเลกุลในอากาศเกิดการเคลื่อนที่ เรียกว่า Wave Motion หรือการเคลื่อนไหวของคลื่นใน 2 ลักษณะ คือ ในลักษณะที่เป็นช่วงอัด หรืออากาศทั้งสองนี้เกิดเป็นคลื่นขึ้นแผ่ออกไปรอบๆ คล้ายกับการโยนหินลงไปในบ่อน้ำ จะเห็นคลื่นของน้ำแผ่ออกไปรอบด้าน ถ้าก้อนหินก้อนเล็กคลื่นของน้ำก็จะเล็ก และหายไปโดยเร็ว หากเป็นหินก้อนใหญ่เมื่อโยนลงไป คลื่นที่เกิดขึ้นในน้ำก็จะใหญ่มากและค่อยๆหมดไปอย่างช้าๆ เช่นเดียวกับการเกิดคลื่นของเสียง ถ้าเป็นเสียงค่อยคลื่นเสียงจะเล็กและเงียบหายไปได้เร็ว ถ้าเป็นเสียงดังคลื่นเสียงจะใหญ่และค่อยๆหายไปอย่างช้าๆลักษณะที่กล่าวนี้เป็นปรากฏการณ์ของสิ่งที่เราเรียกว่า แอมพลิจูด (Amplitude)

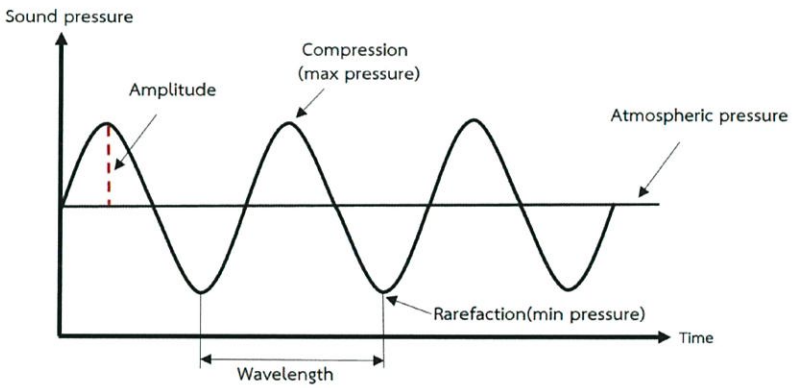


ภาพที่ 2.1 แสดงว่าเสียงไม่สามารถเดินทางในสุญญากาศได้



ภาพที่ 2.2 คลื่นของน้ำอันเกิดจากการขว้างก้อนหินของน้ำ

นักวิทยาศาสตร์ทำการทดลองโดยเอาขวดแก้วครอบกระดิ่งไฟฟ้า แล้วสูบอากาศในขวดแก้วออกให้หมดจนเป็นสุญญากาศ เมื่อสูบอากาศออกเสียงจะเบาลงๆ จนเมื่อไม่มีอากาศในขวดแก้วแล้วเราจะไม่ได้ยินเสียงกระดิ่งดังอีกเลย แสดงว่าการเคลื่อนที่ของเสียงต้องอาศัยตัวกลาง



ภาพที่ 2.3 ส่วนสำคัญของคลื่นเสียง แสดงการส่งคลื่น เกิดการอัดและการขยายตัว

ในรูปที่ 3 แสดงการส่งคลื่นนั้นเกิดติดต่อกันไปเหมือนดังเช่น คลื่นของน้ำ เมื่อโยนก้อนหินขนาดใหญ่ลงไป ทำให้เกิดการอัด (Compressions) และการขยาย (Rarefication) ช่วงของคลื่นขึ้นเราเรียกว่าแอมพลิจูด (Amplitude) แอมพลิจูดหมายถึงระยะการกระชับ (Displacement) ที่มีค่ามากที่สุดจากแนวสมดุลไปยังสันคลื่นหรือท้องคลื่น อธิบายง่ายๆ คือ แอมพลิจูดเป็นตัวแสดงกับพลังงานของคลื่นนั่นเอง ถ้าแอมพลิจูดพุ่งขึ้นสูง แสดงว่าพลังงานของคลื่นมีค่ามาก แต่ถ้าแอมพลิจูดต่ำพลังงานของคลื่นจะมีค่าน้อย เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่า แอมพลิจูดของคลื่นเสียงแสดงถึงความดังค่อยของเสียง ส่วนความยาวของคลื่น (Wavelength) นั้นคือระยะทางที่เสียงเดินทางไปได้ในช่วงเวลาที่ตัวกลางครบ 1รอบโดยใช้สัญลักษณ์ λ (Lambda) แทนความยาวคลื่น

2.1.2 การเกิดเสียง

เสียงมีลักษณะเป็นคลื่น ที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุหรือแหล่งกำเนิด ในการแยกแยะเสียงสูงและเสียงต่ำนั้น ขึ้นอยู่กับความเร็วในการสั่นสะเทือนของวัตถุ วัตถุที่สั่นเร็วเสียงจะสูงกว่าวัตถุที่สั่นช้ากว่า โดยจะมีหน่วยวัดความถี่ของการสั่นสะเทือนต่อวินาทีเป็น เฮิร์ตซ์ (Hz) เช่น ความถี่ 20 Hz คือการสั่นสะเทือน 20 ครั้งต่อวินาทีนั่นเอง ความถี่ของเสียงจะมีค่าเท่ากับความถี่ของแหล่งกำเนิด ซึ่งในขณะที่มีการสั่นของวัตถุ โมเลกุลของตัวกลาง ซึ่งในที่นี้หมายถึงอากาศ การสั่นของวัตถุ จะทำให้เกิดการถ่ายทอดพลังงาน ทำให้เกิดความดันอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่ง ทำให้เกิดเป็นช่วงอัด และ ช่วงขยายโดยที่ช่วงบีบอัดคือบริเวณที่อากาศบีบอัดเข้าหากัน บริเวณนี้มีจะมีความดันอากาศสูงสุด ส่วนช่วงขยายตัวคือบริเวณที่อนุภาคตัวกลางแยกห่างจากกัน บริเวณนี้จะมีความดันอากาศต่ำสุด เปรียบเทียบได้กับการโยนก้อนหินลงในน้ำ ก้อนหินเปรียบเสมือนแหล่งกำเนิด มันจะสร้างให้น้ำเกิดการกระเพื่อมเป็นอนุกรม การกระเพื่อมก็คือตำแหน่งคลื่นที่มีความหนาแน่นของโมเลกุลที่ถูกดึงไว้ด้วยกัน ขณะเดียวกันก็มีส่วนที่โมเลกุลถูกขยาย ซึ่งบริเวณนี้จะมีลักษณะอ้วนหนา การเดินทางของเสียงจะมีลักษณะคล้ายกับการบีบอัดและผ่อนคลาย ในช่วงที่เกิดการบีบอัดหรือคอมเพรสชัน บริเวณนั้นจะมีความหนาแน่นของโมเลกุลสูงเพราะถูกดึงไว้ด้วยกัน และส่วนที่ผ่อนคลายระดับความหนาแน่นของโมเลกุลจะเบาบางเนื่องจากถูกผลักออกจากกัน หรือเรียกส่วนนี้ว่าการขยาย ในคลื่นนั้น บริเวณส่วนที่มีการคอมเพรสชันสูงจะมีความดันสูงและส่วนที่ผ่อนคลายจะมีความดันต่ำ

2.1.3 ความถี่ (Frequency)

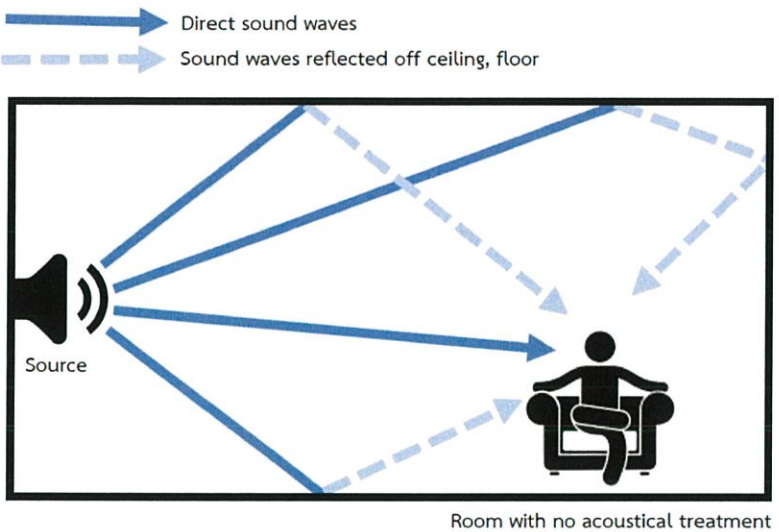
ความถี่คือการสะท้อนกลับไปกลับมาของคลื่นจากต้นกำเนิดของเสียง ผ่านตัวกลาง 1 วินาที การสั่นสะเทือนของคลื่น (Frequency of Vibration) เป็นปรากฏการณ์ทางกายภาพ (Physical Phenomenon) สามารถใช้เครื่องมือวัดได้ และมีความเกี่ยวข้องกับความดัง (Pitch) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทางจิตวิทยา (Psychological Phenomenon) ความถี่จะวัดเป็นหน่วยของไซเคิลต่อวินาที (Cps) หรือเรียกสั้นๆว่าไซเคิล (Cycles) ซึ่งเรากำหนดเครื่องดนตรีที่เป็นสายให้มีความถี่โดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 256 ไซเคิล (เสียงเปียโน มิเดอร์ซี) อันเป็นตัวเลขที่ได้จากการทดลองในห้องทดลองเสียง เราจะใช้ตัวเลขนี้เป็นมาตรฐานในกาคำนวณต่อไป

ความถี่ของเสียงคิดเป็นจำนวนรอบหรือไซเคิลต่อวินาที สำหรับหูของคนนั้นมีความไวมากที่สุด ต่อเสียงที่มีความถี่ระหว่าง 2,000 ถึง 4,000 ไซเคิลต่อวินาที (ปัจจุบันใช้เรียก Hertz แทน)

2.1.4 ความเร็วของเสียง (Speed Of Sound)

ถ้าเสียงเดินทางได้เร็วเท่าๆกับเสียง ซึ่งเดินทางไปถึง 186,000 ไมล์ ต่อวินาที ปัญหาเรื่องการรับฟังเสียงที่ดีในหอประชุมใหญ่ หรือโรงละครก็จะไม่เกิดขึ้น แต่การเดินทางของคลื่นเสียงแต่ละตัวช้ามากทำให้เกิดปัญหาตามมาในเรื่องของการได้ยิน ในอุณหภูมิปกติของห้องทั่วๆไป เสียงจะเดินทางได้เร็วเพียง 1130 ฟุตต่อวินาทีเท่านั้น และสิ่งที่เกิดขึ้นก็คือการเกิดการสะท้อนของเสียง Echoes นั่นเอง ตัวอย่างเช่น เมื่อเสียงวิ่งออกจากต้นกำเนิดของเสียง คลื่นเสียงจะเกิดเป็น 2 ลักษณะ คือ คลื่นเสียงที่วิ่ง

ตรงเข้าหูผู้ฟัง กับคลื่นเสียงที่วิ่งกระจายจากต้นกำเนิดเสียงไปสัมผัสกับวัตถุอื่นๆของห้อง เช่น ผนัง เพดาน พื้น หรือเครื่องเรือน แล้วจึงสะท้อนกลับเข้าหูผู้ฟังอีกทีหนึ่ง คลื่นเสียงลักษณะที่ 2 นี้ คือตัวปัญหา ถ้าคลื่นวิ่งเข้าสู่หูเราช้ากว่าคลื่นเสียงประเภทแรกเพียง 0.058 วินาที ก็จะเกิดเสียงก้องหรือเสียงสะท้อนให้รำคาญหูขึ้น การรับฟังเสียงจึงไม่สู้ดีนัก อาจจะเกิดความสับสนในเสียงที่ได้ยินได้ เพราะฉะนั้นความเร็วเสียงจึงมีความสำคัญมากต่อการรับฟังที่ดี



ภาพที่ 2.4 ความเร็วของคลื่นเสียงที่วิ่งไปสู่ผู้รับฟังในลักษณะคือ ทางตรง และการสะท้อนไปกลับ

อย่างไรก็ตาม ความเร็วของเสียงไม่ได้ขึ้นอยู่กับความถี่หรือความเข้มเสียง(Intensity) หรือความดันของอากาศแต่ประการใด หากแต่ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของอากาศต่างหาก ที่อุณหภูมิห้องเราคิดความเร็วของอากาศ 1130 ฟุต/วินาที (331เมตร/วินาที) ถ้าอุณหภูมิในอากาศสูงขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮด์ ความเร็วของเสียงจะเพิ่มขึ้น 1.1 ฟุต ต่อวินาที หรืออุณหภุมิในอากศสูงขึ้น 1 องศาเซนติเกรด ความเร็วของเสียงจะเพิ่มขึ้น 61 เซนติเมตร

ในวัตถุอย่างอื่นนอกจากในอากาศแห้ง ความเร็วของเสียงผ่านตัวกลางจะไม่เท่ากัน ดังเช่น

ความเร็วของเสียงในก๊าซไนโตรเจน	ประมาณ 420	ฟุต/วินาที
ความเร็วของเสียงในน้ำ	ประมาณ 4,800	ฟุต/วินาที
ความเร็วของเสียงในหิน	ประมาณ 12,000	ฟุต/วินาที
ความเร็วของเสียงในไม้	ประมาณ 13,000	ฟุต/วินาที
ความเร็วของเสียงในแก้ว	ประมาณ 16,400	ฟุต/วินาที
ความเร็วของเสียงในเหล็ก	ประมาณ 16,900	ฟุต/วินาที

นอกจากนี้อุณหภูมิของอากาศยังมีส่วนทำให้เกิดการหักเหของคลื่นเสียงอีกด้วย ผลจากการนี้ ทำให้การออกแบบโรงละครกลางแจ้ง (Open-air theater) ต้องคำนึงถึงทิศทางของเสียงในอุณหภูมิแตกต่างกันไป รวมทั้งทิศทางกระแสลมด้วย

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

$$V=f\lambda$$

(Velocity คือ ความเร็วของเสียงที่มีทิศทางแน่นอน)

คลื่นที่วิ่งครบ 1 รอบ ไซเคิลใน 1 วินาที เรียกว่า ความยาวคลื่น Wavelength ถ้าความถี่เป็น 256 ไซเคิล (เสียงมาตรฐานเปียโน มิเดอร์ซี) ความเร็วของอากาศ 1130ฟุต/วินาที จะได้ความยาวคลื่น 4.4 ฟุต

2.1.5 คุณสมบัติของเสียง

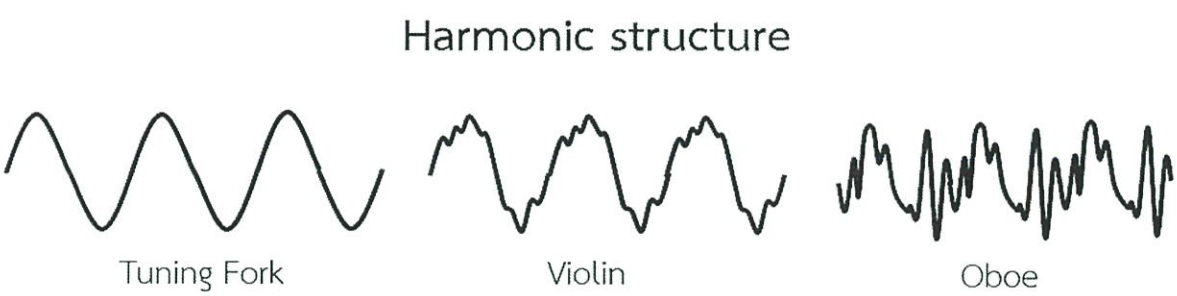
เสียงมีคุณสมบัติหรือลักษณะ (Characteristics) ที่สำคัญอยู่ 3 ประการคือ

2.1.12.1 ความเข้มเสียง (Intensity)

2.1.12.2 เสียงสูงต่ำ (Pitch)

2.1.12.3 คุณภาพของเสียง (Tone Quality)

รูปร่างของคลื่นเสียงเกิดจากเครื่องมือและเครื่องดนตรีชนิดต่างๆ ดังตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง อันเกิดจาก ซ่อมเสียง (Tuning fork) ไวโอลิน (Violin) และโอโบร์ (Oboe) ในความถี่ที่เท่ากัน มีลักษณะดังนี้



ภาพที่ 2.5 รูปร่างของคลื่นเสียง (Wave forms) ของอุปกรณ์เครื่องมือและเครื่องดนตรี 3 ชิ้น ในความถี่และความดันอากาศที่เท่ากัน

ดังนี้ได้เห็นแล้วว่าคลื่นเสียงอันเกิดจากเครื่องดนตรีจะมีพลังทนของเสียงมาก และมากกว่าเสียงมนุษย์ เสียงที่มีความดังมาก เป็นเสียงที่มีพลังงานมาก เรียกว่าเสียงมีความถี่เข้มมาก สังเกตได้จากความถี่ของเสียงตามหลักกระทรวงวิทยาศาสตร์ การวัดความดังโดยอาศัยการวัดพลังงานต่อปริมาตรของอากาศ ที่เสียงนั้นผ่านไป หรืออีกนัยหนึ่งคลื่นเสียงเป็นพลังงานที่ผ่านเข้าไปในสสาร พลังงานมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) เหมือนเช่นไฟฟ้า แต่วัตต์ในวิชาเสียงจะมากเกินไป จึงมักจะใช้เศษหนึ่งส่วนล้านของวัตต์ $1/100,000 \times 1 \times 10^{-6}$ หรือไมโครวัตต์ (Micro-Watt) เป็นเกณฑ์ 1 ไมโครวัตต์ จึงมีค่าเป็น 10^{-6} จูนต่อ 1 วินาที หรือ 10 เฮิร์ตต่อวินาที

ความเข็มของเสียงตามหลักวิชาฟิสิกส์อาจกล่าวได้ว่าเป็นพลังงานต่อวินาทีหรือกำลัง (คิดเป็นไมโครวัตต์) ที่ผ่านเข้ามาในเนื้อที่ตั้งฉาก 1 ตารางเซนติเมตร โดยทั่วไปจะมีหน่วยวัดเป็นวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (Watt/Cm^2) สามารถเขียนสมการของความเข้มของเสียงได้ว่า

$$I=P/A$$

โดย I เป็นความเข้มของเสียง (Intensity)

P เป็นกำลังของเสียง (Power)

A เป็นพื้นที่ที่เสียงนั้นผ่านไปได้ (Area)

แหล่งกำเนิดเสียงโดยทั่วไปแผ่นเสียงออกมาเป็นรูปทรงกลม เพราะฉะนั้น Area มีงค่าเป็น $4\pi r^2$ ส่วน P เมื่อมีค่าของพลังงานต่อเวลาเป็น E (Enegy) เวลาคือ t จะได้สูตรเป็น $I = E/4\pi r^2 t$

หากต้องการเปรียบเทียบกำลังของเสียง สามารถยกตัวอย่างให้เห็นว่าโดยเฉลี่ยแล้ว กำลังของเสียงของผู้พูดในห้องประชุมใหญ่จะมีความแรงหรือพลังงานงานประมาณ 25 ถึง 50 ไมโครวัตต์ ถ้าต้องการให้มีกำลังเท่ากับ 1 แรงม้า จะต้องใช้ผู้พูดถึง 15 ล้านคนทีเดียว เพราะฉะนั้นในทางกลับกันหากใส่เครื่องขยายเสียงและมีลำโพงที่มีกำลัง 50 ไมโครวัตต์ จะได้ยินเสียงทั้งห้องประชุมใหญ่

การวัดระดับความเข้มของเสียง จะมีค่าเป็นเบล (Bel) แต่เพื่อความสะดวกในการใช้วัด จึงได้มีการเปลี่ยนจากเบลเป็นเดซิเบล (Decibel) ซึ่งมีค่า 1 เบลเท่ากับ 10 เดซิเบล เขียนตัวย่อเป็น dB ขอให้สังเกตตัวอักษร บี เป็นตัวใหญ่เพื่อให้เกียรติแก่อเล็กซานเดอร์ กราแฮมเบล (Alexander Graham Bell) ผู้ประดิษฐ์โทรศัพท์ขึ้นเป็นคนแรกของโลก

ระดับความเข้มของเสียงที่น้อยที่สุดที่ประสาทหูของคนเราจะรับรู้ได้จะมีค่าเป็น 0 เดซิเบล และระดับความเข้มมากที่สุดที่หูของคนจะรับฟังได้ โดยไม่เป็นอันตรายมีค่าเป็น 120 เดซิเบล เดซิเบลนี้เป็นหน่วยวัดปริมาตรของอัตราส่วนของพลังงานสองชนิด คือความเข้มของเสียง (Intensity) กับความดันของเสียง (Sound Pressure) อุปกรณ์ที่ใช้วัดเรียกว่า เครื่องวัดระดับความเข้มเสียง (Sound-Level Meter) มีหน่วยเป็นเบลหรือเดซิเบลหรือวัตต์ต่อวินาที อุปกรณ์นี้ประกอบด้วยไมโครโฟน และอุปกรณ์อื่นที่อาจวัดความเข้มของเสียงได้โดยตรง โดยทำหน้าที่ไปเปลี่ยนพลังงานเสียงเป็นพลังงานไฟฟ้า ถ้าค่าของความเข้มเสียงเท่ากับ I_0 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และมีความดันของเสียง 0.0002 ไดน(Dyne)ต่อตารางเซนติเมตร $I_0 = 10^{-16}$

2.1.6 ทิศทางของต้นกำเนิดของเสียง (Directionality)

ทิศทางของต้นกำเนิดของเสียง เป็นลักษณะของเสียงที่มีความสำคัญมากต่อการได้ยินที่ดี รวมทั้งการเพิ่มพลังการได้ยินของเสียงด้วยลำโพงและเครื่องขยายเสียง (Sound-Amplification Systems) ต้นกำเนิดของเสียงจะมีคุณสมบัติดังนี้ คือ

2.1.13.1 เมื่อคลื่นเสียง (Wavelength) มีขนาดใหญ่ พลังงานที่เกิดขึ้นจะกระจายออกมาอย่างสม่ำเสมอทั่วทุกทิศ

2.1.13.2 เมื่อคลื่นเสียงเล็กการกระจายจะไม่เกิดขึ้นทั่วทิศทาง หากจะเกิดเป็นลำเสียงแคบๆ (Narrow Bean) หากความถี่ยิ่งสูงเพียงใด ลำเสียงก็จะยิ่งแคบและแหลมขึ้น

ด้วยเหตุนี้ ผู้ฟังในหอประชุมใหญ่จะได้ยินเสียงที่ออกมาจากลำโพงของเครื่องขยายเสียงที่มีความถี่ต่ำได้ทั่วถึงกันหมด ส่วนผู้ที่ไม่ได้อยู่ในบริเวณด้านหน้าของลำโพงจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงลดน้อยลงไป

2.1.7 ปรากฏการณ์ของเสียง

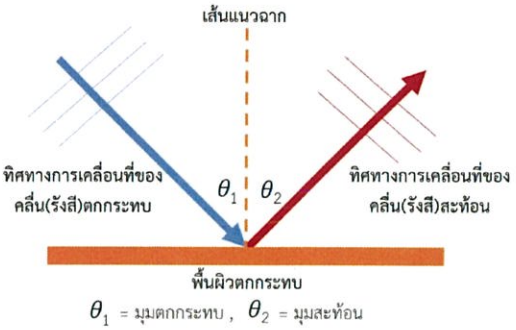
เนื่องจากเสียงเป็นคลื่น เช่นเดียวกับคลื่นแสง และคลื่นน้ำ เสียงจึงมีคุณสมบัติของคลื่นครบทุกประการ นั่นคือ การสะท้อนของเสียง การแทรกสอดของเสียง การหักเหหรือการเลี้ยวหักมุมของเสียง การเลี้ยวเบนของเสียง และการดูดคลื่นเสียง

2.1.7.1 การสะท้อนของเสียง (Reflection of Sound)

คือ การที่คลื่นเคลื่อนที่ไปตกกระทบกับสิ่งกีดขวางหรือรอยต่อระหว่างตัวกลางแล้วเปลี่ยนทิศสะท้อนกลับ มาในตัวกลางเดิม ปรากฏการณ์ที่เรามักเห็นได้บ่อยในเรื่องการสะท้อนคือ การได้ยินเสียงก้อง ซึ่งเกิดจากการที่คลื่นเสียงวิ่งไปกระทบกับสิ่งกีดขวาง เช่น กำแพง แล้วสะท้อนกลับมา โดยที่ระยะเวลาในการเดินทางไปและกลับมีค่ามากพอที่หูเราจะแยกได้ เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ไป จะทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่นขึ้นสั่นลง และเมื่อคลื่นผิวน้ำไปกระทบสิ่งกีดขวางหรือผิวสะท้อน จะเปลี่ยนทิศทางกลับสู่ตัวกลางเดิม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การสะท้อน(reflection) คลื่นที่เคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวางเรียกว่า คลื่นตกกระทบ (incident wave) ส่วนคลื่นที่สะท้อนออกมาเรียกว่า คลื่นสะท้อน (reflected wave) จากการทดลองการสะท้อนของคลื่นผิวน้ำเส้นตรง พบว่าในการสะท้อนแต่ละครั้ง มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบทำกับผิวสะท้อน จะเท่ากับมุมที่หน้าคลื่นสะท้อนทำกับผิวสะท้อนเสมอ สามารถเขียนทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนได้โดยมีทิศตั้งฉากกับหน้าคลื่นตกกระทบและหน้าคลื่นสะท้อนตามลำดับ และที่ตำแหน่งคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน ลากเส้นตั้งฉากกับผิวสะท้อน ซึ่งเรียกว่า เส้นแนวฉาก (normal line) ทำให้ได้มุมตกกระทบและมุมสะท้อน

เมื่อเรายืนอยู่ในระหว่างหุบเขาและเปล่งเสียงตะโกนออกมา ในเวลาอีกไม่นานก็จะได้ยินเสียงEcho ซึ่งเป็นเสียงของเราเองที่สะท้อนกลับมาหาตัวเรา ถ้าในหุบเขามีภูเขาตั้งอยู่หลายๆลูก เสียงEcho จะเกิดขึ้นหลายๆครั้ง นี่คือปรากฏการณ์ในลักษณะของการสะท้อนของเสียง ตามปกติเมื่อเสียงกระทบกำแพงที่มีผิวแข็งๆ ส่วนหนึ่งของเสียงจะสะท้อนกลับแต่เสียงอีกส่วนหนึ่งจะแทรกซึมเข้าไปในกำแพง ส่วนที่แทรกเข้าไป (transmit) นี้ อาจเปลี่ยนสภาพกลายเป็นความร้อน และยังมีอีกส่วนหนึ่งที่จะทะลุออกอีกด้านหนึ่งของกำแพงไปได้ ลักษณะของการแทรกซึมผ่านไปนี้เรียกว่า Transmittance ถ้าหากว่ากำแพงเหล่านั้น ประกอบขึ้นด้วยไม้อัดบางๆ หรือเป็นหน้าต่างบานกระจกเมื่อถูกเสียงมากระทบเข้ากำแพงก็จะสั่นสะเทือน ซึ่งจะส่งพลังงานเสียงออกไปอีกต่อหนึ่ง ฉะนั้นกำแพงที่แข็งและไม่สั่นสะเทือนจะเป็นตัวกันเสียง (barrier) ที่ดีที่จะไม่ให้เสียงผ่านไปได้โดยการสั่น ในขณะที่กำแพงไม้อัดบางๆ หรือหน้าต่างบานประจกเสียงจะผ่านไปได้อย่างสะดวกอันเกิดจากการสั่นสะเทือน อนึ่งวัตถุที่มีรูพรุน (porous

materials) ทั้งหลาย สามารถดูดกลืนเสียงได้มาก ถ้านำวัตถุที่มีรูพรุนนี้มาประกบเข้ากับกำแพงแข็ง ก็จะเป็น ฉนวนกันเสียง (insulation) ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีด้วย



ภาพที่ 2.6 การสะท้อนของคลื่นเสียง

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

โดยมีกฎการสะท้อนคลื่น ดังนี้

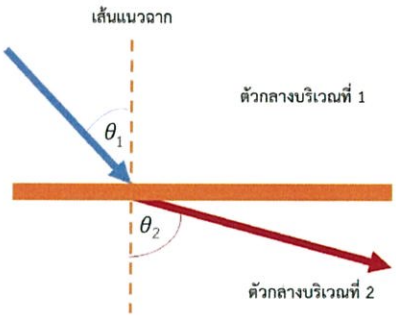
1) มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนเสมอ

2) รังสีตกกระทบ เส้นปกติ รังสีสะท้อน อยู่ในระนาบเดียวกัน

2.1.7.2 การหักเหของเสียง

หมายถึง เสียงที่เดินทางจากตัวกลางหนึ่ง ผ่านรอยต่อของตัวกลางเพื่อเข้าไปยังตัวกลางที่สองแล้วเกิดเปลี่ยนทิศของการเดินทาง ทำให้อัตราเร็วและความยาวคลื่นเสียงเปลี่ยนไป แต่ความถี่ยังคงที่เหมือนเดิม ถ้ามุมหักเหโตกว่า 90 องศา ทิศทางการเคลื่อนที่จะกลับเข้าสู่ตัวกลางเดิม คือ เกิดการสะท้อนกลับหมด เนื่องจากเสียงเป็นคลื่นชนิดหนึ่ง ดังนั้นจึงมีการหักเหเมื่อผ่านตัวกลางต่างชนิด เช่น เสียงตะโกนในอากาศเคลื่อนที่ในอัตราเร็วอันหนึ่ง เมื่อเสียงนี้ผ่านลงในบ่อน้ำจะเปลี่ยนอัตราเร็วเป็นเร็วขึ้น ดังนั้น เมื่อเสียงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความเร็วน้อย คือ อากาศเข้าสู่ตัวกลางที่มีความเร็วมากกว่า คือ ในน้ำ เสียงจะหักเหออกจากเส้นตั้งฉากและถ้าเสียงเคลื่อนที่ออกจากตัวกลางที่มีความเร็วมากกว่า ไปสู่ตัวกลางที่มีความเร็วน้อยกว่า เสียงจะหักเหเข้าหาเส้นตั้งฉาก และอัตราเร็วของเสียงขึ้นกับความหนาแน่นของตัวกลางด้วย คือ ตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย อัตราเร็วของเสียงจะช้ากว่าตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก หลักการนี้ใช้อธิบายเกี่ยวกับการเห็นฟ้าแลบ แต่ไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้องได้ เพราะเมื่อเกิดฟ้าแลบเกิดเสียงแต่อากาศใกล้พื้นดินอุณหภูมิสูงกว่าอากาศเบื้องบน การเคลื่อนที่ของเสียงเคลื่อนที่ได้ในอัตราที่ต่างกัน คือ เคลื่อนที่ในอากาศที่มีอุณหภูมิสูงได้เร็วกว่าในอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ดังนั้น การเคลื่อนที่ของเสียงจึงเบนขึ้นทีละน้อย ๆ จนข้ามหัวเราไป จึงทำให้ไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้องการหักเหของเสียงจะเกิดขึ้นเมื่อเสียงเคลื่อนที่

ผ่านตัวกลางต่างชนิดกันซึ่งทำให้อัตราเร็วของเสียงเปลี่ยนแปลง และอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปก็ทำให้อัตราเร็วของเสียงเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งเป็นสมบัติการหักเหของคลื่น ในการหักเหของคลื่นเสียงทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงเปลี่ยนไปด้วย ยกเว้นเมื่อคลื่นเสียงตกตั้งฉากกับผิวรอยต่อของตัวกลางทิศทางจะไม่เปลี่ยน นอกจากนี้ลมยังมีผลต่ออัตราเร็วของเสียงในอากาศแสดงว่าลมทำให้เสียงเกิดการหักเหได้ การหักเหของคลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน หรืออุณหภูมิต่างกัน จะเป็นไปตามกฎการหักเหของสเนลล์ (Snell's law) คือ



$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\sqrt{T_1}}{\sqrt{T_2}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

ภาพที่ 2.7 การหักเหของเสียง

เมื่อ θ_1 คือ มุมตกกระทบ

เมื่อ θ_2 คือ มุมหักเห

เมื่อλ_1 , λ_2 คือ ความยาวคลื่นเสียงในบริเวณที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

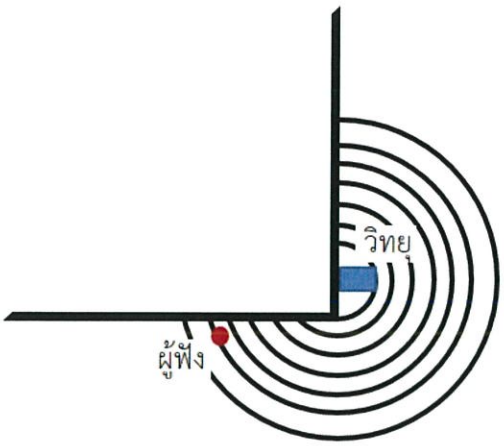
เมื่อv1 , v2 คือ อัตราเร็วคลื่นเสียงในบริเวณที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

เมื่อT1 , T2 คือ อุณหภูมิของอากาศในบริเวณที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

การหักเหของเสียงเมื่อคลื่นเสียงเดินทางในอากาศจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง คลื่นเสียงจะเบนออกจากเส้นปกติ ($\theta_1 < \theta_2$) และเมื่อเสียงเดินทางจากในอากาศจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ คลื่นเสียงจะเบนเข้าหาเส้นปกติ ($\theta_1 > \theta_2$)

2.1.7.3 การเลี้ยวเบน

การเลี้ยวเบนของเสียงคือปรากฏการณ์ที่เสียงอ้อมสิ่งกีดขวาง หรือลอดผ่านช่องเปิดเดี่ยวเลี้ยวเบนผ่านแยกบนท้องถนน หรือผ่านช่องหน้าต่าง ช่องประตู เสียงจะเลี้ยวเบนได้ดีเมื่อความกว้างของช่องเปิดเท่ากับความยาวคลื่นเสียง นั้น ดังนั้นในชีวิตประจำวันพบว่าเสียงที่มีความถี่ต่ำ(ความยาวคลื่นมาก) จะเลี้ยวเบนผ่านช่องเปิดต่างๆได้ดีกว่าเสียงความถี่สูง(ความยาวคลื่นน้อย)



ภาพที่ 2.8 การเลี้ยวเบนของเสียง

2.1.7.4 **การแทรกสอดของคลื่นเสียง** (Interference of Sound)

การแทรกสอดของเสียงเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากคลื่นเสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดเสียงตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไปรวมกัน จึงเกิด การแทรกสอดแบบเสริมกัน และหักล้างกัน ทำให้เกิดเสียงดัง และเสียงค่อย ในกรณีที่เป็นเสียงเสริมกัน ตำแหน่งที่มีการเสริมกันจะมีเสียงดัง ส่วนตำแหน่งที่แทรกสอดแล้วหักล้างกันจะมีเสียงค่อย แต่การเกิดปรากฏการณ์แทรกสอดเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงที่มีความถี่ต่างกัน ทำให้เกิดเสียงดัง เสียงค่อยเป็นจังหวะๆ เรียกว่า บีตส์ (Beats)ประโยชน์จากการแทรกสอดและบีตส์นี้นำมาใช้เทียบเครื่องดนตรี โดยมีเครื่องเทียบเสียงมาตรฐาน ใช้หลักว่าเมื่อความถี่เสียงเท่ากันจะไม่เกิดบีตส์ ถ้ายังมีบีตส์อยู่แสดงว่า ความถี่เสียงยังไม่เท่ากัน ต้องปรับจนเสียงทั้งสองมีความถี่เท่ากันจึงไม่ทำให้เกิดบีสต์

1) ในกรณีที่ S1 และ S2 เป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์

ทุกจุดบนเส้นปฏิบัพ เสียงจะแทรกสอดแบบเสริม เสียงจะดัง และผลต่างระหว่างระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองไปยังจุดใดๆ บนเส้นปฏิบัพจะเท่ากับจำนวนเต็มของความยาวคลื่น

2) ในกรณีที่ S1 และ S2 เป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์

ทุกจุดบนเส้นบัพ เสียงจะแทรกสอดแบบหักล้าง เสียงจะค่อย และผลต่างระหว่าระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองไปยังจุดใดๆ บนเส้นบัพจะเท่ากับจำนวนเต็มคลื่นลบกับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเสมอ

2.1.7.5 **การดูดกลืนของเสียง** (Absorption of Sound)

อัตราที่เสียงถูกดูดกลืนในห้อง เช่น ห้องประชุม หรือมีโรงภาพยนตร์หรือโรงละคอนเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้มีเสียงหนวกหู (Noise) หรือเสียงที่ไม่พึงปรารถนาลดน้อยลง ทั้งจะสามารถควบคุมการสะท้อนกลับไปกลับมา (Reverberation) ของเสียงได้ดีด้วย วัสดุที่ผลิตขึ้นเพื่อประโยชน์ในการนี้เรียกว่า วัสดุทางอะคูสติกส์ (Acoustical Materials) ซึ่งอาจจะเป็นจำพวกไม้อัด หรือวัสดุอย่างอื่น โดยเฉพาะที่มีผิวนิ่มหรือรูพรุน ถ้าใช้วัสดุเหล่านี้และเลือกวางในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว เสียงที่ทุกๆคนในโรง

ภาพยนตร์หรือโรงละครย่อมจะได้ยินเสียงที่จัดเจนและไพเราะทั่วถึงกันหมด ไม่ว่าจะนั่งอยู่ที่จุดใดของห้อง ตัวอย่างเช่น มุมขอบที่เป็นมุมอับของเสียง เพียงติดตั้งวัสดุบุผนังหรือเพดานที่มีการสะท้อนเสียงจากมุมอื่นมาช่วยเสริมเสียงตรงมุมอับได้ หรือในส่วนที่มีเสียงสะท้อนมากๆ จนฟังไม่รู้เรื่อง อาจจะแก้ไขโดยการบุวัสดุซับเสียงหรือวัสดุอะคูสติกส์ในบริเวณนั้นๆ เพราะฉะนั้นการออกแบบห้องและหารบุวัสดุในแต่ละส่วนของห้อง ไม่จำเป็นจะต้องบุวัสดุที่กันเสียงทั่วห้อง อย่างไรก็ตามการตกแต่งห้องให้สวยงาม ฟังเสียงได้ชัดเจน ย่อมต้องคำนึงถึงวัสดุที่ใช้ว่าปลอดภัย คงทน และทนไฟ มิฉะนั้นก็ก่อให้เกิดปัญหาอย่างอื่นตามมากับวัสดุที่ใช้ได้ เช่น ไฟไหม้ มอดปลวกกิน หรือดูดน้ำ ดูดความชื้น ทำให้ขึ้นรา เป็นต้น

ตามปกติแล้วเสียงถูกดูดกลืนโดยถูกกระทำให้กลายเป็นพลังงานอย่างอื่น แล้วสุดท้ายกลายเป็นพลังงานความร้อน แต่พลังงานความร้อนเกิดขึ้นน้อยมากจนแทบจะไม่กระทบกระเทือนกับประสิทธิภาพของการดูดซับเสียงของวัสดุกันเสียง เช่น วัสดุที่มีรูปพรุน

วัสดุต่างๆที่ดูดกลืนเสียงถ้ามีความหนาที่ถูกต้องก็อาจดูดกลืนเสียงได้ถึง 95% หรือเรียกว่าค่าสัมประสิทธิของหารดูดเสียง (Absorption Coefficient) 0.95 ถ้าค่าสัมประสิทธิ 100% มีค่าการดูดกลืนเสียง เท่ากับ 1 ถ้า 70% มีค่าเท่ากับ 0.7 วัสดุที่จะเป็นวัสดุกันเสียงจะต้องมีค่าสัมประสิทธิมากกว่า 0.3 หรือ 30% ขึ้นไป ถ้าน้อยกว่านั้นไม่สามารถนำมาเป็นวัสดุกันเสียงได้ สัมประสิทธิของการดูดกลืนเสียงนั้น สัญลักษณ์กรีกเรียกแอลฟา α คือความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุนั้นๆ ในความถี่ที่กำหนดให้ เช่น คลื่นเสียงกระทบวัสดุประเภทหนึ่ง เกิดการสะท้อนกลับ 45% และถูกดูดกลืนเข้าไปในวัสดุนั้นถึง 55% ค่าสัมประสิทธิของการดูดกลืนเข้าไปในวัสดุนั้นถึง 55% ค่าสัมประสิทธิของการดูดกลืนเสียงจะเท่ากับ 0.55 (ไม่มีหน่วยวัด) ถ้าเราตะโกนในอากาศ อากาศดูดกลืนเสียงไป 1 หมายความว่าอากาศดูดเสียงเราไป 100% เพราะไม่มีเสียงสะท้อนกลับ แต่ถ้าเราตะโกนใส่ผนังที่บุด้วยกระดาษชานอ้อย เมื่อวัดการดูดซับเสียงเป็นสัมประสิทธิ เท่ากับ 0.7 หมายความว่าผนังกระดาษชานอ้อยดูดกลืนเสียงเราไป 70% วัสดุที่ดูดซับเสียงได้ดีนั้นต้องมีความหนาแน่นน้อย (Low Density) ถ้ามีความหนาแน่นมาก เช่น ผนังก่ออิฐการดูดซับเสียงจะน้อย อีกประการหนึ่งเป็นเรื่องของความถี่ ถ้าความถี่สูง วัสดุจะดูดซับเสียงได้มากกว่าความถี่ต่ำ โดยเฉพาะวัสดุประเภทที่มีรูพรุน (Porous material) แต่ในทางกลับกันถ้าเป็นผนังจำพวกไม้อัดหรือผนังกั้นห้อง (Panel vibration) การดูดซับเสียงของวัสดุสองประเภทนี้ นำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบห้องได้ วัสดุต่างๆสามารถจำแนกออกเป็นเกรดต่างๆ ตามความสามารถของการดูดกลืนได้ตั้งแต่ 30% ขึ้นไปถึง 90% โดยแบ่งแยกตามมาตรฐานอเมริกัน (The Revised U.S. Federal Specification SS-A-118-a) ออกเป็น 12 เกรด ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการแบ่งเกรดของวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง

Noise-Reduction	
Grade	Co-Efficient
1	0.90 หรือมากกว่า
2	0.85
3	0.80
4	0.75
5	0.70
6	0.65
7	0.60
8	0.55
9	0.50
10	0.45
11	0.40
12	0.35

ตัวอย่างวัสดุดูดซับเสียงที่มีเกรดเป็น 8 ค่าของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงมีค่าเป็น 0.55 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าวัสดุนั้นมีความสามารถในการดูดกลืนเสียงได้ 5% อนึ่ง ค่าเหล่านี้จะอยู่ในความถี่ของ 512 ไซเคลเป็นเกณฑ์

2.1.8 ค่ามาตรฐานทางระบบอะคูสติก

การออกแบบระบบอะคูสติกส์ มีจุดประสงค์เพื่อลดเสียงรบกวนจากภายนอกหรือจากสิ่งแวดล้อมภายนอกจากนั้นยังป้องกันไม่ให้ภายในห้องมีระดับความก้องสะท้อนมากเกินไป รวมถึงการส่งผ่านสัญญาณเสียงเป็นไปอย่างมีคุณภาพ เมื่อมีแหล่งกำเนิดเสียงอยู่ในห้องปิดที่มีกำแพง พื้นผนังและเพดานบางส่วนของพื้นผิวจะสะท้อนเสียง แต่บางส่วนของพื้นผิวจะดูดซับเสียง ทั้งหมดนี้ล้วนมีผลกระทบต่อการฟังเสียงได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับข้อกำหนดค่าต่างๆที่มีความสำคัญกับการออกแบบห้องมีดังนี้

2.1.8.1ค่า NC (Noise Criteria for Rooms) เกณฑ์ของเสียงรบกวน

คือ มาตรฐานระดับการป้องกันเสียงรบกวนภายในห้องที่เกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น เสียงจากเครื่องบิน ,เสียงรถจักรยานยนต์ ,ฝนตก เป็นต้น และเกิดจากปัจจัยภายใน เช่น เครื่องปรับอากาศ คนเดิน เสียงพูดคุย ในแต่ละ Function โดยที่ผู้ออกแบบควรควบคุมค่า NC ให้อยู่ในระดับมาตรฐานของ Function นั้น ๆ

Type of Space (and Listening Requirements)	Preferred Range of Noise Criteria	Equivalent dBA Level *
Concert halls, opera houses, broadcasting and recording studios, large auditoriums, large churches, recital halls (for excellent listening conditions)	< NC-20	< 30
Small auditoriums, theaters, music practice rooms, large meeting rooms, teleconference rooms, audiovisual facilities, large conference rooms, executive offices, small churches, courtrooms, chapels (for very good listening conditions)	NC-20 to NC-30	30 to 38
Bedrooms, sleeping quarters, hospitals, residences, apartments, hotels, motels (for sleeping, resting, relaxing)	NC-25 to NC-35	34 to 42
Private or semiprivate offices, small conference rooms, classrooms, libraries (for good listening conditions)	NC-30 to NC-35	38 to 42
Large offices, reception areas, retail shops and stores, cafeterias, restaurants, gymnasiums (for moderately good listening conditions)	NC-35 to NC-40	42 to 47
Lobbies, laboratory work spaces, drafting and engineering rooms, general secretarial areas, maintenance shops such as for electrical equipment (for fair listening conditions)	NC-40 to NC-45	47 to 52
Kitchens, laundries, school and industrial shops, computer equipment rooms (for moderately fair listening conditions)	NC-45 to NC-55	52 to 61

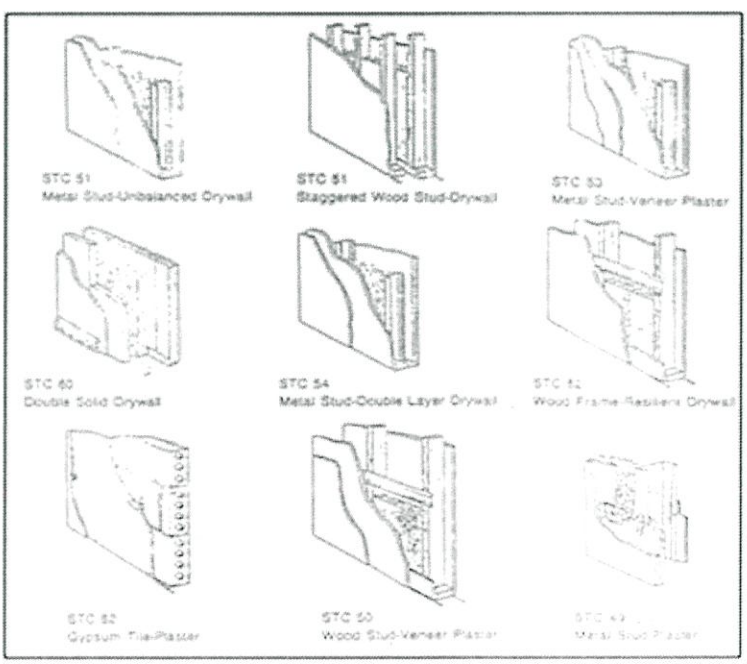
* Do *not* use A-weighted sound levels (dBA) for specification purposes. Spectrum shapes and noise characteristics can vary widely for background noises with identical A-weighted sound levels (see Chap. 1).

ภาพที่ 2.9 มาตรฐานค่า NC ของห้องแต่ละรูปแบบ

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

2.1.8.2 ค่า STC (Sound Transmission Class) การสูญเสียในการส่งผ่านของเสียง

คือ มาตรฐานเพื่อใช้ในการวัดระดับการสูญเสียของเสียงที่ส่งผ่านวัสดุต่าง ๆ โดยหลักการพื้นฐานนี้ใช้ในการคำนวณหาความแตกต่างระหว่างระดับเสียงรบกวนจากนอกห้อง กับสัญญาณที่เล็ดรอดกวนจากภายใน อย่างเช่น หากสัญญาณรบกวนจากภายนอกมีความแรง 100 dB และภายในสตูดิโอมีสัญญาณรบกวนไม่น้อยกว่า 20 dB ใน สตูดิโอดังกล่าวต้องการมาตรฐาน STC = 80 dB หากสัญญาณรบกวนภายนอก =70 dB และสัญญาณรบกวนในสตูดิโอ =30 dB ภายใน สตูดิโอดังกล่าวต้องใช้มาตรฐาน STC = 40 dB



ภาพที่ 2.10 มาตรฐานค่า STC ของผนัง

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

2.1.8.3 ค่า RT60 (Reverberation Time) ค่าระยะเวลาความก้องสะท้อน

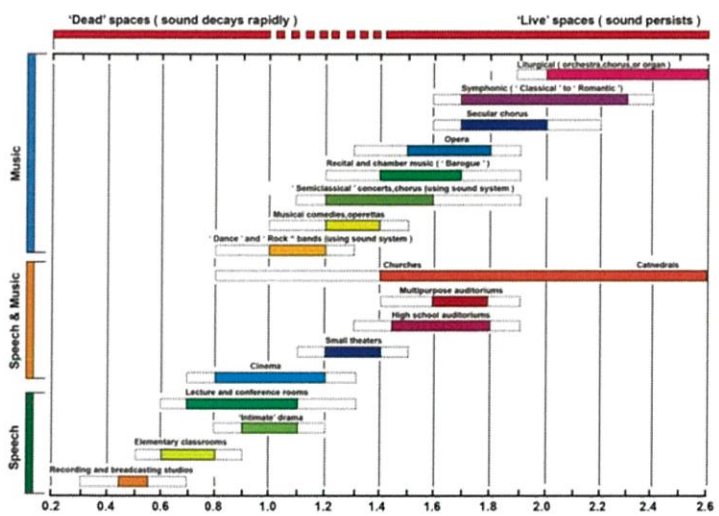
คือ เวลาการลดลงของเสียงเมื่อต้นเสียงหยุดแล้ว เป็นการวัดค่าเวลาที่เสียงลดลง 60 dB เมื่อต้นเสียงหยุดแล้ว ถ้า RT60 น้อยเกินไปจะทำให้รู้สึกว่าเสียงในห้องนั้นจืดชืดจนเกินไป ไม่มีชีวิตชีวา โดยเฉพาะสำหรับห้องเล่นดนตรีที่ต้องการ RT60 ที่พอเหมาะ แต่ถ้าค่า RT60 มากไป ก็จะได้ยินเสียงสะท้อนมากจนอาจจะฟังดนตรีหรือการบรรยายไม่รู้เรื่อง อย่างไรก็ดี ผู้ออกแบบระบบอะคูสติกส์ ควรคำนึงถึงค่า acoustics ของห้องที่ออกแบบอยู่เสมอ ระยะเวลาความก้องสะท้อน (Reverberation Time) ภายในห้องควรจะเหมือนกันทุกพื้นที่ของผู้ฟังทั่วทั้งห้อง ไม่ว่าแหล่งกำเนิดเสียงจะอยู่ส่วนใดของห้องและต้องมีค่าที่พอเหมาะ ระดับความชัดเจนของการได้ยินภาษา (Speech Intelligibility) ภายในห้อง ส่วนหนึ่งจะเกิดจากระยะเวลาความก้องสะท้อน (Reverberation Time) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาตรของห้องและการดูดซับของเสียงของวัสดุผนัง กำแพง พื้น เพดาน เฟอร์นิเจอร์ รวมทั้งผู้คนที่อยู่ภายในห้องนั้น

การออกแบบห้องต่างๆ การสะท้อนและการใช้วัสดุกันเสียงมีความสำคัญอย่างมากต่อผู้ที่ใช้ เพราะหากเป็นเสียงก้องจะสร้างความไม่เป็นสุขและรำคาญให้แก่ผู้ที่อยู่ในห้องเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งมีผลต่อการทำงานของพนักงาน เพราะฉะนั้นการออกแบบห้องจำเป็นต้องกำจัดเสียงที่ไม่ปรารถนาออกไปให้ได้ โดยทั่วไปแล้ว ห้องแต่ละห้องควรมีระดับเสียงไม่เกิน 40 เดซิเบล หากห้องที่มีระดับเสียงสูงเกินนั้น เวลาพูดหรือบรรยายในห้องบรรยายก็จะต้องเพิ่มระดับเสียงของเราให้สูงขึ้น หากสูงขึ้นมากเกินไป ทำให้คสามรู้สึกเหนื่อยมากขึ้นเรื่อยๆ ในที่สุดก็อาจจำเป็นต้องใช้เครื่องขยายเสียงช่วย มิฉะนั้นผู้ฟังก็จะได้ยินเสียงไม่ได้ดี ถ้าห้องดังกล่าวมีการใช้วัสดุกันเสียงแล้ว ระดับเสียงไม่พึงปรารถนาในห้องก็จะลดต่ำลงได้อย่างมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่เราเลือกใช้และการวางบนตำแหน่งที่ถูกต้อง

เสียงที่ก้องสะท้อนกลับไปกลับมา เช่น ในอาคารตึกแถวที่สร้างเสร็จใหม่ๆยังไม่มีการตกแต่ง เสียงที่เกิดขึ้นจากต้นกำเนิดของเสียงสะท้อนกลับมาหาเราในเวลาที่ยาวนาน เวลาที่ยาวนี้คือเวลาที่ทำให้เกิดการรบกวน ถ้ายิ่งใช้เวลามากก็จะยิ่งมีปัญหามาก เพราะฉะนั้นนอกจากการจำกัดการสะท้อน (โดยการดูดกลืน) แล้วเรายังควรลดเวลาของการสะท้อนกลับให้น้อยลงอีกด้วย จะช่วยในการได้ยินในห้องต่างๆให้ดีขึ้น มีวิธีลดเวลาของการสะท้อนกลับให้น้อยลงคือ การเลือกใช้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนที่ดี เช่นพรมซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ที่ 0.63 ในความถี่ที่ 500 Hz แทนพื้นที่หินขัดที่มีค่าสัมประสิทธิ์ที่ 0.02 (ค่าสัมประสิทธิ์ของ 0.63 คือ ความสามารถของวัสดุในการดูดซับเสียงได้ 63% และค่าของ 0.02 มีการดูดซับเสียงได้เพียง 2% เท่านั้น) ตามปกติห้องใหญ่เวลา RT ควรมีค่าประมาณ 1 วินาที แต่ถ้าเป็นห้องประชุมใหญ่มาก ค่าของเวลาควรประมาณ 2 วินาที

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างค่า RT60 ของห้องแต่ละรูปแบบ

ตัวอย่างค่าRT60 ของห้องต่างๆที่มีการใช้สอยต่างกัน			
ห้องบันทึกเสียง	RT ประมาณ	0.4-0.6	วินาที
ห้องเรียน	RT ประมาณ	0.6-0.8	วินาที
ห้องบรรยาย/ห้องประชุม	RT ประมาณ	0.9-1.1	วินาที
โรงภาพยนตร์	RT ประมาณ	0.8-1.2	วินาที
โรงละครขนาดเล็ก	RT ประมาณ	1.2-1.4	วินาที
ห้องประชุมโรงเรียน	RT ประมาณ	1.5-1.8	วินาที
โบสถ์	RT ประมาณ	1.4-3.4	วินาที
ห้องดนตรี	RT ประมาณ	1.7-2.1	วินาที



ภาพที่ 2.11 แสดงค่ามาตรฐาน Reverberation Time ที่เหมาะสมกับประเภทของห้อง

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

อย่างไรก็ตามต้องจำค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนในแต่ละความถี่จะไม่เหมือนกัน เป็นต้นว่า ห้องที่มีฉาบด้วยปูนพลาสเตอร์อะคูสติกหนา ¼ นิ้ว จะมีค่าสัมประสิทธิ์ 0.06 ที่ 128 ไซเคิล, 0.36 ที่ 512 ไซเคิล และ 0.72 ที่ 2048 ไซเคิล จะเห็นได้ว่าในที่นี้เพื่อใช้สำหรับการคำนวณทั่วไป เราเลือกใช้ 500 ไซเคิล (Hz) เป็นหลัก และมีสูตรการคำนวณหาค่า RT60 ดังนี้

RT = 0.049 V/a สำหรับหน่วยที่เป็นนิ้ว, ฟุต (อังกฤษ)

RT = 0.165 V/a สำหรับหน่วยที่เป็นซม., เมตร (เมตริก) , a = A x α

V = Volume คือปริมาตรของห้อง (ความกว้างxความยาวxความสูง)

a = ค่าการดูดกลืนเสียงของพื้นที่ผิว

A = พื้นที่ของพื้นผิวนั้นๆ (ความกว้างxความยาวxความสูง)

α = สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนของวัสดุต่างๆที่ใช้เป็นพื้นผิว (หน่วยเป็น Sabins)

2.1.8.4 ค่าSTI (Speech Transmission Index) ดัชนีการส่งผ่านเสียงพูด และ ค่า RASTI (Rapid Speech Transmission Index) ดัชนีการส่งผ่านของเสียงพูดแบบเร็ว

คือค่าที่ใช้ในการวัดความชัดเจนของการได้ยินเสียงพูด (Speech Intelligibility) ซึ่งทำการคำนวณความชัดเจนของการได้ยินเสียง (Intelligibility) ทั้ง 7 แถบออกเทฟ (Octave Band) จาก 125 ถึง 8,000 Hz ดัชนีการส่งผ่านของเสียงพูด (Speech Transmission Index) หรือ STI จะเป็นค่าคุณภาพการส่งผ่านของเสียงพูดระหว่างตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณและตำแหน่งผู้รับฟังซึ่งมีค่าระหว่าง 1- 0, 1 คือ อุดมคติ (Idea) และ 0 คือ เลว (Bad) ทั้งนี้ค่า STI ที่วัดจะอยู่ในช่วง 0-1 เช่น วัดได้ 0.90 หมายถึง ต้นเสียงส่งข้อมูลมา 100 คำ ผู้ฟังเข้าใจได้ 90 คำพูด นั่นเอง ซึ่งนับว่าเป็นค่าที่ดีมาก

2.1.8.5 ค่า SPL (Sound Pressure Level) ระดับความดังเสียง

คือ การวัดความดังเสียงในห้อง โดยกำหนด Lp=20 log Pi/Po มีหน่วยเป็น dB ค่า SPL เป็นค่าสำคัญที่ใช้วัดระดับความดังของเสียงในห้อง การวัดค่า SPL จะทำการวัดหลาย ๆ จุด ในห้อง โดยมีแหล่งกำเนิดเสียงหนึ่งจุด ค่าที่วัดได้จะลดลงตามระยะทาง จากจุดวัดถึงแหล่งกำเนิดเสียง

2.1.8.6 ค่า SAC (Sound Absorption Coefficient)

คือ ค่าที่ทำให้สามารถประเมินได้ว่าวัสดุนั้นมีคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานเสียงได้ดี ยิ่งมีค่า SAC มาก หรือเข้าใกล้ 1 จะแสดงให้เห็นว่าวัสดุนั้นมีสามารถในการดูดกลืนเสียงได้ดี เพราะค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนเสียงจะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าค่าเข้าใกล้ 0 มากจะแสดงได้ว่าวัสดุนั้นไม่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนเสียง หรือดูดกลืนเสียงได้น้อย มีการสะท้อนเสียงออกไปได้มาก เช่น วัสดุมีค่า SAC = 0.80 ที่ 500 Hz หมายความว่าเมื่อพลังงานเสียงเดินทางมากระทบวัสดุ ตัววัสดุนั้นสามารถดูดกลืนเสียงได้ ร้อยละ 80 มีเพียงร้อยละ 20 เท่านั้นที่เกิดการสะท้อนออก ค่าที่ได้จากการดูดซับเสียงของแต่ละวัสดุจะแปรผันกับความถี่ของเสียงที่เดินทางไปตกกระทบ ดังนั้นค่าของการดูดซับเสียงนี้ก็จะได้รับการวัดที่หลากหลายความถี่ เช่น50, 100, 250, 500, 1,000 Hz เป็นต้น ซึ่งความถี่นี้จะอยู่ในช่วงตรงกลางของเสียง เสียงที่วิ่งกระทบน้อยมากที่จะมีการใช้ค่า SAC ของเสียงที่ช่วงความถี่เดียว ในการออกแบบทางสถาปัตยกรรม ค่า SAC จะเป็นค่าดูดซับเสียงที่ความถี่ที่เจาะจงเท่านั้น

2.1.8.7 ค่า NRC (Sound Absorption Coefficient)

คือ ตัวเลขที่จะระบุได้ถึงความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุ โดยที่ NRC คือ ค่าเฉลี่ยของ SAC ที่ถูกวัดที่ 250, 500, 1,000, 2,000 Hz และปัดเศษให้อยู่ที่ 0.05 โดยทั่วไปค่า NRC จะต้องมีค่ามากกว่า 0.40 ถึงจะถือว่าเป็นวัสดุดูดซับเสียง (Acoustic) วัสดุที่มีรูพรุน ฉนวนจะยอมให้คลื่นเสียงทะลุผ่านไปได้ลึกมาก ซึ่งจะเป็นที่ที่พลังงานเสียงจะเปลี่ยนเป็นความร้อนเนื่องจาก ความเสียดทานระหว่างช่องอากาศกับเส้นใยวัสดุประเภทนี้สามารถมีค่า NRC ได้มากถึง 0.95 – 1.00 ขึ้นอยู่กับความหนาของฉนวน อย่างไรก็ตามหูของมนุษย์ไม่สามารถรับทราบ ได้ถึงความแตกต่าง ระหว่างวัสดุดูดซับเสียงที่มีค่าต่างกันเพียง 0.05 ยกตัวอย่างเช่น คนเราจะรู้สึกไม่แตกต่างกันระหว่างการใช้วัสดุที่มีค่า NRC 0.80 กับ 0.85 ส่วนใหญ่สถาปนิกหรือผู้ออกแบบจะเลือกวัสดุโดยดูที่ค่า NRC เป็นหลักส่วน Acoustician จะดูที่ค่า SAC เป็นหลัก

2.1.8.8 ค่า TL (Sound transmission loss) ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง

เป็นค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของโครงสร้างที่วัดเป็นปริมาณ เรียกว่า ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound transmission loss, TL) ซึ่งหมายถึง จำนวนเดซิเบล ของพลังงานเสียงที่สูญเสียไปเมื่อมีการส่งผ่านโครงสร้าง จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ถ้าความหนาแน่นสูง ค่าTL 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 (Egan, M. David, Concepts in Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1972), p.68)

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

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

W1 = กำลังเสียงที่ตกกระทบผนัง, watt

W2 = กำลังเสียงที่ส่งผ่านผนัง, watt

λ = สัมประสิทธิ์ค่าความเป็นฉนวนเฉลี่ยของวัสดุที่ได้จากห้องทดลอง

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

2.1.9 ช่วงความถี่ที่หูมนุษย์สามารถได้ยิน

โดยปกติหูคนสามารถได้ยินเสียงในช่วงความถี่ 20 Hz ถึง 20,000 Hz คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 Hz นั้น เรียกว่า Super-sonic ส่วนเสียงที่ความถี่ต่ำกว่า 20 Hz เรียกว่า Sub-sonic หากความถี่มากขึ้นเท่าตัว ก็จะมีระดับเสียงสูงขึ้นเท่ากับ 1 octave เช่น จาก 20 Hz เป็น 40 Hz เป็นต้น ซึ่งสำหรับในการเครื่องเสียงแล้วสามารถแบ่งย่านความถี่ของเสียงได้ดังนี้

2.1.9.1 ย่าน Deep bass มีความถี่ประมาณ 20-40 Hz ช่วงความถี่เบสนี้ส่วนใหญ่จะสามารถรับรู้จากความรู้สึก มากกว่าจากการได้ยิน มักเป็นเสียงของการสั่นสะเทือนของโครงสร้างขนาดใหญ่ เสียงระเบิด หรือกลองขนาดใหญ่

2.1.9.2 ย่าน Mid bass มีความถี่ประมาณ 40-100 Hz ช่วงนี้จะเป็นย่านเสียงเบสที่มีความรู้สึกกระแทกกระทั้น เช่น เสียงกลองกระเดื่อง ช่วงความถี่นี้มักเป็นช่วงเบสที่ให้จังหวะ ให้ความสนุกในการรับฟัง

2.1.9.3 ย่าน Upper Bass มีความถี่ประมาณ 100-250 Hz ช่วงนี้จะเป็นย่านเสียงเบสที่ให้ความรู้สึกว่าเสียงหนาหรือบาง เช่น เครื่องสายพวกกีต้าร์เบสหรือ Cello ถ้าเบสในย่านความถี่นี้มีมากเกินไปก็อาจทำให้รู้สึกอึดอัด อื้ออึง ในขณะเดียวกันหากมีน้อยเกินไปก็จะทำให้รู้สึกว่าเสียงบางไม่น่าฟัง

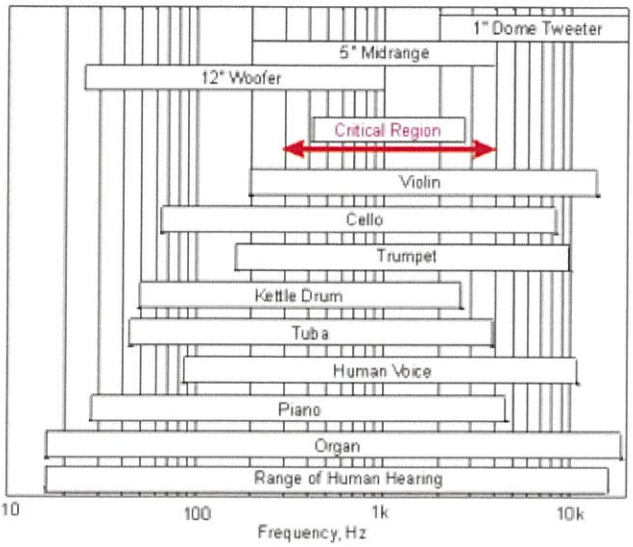
2.1.9.4 ย่าน Lower Midrange มีความถี่ประมาณ 250-800 Hz ย่านนี้จะครอบคลุมเสียงกีต้าร์ รวมทั้งเสียงนักร้องผู้ชาย เป็นเสียงที่เปล่งจากหน้าอก เป็นย่านความถี่ที่ให้ความรู้สึกไปในทาง Warmth ถ้าน้อยเกินไป เสียงโดยรวมจะรู้สึกว่าแห้งและบาง ไม่มีเนื้อเสียง

2.1.9.5 ย่าน Midrange มีความถี่ประมาณ 800-2,000 Hz ในย่านนี้ครอบคลุมเสียงร้องทั้งชายและหญิง รวมทั้งเครื่องดนตรีหลายชนิด เป็นย่านความถี่ที่สำคัญมากต่อการรับฟัง

2.1.9.6 ย่าน Upper Midrange หรือ Lower Treble มีความถี่ประมาณ 2,000-5,000 Hz ย่านนี้จะมีเสียงเครื่องเป่า กีต้าร์ รวมทั้งเสียงลอดไรฟัน ถ้าย่านความถี่นี้มากเกินไป จะเกิดอาการล้าหูได้ง่าย

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

2.1.9.8 ย่าน Upper Treble ประมาณ 10,000-20,000 Hz เป็นย่านความถี่ปลายเสียงแหลมซึ่งให้ลักษณะของบรรยากาศในการรับฟัง หากมีน้อยเกินไปก็จะทำให้รู้สึกว่าเสียงทึบ



ภาพที่ 2.12 ช่วงความถี่ของเสียงแต่ละเครื่องดนตรี

2.1.10 ความถี่ของเสียงที่มีผลต่อการรับฟัง

หูของมนุษย์ เป็นอวัยวะที่มีความสามารถในการตรวจจับคลื่นเสียง โดยส่วนของแก้วหู (Ear Drum)ซึ่งเป็นแผ่นเนื้อเยื่อที่เบาและอ่อนบางมากๆ จะสั่นไหวมากน้อย หรือ ช้าเร็วตามความผันแปรของความดันอากาศที่เดินทางเข้ามาในช่องหู (Ear Cannel) ซึ่งความถี่มีผลต่อการได้ยินของหู ดังนี้

2.1.10.1 ความถี่สูง

ความถี่สูง จะมีความยาวคลื่น สั้นกว่า ความถี่ ต่ำ เมื่อเสียงเดินทางผ่านอากาศ มาที่หูข้างใด ข้างหนึ่งของเราแล้วผ่านไปยังอีกข้างหนึ่งสมองจะสามารถรับรู้ได้ว่า ได้ยินจากหูข้างไหนก่อน ทำให้เราจับทิศทางของเสียงได้ว่ามาจากทิศทางใด

2.1.10.2 ความถี่ต่ำ

ความถี่ต่ำ จะมีความยาวคลื่นมากกว่า ความถี่ สูง เมื่อเสียงเดินทางผ่านอากาศมาที่หูข้างใดข้างหนึ่งของเราแล้วผ่านไปยังอีกข้างหนึ่ง เกือบจะพร้อมกัน สมองจะไม่สามารถรับรู้ได้ว่า ได้ยินจากหูข้างไหนก่อน ทำให้เราไม่สามารถจับทิศทางของเสียงได้ว่ามาจากทิศทางใด

เมื่ออยู่ในที่ไม่มีเสียง (ห้องที่เงียบ) หูของมนุษย์จะมีความไวในการรับเสียงที่สูง สามารถรับรายละเอียดต่างๆได้ดี แต่เมื่ออยู่ในที่มีเสียงดัง (บนถนน) มีความไวในการรับเสียงที่ต่ำ ไม่สามารถรับรายละเอียดต่างๆได้ดี หูของมนุษย์สามารถรับฟังความถี่ของเสียงได้ในช่วง 80 Hz ถึง 16 KHz6 ระดับความดังของเสียงที่ใช้ในการสนทนา ซึ่งสามารถรับฟังได้ดีคือ ประมาณ 50 ถึง 65 dB6 หูของมนุษย์ไม่สามารถรับรู้ความแตกต่างของเสียง ที่มาต่างกันในช่วงเวลาที่น้อยกว่า 25 millisecond หรือ ประมาณไม่เกิน 10 เมตร การเปลี่ยนอัตราการขยาย 3 dB จะไม่รู้ว่าเสียงที่ได้ยินมีการเปลี่ยน (ต้องเพิ่ม Power 2 เท่าจากเดิม) การเปลี่ยนอัตราการขยาย 6 dB และจะรู้ว่าเสียงที่ได้ยินมีการเปลี่ยน (ต้องเพิ่ม Power 4 เท่า

จากเดิม) การเปลี่ยนอัตราการขยาย 9 dB จะรู้ว่าเสียงที่ได้ยินมีการเปลี่ยนเป็น 2 เท่า (ต้องเพิ่ม Power 8 เท่าจากเดิม)

2.1.11 การเกิด Audio feedback

คือ สัญญาณ รั่วย้อนกลับเข้ามาในไมโครโฟนมันก็จะวิ่งไปเป็นวงจรครบรอบระบบ ซึ่งจะทำให้เกิดเสียงที่ดังยิ่งขึ้นเรื่อยๆตลอดเวลาโดยจะกลายเป็นเสียง“หอน” ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องขึ้นมาอย่างรวดเร็ว โดยเสียงที่เกิดขึ้นนี้มักเรียกว่า“feedback” โดยทั่วไปแล้วจะมีคลื่นเสียงที่ความถี่หนึ่งจะทำให้เกิดอาการ feedbackที่มากกว่าคลื่นความถี่ระดับอื่นๆซึ่งอาจจะมาจากความแตกต่างของการตั้งค่า EQ , คุณสมบัติของลำโพง, คุณสมบัติของไมโครโฟน หรือจากความก้องของห้องหรือบนเวที ที่ทำให้เกิดอาการ feedback ในคลื่นความถี่ที่เฉพาะเจาะจง ถ้าระบบนั้นสามารถตอบสนองต่อคลื่นความถี่ได้กว้างเกินความจำเป็น ก็เป็นไปได้ว่าในคลื่นความถี่เหล่านั้นก็จะมีความไวต่อการที่จะเกิดอาการ feedback ได้

2.1.12 Inverse Square Law (กฎกำลังสองผกผัน)

เป็นกฎทางฟิสิกส์ที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงความเข้มของรังสีในลำรังสีหนึ่ง เมื่อระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีถึงตำแหน่งตัววัดรังสี (detector) เปลี่ยนไป ความเข้มของรังสีแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีกับตัวรับภาพหรือตัววัดรังสี จากกฎ Inverse Square Law กล่าวได้ว่าทุก 2 เท่าของระยะทาง ความดังเสียงจะลดลง 6 dB มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$I1 / I2 = (D2)^2/(D1)^2$$

โดยที่ I1 = ความเข้มที่ตำแหน่งตั้งต้น

I2 = ความเข้มที่ตำแหน่งใหม่

D1 = ระยะทางที่ตำแหน่งตั้งต้น

D2 = ระยะทางที่ตำแหน่งใหม่

2.1.13 วัสดุกันเสียง (Acoustical Materials)

วัสดุกันเสียง ที่ผลิตจำหน่ายในท้องตลาดแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

2.1.13.1 Prefabricated Units อันได้แก่พวก acoustical tile , celoten วัสดุที่ทำเป็นรูและมีวัสดุเก็บเสียงอยู่ด้านหลัง

2.1.13.2 Acoustical Plaster and Sprayed-on-Materials เป็นจำพวกพลาสติก และวัสดุที่มีรูพรุน เช่น พวกไฟเบอร์ต่างๆ ที่ฉาบหรือพ่นใส่ผนังหรือฝ้าเพดาน เช่น พ่นสักราดใส่ผนัง พ่นสีระเบิด หรือพวกศิลาแลงมาบดแล้วผสมกาวฉาบผนัง เป็นต้น

2.1.13.3 Acoustical Blanket วัสดุจำพวกขนสัตว์ เช่น mineral wool, wood wool, glass fiber, kapok batts, hair felt เป็นต้น รวมไปถึงผืนของผ้าม่าน ใยกากมะพร้าว และอื่นๆ

2.1.14 เรโซแนนซ์ (Resonance)

เสียงที่เกิดขึ้นนั้น เกิดจากปรากฏการณ์การสั่นพ้องของเสียง หรือที่ภาษาอังกฤษใช้คำว่า Sound Resonance เนื่องจากเสียงเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิด และการเคลื่อนที่ของเสียงเป็นการเคลื่อนที่แบบคลื่น ขณะที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง อนุภาคของตัวกลางจะสั่นด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของแหล่งกำเนิด เช่น ถ้าเราส่งคลื่นเสียงจากลำโพงเข้าไปทางปากหลอดเรโซแนนซ์ อนุภาคของอากาศในหลอดเรโซแนนซ์จะถูกบังคับให้สั่นด้วยความถี่ของเสียงจากลำโพง ถ้าปรับความถี่ของคลื่นเสียงให้มีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของอนุภาคของอากาศภายในหลอดเรโซแนนซ์อนุภาคของอากาศจะสั่นแรงที่สุด ทำให้เกิดเสียงออกจากปากหลอดเรโซแนนซ์ดังที่สุด ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า "การสั่นพ้องของเสียง"

2.1.14.1 ลักษณะการเกิดResonance

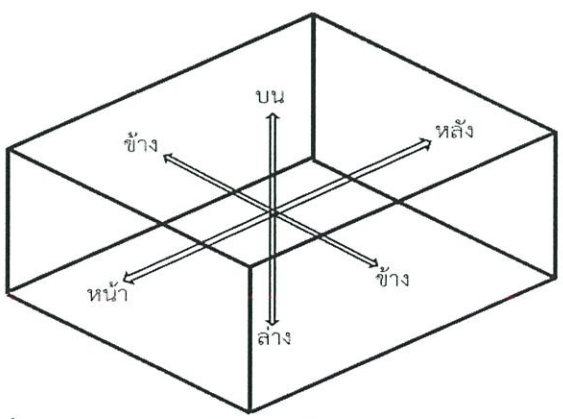
เมื่อเกิดการResonanceที่ดีจะเป็นการเสริมเสียงได้ดี ทำให้เสียงที่เกิดขึ้นมีพลังงาน และฟังเสียงได้ดี การสั่นพ้องมี 2 ลักษณะ คือ

1) Structural Borne การสั่นพ้องของเสียงที่เสริมขึ้นมาจากโครงสร้าง เช่น สายกีต้าไปแนบกับโกร่ง ทำให้เกิดการสั่นไปหมดทั้งโกร่ง หรือการโยกชิงช้าให้ได้จังหวะที่ถูกต้อง ทำให้ชิงช้าแกว่งสูงขึ้น เป็นการเสริมพลังงานของเสียง

2) Air Borne การใช้อากาศเป็นตัวสั่นสะเทือน เช่น เมื่อเอาส้อมเสียงสั่นอยู่ใกล้ๆ กับท่อเรโซแนนซ์ ความสั่นสะเทือนจะผ่านอากาศไปกระทำให้ท่อเรโซแนนซ์สั่นตามไปด้วย ตัวอย่างเช่น เมื่อวงดนตรีRock เล่นเพลงในโถงเอนกประสงค์ของโรงเรียนแห่งหนึ่ง ผนังกระจกหรือหน้าต่างกระจกบางๆของห้องโถงนั้นอาจสั่นสะเทือน หรือแตกร้าวได้

2.1.14.2 การคำนวณความถี่Resonance

การสะท้อนกลับไปกลับมาภายในห้อง ทำให้เกิดจังหวะของการสะท้อนขึ้น 3 ทิศทาง (Plain) เรียกว่า modes of vibration คือการสะท้อนกลับไปกลับมาจากด้านยาวของห้อง (p) จากด้านกว้างของห้อง (q) และจากบนลงล่างและขึ้นบน (r) ทำให้เกิดมี Reverberation time (RT) เกิดขึ้น



ภาพที่ 2.13 รูปการสะท้อนกลับไปกลับมา 3 ทิศทางของห้อง

ห้องนี้มีผนังทึบ มีความยาวเท่ากับ L ความกว้างเท่ากับ W และความสูงเท่ากับ H อาจคำนวณหาความถี่กำทอนของห้องด้วยสูตรดังนี้

$$f = \frac{C}{2}\left\{\frac{(p)^2}{L} + \frac{(q)^2}{W} + \frac{(r)^2}{H}\right\}^{1/2}$$ หน่วยเป็น ไซเคิล

f = ความถี่ของเสียงResonance

C= ความเร็วของเสียง (เท่ากับ 1100 ฟุต/วินาที)

L= ความยาวของห้อง

W= ความกว้างของห้อง

H= ความสูงของห้อง

ส่วนค่าของ p, q, r เรียกว่า modes of vibration นี้ ซึ่งอาจมีค่าเป็น 0,1,2,3,4,5 ... แล้วแต่กรณี ยกตัวอย่างเช่น ถ้า modes of vibration ของ p, q, r เป็น 1, 0, 0 หมายความว่า การสั่นสะเทือนของเสียงเกิดเฉพาะตามความยาวของห้องเท่านั้น กล่าวคือ p=1 และq=0 และ r=0 หมายความว่าไม่มีการสั่นตามความกว้างของห้อง (q) และตามความสูงของห้อง (r) เพราะฉะนั้น ถ้า modes of vibration เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวทั้งความยาว ความกว้าง และความสูงของห้อง p, q, และ r จะมีค่าดังนี้ p=1, q=1, r=1 เขียนว่าเป็น mode (1,1,1)

2.1.15 การพิจารณาในการออกแบบให้มีการรับฟังเสียงที่ดี

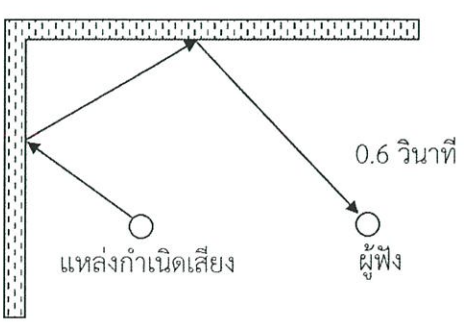
การออกแบบห้องให้เหมาะสมกับการใช้งานโดยมีคุณภาพของเสียงที่ดี มีรายละเอียดข้อคำนึงในการออกแบบดังนี้ คือ

2.1.15.1 การขจัดปัญหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ของเสียงที่ไม่ต้องการ

ก่อนอื่นเราควรทราบก่อนว่าเสียงในห้องที่ไม่ต้องการมีอะไรบ้าง ในที่นี้ได้แก่

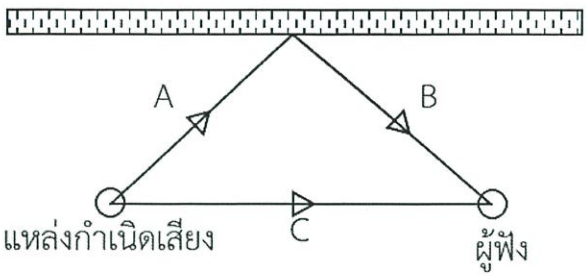
1) เสียงก้องสะท้อน (echo)

เป็นปรากฏการณ์เกิดขึ้นเมื่อผิวที่สะท้อน มีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางคลื่นเสียงที่ตกกระทบ ทำให้คลื่นเสียงสะท้อนกลับไปยังแหล่งกำเนิดเสียงหรือต้นเสียง (source of sound) พบว่าหูของเราสามารถแยกเสียงสะท้อนออกจากต้นกำเนิดเสียงได้ในช่วงเวลาที่ห่างกัน 0.06 วินาที แสดงว่าเราได้ยินเสียงสะท้อนกลับมาได้ชัดเจนก็ต่อเมื่อระยะห่างจากตัวเราถึงผิวสะท้อนต้องมีระยะห่างพอสมควร



ภาพที่ 2.14 เสียงออกจากต้นกำเนิดเสียงแล้วสะท้อนกลับสู่ต้นเสียง ในเวลา 0.06 วินาที

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

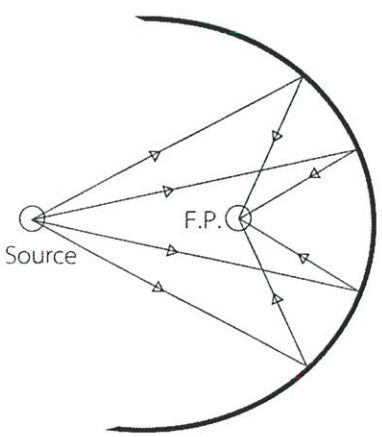


ภาพที่ 2.15 เสียงสะท้อนและเสียงจากต้นกำเนิดเสียงโดยตรง = A+B-C ถ้าอยู่ในช่วง 50-60 ฟุต จึงจะเกิดเสียงสะท้อนขึ้นได้

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

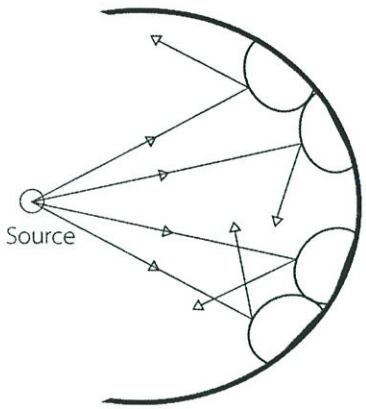
2) เสียงสะท้อนรวมกัน เกิดจากพื้นที่ผิวเว้าเข้า (Concave)

เป็นเสียงที่ดังเกือบเท่าเสียงเดิม จุดที่มารวมจึงได้รับเสียงในเวลาเดียวกัน ณ. ที่จุดเดียวกัน จุดอื่นๆโดยรอบเกือบไม่มีเสียงเลย จึงเกิด เสียงดับ(dead spot) พร้อมๆกันด้วย



ภาพที่ 2.16 เสียงสะท้อนรวมกันอันเกิดจากพื้นผิวเว้าเข้า (concave)

วิธีแก้ไขคือ การออกแบบผนังห้องไม่ควรใช้ผนังที่มีผิวโค้งเข้า หากจำเป็นจริงๆต้องออกแบบผนังโค้งเข้า ก็ให้นำวัสดุที่สามารถทำให้เสียงกระจัดกระจายได้บุผนังอีกชั้นหนึ่ง



ภาพที่ 2.17 ควรแก้ไขพื้นผิวเว้าเข้าด้วยพื้นผิวเว้าออก (convex)

3) จุดเสียงดับ

เกิดจากการใช้วัสดุบุผนังและเพดาน รวมทั้งในบางการณีพื้นห้องที่เป็นวัสดุดูดซับเสียง (absorbing material) มากเกินไป ทำให้เสียงส่วนใหญ่หายเข้าไปในผนังและเพดาน โดยมีการสะท้อนเสียงออกมาน้อยมากหรือการสะท้อนที่เกิดขึ้นกระจายได้ไม่ทั่วทั้งห้องทำให้เกิดจุดอับเสียงขึ้น เรียกว่าเสียงดับ ผู้ฟังที่นั่งอยู่บริเวณนั้นๆ จะไม่ได้ยินเสียงเลย หรือ ได้ยินแต่ไม่ชัดเจนนัก

วิธีแก้คือ ต้องเปลี่ยนวัสดุบุผนังและเพดานให้เกิดการสะท้อนเสียงได้บ้าง ดูดซับเสียงได้บ้าง อย่างไรก็ตาม ส่วนใดของห้องควรใช้วัสดุประเภทใดนั้น ต้องติดตามในขั้นตอนของการออกแบบต่อไป

4) เสียงวิ่งไปมาในห้อง

มักเกิดจากห้องที่มีผนัง 2 ด้าน ขนานกัน ตัวอย่างเช่น ในห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีกำแพง 2 ด้านขนานกัน แต่พื้นและเพดานบุด้วยวัสดุที่ดูดกลืนเสียง ทำให้เสียงวิ่งไปมาอยู่แต่ในผนังทั้งสองข้าง ส่วนเสียงที่วิ่งสะท้อนขึ้นเพดานหรือลงพื้นจะถูกดูดซับไปหมด

วิธีการแก้ไข คือ เสียงที่วิ่งไปวิ่งมาบนผนังทั้งสองด้านมีวิธีหนึ่งที่แก้ไขได้ง่ายที่สุด คือ พยายามออกแบบให้ผนังด้านใดด้านหนึ่งเอียงออกเสียเลยหากไม่ใช้วัสดุดูดซับเสียง

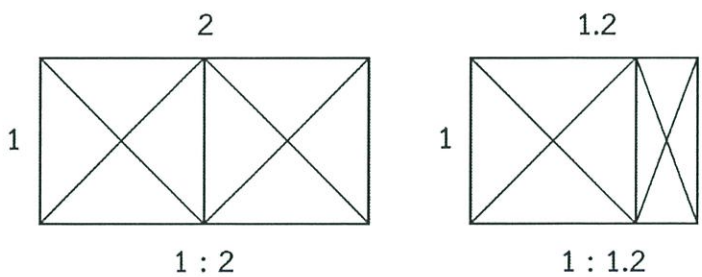
2.1.15.2 การเพิ่มและลดระดับเสียงในห้อง

1) การเพิ่มเสียงในห้อง มี 2วิธี คือ วิธีที่ 1 เพิ่มเสียงโดยการใช้วัสดุสะท้อนเสียงมากๆ และติดตั้งแผงสะท้อนเสียง (sound reflector) มาช่วยในการกระจายเสียง แต่การติดตั้งแผงสะท้อนเสียงต้องอาศัยการคำนวณที่ตั้งและมุมที่จะติดตั้ง วิธีที่ 2 คือการใช้เครื่องขยายเสียง ซึ่งเหมาะสมสำหรับห้องที่มีขนาดใหญ่ หรือเป็นห้องที่มีความยาวมากๆ ที่ไม่สามารถใช้วิธีแก้ไขแบบห้องได้เลย หรือแผงสะท้อนเสียงไม่สามารถช่วยเพิ่มเสียงให้ได้เลย

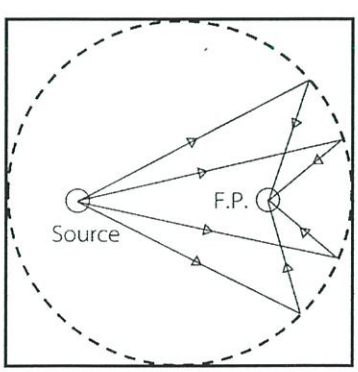
2) การลดเสียงในห้อง โดยปกติหากจะได้ยินเสียงได้ดี ห้องนั้นๆควรมีเสียงดังอยู่ในระดับเสียงไม่เกิน 40 dB หากห้องดังกล่าวมีระดับเสียงสูงกว่านี้ประสิทธิภาพในการรับฟังเสียงจะลดน้อยลง วิธีลดระดับเสียงภายในห้องคือ การบุด้วยวัสดุดูดซับเสียง เพดานและพื้นห้อง ส่วนเสียงที่รบกวนจากภายนอก (Sound Isolation) เช่น เสียงรถยนต์แล่น รถไฟ หรือเครื่องบิน เป็นต้น เราจะเป็นต้องหาวิธีออกแบบมาช่วย วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันคือการปลูกต้นไม้ การทำเนินดิน หรือการติดตั้งแผงกันเสียงระหว่างจุดกำเนิดเสียงกับตัวบ้าน ซึ่งเรียกว่า sound barrier ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสถานที่และความสวยงามทางภูมิสถาปัตยกรรม (Landscape design) อีกทั้งยังต้องป้องกันเสียงที่เกิดขึ้นภายในอาคารเองอันเนื่องมาจาก อุปกรณ์อาคาร เช่น เครื่องปรับอากาศ ปั๊มน้ำ หรือมอเตอร์อื่นๆ เป็นต้น

2.1.15.3 การเลือกใช้รูปแบบและรูปทรงห้องที่เหมาะสม

1) ผนังห้อง (Plan) โดยห้องที่เหมาะสมที่สุดในการับฟังเสียงที่ดีต้องมีสัดส่วนของผนังห้อง 1:1.2 แต่ต้องไม่เกิน 2 เท่าของความกว้าง หรือ 1:2 (ขั้นต่ำ) สัดส่วนของห้องแบบที่ 1:1 ทำให้การรับฟังเสียงได้ไม่ดี อาจจะเกิดเสียงสะท้อนที่รวมกัน(Sound foci) ขึ้นได้หรือห้องที่มีสัดส่วนมากกว่า1:2 จะทำให้การรับฟังเสียงในส่วนท้ายห้องไม่ดีพอ



ภาพที่ 2.18 สัดส่วนรูปทรงห้องที่เหมาะสม



ภาพที่ 2.19 รูปทรงห้องที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสไม่ต่างจากรูปทรงกลมเท่าใดนัก

2) รูปตัด (Section) หากต้องการทราบระยะห่างระหว่างที่นั่งแถวแรกกับขอบเวที มีสูตรใช้ในการคำนวณดังนี้

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

d = ระยะที่สามารถอยู่ในระนาบได้

r = ระยะทางระหว่างแถวนั่ง

h = ความสูงของตำแหน่งความสูงของต้นเสียง

3) เพดาน (ceiling) เรื่องของเสียงมีส่วนทำให้รูปแบบของเพดานมีความสำคัญมากต่อการเสริมหรือลดระดับเสียงก้อง อีกทั้งสามารถก่อให้เกิดเสียงสะท้อนรวมกันได้ เพราะฉะนั้นวิธีช่วยแก้ไขปัญหาเหล่านี้ เราสามารถใช้แผงสะท้อนเสียง (sound reflector) มาช่วย ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

4) ผนัง (wall) ผนังห้องควรหลีกเลี่ยงการวางผนังขนานกันในที่แคบๆ เพื่อไม่ให้เกิดการกระจายกลับไปกลับมาของเสียง (room flutter) วิธีแก้คือการบุผนังด้วยวัสดุกลืนเสียง เช่น ผ้าม่าน หรือแผ่นกันเสียงชนิดต่างๆ (acoustical board)

5) ปริมาตรของห้อง (room volume) ปริมาตรของห้องมีส่วนเกี่ยวข้องกับการออกแบบห้องที่รับฟังเสียงที่ดีได้ ก่อนที่จะออกแบบห้องประชุม (meeting room) หรือ หอประชุม (auditorium) เราต้องทราบเสียก่อนว่าห้องเหล่านั้นมีขนาดเท่าใด โดยใช้จำนวนผู้เข้าประชุมเป็นหลัก เช่น ห้องประชุมขนาดจุคนได้ 200 คน หอประชุมขนาด 2,000 คน เป็นต้น เมื่อทราบจำนวนแล้ว เราจะทราบปริมาตรของห้องได้โดยอาศัยมาตรฐานการคำนวณแบบสากล คือ

ปริมาตรต่อคน = 125 ลบ.ฟุต หรือ

= 4 ลบ.เมตร/คน

จำนวนคนตั้งแต่ 2,000 คนขึ้นไป

ปริมาตรต่อคน = 175 ลบ.ฟุต หรือ

= 4.95 ลบ.เมตร/คน

6) ความสูงของห้อง (room height) เมื่อทราบปริมาตรของห้องแล้ว เราสามารถทราบความสูงของห้อง (ที่ต่ำที่สุด) เพื่อการออกแบบแผงสะท้อนเสียงต่อไป เพราะหากเพดานสูงเกินไปการสะท้อนเสียง (เพื่อช่วยเสริมเสียง) จะไม่ดี แต่หากความสูงของห้องต่ำเกินไปเสียงจะวิ่งเร็วเกินไป เพราะฉะนั้นความสูงที่เหมาะสม จึงมีสูตรให้ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$V = (W \times L) \times H$$

$$H = \frac{V}{(W \times L)}$$

2.1.16 การออกแบบห้องประชุม (Auditorium Design)

จากการที่ได้ทราบถึงหลักเกณฑ์ในการออกแบบห้องให้มีการรับฟังเสียงที่ดี อันได้แก่การขจัดปัญหาเกี่ยวกับเสียงที่ไม่ต้องการออกไป การเพิ่มหรือลดระดับเสียงในห้อง การเลือกใช้รูปแบบและทรงของห้องที่เหมาะสม ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบห้องประชุมที่มีการรับฟังเสียงที่ดี ดังจะกล่าวต่อไปนี้

2.1.16.1 ขนาดของห้องประชุม (Capacities)

สิ่งที่ควรทราบในเบื้องต้นคือขนาดความจุ (Capacity) ของผู้เข้าชมในห้องประชุม โดยทั่วไปจะเรียกความจุเป็นจำนวนคนหรือจำนวนที่นั่ง เช่น ห้องประชุมขนาดจุคนได้ 450 คน หรือห้องประชุมขนาด 3,000 ที่นั่ง เป็นต้น ขนาดของห้องประชุมแบ่งออกเป็น 3 ขนาด โดยขึ้นอยู่กับจำนวนคนเป็นหลัก ส่วนประโยชน์ใช้สอยอาจแตกแต่งกันบ้าง ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1) ห้องประชุมขนาดเล็ก

จำนวนคน	ประโยชน์ใช้สอย
35-75	ห้องเรียน
75-150	ห้องบรรยาย, โรงละครขนาดเล็ก
150-300	ห้องบรรยายขนาดใหญ่
300-750	ห้องประชุมโรงเรียน

2) ห้องประชุมขนาดกลาง

จำนวนคน	ประโยชน์ใช้สอย
750-1,500	โรงภาพยนตร์ขนาดเล็ก
1,500-2,000	โรงภาพยนตร์ขนาดใหญ่, โรงละครที่แสดงดนตรี

2) ห้องประชุมขนาดใหญ่

จำนวนคน	ประโยชน์ใช้สอย
2,000-3,000	โรงภาพยนตร์ขนาดใหญ่, Concert Hall
3,000-6,000	ห้องประชุมขนาดใหญ่, ศูนย์แสดงงานสินค้าต่างๆ, ศาลาประชาคม
เกินกว่า 6,000	ห้องประชุมขนาดใหญ่พิเศษ

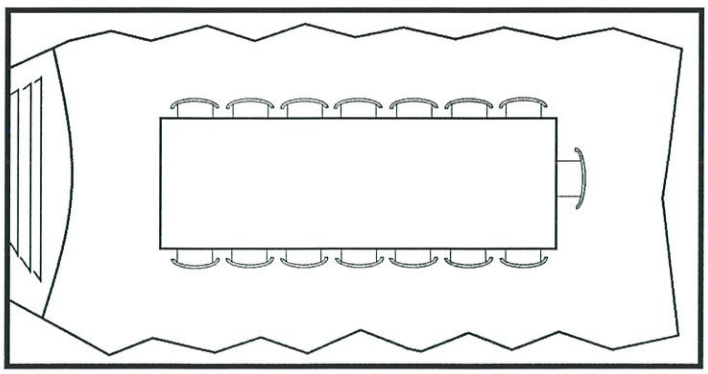
2.1.16.2 รูปแบบห้องประชุม (Auditorium shape)

รูปแบบห้องประชุมมีหลากหลายลักษณะตามแต่สถาปนิกจะออกแบบในรูปแบบใดๆ มีรูปแบบดังนี้

1) รูปแบบห้องประชุมแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

การออกแบบห้องที่มีผนังคู่ขนานกันไปหากเป็นหนังที่แคบด้วยแล้ว จะมีปรากฏการณ์ของเสียงวิ่งไปมาในห้อง (sound flutter) เพราะฉะนั้นวิธีแก้ปัญหาห้องรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบๆจึงต้องให้ผนังทั้งสองด้านเอนออก (tilt) จากกันบ้าง นอกจากนี้สัดส่วนของห้องที่เหมาะสมที่สุดใน

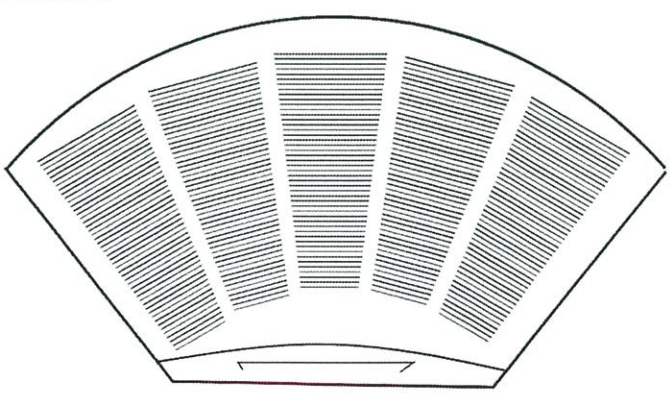
การรับฟังเสียงที่ดี ต้องไม่แคบเกินไปและไม่กว้างเกินไป สัดส่วนของผนังห้องกว้าง : ยาว เป็น 1:1.2 ความยาวของห้องที่รับฟังเสียงที่ดีได้ ต้องไม่เกิน 2 เท่าของความกว้าง (หรือ 1:2)



ภาพที่ 2.20 ส่วนประกอบของห้องประชุมรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2) รูปแบบห้องประชุมแบบรูปพัด

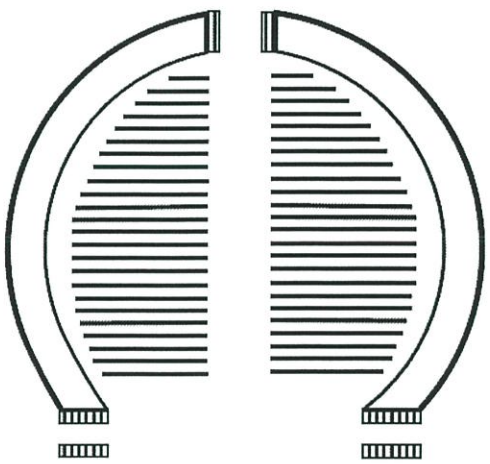
ลักษณะของห้องประชุมรูปแบบนี้ เหมาะสำหรับใช้เพื่อชมการแสดงมากกว่าการรับฟังเสียงดนตรีหรือเป็นรูปแบบของ concert hall เพราะเสียงดนตรีที่มีความถี่สูง จะไม่กระจายเสียงไปด้านข้างทั่วห้องประชุม เนื่องจากคลื่นเสียงของความถี่สูงนี้จะมีขนาดเล็กเดินทางเป็นทิศทางตรงไม่กระจายออกไปทางกว้าง เช่น เสียงของไวโอลิน ฉิ่ง หรือ cow bell ส่วนคลื่นเสียงของความถี่ต่ำมีขนาดใหญ่จะการจายออกได้มากทั้งห้อง เช่น เสียงเบส เพราะฉะนั้นผู้ที่นั่งตรงกลางห้องประชุมเท่านั้นที่จะได้ยินและรับฟังเสียงสูงเช่นเสียงไวโอลินได้ชัดเจน ส่วนผู้ที่อยู่บริเวณสองข้างของห้องจะได้ยินเสียงน้อยลงไปมาก ส่วนการชมการแสดงผู้ชมที่นั่งด้านหลังก็จะขยับเข้าใกล้เวทีการแสดงกระจายออกไปทางด้านข้างทำให้สามารถชมการแสดงได้ชัดเจนขึ้น



ภาพที่ 2.21 ส่วนประกอบของห้องประชุมแบบรูปพัด

3) รูปแบบห้องประชุมแบบรูปเกือกม้า

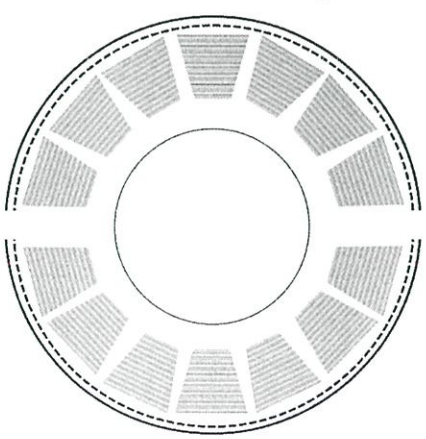
รูปแบบที่ผสมผสานระหว่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากับรูปทรงกลม โดยขยายด้านสกัดของเหลี่ยมออกไปให้เป็นโค้ง ส่วนใหญ่รูปแบบนี้มักจะสอดคล้องไปตามรูปทรง (Mass) ของที่ว่าง (Space) ของห้องประชุมนั้นมากกว่า ลักษณะรูปแบบอาจจะไปทาง Rectangular Shape หรือ Fan Shape นั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเวที เพราะฉะนั้น การออกแบบห้องประชุมรูปทรงนี้ต้องออกแบบรูปทรงของเวทีพร้อมๆกันไปด้วย หากมีการเปลี่ยนแปลงเป็นการฉายภาพยนตร์ คนดูด้านข้างจะไม่สามารถแลเห็นได้อย่างชัดเจน ปัญหาทางด้านเสียงก็จะต้องแก้ไขปัญหาของการรวมตัวของเสียง (Sound Foci) อันเนื่องมาจากผนังที่โค้งเว้าเข้า (Concave)



ภาพที่ 2.22 ห้องประชุมแบบรูปเกือกม้า

4) รูปแบบห้องประชุมแบบรูปวงกลม

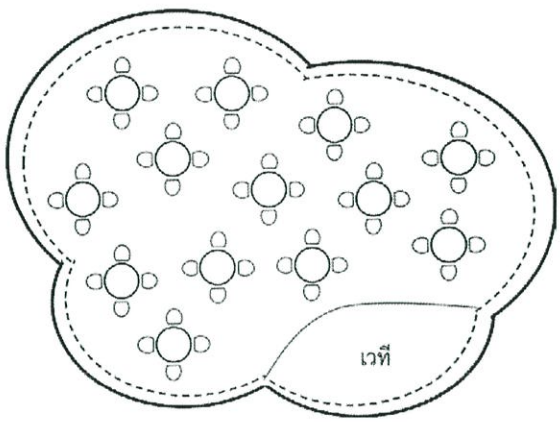
รูปทรงวงกลมของห้องประชุมประเภทนี้ เหมาะสำหรับการชกมวย หรือการแข่งขันกีฬา เช่น บาสเกตบอลล์ วอลเล่ย์บอลล์ มากกว่าการแสดงละครหรือดนตรี สิ่งที่ควรระวังในการออกแบบห้องระชุมประเภทนี้ คือ การเกิดเสียงสะท้อนรวมกัน (sound foci) ขึ้นได้



ภาพที่ 2.23 ห้องประชุมรูปทรงกลม

5) รูปแบบห้องประชุมแบบอิสระ

การออกแบบห้องประชุมรูปแบบอิสระนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการเน้นรูปลักษณะเป็นหลัก ประโยชน์ใช้สอยตามใบกำกับรูปลักษณะนั้นๆ การเลือกรูปแบบต้องระมัดระวังเรื่องของจุดเสียงดับ (dead spot) จุดสะท้อนรวมตัวของเสียง (sound foci) ด้วย การใช้งานคงจะเน้นให้ดีในเรื่องของเสียงคงจะไม่ได้



ภาพที่ 2.24 ห้องประชุมแบบอิสระ

2.1.16.3 รูปแบบเวทีห้องประชุม (stage types)

ตำแหน่งและรูปแบบเวทีมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบห้องประชุมทั่วๆไป รูปแบบเวทีสามารถแบ่งได้ดังนี้ คือ

1) End Stage (หรือเวทีปลายห้อง)

เป็นรูปแบบของเวทีในห้องประชุมทั่วๆไป คืออยู่ทางปลายด้านหนึ่งของรูปทรงห้องประชุม เป็นรูปทางที่เหมาะที่สุด สามารถควบคุมการดูแลและการรับฟังของผู้ชมได้ง่าย ควบคุมเสียงได้ดีเหมาะสำหรับการชมการแสดงดนตรี การแสดง

รูปที่ 6.6 เวทีปลายห้อง (End Stage)

2) Open Stage (หรือเวทีเปิด)

เป็นเวทีชนิดที่ยื่นเข้ามาในส่วนผู้นั่งชม จะเน้นการรับชมการแสดงมากกว่าการฟัง เช่น ใช้เดินแฟชั่นโชว์ เป็นต้น การควบคุมเสียงกระทำได้ยาก แต่การแสดงนั้นผู้ชมและผู้แสดงมีโอกาสได้สัมผัสใกล้ชิดมากขึ้น

รูปที่ 6.7 เวทีเปิด (Open Stage)

3) Arena Stage หรือ Central Stage หรือ Island Stage

เหมาะสำหรับการแสดงต่างๆที่มองดูรอบตัวการแสดง รวมทั้งรายการชกมวย แต่ไม่เหมาะสำหรับการให้เสียงที่ดี พื้นที่ทุกด้านของเวทีนี้เปิดสู่ผู้ชมทั้งหมดทุกด้าน การกระจายเสียงจะ

คำนึงถึงการกระจายเสียงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียงโดยตรงเป็นหลักมากกว่าการสะท้อน เพราะมีพื้นที่ของการสะท้อนเสียงน้อย

รูปที่ 6.8 เวทีอารีนา (Arena Stage)

4) Adaptable Stage (หรือเวทีปรับได้)

เป็นเวทีที่สามารถปรับและดัดแปลงรูปทรงได้ตามความจำเป็นของงาน และจุดประสงค์ของประโยชน์ใช้สอยที่ต่างกัน การควบคุมเพื่อให้ได้รับฟังเสียงได้ดีกระทำได้ยาก เวทีประเภทนี้โดยมากเป็นเวทีเอนกประสงค์ เช่น เวทีห้องประชุมประจำโรงเรียน ซึ่งใช้สำหรับเล่นกีฬา ประชุม แสดงละคร และการแสดงดนตรี เป็นต้น

รูปที่ 6.9 เวทีปรับได้ (Adaptable Stage)

2.1.16.4 ส่วนประกอบและรายละเอียดต่างๆ (Details)

รายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบห้องประชุมที่สำคัญๆ มีดังนี้ คือ

1) โถงทางเข้า (Lobby & Foyer)

บริเวณส่วนนี้มักถูกสถาปนิกละเลยมิได้นำเข้ามาพิจารณาร่วมกันกับการออกแบบห้องประชุม ทั้งๆที่เป็นส่วนหนึ่งของการรับและกระจายผู้ชมเข้าออกและควบคุมมิให้เสียงจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้องประชุม โถงทางเข้า (Lobby) เป็นการเปลี่ยนบรรยากาศจากภายนอกห้องประชุมเข้าสู่ภายใน ซึ่งโถงควบคุมหรือ foyer เป็นตัวเชื่อม Auditorium กับ Lobby ห้องประชุมทุกแห่งต้องมี foyer เป็นเสมือนตัวกันหรือควบคุม (control) แสงเสียงผู้คนจากด้านนอก และ Auditorium ไม่ให้เกิดการรบกวนกับผู้ที่นั่งชมนั่งฟังที่อยู่ในห้องประชุมนั้นอยู่แล้ว เนื้อที่ของ lobby และ foyer ควรมีขนาดประมาณ 20% - 30% ของห้องประชุมทั้งหมด

รูปที่ 6.10 ผนังแสดงโถงทางเข้าห้องประชุม

2) การออกแบบฝ้าเพดานและแผงสะท้อนเสียง

เพื่อการรับฟังเสียงที่ดี โดยปกติเรามักใช้แผงสะท้อนเสียงไว้ตรงบริเวณส่วนหน้าๆของเวที เพื่อรวบรวมเสียงที่กระจัดกระจาย แล้วผลักเสียงให้ไปข้างหน้า

รูปที่ 6.11 การกระจายเสียงของ Reflector

3) การหาขนาดของตัว reflector = $X > 4\lambda$

λ = Lamda หรือ ความยาวคลื่น (คลื่นของแหล่งกำเนิดเสียง)

4λ = 4เท่าของคลื่นเสียง

ตัวอย่างการหาขนาดของตัว reflctor

$V = \lambda f$

$\lambda = V/f$

λ = ความยาวคลื่น

f = ความถี่ของเสียง (สมมุติที่ 500 Hz)

∴ λ=V/f=1130/500

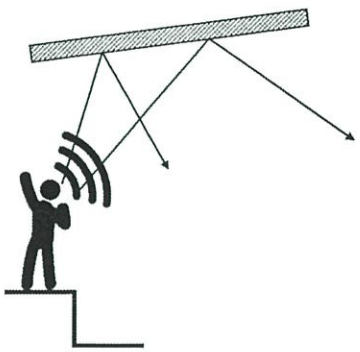
λ = 2.26 ฟุต

ขนาดของตัวแผน reflector = X>4 λ

= 4 x 2.26

=9.04 ฟุต

∴ แผง reflector ต้องยาวกว่า 9 ฟุตขึ้นไป ณ ความถี่ 500 Hz

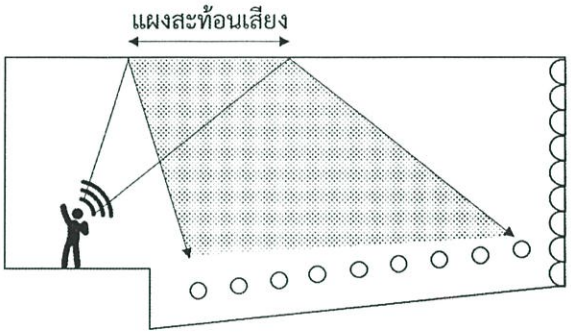


ภาพที่ 2.25 จุดที่ตั้งแผงสะท้อนเสียง

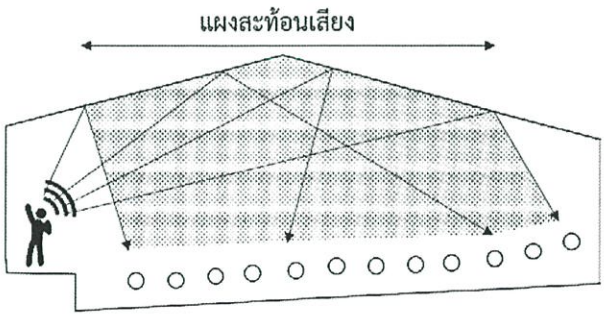
อนึ่งหากไม่ต้องการให้เกิดการสะท้อนมากเกินไปเราสามารถออกแบบแผงสะท้อนเสียง โดยการลดการสะท้อนลงได้ด้วยวิธีติดวัสดุดูดซับเสียงเป็นระยะๆ หรือตีร่องบนแผงสะท้อน

ภาพที่ 2.26 ตัวแผงสะท้อนเป็นร่อง

ภาพที่ 2.27 แผงสะท้อนติดวัสดุดูดซับเสียง



ภาพที่ 2.28 การบังคับทิศทางของเสียงไปทางทิศทางที่ต้องการ โดยการใส่แผงสะท้อนเสียง (ด้านหน้า) และวัสดุดูดซับเสียง (ด้านหลัง)



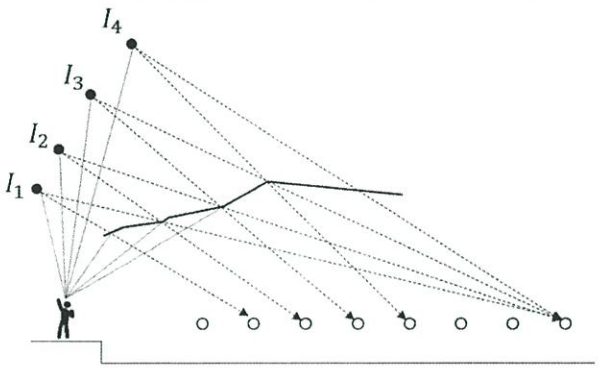
ภาพที่ 2.29 การหักมุมฝ้าเพดานด้านหลังเพื่อให้เสียงสะท้อนตกลงส่วนหลังของที่นั่งเพื่อให้ที่นั่งแถวหลังได้รับฟังเสียงที่ดีไม่เป็นมุมอับเสียง

4) การหามุมมององศาของตัว reflector

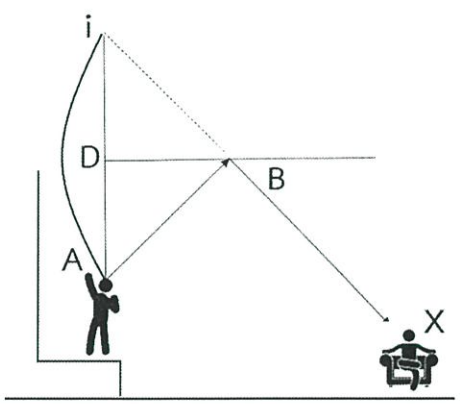
การหามุมมององศาของตัว reflectorต้องสมมุติหรือสร้างตัวอิมเมจ(Image-I) ขึ้นมา เสมือนหนึ่งว่าผู้พูดอยู่บนเพดาน (I0, I1, I2, ...) แล้วพูดตรงไปยังผู้ฟังที่จุดต่างๆนั้น มีหลักการหาดังนี้

1.กำหนดความสูงของฝ้าเพดานโดยประมาณ

2.กำหนดจุดผู้พูด (A) ตำแหน่งผู้ฟัง (X) โดยมีจุดสะท้อนเสียงที่ฝ้าเพดาน



ภาพที่ 2.30 การหามุมมององศาของ reflector



ภาพที่ 2.31 การหา Image ของอาคาร

3.ลากเส้น XB ยาวทะลุฝ้าเพดานขึ้นไป

4.หาจุด C (หรือจุด I – Image) บนเส้น XB ได้โดยการลากเส้นวงกลมจากจุด A (ผู้พูด) ไปตัดเส้นตรงจาก XB ที่ลากต่อจากเส้น XB ขึ้นไปทะลุแนวเส้นฝ้าเพดาน (สมมุติ) โดยใช้จุด B เป็นรัศมีของวงกลม

5.เมื่อได้จุด C แล้วให้ลากเส้นตรงจาก C ถึง A ได้เส้น AC

6.แบ่งครึ่งเส้น AC ที่จุด D จะได้มุมของแผงสะท้อนเสียง reflector DB

7.ความยาวของแผง reflector DB ให้ใช้สูตร $X>4\lambda$

อนึ่งเพื่อแสดงให้เห็นว่า การสะท้อนของเสียงของตัว reflector นั้นถูกต้อง ให้พิจารณามุมต่างๆ ดังนี้

มุม α=x หรือ ABD = XBE

มุม ABD = DBC เพราะว่าเกิดจากการแบ่งครึ่ง ABC

เมื่อ DBC = XBE ตรงกันข้ามกัน

$\therefore$ ABD = XBE ด้วย

α=x

5) การหาความสูงของห้อง

สูตรการหาความสูงของห้อง คือ

V = (W x L)h

V = Volume ปริมาตร

W = ความกว้าง

L = ความยาว

h = ความสูง

ตารางที่ 2.3 ปริมาตรของห้องแต่ละประเภท

Type of auditorium	Min	Opt	Max
Rooms for speech	2.3(80)	3.1(110)	4.3(150)
Concert halls	6.2(220)	7.8(275)	10.8(380)
Opera houses	4.5(160)	5.7(200)	7.4(260)
Roman Catholic Churches	5.7(200)	8.5(300)	12(425)
Protestant Churches and synagogues	5.1(180)	7.2(255)	9.1(320)
Multipurpose auditorium	5.1(180)	7.1(250)	8.5(300)
Motion-picture theaters	2.8(100)	3.5(125)	5.1(180)

2.1.17 ประเภทของสัญญาณภาพ

การเชื่อมต่อระบบภาพมีพอร์ตการเชื่อมต่อสัญญาณภาพที่หลากหลาย ดังนั้นในการเลือกใช้สายสัญญาณเราจึงควรต้องคำนึงถึงพอร์ตการเชื่อมต่อและการใช้งานเพราะสัญญาณประเภทต่างๆจะมีความละเอียดและความคมชัดแตกต่างกันออกไป ดังนี้

2.1.17.1 Composite Video

เป็นรูปแบบของสัญญาณภาพวีดีโอแบบสัญญาณเดี่ยว โดยข้อมูลภาพขาวดำ (Y) ข้อมูลสีของภาพ (C) และข้อมูล Sync ทั้งหมดนี้ถูกรวมเข้าไว้ด้วยกันในช่องสัญญาณเพียงช่องเดียว Composite video เป็นรูปแบบของสัญญาณแบบอนาล็อก

2.1.17.2 Separate Video (S-Video)

S-Video บางทีเรียกว่าสัญญาณ Y/C คือสัญญาณภาพแบบอนาล็อก สัญญาณ S-video เป็นการรวมสัญญาณสามชนิดคือ Y, U และ V เข้าด้วยกันและแบ่งออกเป็นสองช่องสัญญาณโดยสัญญาณหนึ่งเป็นสัญญาณสี (Chrominance) หรือ (UV) และอีกสัญญาณเป็นสัญญาณความสว่าง (Luminance) หรือ (Y) ข้อดีของการแยกสัญญาณออกเป็นสองสัญญาณคือทำให้การรับส่งข้อมูล Luminance (Y) ดีขึ้นและการถอดรหัส Decode สัญญาณสี Chrominance (C) ได้ง่ายขึ้น สนับสนุนภาพที่มีความละเอียด 480i หรือ 576i สัญญาณ S-Video ให้ความคมชัดมากกว่าสัญญาณ Composite แต่ก็ยังไม่ดีเท่าสัญญาณ Component

2.1.17.3 Component Component Video

เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการส่งสัญญาณภาพแบบอนาล็อกที่แบ่งสัญญาณออกเป็นสามช่องสัญญาณ โดยแบ่งเป็นช่องสัญญาณแรกคือช่องสัญญาณสีเขียวซึ่งบรรจุด้วยข้อมูลของสัญญาณความสว่างหรือ Luminance (Y) และข้อมูลสัญญาณ Sync Pulse สัญญาณที่สองและสามเรียกว่าสัญญาณความต่างสี (Color Difference) โดยช่องสัญญาณที่สองคือช่องสัญญาณสีแดงซึ่งบรรจุข้อมูล R-Y (Red minus Y)หรือ (Pr) และช่องสัญญาณที่สามคือช่องสัญญาณสีน้ำเงินซึ่งบรรจุข้อมูล B-Y (Blue minus Y) หรือ (Pb) โดยสนับสนุนภาพที่มีความละเอียด 1080i

2.1.17.4 RGB

เป็นรูปแบบของสัญญาณภาพวิดีโอที่แยกข้อมูลสีออกเป็นสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินสามช่องทาง แต่ละช่องทางของสัญญาณ R, G และ B บรรจุด้วยข้อมูลของสี (Chrominance) และข้อมูลความสว่าง (Luminance) แต่ละช่องสัญญาณสามารถให้ภาพสีตามสัญญาณสีนั้นๆโดยไม่มีสัญญาณภาพขาวดำให้ เห็นอีก เนื่องจากข้อมูลความสว่าง Y (Luminance) ได้ถูกรวมไว้กับสัญญาณทั้งสามช่องทางเรียบร้อยแล้ว แต่ก็เป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองช่วงกว้างของข้อมูล (Bandwidth) เป็นอย่างมากเนื่องจากต้องมีการส่งสัญญาณถึงสามครั้งโดยแต่ละครั้งเป็น สัญญาณชนิดเดียวซ้ำๆกัน

2.1.17.5 DVI Digital Visual Interface (DVI)

เป็นการส่งสัญญาณแบบดิจิตอลทำให้ได้ภาพที่มีความคมชัดและลดสัญญาณรบกวน DVI เป็น interface แบบผสม คือมีทั้ง analog และ digital ในตัว ซึ่งถ้าแบ่งง่ายๆ ก็ได้ออกเป็น 3 กลุ่มคือ DVI-D จะส่งข้อมูล digital อย่างเดียว, DVI-A ส่งข้อมูล analog อย่างเดียว และ DVI-I ส่งข้อมูลทั้งสองอย่าง

2.1.17.6 HDMI

คือระบบการเชื่อมต่อในการรับส่งข้อมูลดิจิตอลเช่นเดียวกันกับระบบ DVI แต่จะเพิ่มความสามารถในส่วนของการรับส่งข้อมูลสัญญาณเสียงระบบดิจิตอล (Digital Audio) เข้ามา HDMI ยังรองรับ Bandwidth ได้มากกว่า DVI อีกด้วยตัวอย่างเช่น HDMI เวอร์ชันแรกๆสามารถรองรับ Bandwidth ได้ที่ 165 MHz ซึ่งใช้ได้กับสัญญาณความละเอียด 1080p และ WUXGA (1920 x 1200) สำหรับ HDMI 1.3 ได้เพิ่มความสามารถนี้มากขึ้นเป็น 340 MHz ทำให้รองรับสัญญาณความละเอียดได้ถึง (2560 x 1600) HDMI ยังมีระบบ Single Link และ Dual Link อีกด้วยนั่นหมายความว่าระบบ HDMI Single Link (Type A/C) จะสามารถรองรับ Bandwidth ได้ 340 MHz และ HDMI Dual Link (Type B) จะสามารถรองรับ Bandwidth ได้ถึง 680 MHz

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมรรถ บุณยรัตพันธุ์, ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความรู้เรื่องเสียงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างมากที่จะนำมาใช้ร่วมกับการออกแบบตั้งแต่เบื้องต้นของการเริ่มทำงาน เหมือนดังเช่นการออกแบบอาคารโดยคำนึงถึงระบบโครงสร้างอาคาร และอุปกรณ์อาคาร ในช่วงแรกเริ่มของแบบร่าง โดยเฉพาะอาคารสมัยใหม่ที่เป็นหอประชุม โรงละคร ห้องฟังดนตรี หากวางตำแหน่งของห้องต่างๆ หรืออุปกรณ์อาคารไว้ในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้องแล้ว อาจก่อให้เกิดเสียงรบกวนอย่างถาวรขึ้น ก็ยากที่จะแก้ไข อันเป็นการประทบกระเทือนต่อสภาพจิตใจของผู้ใช้เป็นอย่างยิ่ง เพราะฉะนั้นถึงเวลาแล้วที่ควรให้ความสนใจกับความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเสียง และการออกแบบเพื่อให้คนใช้อาคารสามารถรับฟังเสียงที่ดีได้ อีกทั้งจัดเสียงที่ไม่พึงปรารถนาออกจากตัวอาคาร หรือปิดกั้นมิให้เข้าสู่ตัวอาคารได้

สราวุฒิ โสนะมิตร, (2551) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยสำคัญในการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี มักไม่ได้รับความสำคัญในขั้นตอนการออกแบบ เนื่องจากเป็นสิ่งที่จับต้องไม่ได้ และไม่สามารถมองเห็นได้ในขั้นตอนการออกแบบ จึงทำให้งานออกแบบที่ต้องการคุณภาพเสียงที่ดีมักมีปัญหาตลอดมา การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อหาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อคุณภาพเสียงของหอประชุม ลำดับอิทธิพลของตัวแปรหลักที่ทำให้คุณภาพเสียงของห้องเปลี่ยนแปลงไป นำผลการวิจัยมาประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดเป็นแนวทางการออกแบบห้องประชุมให้มีคุณภาพเสียงที่ดีกระบวนการศึกษาอาศัยทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวกับแนวคิดในการออกแบบห้องประชุมเพื่อควบคุมการเดินทางของเสียง การป้องกันเสียงจากสภาพแวดล้อมภายนอก การควบคุมเสียงรบกวนภายในห้องประชุมและการควบคุมคุณภาพ อะคูสติก และการเดินทางของเสียงภายในห้องประชุม ตัวแปรหลักที่ใช้ในการประเมินแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ รูปร่างลักษณะของห้องประชุม ค่าความก้องของเสียง และเกณฑ์ระดับเสียงรบกวน ขั้นตอนต่อมาเป็นการให้คะแนนกลุ่มตัวแปรต่างๆ เพื่อสร้างดัชนีโดยวิเคราะห์ คุณสมบัติและเทคนิคในการควบคุมการสะท้อน การดูดซับและการกระจายเสียง วิเคราะห์คุณสมบัติในการป้องกันเสียงรบกวนของตัวแปร ตามเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบเพื่อควบคุมคุณภาพของเสียง ควบคุมเสียงรบกวนจากภายในและภายนอกห้องประชุม จากการวิเคราะห์ผลการวัดค่าอะคูสติกจากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 แห่ง พบว่า อิทธิพลในการควบคุมคุณภาพเสียงมี

สัดส่วนของตัวแปรเรียงลำดับตามความสำคัญ ได้แก่ ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบห้องประชุม ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับค่าความก้องของเสียง (RT60) และตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์เสียง (NC) จากนั้นจึงหาเกณฑ์ที่เหมาะสมในการประเมินค่าตัวแปรต่างๆ และสร้างระดับที่เป็นตัวชี้วัดถึงคุณภาพเสียงที่ดี โดยแบ่งเป็นเกณฑ์ ที่ดีที่สุด (0.0-3.0) ผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพเสียง ข้อมูลอะคูสติกจากต่างประเทศ และข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยวัดค่าอะคูสติกในครั้งนี้ ซึ่งในประเทศไทยยังไม่เคยปรากฏว่ามีงานวิจัยใดได้ทำการศึกษามาก่อน เมื่อนำไปประยุกต์อย่างถูกต้องจะพบว่าการปรับปรุงเพื่อให้มีทิศทางกระจายเสียงที่ถูกต้อง ให้ได้ค่าการสะท้อนเสียงเหมาะสม และลดเสียงรบกวนลง สามารถเพิ่มศักยภาพในการได้ยินที่ดีขึ้น

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 กำหนดแนวคิดการออกแบบระบบอะคูสติก

การออกแบบระบบอะคูสติก จำเป็นต้องเข้าใจถึงการดูดซับเสียง (Sound Absorption) และการควบคุมเสียงสะท้อน มีความจำเป็นในการออกแบบห้องที่ต้องการควบคุมเสียงสะท้อน เช่น ห้องประชุม , ห้องอเนกประสงค์, ห้องบรรยาย, ห้องรับรอง ภายในห้องเหล่านี้หากมีเสียงสะท้อน หรือเสียงก้องเกิดขึ้นในลักษณะที่รบกวนผู้ฟัง จะทำให้ประสิทธิภาพในการได้ยินของผู้ฟังลดลง ดังนั้นเสียงรบกวนที่อาจเกิดจากปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกจำเป็นต้องได้รับการควบคุม ทั้งนี้โดยการเลือกใช้ วัสดุดูดซับเสียงที่เหมาะสม เพื่อควบคุมเสียงที่มากระทบฝ้าเพดาน พื้น และผนัง ให้เป็นไปในปริมาณที่พอเหมาะ เพื่อส่งเสริมให้ “เสียงของห้อง” หรือ “สภาพทางอะคูสติกส์” ของห้องนั้นเหมาะสมกับ การแสดง บรรยาย หรือกิจกรรมภายในห้องนั้น “เสียง” มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำกิจกรรมต่างๆ ดังนั้นการออกแบบพื้นที่ที่ต้องการสภาพแวดล้อมทางเสียงที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง นอกจากจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำกิจกรรมต่างๆแล้ว ยังส่งผลให้ผู้ที่อยู่ในสถานที่นั้นๆ รู้สึกสงบและสบาย ซึ่งในโครงงานที่เราได้จัดทำขึ้นนั้นได้ทำการปรับปรุงระบบอะคูสติกของห้อง 3 ประเภท ดังนี้ ห้องประชุม ห้องอเนกประสงค์ และห้องรับรอง ซึ่งการออกแบบแนวคิดในแต่ละห้องก็จะแตกต่างกันออกไปตามการใช้งานของแต่ละสถานที่

3.2 กำหนดแนวคิดการออกแบบระบบโสตทัศนูปกรณ์

การออกแบบระบบโสตทัศนูปกรณ์ควรคำนึงถึงการใช้งานและพื้นที่ในการใช้งานของสถานที่นั่น ซึ่งการใช้งานในแต่ละห้องนั้น เนื่องจากมีผู้ใช้งานที่หลากหลาย ทำให้การออกแบบระบบโสตทัศนูปกรณ์ต้องคำนึงถึงเรื่องของอุปกรณ์และรูปแบบการใช้งานในห้องเป็นหลัก เพื่อให้ระบบมีการใช้งานที่ง่าย อำนวยความสะดวกได้อย่างครบถ้วน และมีประสิทธิภาพสูงสุด

3.3 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบอะคูสติก

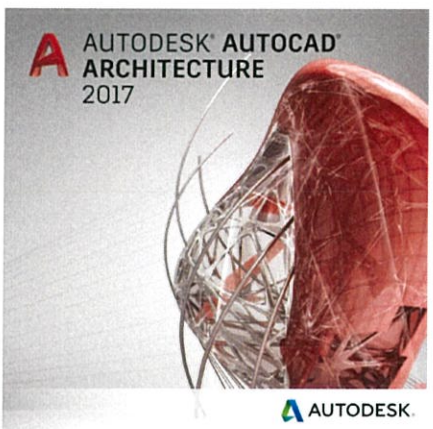
ในการออกแบบระบบอะคูสติก ต้องคำนึงถึงคุณภาพของเสียงที่ได้ยิน โดยต้องอาศัยค่ามาตรฐานทางอะคูสติกในการออกแบบ ให้มีค่าที่เหมาะสมตรงตามการใช้งานของห้อง ซึ่งค่ามาตรฐานที่สำคัญที่ใช้ในการควบคุณคุณภาพของเสียงค่า ได้แก่ RT60 (Noise Criteria for Rooms), ค่า NC (Noise Criteria for Rooms), ค่าSTC (Sound Transmission Class) และต้องทำความเข้าใจทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเสียง, ความสามารถในการได้ยินของหูมนุษย์

3.4 ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ

3.4.1 โปรแกรมAUTOCAD

คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเขียนแบบ และผลิตงานออกแบบได้เกือบทุกประเภท เช่น งานออกแผนผังแบบชิ้นเล็ก จนกระทั่งงานออกแบบโครงสร้างขนาดใหญ่ ด้วยโปรแกรม AUTOCAD

เป็นโปรแกรมที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง จะเห็นได้ชัดในการนำไปใช้งานออกแบบทางสถาปัตยกรรม, วิศวกรรม, งานสำรวจ, ตกแต่งภายใน, แผนที่ ตลอดจนงานออกแบบผลิตภัณฑ์และเครื่องกล ฯลฯ โปรแกรมAUTOCAD เป็นที่ยอมรับในเรื่องของมาตรฐานการออกแบบอย่างกว้างขวาง ซึ่งความสามารถของโปรแกรม AUTOCAD ทำได้ตั้งแต่งานในระบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ตลอดจนเป็นพื้นฐานของการนำไปสู่การสร้างงาน ANIMATION (ภาพเคลื่อนไหว) และการนำเสนองาน (PRESENTATION) ในรูปแบบต่าง ๆ และใช้ร่วมกับโปรแกรมอื่น ๆ หลากหลาย



ภาพที่ 3.1 โปรแกรมAutoCAD

3.4.2 โปรแกรม SKETCH UP

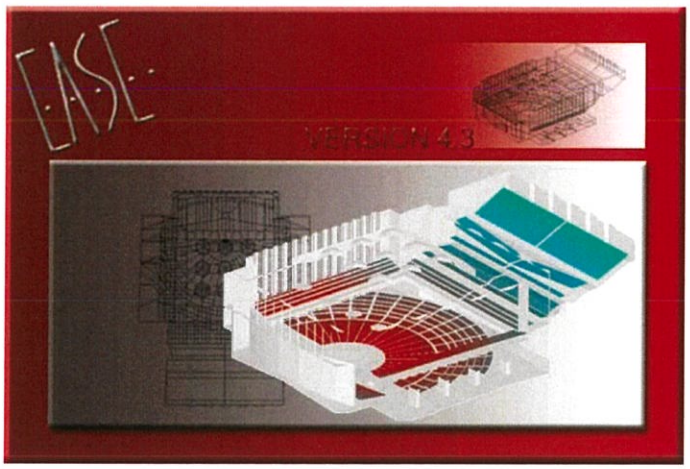
คือ โปรแกรมออกแบบที่มีความสามารถในการเปลี่ยนภาพวาดโครงร่างให้กลายเป็นภาพจำลอง 3 มิติ เป็นโปรแกรมที่มีขนาดเล็ก จึงทำให้มีการประมวลผลออกมาอย่างรวดเร็ว มีเครื่องมือหลายตัวที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการออกแบบให้ง่ายขึ้น มีการออกแบบเมนูเครื่องมือที่ในการวาดแบบ ให้คล้ายกับของโปรแกรม Photoshop หรือ Paint ใน Windowsเพื่อย่นระยะในการทำความเข้าใจ และง่ายในการเรียนรู้ สามารถหมุนดูวัตถุ 3 มิติ หรือแบบ 2 มิติได้ 360 องศา และยังสามารถใส่เงาของวัตถุที่ออกแบบได้อย่างอัตโนมัติ

ภาพที่ 3.2 โปรแกรมSketchUp

3.4.3 โปรแกรม EASE (Enhanced Acoustic Simulator for Engineers)

คือ โปรแกรมจำลองการออกแบบให้ใกล้เคียงกับสถานที่จริง โดยสามารถตรวจวัดค่าได้หลากหลาย และยังสามารถจำลองรายละเอียดของเสียง ความดังเบาของเสียง ที่ได้จากการออกแบบ

ระบบอะคูสติกของห้อง เริ่มจากการออกแบบห้องตามขนาดของสถานที่จริง และเลือกวัสดุของผนังแต่ละชนิด ที่มีค่าของการดูดซับเสียงแตกต่างกัน โดยค่าการดูดซับเสียงของวัสดุแต่ละชนิดจะมีการตรวจวัดในแต่ละความถี่ เพื่อความแม่นยำในการเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับปัญหาของห้อง

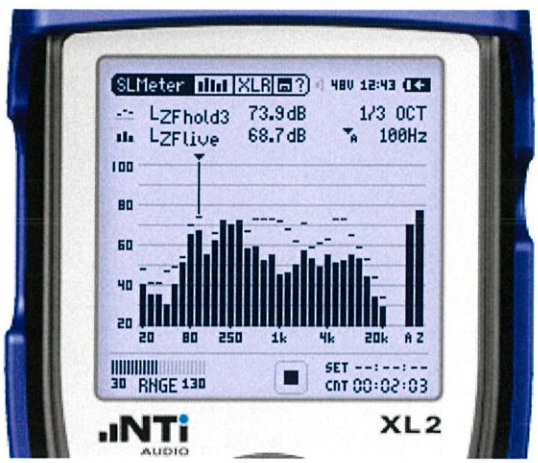


ภาพที่ 3.3 โปรแกรมEASE

3.5 ศึกษาเครื่องวัดเสียง NTi Audio model XL2

เครื่องวัดเสียง คือ เครื่องมือที่ใช้วัดระดับเสียง ลักษณะทั่วไปของเครื่องวัดเสียงจะเป็นเครื่องมือวัดแบบถือ (Hand-held) และ มีไมโครโฟนสำหรับติดกับเครื่องเพื่อใช้วัดระดับเสียง โดยใช้เพื่อตรวจสอบว่า เสียงที่เกิดขึ้นในสถานที่ที่เราต้องการจะตรวจสอบนั้น มีความดังเกินกว่าที่กฎหมายกำหนดหรือไม่ หรือตรวจสอบว่า ความดังของเสียงที่เกิดขึ้นนั้น ดังมาเพียงพอที่จะทำอันตราย หรือส่งผลกระทบต่อการได้ยินของเราหรือไม่ ยกตัวอย่างเช่น การวัดมลภาวะทางเสียงในโรงงานที่เกิดจากการทำงานของเครื่องจักรขนาดใหญ่ (มลภาวะทางเสียงในโรงงาน: Industrial noise), สถานที่ที่ใกล้สนามบิน/มีการจราจรหนาแน่น หรือบริเวณที่ใกล้รถไฟ (มลภาวะทางเสียงในชุมชน หรือ ในที่พักอาศัย: Residential noise/ Domestic noise) หรือแม้แต่ใช้ตรวจสอบเสียงในงานเทศกาลทางดนตรี เป็นต้น (อย่างไรก็ตาม ดนตรีจะเพราะหรือไม่นั้น ก็ขึ้นอยู่กับ รสนิยมทางดนตรี และ ช่วงอายุ ของผู้ฟังด้วย) เครื่องวัดเสียงเป็นเครื่องมือที่จะใช้วัดระดับเสียงที่อยู่ในช่วงความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยิน/รับรู้ได้ (20 Hz ถึง 20 kHz.) โดยตามมาตรฐานที่ IEC61672 และ ANSI S1.4 ได้กำหนดประเภทของเครื่องวัดเสียงไว้ 2 แบบ คือ Class 1 และ Class 2 ซึ่งทั้ง 2 แบบนั้นแตกต่างกันที่ค่าความแม่นยำในการวัดตลอดย่านความถี่ของเครื่อง และ ช่วงอุณหภูมิในการทำงาน โดยที่เครื่องวัดเสียง Class 1 นั้นจะมีช่วงของค่าความคลาดเคลื่อนที่แคบกว่าของเครื่องวัดเสียง Class 2 ที่มีราคาถูกกว่า โดยหากต้องการวัดระดับเสียงที่แม่นยำ หรือ ใช้วัดเพื่ออ้างอิงตามกฎหมายนั้น เราแนะนำให้ใช้เครื่องวัดเสียง Class 1 จะดีที่สุด สำหรับเครื่องวัดเสียงของ NTi Audio มีอยู่ทั้ง Class 1 และ 2 โดย Sound Level Meter รุ่น XL2 นั้นสามารถเลือก Class 1 และ 2 ได้ในเครื่องเดียวโดยการเปลี่ยนไมโครโฟน เครื่องวัดเสียง XL2 จาก NTi Audio นั้น เป็นเครื่องวัดเสียงที่มีความแม่นยำ เหมาะสำหรับการ

ตรวจวัดระดับเสียงในสิ่งแวดล้อม หรือ ในงานเทศกาล อีเว้นท์ต่างๆ โดยสามารถเรียกดูค่าการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่ใช้ทางเสียงหลายๆค่าได้ในเครื่องเดียวพร้อมกัน ระดับเสียงที่ได้สดๆ (Live), ระดับเสียงต่ำสุด/สูงสุด/Peak (Lmin, Lmax, Lpeak) จะถูกวัดในรูปแบบของค่าระดับความถี่ A, C, Z และค่าความเร็วของระดับเสียง และ การกระตุ้นอื่นๆ ซึ่งนอกจากค่าที่วัดได้ทั้งหมดจะแสดงผลได้พร้อมกันแล้ว ค่าที่วัดได้ก็จะถูกบันทึกไว้โดยอัตโนมัติ เพื่อการทำเอกสารรายงาน เครื่องวัดเสียงรุ่น XL2 มีฟังก์ชั่นการวิเคราะห์แบบ Real Time (Real Time Analyzer: RTA) ฟังก์ชั่น RTA นั้นเป็นฟังก์ชั่นที่เหมาะมากสำหรับงานเช่น การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเสียง หรือ ระบบห้อง ซึ่งเครื่อง XL2 นั้นสามารถวัดและ บันทึก ค่า Wideband, ค่า Octave ที่ความละเอียด 1/1 หรือ 1/3 ตามมาตรฐานที่ IEC 61260 class 0 โดยทั้งค่า Wideband และ RTA นั้น สามารถที่จะแสดงผลได้พร้อมๆกันด้วย



ภาพที่ 3.4 เครื่องวัดเสียง NTi

ที่มา : ชัชวาล กิมเห, 2559 : https://legatool.com/wp/3228/

3.6 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ที่ต้องออกแบบ

สถานที่ที่ต้องการออกแบบคือ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม เลขที่ 85 ถนนมาลัยแมน เมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000 โดยทำการออกแบบที่ชั้น 5 อาคารสำนักงานอธิการบดี ซึ่งเดิมทีเป็นห้องเรียนทั้งหมด แต่ทางมหาวิทยาลัยมีความประสงค์จะปรับเปลี่ยนให้เป็นห้องประชุม ห้องอเนกประสงค์และห้องรับรอง ผนังห้องเดิมเป็นหนังคอนกรีต พื้นห้องปูด้วยกระเบื้องยาง และฝ้าเป็นยิปซัมบอร์ด พร้อมวัดค่าระยะเวลาความก้องสะท้อน (Reverberation Time, RT60) และเกณฑ์ของเสียงรบกวน (NOISE CRITERIA, NC) ก่อนทำการออกแบบ เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการออกแบบ

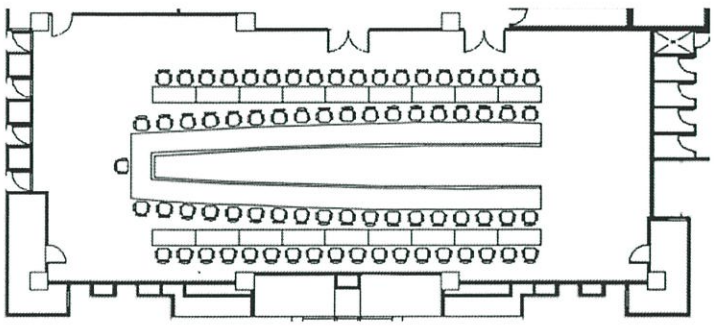
3.7 ทำการจัดรูปแบบของห้องที่ต้องการออกแบบ

การจัดรูปแบบห้องเริ่มจากดูรูปแบบห้องเดิมและดูความเหมาะสมในการใช้งานเป็นหลัก

3.7.1 ห้องประชุม

การจัดรูปแบบห้องประชุมให้เหมาะสมกับรูปแบบกิจกรรมถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการจัดฝึกอบรม สัมมนา โดยจะต้องคำนึงถึงจำนวนผู้เข้าร่วมการประชุม ความสะดวกในการใช้งาน ควรจะ

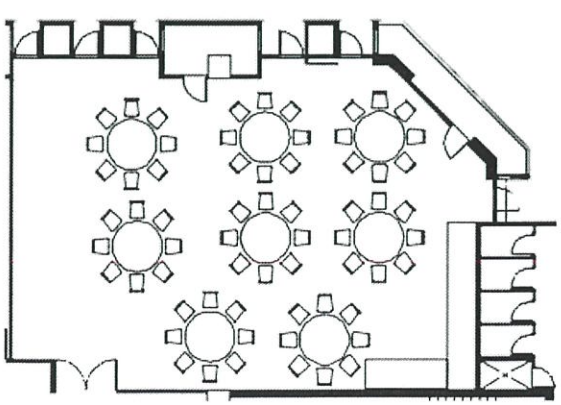
เป็นห้องที่เงียบ ไม่มีเสียงรบกวนจากภายนอกและไม่มีเสียงจากภายในออกไป ทำให้การออกแบบและจัดรูปแบบห้องประชุมจะต้องวางแผนการเลือกใช้วัสดุอะคูสติกที่ดี ลักษณะห้องจะมีลักษณะรูปแบบเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อรอบรับการประชุม และรองรับการจัดโต๊ะประชุมแบบ V-Shape เป็นรูปแบบที่มีการไล่ลำดับโต๊ะและเก้าอี้ คล้ายตัว V ในตัวอักษรภาษาอังกฤษ ทำให้เวลานั่งฟังบรรยาย ผู้ร่วมประชุมสามารถมองเห็นด้านหน้าได้ในทุกตำแหน่งที่นั่ง



ภาพที่ 3.5 รูปแบบห้องประชุม

3.7.2 ห้องอเนกประสงค์

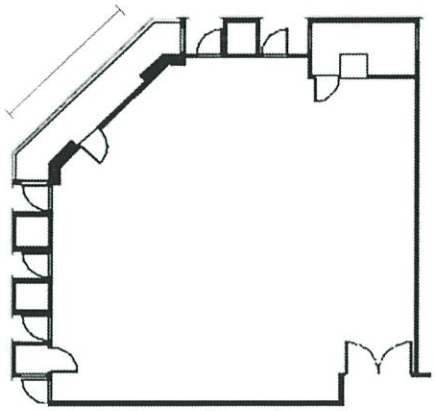
การจัดรูปแบบห้องอเนกประสงค์เป็นการจัดห้องที่มีพื้นที่จำกัดให้สามารถที่จะตอบสนองต่อการใช้งานได้อย่างหลากหลาย สามารถเลือกใช้พื้นที่ได้อย่างคุ้มค่าในทุกตารางเมตร เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในการจัดห้องอเนกประสงค์ควรเลือกใช้เฟอร์นิเจอร์ที่เหมาะสมกับเนื้อที่ที่ว่างอยู่ เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการจัดวาง และเฟอร์นิเจอร์ที่เลือกใช้ควรที่จะสามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างสะดวก โดยการจัดโต๊ะจะเลือกจัดแบบ Banquet เป็นการจัดโต๊ะเป็นวงกลม จำนวนที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 5- 10 คน จำนวนโต๊ะและเก้าก็จะต้องเพียงพอกับจำนวนคนที่มาประชุม โดยมักจะจัดจำนวนเก้าอี้ในห้องอเนกประสงค์ให้มีจำนวนเท่ากับห้องประชุม เพื่อรองรับผู้เข้าร่วมประชุมได้อย่างครบถ้วน



ภาพที่ 3.6 รูปแบบห้องอเนกประสงค์

3.7.3 ห้องรับรอง

การจัดรูปแบบห้องรับรอง จะเน้นถึงความสะดวกสบาย เหมาะกับการพักผ่อน มีพื้นที่โล่งและมีโต๊ะ เกาอี้เล็กๆ ไว้นั่งพูดคุย หรือประชุมย่อยได้ โดยภายในห้องรับรองจะเป็นห้องที่ไม่เน้นถึงเครื่องเสียง หรือตู้ลำโพงขนาดใหญ่ เป็นห้องที่ไม่ต้องการความชัดเจนของเสียงมาก



ภาพที่ 3.7 รูปแบบห้องรับรอง

3.8 เดินทางไปวัดค่าทางอะคูสติกที่สถานที่จริง

เดินทางไปที่มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม อาคารสำนักงานอธิการบดี ชั้น 5 เพื่อวัดค่าทางอะคูสติกของสถานที่จริงเพื่อที่จะได้รู้ปัญหาที่เกิดขึ้น โดยใช้เครื่องเครื่องวิเคราะห์เสียง NTi รุ่น XL2 ค่าที่วัดคือ RT60 และ NC

File Edit Format View Help

XL2 Noise Curves Reporting: Board room\NPRU-REC00_NOISE_000_Report.txt

---

Hardware Configuration

Device Info:	XL2, SNo. A2A-09219-E0, FW2.72
Mic Type:	NTi Audio M2211, S/N: 5168, User calibrated 2017-03-07 11:04
Mic Sensitivity:	18.8 mV/Pa

Measurement Setup

Profile:	Full mode
Append mode:	OFF
Timer mode:	single
Timer set:	00:00:15
Standard:	Noise Criteria (ANSI/ASA 12.2-2008)

Noise Curves Results

Start Date	Start Time	Stop Date	Stop Time	NC	at Freq.	SIL
[YYYY-MM-DD]	[hh:mm:ss]	[YYYY-MM-DD]	[hh:mm:ss]	[dB]	[Hz]	[dB]
2017-09-14	11:11:00	2017-09-14	11:11:15	48	1000.0	46.0

Band [Hz]	16.0	31.5	63.0	125.0	250.0	500.0	1000.0	2000.0	4000.0
	LZeq	LZeq	LZeq	LZeq	LZeq	LZeq	LZeq	LZeq	LZeq
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
	49.1	50.4	59.0	50.9	48.4	50.0	48.9	44.0	38.0

ภาพที่ 3.8 ค่า NC (Noise Criteria for Rooms) เกณฑ์ของเสียงรบกวนที่วัดได้

File Edit Format View Help

XL2 RT60 Reporting: Board room\NPRU-REC02_RT60_000_Report.txt

---

Hardware Configuration

Device Info:	XL2, SNo. A2A-09219-E0, FW2.72
Mic Type:	NTi Audio M2211, S/N: 5168, User calibrated 2017-03-07 11:04
Mic Sensitivity:	18.8 mV/Pa

Measurement Setup

Profile:	Full mode
Resolution:	1/3 Octave
Range:	30 - 130 dB

Time

Start:	2017-09-14, 11:36:48
End:	2017-09-14, 11:36:59

RT60 Average Results

Band [Hz]	RT60(T20) [s]	MeasUnct [%]
50	-.--	-.--
63	-.--	-.--
80	-.--	-.--
100	2.95	-.--
125	2.76	-.--
160	2.01	-.--
200	2.03	-.--
250	1.75	-.--
315	1.52	-.--
400	1.25	-.--
500	1.42	-.--
630	1.40	-.--
800	1.57	-.--
1000	1.69	-.--
1250	1.54	-.--
1600	1.55	-.--
2000	1.58	-.--
2500	1.63	-.--
3150	1.38	-.--
4000	1.37	-.--
5000	1.38	-.--
6300	1.12	-.--
8000	1.02	-.--
10000	0.81	-.--

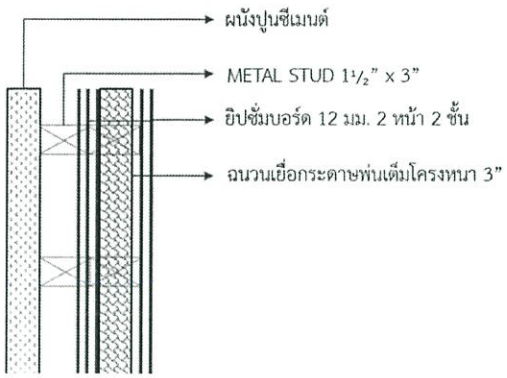
ภาพที่ 3.9 ค่า RT60 (Reverberation Time) ค่าระยะเวลาความก้องสะท้อนที่วัดได้

3.9 ทำการออกแบบระบบอะคูสติกของห้อง

ในการออกแบบระบบอะคูสติกของห้องจะแบ่งการออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ ดังนี้

3.9.1 การออกแบบผนังกั้นเสียง

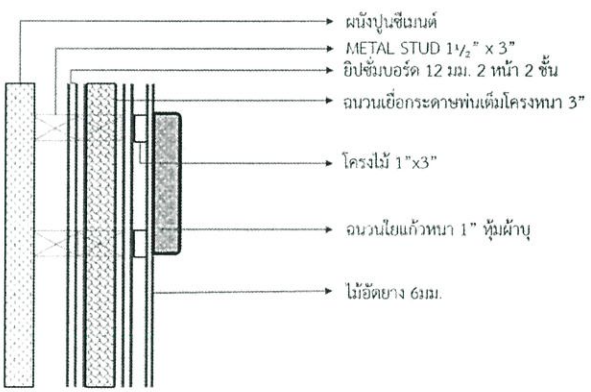
ผนังกั้นเสียงเป็นผนังที่สร้างขึ้นใหม่ เป็นการลดพลังงานเสียงภายนอกที่เข้ามาภายในห้อง โดยทำการออกแบบผนังเพื่อป้องกันการส่งผ่านของเสียง การออกแบบผนัง จะมีค่า STC ที่แสดงความสามารถของการยอมให้เสียงผ่านไปได้มากน้อยแค่ไหน การสร้างผนังกั้นเสียงจะต้องเว้นช่องว่างห่างจากผนังเดิมประมาณ 10 ซม. เพื่อลดการเดินทางของเสียงจากภายนอก หรือลดการสั่นสะเทือนจากโครงสร้างอาคาร โดยผนังที่สร้างขึ้นมาใหม่เป็นผนังโครงเหล็กชุบสังกะสี และการติดตั้งจะต้องติดตั้งผนังโครงเหล็กให้สูงถึงใต้ท้องพื้นผนังด้านบน โดยใช้METAL STUD 11/2" x 3"เป็นตัวยึดผนังใหม่กับผนังเก่าเข้าด้วยกัน ติดยิปซั่มบอร์ด 12 มม. 2 หน้า 2 ชั้น เข้ากับ METAL STUD โดยรอยต่อจะต้องไม่ตรงกัน เพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอก แล้วใช้ฉนวนเยื่อกระดาษพ่นเต็มโครงหนา 3" ซึ่งเป็นวัสดุซับเสียงมากั้นเสียงจากภายนอก



ภาพที่ 3.10 การออกแบบผนังกั้นเสียง

3.9.2 การออกแบบผนังควบคุมเสียงภายใน

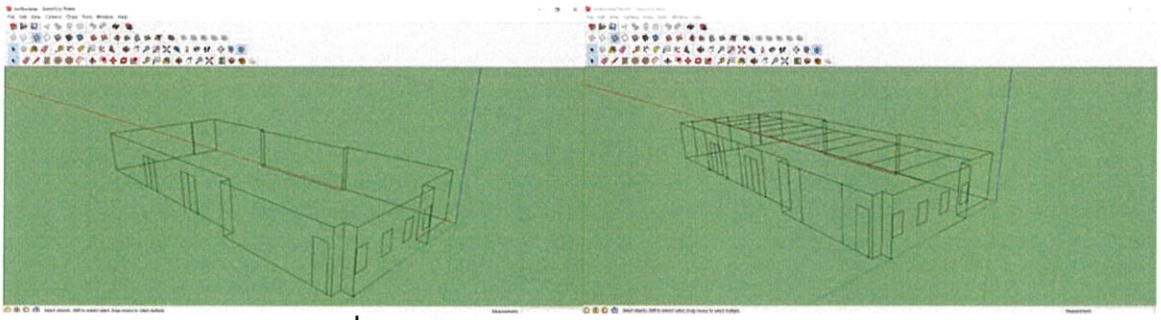
ผนังควบคุมเสียงภายใน เป็นขั้นตอนการออกแบบที่ต้องการลดเสียงสะท้อน เพราะหากมีเสียงสะท้อนหรือเสียงก้องมากไปจะทำให้ประสิทธิภาพในการฟังลดลง ดังนั้นเราจึงต้องออกแบบให้ห้องมีวัสดุที่สามารถดูดซับเสียงได้ดี โดยสามารถอ้างอิงดูจากค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ(NRC) ผนังควบคุมเสียงจะติดกับผนังป้องกันเสียง โดยมีโครงไม้ 1"x3" ยึดผนังไว้ กรุด้วยไม้อัดยาง 6มม. และใช้วัสดุดูดซับเสียงที่เป็นฉนวนใยแก้วหนา 1" หุ้มผ้าบุ



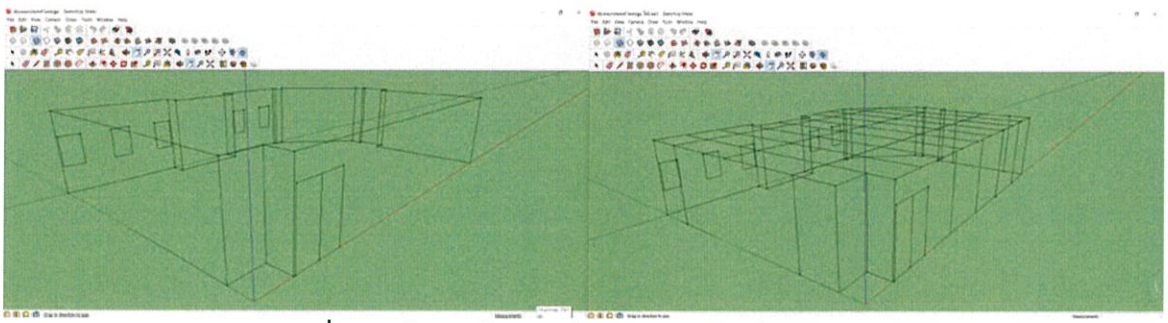
ภาพที่ 3.11 การออกแบบผนังควบคุมเสียงภายใน

3.9.3 เขียนแบบโครงสร้างห้องผ่านโปรแกรม SKETCH UP

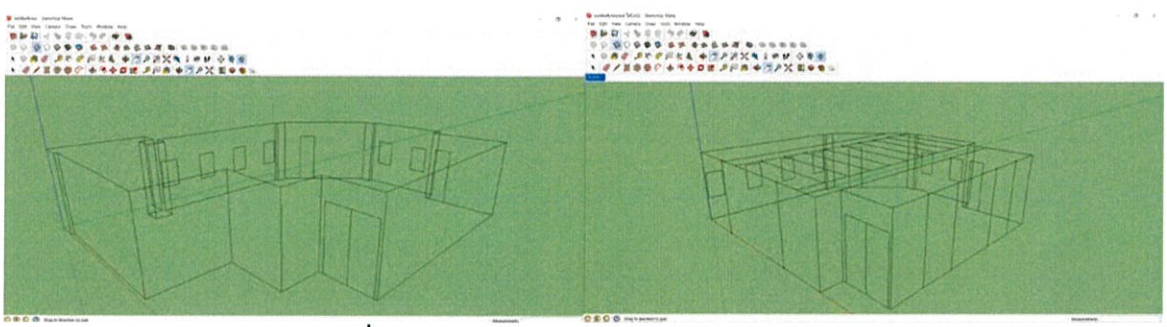
เขียนโครงสร้างเดิมก่อนและหลังการปรับปรุงระบบอะคูสติกของห้องทั้ง 3 ห้อง เพื่อที่จะนำไปจำลองหาค่าทางอะคูสติกก่อนการออกแบบ ดังรูปที่ X.1 X.2 และ X.3



ภาพที่ 3.12 โครงสร้างของห้องประชุมก่อนและหลังการปรับปรุง



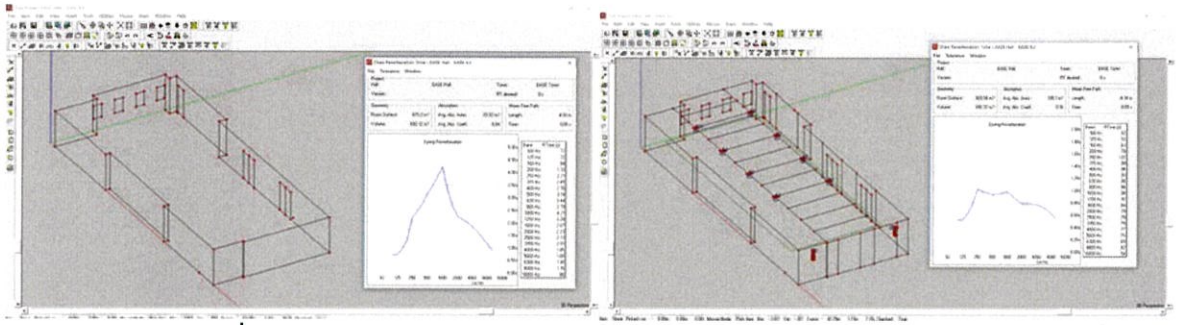
ภาพที่ 3.13 โครงสร้างของห้องอเนกประสงค์ก่อนและหลังการปรับปรุง



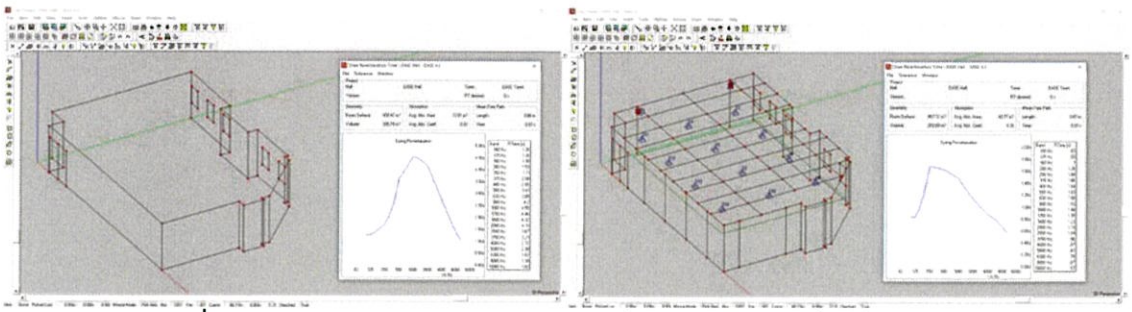
ภาพที่ 3.14 โครงสร้างของห้องรับรองก่อนและหลังการปรับปรุง

3.9.4 จำลองค่าทางอะคูสติกผ่านโปรแกรม EASE

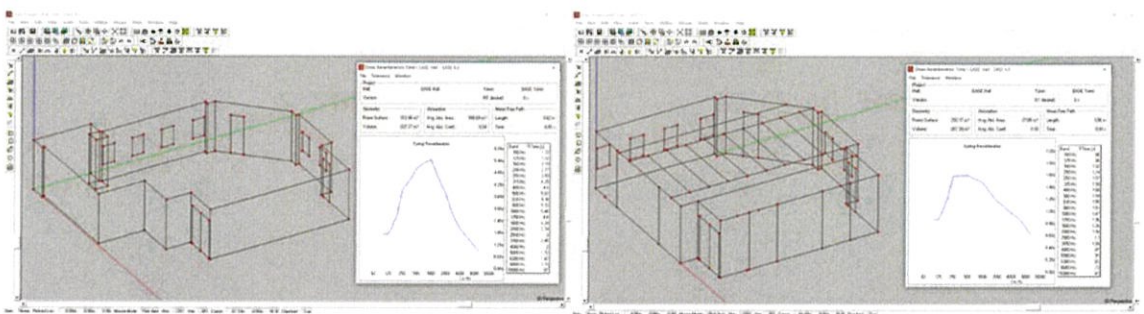
นำแบบที่วาดโครงสร้างไว้ในโปรแกรม SKETCH UP ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงมาจำลองค่าทางอะคูสติกผ่านโปรแกรม EASE เพื่อเปรียบเทียบค่าทางอะคูสติกของห้องทั้งก่อนและหลังที่จะทำการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงวัสดุ รูปทรงของห้อง ว่ามีผลต่อคุณภาพเสียงมากน้อยแค่ไหน ดังรูปที่ X.1 x.2 X.3



ภาพที่ 3.15 การจำลองค่าทางอะคูสติกของห้องประชุมผ่านโปรแกรม EASE



ภาพที่ 3.16 การจำลองค่าทางอะคูสติกของห้องอเนกประสงค์ผ่านโปรแกรม EASE



ภาพที่ 3.17 การจำลองค่าทางอะคูสติกของห้องรับรองผ่านโปรแกรม EASE

3.10 ทำการออกแบบระบบโสตทัศนูปกรณ์ของห้อง

ระบบโสตทัศนูปกรณ์ เป็นการรวบรวมระบบภาพและระบบเสียงเพื่อการใช้งาน โดยการนำอุปกรณ์ที่มีลักษณะใหญ่ ประกอบด้วย เครื่องยนต์ กลไกลไฟฟ้า อิเล็คทรอนิคส์ ทำหน้าที่เป็นตัวผ่านขยายเนื้อหาสาระจากแหล่งกำเนิดให้ชัดเจนยิ่งขึ้น เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกในการทำงานได้ง่ายขึ้น ก่อให้เกิดความชัดเจนในการทำงานและช่วยส่งเสริมการเรียนรู้มากขึ้น

3.10.1 ออกแบบระบบเสียง

ระบบเสียง คือการนำอุปกรณ์เครื่องเสียงต่างๆมาต่อเชื่อมกันให้ทำงานอย่างเป็นระบบจึงเป็นการรวบรวมอุปกรณ์เกี่ยวกับเสียงที่มีความสัมพันธ์กันมาจัดให้เกิดความสมดุลในการเชื่อมต่อเพื่อให้เกิด

ประสิทธิภาพสูงสุด และในระบบเสียงเพื่อการประชุมและการอบรมสัมมนา จะมีการบรรยายและแสดงข้อมูลต่างๆ และซักถามโต้ตอบในการประชุมอภิปรายต่างๆ หรือมีการเรียนการสอนแบบปฏิสัมพันธ์ จึงต้องมีการออกแบบเรื่องการสื่อสารสองทางหรือ Two-way communication และกำหนดลักษณะการประชุมเพื่อจัดตำแหน่งและคุณสมบัติของอุปกรณ์ในระบบเสียงให้ถูกต้อง ถ้าหากเป็นงานขนาดใหญ่อาจต้องใช้สถานที่เฉพาะ เพื่อความสะดวกในการออกแบบติดตั้งระบบเสียง มีวิธีการดำเนินการออกแบบดังนี้

3.10.1.1 การจัดวางลำโพงเครื่องเสียงห้องประชุม

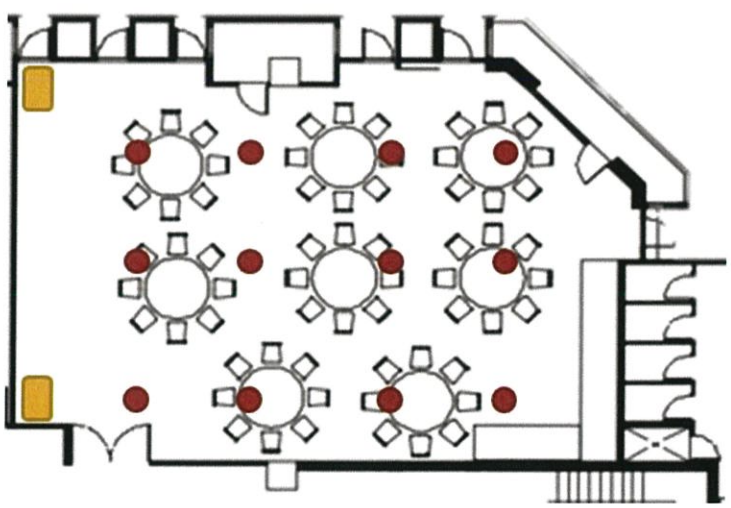
เรื่องการจัดวางตำแหน่งลำโพงในห้องประชุมนั้นถือว่ามีความสำคัญไม่แพ้เรื่องอื่นๆ ต้องแนวความคิดในการจัดวางลำโพงอย่างไรให้เหมาะสม เพื่อให้การประชุมได้ยินเสียงชัดเจนทั่วถึงทุกพื้นที่ แถมลดการเกิด Feedback(เสียงหวีด,เสียงหอน) ซึ่งโดยมากแล้วมักจะมีปัญญาเรื่องเสียงดังไม่ทั่วถึง นั่นก็เป็นเพราะว่าระบบที่เราออกแบบและตำแหน่งการติดตั้งลำโพงของเราไม่อยู่ในตำแหน่งที่ดีพอทำให้มีปัญหาตามมา อย่างแรกที่ต้องนึกถึงคือ ขนาดของห้องที่เราใช้งานว่ามีขนาดพื้นที่เท่าไหร่ บางครั้งการเลือกลำโพงขนาดเล็กไปไม่เหมาะกับห้อง ทำให้ความดังที่ได้กระจายไม่ทั่วถึง ถ้าเจอห้องที่มีขนาดใหญ่แล้วจะต้องใช้ลำโพงใบเล็กก็อาจจะต้องเพิ่มจำนวนลำโพงให้มากยิ่งขึ้นเพื่อให้ความดังของเสียงเพียงพอกับขนาดพื้นที่ห้องที่ต้องการ หรือถ้าใช้ลำโพงขนาดใหญ่แน่นอนว่าความดังของลำโพงก็จะเพิ่มขึ้นทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ลำโพงเยอะเท่าขนาดใบเล็กๆในพื้นที่เดียวกัน นั่นไม่ใช่หมายความว่าลำโพงขนากเล็กแล้วเสียงจะเบาเสมอไป บางที่ใบเล็กเสียงอาจจะดังกว่าใบใหญ่ก็ได้ โดยที่เราดูจาก Sensitivity ของลำโพงเป็นหลัก ลำโพงที่ใช้งานในห้อง ควรเลือกใช้ลำโพงที่สามารถตอบสนองความถี่เสียงกลางได้ดี และครอบคลุมได้ทั่วพื้นที่ เพื่อความชัดเจนของเสียง การ Simulate เสียงก่อนจึงเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่ง เพื่อจะได้มองเห็นค่าของเสียงที่เกิดขึ้นจริงว่าสามารถตอบสนองได้ตามมาตรฐานหรือไม่

3.10.1.2 ตำแหน่งการวางลำโพง

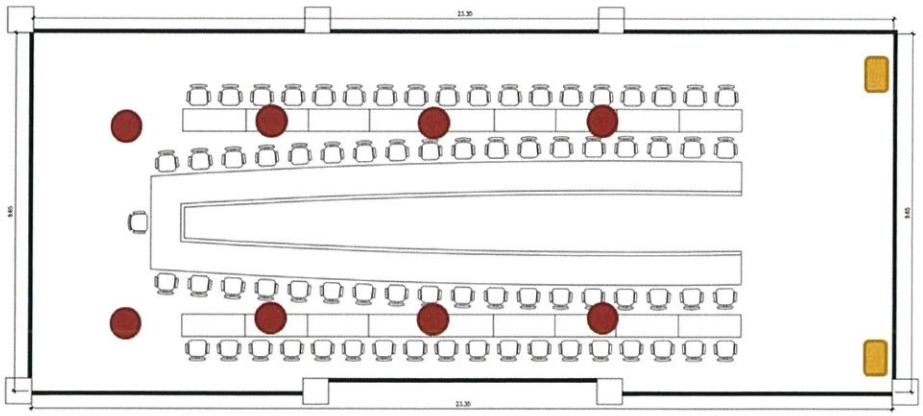
ในการวางลำโพงแต่ละตัวมีแนวคิดในการวางคือ จะต้องไม่วางในตำแน่งที่มีเครื่องกีดขวางการเดินทางของเสียง เช่นไปไว้ที่มุมห้องแล้วมุมห้องนั้นมีเสาหรือมีอะไรก็ตามบังลำโพงอยู่แบบนี้ไม่สามารถขับเสียงออกมาได้ จะต้องวางในตำแหน่งพื้นที่ๆลำโพงสามารถเปล่งเสียงออกมาได้ทั่วถึงมากที่สุด ถ้าวางไว้ด้านหน้าของห้องประชุม ก็ควรวางลำโพงไว้ด้านหน้าหรือตำแหน่งขอบของเวทีเพื่อป้องกันเสียงจากลำโพงวนกลับเข้ามาที่ไมโครโฟนซึ่งจะทำให้เกิดเสียงFeedback(เสียงหวีดเสียงหอน)ตามมา เนื่องจากตำแหน่งติดตั้งที่อยู่ด้านบน และไมโครโฟนก็มีความไวในการรับเสียงมากทำให้ต้องมีอุปกรณ์เสริม คือ Anti Feedback เพิ่มเข้ามาในระบบ หรืออาจใช้ Equalizer ในการตัดความถี่ที่ไม่ต้องการออกไปก็ได้ นอกจากนี้การวางตำแหน่งลำโพงก็มีส่วนสำคัญ และเป็นการป้องกันที่ดี ที่จะไม่ให้เกิดการ Feedback ขึ้น แต่ถ้าห้องลึกมาก ก็จำเป็นต้องมีลำโพง Delay เพื่อเพิ่มความดังของเสียงให้มันสามารถกระจายได้ทั่วถึงมากยิ่งขึ้น เพราะระยะทางมีผลกับความดังเสียง(Inverse Square Law) และสามารถเลือกลำโพงที่เป็นชนิดฝังฝ้า (ลำโพง Ceiling) ก็จะได้ความสวยงามไม่มองเห็นลำโพงให้ดูเกะกะสายตา แต่การติดตั้งลำโพง Ceiling นั้นไม่ควรติดตั้งในตำแหน่งที่ตรงกับไมโครโฟน

3.10.1.3 การเลือกลำโพงให้เหมาะสมกับห้อง

การออกแบบระบบเสียงห้องประชุมนั้น สิ่งสำคัญที่จะต้องรู้คือขนาดของพื้นที่ว่ามีความใหญ่มากน้อยเพียงใด เพราะถ้าไม่รู้ขนาดพื้นที่จริงๆก็เป็นเรื่องยากที่จะออกแบบระบบให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ของห้อง บางครั้งห้องใหญ่แต่ใช้ลำโพงที่มีการตอบสนองความดังที่น้อยก็จะได้ยินเสียงที่เบาในระยะที่ยืนห่างจากลำโพง ยิ่งยืนห่างมากขึ้นเท่าไหร่เสียงก็จะยิ่งเบาลงมากขึ้นเท่านั้น บางครั้งลำโพงมันก็ไม่ได้จบลงที่แค่คู่หน้า 2ใบหรือ Main Speaker อาจจะต้องมีลำโพงด้านหลังเพิ่มขึ้นมา เรียกลำโพงชุดนี้ว่า Delay Speaker จะกี่ใบก็ขึ้นอยู่กับขนาดของห้อง โดยตำแหน่งการวางนั้นเราจะต้องคำนวนหาระดับความดังของลำโพงคู่หน้าก่อนว่ามีปริมาณความดังของเสียงกี่ dB เช่น ลำโพงคู่หน้ามีความดังของเสียง 106 dB วัดตรงที่นั่งแถวแรกถ้าคำนวนตามกฎ Inverse Square Law ทุก 2 เท่าของระยะทางความดังเสียงจะลดลง 6 dB ดังนั้นตรงที่ระยะ 8 เมตรเราจะได้ยินความดังของเสียง 88 dB ซึ่งก็ใกล้เคียงกับความดังของแอร์แล้วก็เสียงพูดของคน ดังนั้นถ้าห้องนี้ยาว 16 เมตร มันก็มีความเสี่ยงที่แถวหลังจะได้ยินเสียงไม่ชัดเจนถ้าเร่งเสียงลำโพงคู่หน้าขึ้นมาเพื่อให้คนที่อยู่แถวหลังได้ยิน คนที่นั่งอยู่ด้านหน้าก็หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องได้ยินเสียงที่ดังเกินความจำเป็น เลยเป็นเหตุผลที่ต้องมีลำโพงด้านหลังเพื่อเสริมความดังให้คนที่อยู่ด้านท้ายของห้องได้ยินเสียงที่ชัดเจนขึ้น การวางลำโพงด้านหลังนั้นสมควรที่จะวางลำโพงให้อยู่ในแนวเดียวหรือหันหน้าไปทางเดียวกันกับลำโพงหลักเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด Phase ของลำโพงทั้ง 2 ชุดนั้นจะยิ่งทำให้เสียงของลำโพงยิ่งเบาลงไปอีก อย่านำลำโพงไปไว้คนละด้านแล้วหันลำโพงหันหน้าเข้าหากันจะทำให้คนที่ฟังเสียงในห้องประชุมจะได้ยินเสียงเป็น 2 เสียงซึ่งก็คือ Echo นั่นเอง



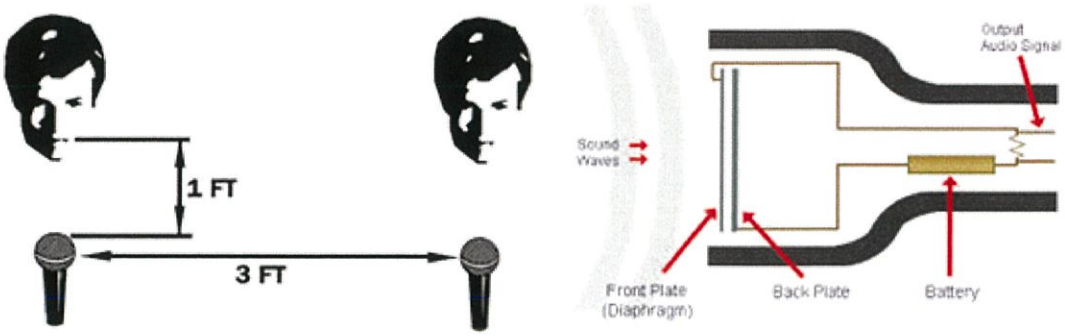
ภาพที่ 3.18 ตำแหน่งการวางลำโพงห้องอเนกประสงค์



ภาพที่ 3.19 ตำแหน่งการวางลำโพงห้องประชุม

3.10.1.4 ตำแหน่งการวางไมค์ประชุม

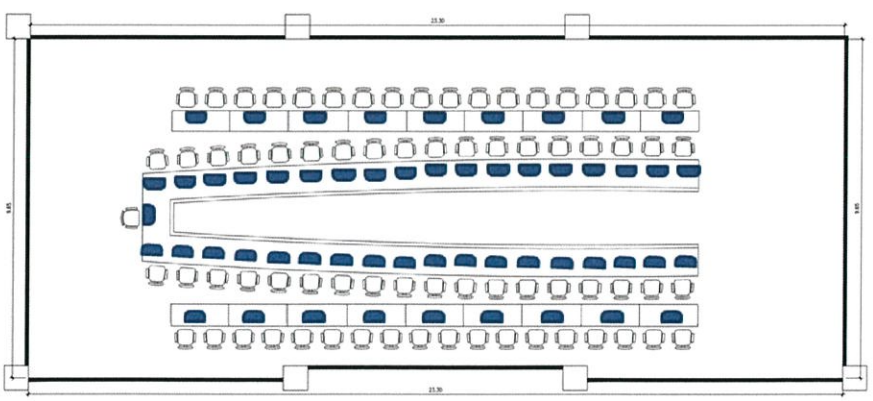
ห้องประชุมจำเป็นต้องใช้ไมโครโฟนแบบชุดประชุม ในการเลือกใช้ อาจแบ่งตามลักษณะของการติดตั้งออกเป็น 2 ประเภท คือ ชนิดติดตั้งแบบฝังโต๊ะ และติดตั้งแบบลอยตัว นอกจากนี้ ในแต่ละรุ่น/ยี่ห้ออาจมีฟังก์ชั่นพิเศษที่แตกต่างกันให้เราเลือกใช้ เช่น บางรุ่นสามารถบันทึกเสียงได้ในตัว บางรุ่นมีฟังก์ชั่น Vote แต่ละรุ่นมีการกำหนดรูปแบบผู้พูดที่แตกต่างกัน บางรุ่นเป็นแบบไร้สาย รวมไปถึงการควบคุมได้จากอุปกรณ์ควบคุมภายนอก เช่น ผ่านทาง Computer, ผ่านทางชุด Integrate Controller หรือการเขียนโปรแกรมสั่งการให้ไมโครโฟนชุดประชุม Sink กับระบบกล้องวงจรปิดแบบ Pan/Tilt/Zoom ที่สั่งให้ระบบกล้องวิ่งไปจับภาพ ณ ตำแหน่งที่พูดโดยอัตโนมัติ ทำให้สามารถบันทึกการประชุมทั้งภาพและเสียงได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเลือกใช้ชุด Conference Microphone แต่ละประเภทขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน ว่าต้องการจำนวนมากน้อยเพียงใด และต้องการความไวในการรับเสียงมากน้อยแค่ไหน โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีความไวในการรับเสียงมากอยู่แล้ว ด้วยคุณสมบัติ ของ Condenser ที่จะทำงานด้วยกระแสไฟฟ้า DC 9V-48V เท่านั้น ใช้หลักการเดินทางของกระแสไฟฟ้าระหว่างตัวนำ ทำให้ไมโครโฟนชนิดนี้มีความไวสูง และตอบสนองย่านความถี่ได้ดีกว่า พวกไดนามิกส์ไมโครโฟน เมื่อมีความไวในการรับเสียงดีแล้ว ก็อาจเกิดปัญหาเรื่องเสียงหอน (Feedback) ตามมาด้วย ดังนั้นการติดตั้งไมโครโฟนแต่ละตัวบนโต๊ะก็ต้องกำหนดระยะห่างระหว่างตัวด้วย เพราะตัวไมโครโฟนเองมีรัศมีในการรับเสียงอยู่ถ้าเราวางใกล้กันมาก รัศมีจะทับกันแล้วทำให้เกิดความผิดปกติของเฟสได้ อาจมีเสียงเบากว่าปกติ หรือเสียงต่ำหาย แก้โดยใช้กฎ 3 ต่อ 1 เพื่อช่วยลดปัญหาผิดปกติของเฟส และช่วยให้การปรับแต่งเสียงง่ายขึ้นด้วย เช่น ระยะห่างของผู้พูดกับไมโครโฟน 1 ฟุต ไมโครโฟนตัวที่สองจะต้องอยู่ห่างจากตัวแรก 3 ฟุต



ภาพที่ 3.20 ระยะการติดตั้งไมโครโฟน

ที่มา : http://www.avl.co.th/article.php?p=10&id=36

หลังจากเลือกไมโครโฟนได้แล้ว ขั้นตอนการติดตั้งก็มีอุปสรรคที่ควรระวังมากคือ การเดินสายสัญญาณของชุดประชุมจะใช้การต่อสายจากตัวแรกไปหาตัวที่สอง และต่อๆ ไปเป็นวง ควรเดินสายเป็น 2 วง เช่น ให้ไมโครโฟนตัวที่หนึ่งถึงสิบอยู่วงแรก และให้ไมโครโฟนตัวที่สิบเอ็ดถึงยี่สิบอยู่วงที่สอง ถ้าเกิดปัญหาขึ้นกับสายวงที่หนึ่งทำให้ไม่สามรถใช้งานได้ ชุดประชุมที่ต่ออยู่กับอีกวงก็จะยังสามารถใช้งานได้อยู่ การวางตำแหน่งของไมค์ประชุม มักจะวางตามตำแหน่งของเก้าอี้ประชุมภายในห้องหรือตามจำนวนของผู้เข้าประชุม เพื่อความสะดวกในการใช้งานและการสื่อสาร กล่าวคือ ไมค์ประชุม 1 ตัว ต่อ ผู้เข้าประชุม 1 คน ในการจัดโต๊ะประชุมบางครั้งมีการจัดโต๊ะการประชุมเป็นแบบ 2 แถว นั้นหมายความว่าแถวด้านนอกอาจจะมีลำดับความสำคัญในการประชุมน้อยกว่าโต๊ะด้านใน ทำให้การวางตำแหน่งของไมค์ประชุมสามารถที่จะปรับเปลี่ยนหรือลดลงได้ มีการเลือกการวางแบบ ไมค์ประชุม 1 ตัว ต่อ ผู้เข้าประชุม 2 คน



ภาพที่ 3.21 การติดตั้งไมโครโฟนชุดประชุม

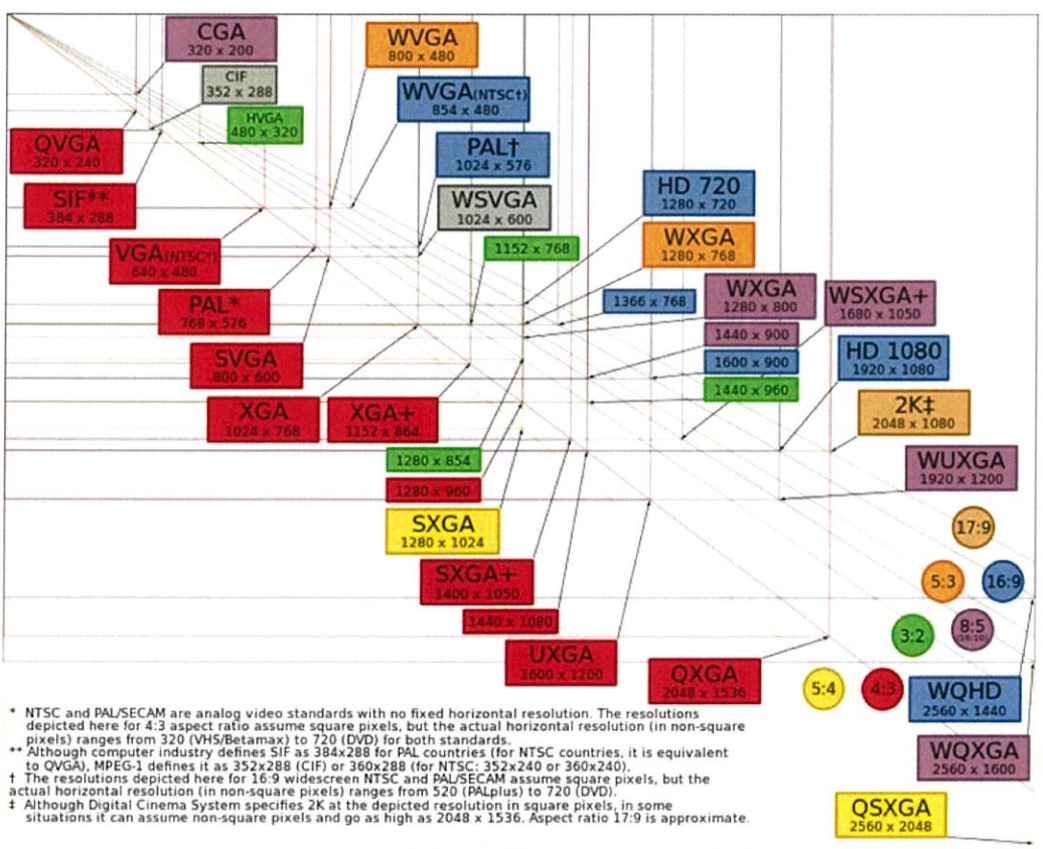
3.10.2 ออกแบบระบบภาพ

ระบบภาพในห้องประชุมนับว่ามีความสำคัญมากสำหรับการประชุมในทุกๆครั้ง ดังนั้นในการจะออกแบบระบบภาพห้องประชุมทางผู้ออกแบบจะต้องทราบถึงรายละเอียดพื้นฐานต่างๆของระบบ

ภาพว่าเป็นอย่างไร มีระบบการทำงาน ความละเอียดของภาพ หรือ Resolution ขนาดและสัดส่วนของจอภาพ หรือประเภทของสัญญาณภาพก่อน เพื่อที่จะทำให้การออกแบบระบบภาพในห้องประชุมเกิดความสมบูรณ์แบบและประสิทธิภาพสูงสุดให้เหมาะสมกับการใช้งานของห้องประชุมนั้นๆ

3.10.2.1 ความละเอียดของภาพ (Resolution)

ความละเอียดของภาพ หรือ Resolution คือจำนวนของจุดภาพ หรือ พิกเซล (Pixel) ที่ใช้แสดงความหมายของภาพเป็นการแสดงจำนวนพิกเซลในแนวนอนและแนวตั้ง จุดภาพ หรือ พิกเซล เป็นหน่วยพื้นฐานของภาพ คือจุดภาพที่แสดงบนจอแสดงผล หรือ จุดภาพในรูปภาพที่รวมกันเป็นภาพขึ้น โดยในภาพหนึ่งๆ จะประกอบไปด้วยจุดภาพหรือพิกเซลมากมายโดยในแต่ละภาพที่สร้างขึ้นมาจะมีความหนาแน่นของจุดภาพ หรือบางครั้งแทนว่าความละเอียด (ความคมชัด) ที่แตกต่างกันไป จึงใช้ในการบอกคุณสมบัติของภาพ จอภาพ หรือ อุปกรณ์แสดงผลของภาพ ภาพที่มีจำนวนพิกเซลมากจะมีความละเอียดของภาพมาก โดยจะแสดงจำนวนพิกเซลในแนวนอนและแนวตั้ง เช่น 1024 x 768 อธิบายได้คือ ใช้พิกเซลในแนวนอนจำนวน 1024 พิกเซล และพิกเซลในแนวตั้งจำนวน 768 พิกเซล ในการสร้างภาพ ภาพที่เห็นจะมีทั้งหมด 786,000 พิกเซล



ภาพที่ 3.22 ความละเอียดของภาพ

ที่มา : http://www.avl.co.th/article.php?p=10&id=36

ในปัจจุบันมีความละเอียดขึ้นมาใหม่คือ 4K หรือ Ultra High Definition เป็นมาตรฐานใหม่ของความละเอียดของ "จอภาพ" โดยมีความละเอียดหน้าจอสำหรับทีวี 4K แบบ Widescreen มีความละเอียดที่

3840 x 2160 พิกเซล ภาพที่ได้ออกมาประมาณ 8.29 ล้านพิกเซล ซึ่งถ้าดูถึงความแตกต่างจะมีความละเอียดมากกว่าความละเอียดของ 1920 x 1080 (Full HD) โดยความละเอียด 4K เป็นมาตรฐานใหม่ในอุตสาหกรรมภาพยนตร์ทั้งการถ่ายทำด้วยกล้องความละเอียด 4K และจอฉายแบบ 4K และตลอดจนสินค้าทีวีและโฮมเอ็นเตอร์เทนเมนท์

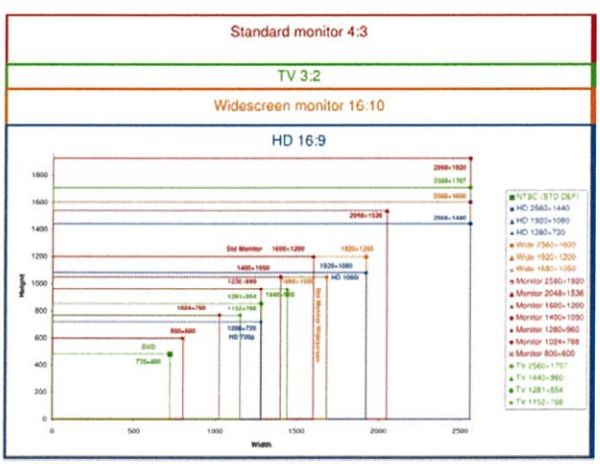
3.10.2.2 ขนาดและสัดส่วนของจอภาพ (Aspect Ratio)

อัตราส่วนภาพ หรือ อัตราส่วนจอภาพ คืออัตราส่วนของความกว้างและความสูงของภาพซึ่งจะมีอยู่หลายขนาด เช่น อัตราส่วน 1:1 ภาพจะมีความกว้าง 1 ส่วนและยาว 1 ส่วน ภาพที่ได้จะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส อัตราส่วน 4:3 ภาพจะมีความกว้าง 3 ส่วนและยาว 4 ส่วน ภาพจะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า อัตราส่วน 16:9 ภาพจะมีความกว้าง 9 ส่วน และยาว 16 ส่วน ขนาดภาพลักษณะนี้เราจะพบได้จากการชมภาพยนตร์หรือที่เรียกว่าภาพแบบ Windscreen โดยถ้าดูในส่วนของขนาดจอฉายจะมีอยู่ 3 แบบ ดังนี้

1) Square Format (1:1) หมายถึง ความสูงและความกว้างของเนื้อจอมีขนาดเท่ากัน เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เราจะเรียกจอแบบนี้ว่า จอขนาด 70”x70” หรือ 50”x50”

2) Video Format (4:3/1.33) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความสูงและความกว้างของจอเป็น 4: 3 เหมือนจอโทรทัศน์ รูปจอจะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้านิดๆ จอแบบนี้จะมีหน่วยวัดที่เป็นเส้นทแยงมุม เช่น จอแบบ 150“ (4:3) หมายถึง เนื้อจอจะมีความกว้าง 3.05 เมตร สูง 2.44 เมตร มีความยาวของเส้นทแยงมุม 150”

3) HDTV format (16:9/1.78) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความสูงและความกว้างของจอเป็น 16: 9 ภาพจะเป็น Wide screen เหมือนจอภาพยนตร์ หรือภาพที่เราเห็นจากเครื่องเล่น DVD รูปจอจะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาวกว่าแบบ 4:3



ภาพที่ 3.23 ขนาดและสัดส่วนของภาพ

ที่มา : http://www.avl.co.th/article.php?p=10&id=36

3.9.2.3 อัตราส่วนของจอภาพ

อัตราส่วนของจอภาพ สำหรับ HD คือ ขนาดความกว้าง x ความสูง เป็น 16 ต่อ 9 (16:9) ซึ่งเปรียบเทียบค่าได้จากการนำค่าของความกว้างกับความสูงมาหารกัน ดังนี้ 1,920/1,080 เท่ากับ 16/9 และ 1,280/720 เท่ากับ 16/9 แบ่งแต่ละประเภทได้ดังนี้

- VGA (Video Graphics Array) คือ ขนาดภาพ 640x480 พิกเซล (4:3)
- XGA (Extended Graphics Array) คือ ขนาดภาพ 1024x768 พิกเซล (4:3)
- UXGA (Ultra Extended Graphics Array) คือ ขนาดภาพ 1600x1200 พิกเซล (4:3)

แล้วยังมีขนาดอัตราส่วนอื่นๆ อีก ที่ขึ้นต้นด้วย W เรียกว่า Wide Screen (จอกว้าง) คือ

- WXGA (Wide Extended Graphics Array) คือ ขนาดภาพ 1280x800 พิกเซล (16:10
- WUXGA คือ ขนาดภาพ 1920x1200 พิกเซล (16:10)
- WXGA (HD-Ready) คือ ขนาดภาพ 1366x768 พิกเซล (16:9)
- WSVGA (Full HD) คือ ขนาดภาพ 1920x1080 พิกเซล (16:9)

โดยในทั้งนี้อัตราส่วนของภาพนี้ไม่สามารถบอกได้ว่าภาพมีความคมชัดเท่าใด แต่ความละเอียด (Resolution) ต่างหากจะเป็นตัววัดความคมชัดของการแสดงภาพ

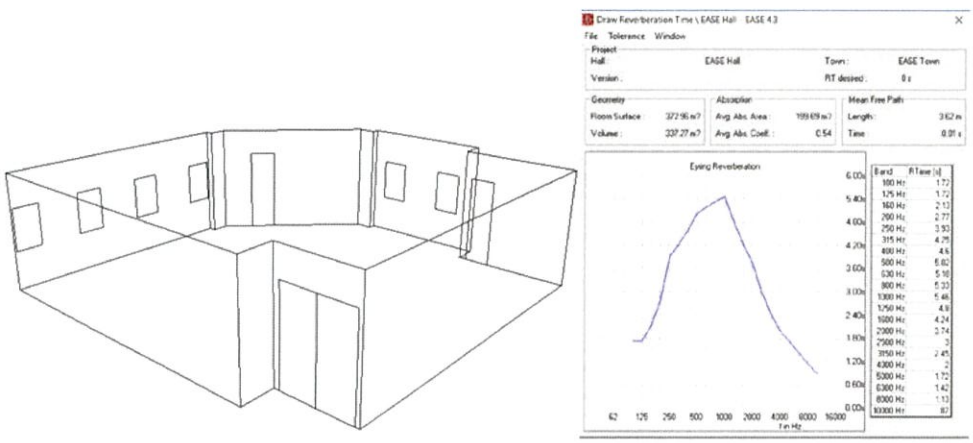
บทที่4
ผลการวิจัย

4.1 ผลการออกแบบระบบอะคูสติก

4.1.1 ค่า RT60 ก่อนออกแบบ

4.1.1.1 ห้องรับรอง

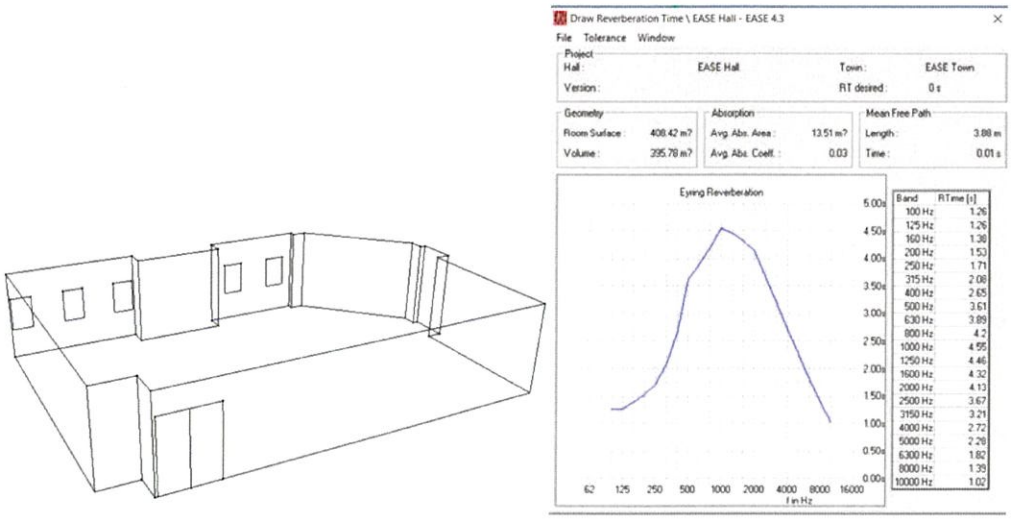
สำหรับห้อง มรภ. นครปฐมนี้ มีค่า RT60 เฉลี่ยที่ 16 ความถี่อยู่ที่ 3.78 วินาที และ ที่ช่วง 125 Hz ถึง 4000 Hz ค่า RT60 ซึ่งสูงเกินกว่าค่าอ้างอิง ทำให้มีผลกระทบให้มีการสูญเสียความชัดเจนของเสียงพูดภายในห้อง ดังนั้นจึงควรเพิ่มการจัดการเกี่ยวกับระบบอะคูสติกภายในห้อง ที่จะมาช่วยลดค่า RT60 ของห้อง ให้มีค่าที่เหมาะสมตรงตามเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถรองรับได้ โดยเฉพาะย่านเสียงพูด



ภาพที่ 4.1 ค่า RT60 ของห้องรับรองก่อนออกแบบ

4.1.1.2 ห้องเอนกประสงค์

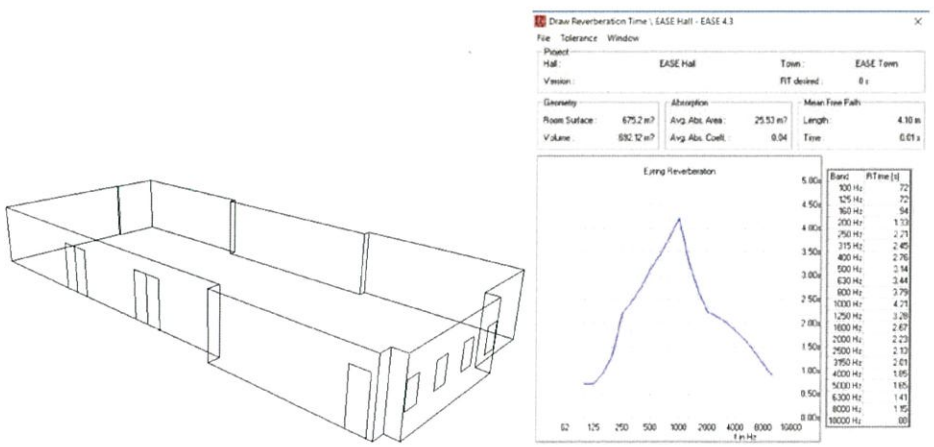
สำหรับห้อง มรภ. นครปฐมนี้ มีค่า RT60 เฉลี่ยที่ 16 ความถี่อยู่ที่ 3.08 วินาที และ ที่ช่วง 125 Hz ถึง 4000 Hz ค่า RT60 ซึ่งสูงเกินกว่าค่าอ้างอิง ทำให้มีผลกระทบให้มีการสูญเสียความชัดเจนของเสียงพูดภายในห้อง ดังนั้นจึงควรเพิ่มการจัดการเกี่ยวกับระบบอะคูสติกภายในห้อง ที่จะมาช่วยลดค่า RT60 ของห้อง ให้มีค่าที่เหมาะสมตรงตามเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถรองรับได้ โดยเฉพาะย่านเสียงพูด



ภาพที่ 4.2 ค่า RT60 ของห้องเอนกประสงค์ก่อนออกแบบ

4.1.1.3 ห้องประชุม

สำหรับห้อง มรภ. นครปฐมนี้ มีค่า RT60 เฉลี่ยที่ 16 ความถี่อยู่ที่ 2.45 วินาที และ ที่ช่วง 125 Hz ถึง 4000 Hz ค่า RT60 ซึ่งสูงเกินกว่าค่าอ้างอิง ทำให้มีผลกระทบให้มีการสูญเสียความชัดเจนของเสียงพูดภายในห้อง ดังนั้นจึงควรเพิ่มการจัดการเกี่ยวกับระบบอะคูสติกภายในห้อง ที่จะมาช่วยลดค่า RT60 ของห้อง ให้มีค่าที่เหมาะสมตรงตามเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถรองรับได้ โดยเฉพาะย่านเสียงพูด

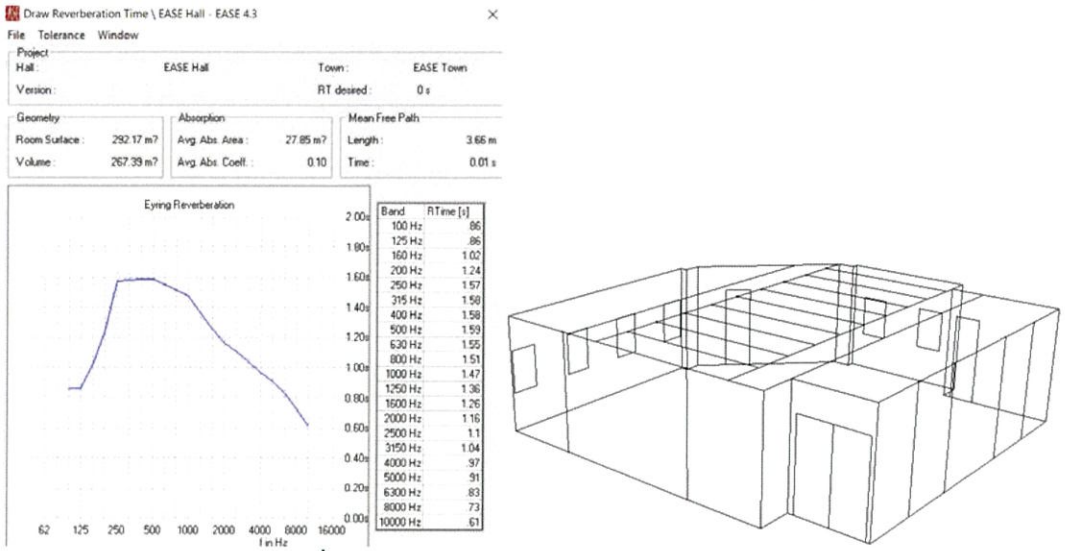


ภาพที่ 4.3 ค่า RT60 ของห้องประชุมก่อนออกแบบ

4.1.2 ค่า RT60 หลังออกแบบ

4.1.2.1 ห้องรับรอง

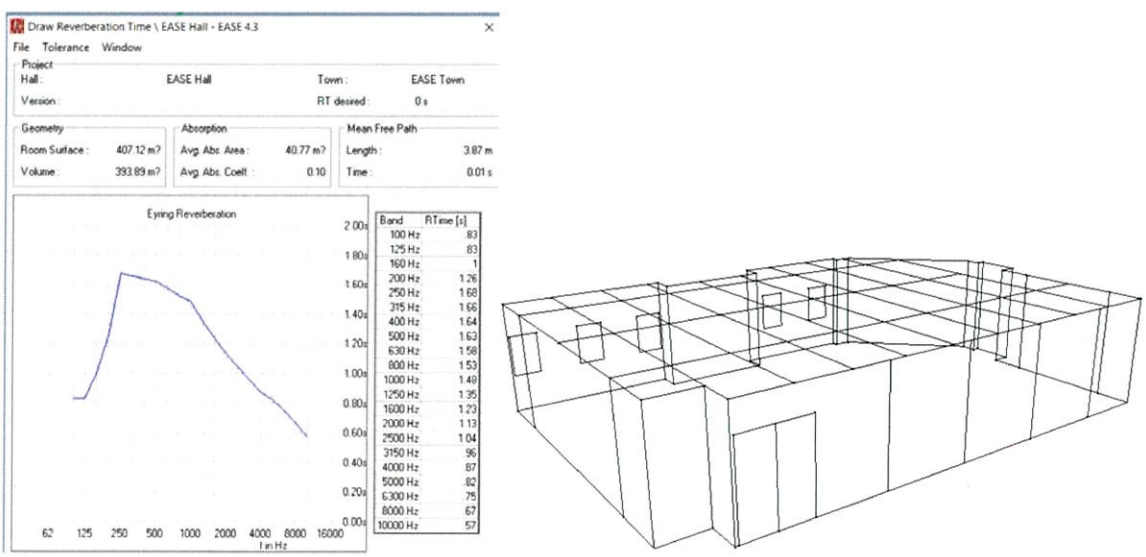
ผลที่ได้จากการออกแบบห้องรับรองที่ มรภ. นครปฐมในครั้งนี้ มีค่า RT60 เฉลี่ยที่ 16 ความถี่อยู่ที่ 1.3 วินาที ที่ช่วง 125 Hz ถึง 4000 Hz ซึ่งมีค่าตรงตามมาตรฐานที่สามารถรองรับได้



ภาพที่ 4.4 ค่า RT60 ของห้องรับรองหลังออกแบบ

4.1.2.2 ห้องอเนกประสงค์

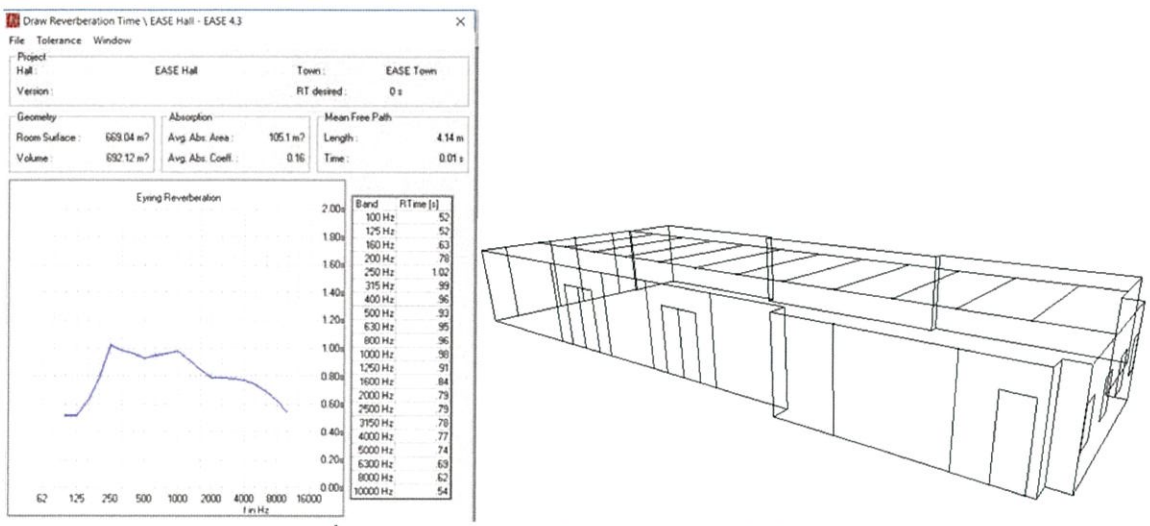
ผลที่ได้จากการออกแบบห้องอเนกประสงค์ที่ มรภ. นครปฐมในครั้งนี้ มีค่า RT60 เฉลี่ยที่ 16 ความถี่อยู่ที่ 1.3 วินาที ที่ช่วง 125 Hz ถึง 4000 Hz ซึ่งมีค่าตรงตามมาตรฐานที่สามารถรองรับได้



ภาพที่ 4.5 ค่า RT60 ของห้องอเนกประสงค์หลังออกแบบ

4.1.2.3 ห้องประชุม

ผลที่ได้จากการออกแบบห้องอเนกประสงค์ที่ มรภ. นครปฐมในครั้งนี้ มีค่า RT60 เฉลี่ยที่ 16 ความถี่อยู่ที่ 0.88 วินาที ที่ช่วง 125 Hz ถึง 4000 Hz ซึ่งมีค่าตรงตามมาตรฐานที่สามารถรองรับได้

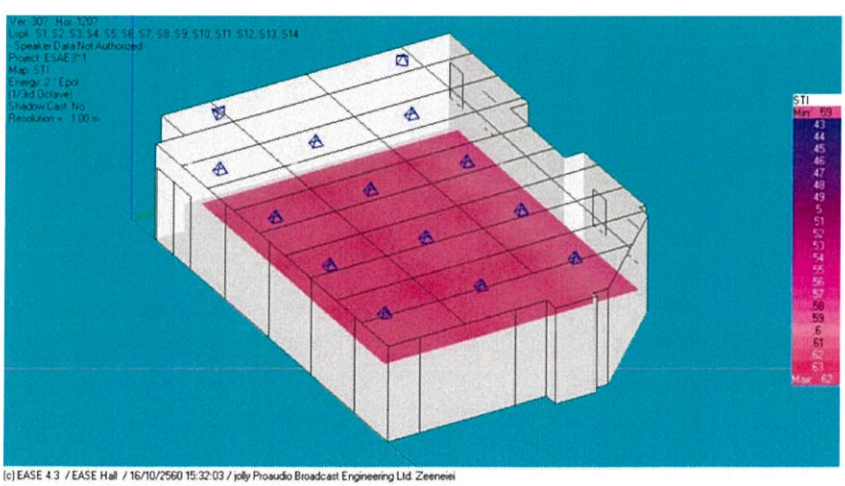


ภาพที่ 4.6 ค่า RT60 ของห้องอเนกประสงค์หลังออกแบบ

4.2 ผลการออกแบบระบบโสตทัศนูปกรณ์

4.2.1 ค่า STI ของห้องอเนกประสงค์หลังการจำลองระบบเสียง

จากการจำลองการติดตั้งลำโพงภายในห้องอเนกประสงค์ มีค่า STI ต่ำสุดอยู่ที่ 0.59 และ มีค่าSTI สูงสุดอยู่ที่ 0.62 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่ดี เสียงที่ได้สามารถกระจายได้ทั่วห้อง ผู้ฟังสามารถที่จะรับฟังเสียงได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 4.7 ค่า STI ของห้องอเนกประสงค์

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การออกแบบระบบอะคูสติกภายในและติดตั้งระบบโสตทัศนูปกรณ์ในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดีของห้องประชุมสภา ห้องรับรอง และห้องอเนกประสงค์ ชั้น 5 อาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โดยทำการวัดค่าRT60 ,NC และSTI ในการออกแบบระบบอะคูสติกมีการเปรียบเทียบค่าRT60ก่อนออกแบบและหลังออกแบบ ค่าที่ได้ก่อนออกแบบมีค่าสูงเกินกว่าค่าอ้างอิงหรือค่ามาตรฐานที่รองรับ ส่งผลกระทบให้เกิดการสูญเสียความชัดเจนของเสียงพูดภายในห้อง โดยแบ่งการออกแบบระบบอะคูสติกออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) ออกแบบผนังกั้นเสียงรบกวนจากภายนอก เพื่อควบคุมไม่ให้เสียงรบกวนจากภายนอกเข้ามาภายในห้อง 2) ออกแบบผนังภายในเพื่อควบคุมเสียงภายในห้องให้มีค่าเหมาะสมกับการทำงาน ดังนั้นการออกแบบระบบอะคูสติกเพื่อช่วยปรับค่า RT60 ภายในห้องให้เหมาะสม ลดเสียงรบกวนทั้งภายนอกและภายในห้อง ลดปัญหาความก้องสะท้อนของเสียงภายในห้องและสามารถเพิ่มบรรยากาศในการทำงานและพัฒนาคุณภาพการทำงานให้ดีขึ้น ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานของห้องประชุมมีค่าที่ดีที่สุดอยู่ในช่วง 0.7 – 1.1 วินาที ห้องรับรองมีค่าที่ดีที่สุดอยู่ในช่วง 1.6 – 1.8 วินาที และห้องอเนกประสงค์มีค่าที่ดีที่สุดจะอยู่ในช่วง 1.6 – 1.8 วินาที

เมื่อเราสามารถลดปัญหาเสียงรบกวนและเสียงก้องสะท้อนภายในห้องได้แล้ว เราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการรับฟังเสียงได้มากขึ้นโดยการติดตั้งระบบโสตทัศนูปกรณ์หรือติดตั้งระบบเสียงให้กับห้องเพื่อเพิ่มความชัดเจนในการรับฟังข่าวสาร ซึ่งห้องที่มีขนาดกว้างอย่างห้องประชุม จำเป็นจะต้องเพิ่มลำโพงเพดานที่มีความเหมาะสมกับเสียงในย่านเสียงพูด เพื่อช่วยให้การรับฟังข่าวสารในการประชุมสามารถได้รับข่าวสารอย่างรบถ้วนและถูกต้อง และมีการติดตั้งระบบภาพเพื่อการนำเสนองานได้อย่างครบถ้วน มีความสมบูรณ์ทั้งระบบภาพและเสียง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานและการนำเสนองานสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วขึ้นด้วยเทคโนโลยีการนำเสนอภาพที่ทันสมัยควบคู่กับการติดตั้งระบบเสียงที่สมบูรณ์ ดังนั้นการออกแบบระบบอะคูสติกภายในและติดตั้งระบบโสตทัศนูปกรณ์ในครั้งนี้ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งด้านการปรับปรุงห้องให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีค่ามาตรฐานทางอะคูสติกที่เหมาะสมกับห้องแต่ละรูปแบบ รวมถึงการติดตั้งระบบภาพและเสียงที่ดี ส่งผลให้การทำงานภายในห้องมีความสมบูรณ์แบบเพิ่มมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลจากการทำโครงงานสหกิจศึกษาในหัวข้อโครงการออกแบบระบบอะคูสติกภายในพร้อมติดตั้งระบบโสตทัศนูปกรณ์เพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี ณ อาคารสำนักงานอธิการบดี ชั้น 5 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมในครั้งนี้ ผู้จัดทำโครงงานมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรเพิ่มจำนวนครั้งในการวัดเสียง ณ สถานที่จริงให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการออกแบบห้อง

2. ควรตรวจสอบค่าดูดซับเสียงของวัสดุที่ใช้จริงกับค่าในโปรแกรมให้ตรงกัน เพื่อให้ผลที่ได้จากการออกแบบไม่ผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริง

เอกสารอ้างอิง

คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล. **กฎกำลังสองผกผัน (inverse square law).** ค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2560, จาก http://www.mt.mahidol.ac.th/e-learning/MTRD310/web/exposurefactor/2_7distance.htm

ชัชวาล กิมเห, Product Specialist, LEGA Corporation. (2559). **เครื่องวัดเสียง (Sound Level Meter).** ค้นเมื่อ 23 กันยายน 2560, จาก https://legatool.com/wp/3228/

ทรงพล แจ่มแจ้ง. (2558). **การจัดวางลำโพงห้องประชุม.** ค้นเมื่อ 4 ตุลาคม 2560, จาก http://www.xn--42cgaap5hwbdhf6eovf2c4d4a5a9kf9n4a.com/

สมรรถ บุณยรัตพันธุ์. **อุโฆษวิทยา สถาปัตย์.** เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 263 113 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

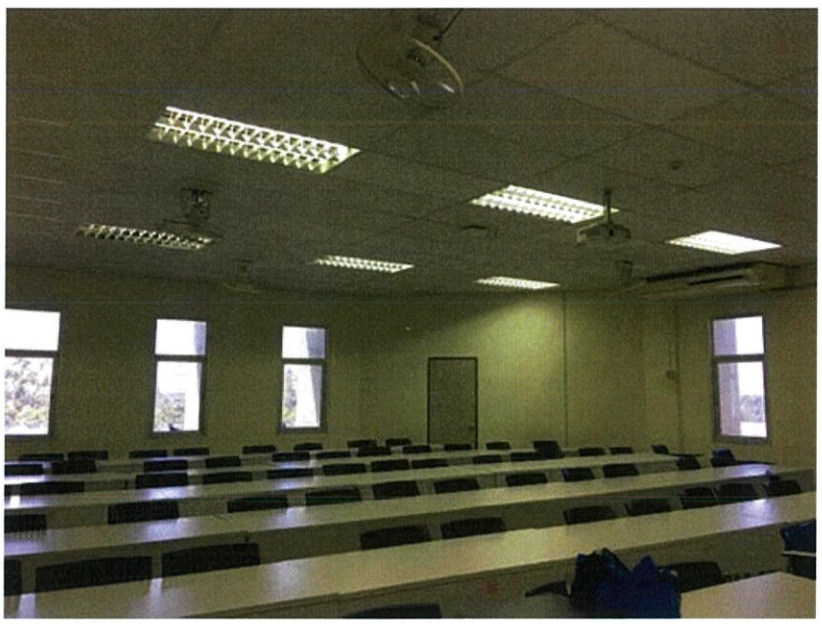
AVL Design Community. (2557). **ค่าวิศวกรรมของเสียงที่มีผลต่อการใช้งานของห้องประชุม.** ค้นเมื่อ 15 กันยายน 2560, จาก http://www.avl.co.th/article.php?p=10&id=23

AVL Design Community. (2557). **พื้นฐานของระบบและสัญญาณภาพ.** ค้นเมื่อ 22 กันยายน 2560, จาก http://www.avl.co.th/article.php?p=10&id=36

Maple Integration. (2555). **ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound transmission loss, TL).** ค้นเมื่อ 20 กันยายน 2560, จาก http://mapleintegration.com/sound_transmission2.php

Microglass Insulation & Engineering Co.,Ltd. **ฉนวนกันเสียงและความรู้เบื้องต้น.** ค้นเมื่อ 20 กันยายน 2560, จาก http://www.microglassinsulation.com/knowledges-sound.html

ภาคผนวก ก
ภาพสถานที่จัดทำโครงการ



ภาคผนวก ข
ภาพการวัดเสียงภายในห้องเรียน

ภาคผนวก ค

ภาพตำแหน่งการวัดเสียง