ปัจจัยสำคัญในการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี

นายสราวุฒิ โสนะมิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MAJOR ACOUSTICAL PARAMETERS DESIGN GUIDELINE IN AUDITORIUM FOR THE BEST ACOUSTICS QUALITY

MR.SARAWUT SONAMIT

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Master of Science in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2008

511091

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยสำคัญในการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี
โดย	นาย สราวุฒิ โสนะมิตร
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต จุลาสัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ชลธี อิ่มอุดม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.พงษ์ศักดิ์ ชัยศุภรัคมีกุล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สราวุฒิ โสนะมิตร : ปัจจัยสำคัญในการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี

(MAJOR ACOUSTICAL PARAMETERS DESIGN GUIDELINE IN AUDITORIUM FOR THE BEST ACOUSTICS QUALITY)

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ศ. ดร.สุนทร บุญญาธิการ, 115 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยในโครงการการออกแบบห้องประชุมแบบไม่ใช้ระบบขยายเสียง การออกแบบระบบอะคูสติกส์ให้ได้คุณภาพเสียงที่ดี มักไม่ได้รับความสำคัญในขั้นตอนการออกแบบ เนื่องจากเป็นสิ่งที่จับต้องไม่ได้ และไม่สามารถมองเห็นได้ในขั้นตอนการออกแบบ จึงทำให้งานออกแบบที่ต้องการคุณภาพเสียงที่ดีมักมีปัญหาตลอดมา การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อหาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อคุณภาพเสียงของหอประชุม ลำดับอิทธิพลของตัวแปรหลักที่ทำให้คุณภาพเสียงของห้องเปลี่ยนแปลงไป นำผลการวิจัยมาประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดเป็นแนวทางการออกแบบห้องประชุมให้มีคุณภาพเสียงที่ดีกระบวนการศึกษาอาศัยทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวกับแนวคิดในการออกแบบห้องประชุมเพื่อควบคุมการเดินทางของเสียง การป้องกันเสียงจากสภาพแวดล้อมภายนอก การควบคุมเสียงรบกวนภายในห้องประชุมและการควบคุมคุณภาพอะคูสติกส์ และการเดินทางของเสียงภายในห้องประชุม

ตัวแปรหลักที่ใช้ในการประเมินแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ รูปร่างลักษณะของห้องประชุม ค่าความก้องของเสียง และเกณฑ์ระดับเสียงรบกวน ขั้นตอนต่อมาเป็นการให้คะแนนกลุ่มตัวแปรต่างๆ เพื่อสร้างดัชนีโดยวิเคราะห์ คุณสมบัติและเทคนิคในการควบคุมการสะท้อน การดูดซับและการกระจายเสียง วิเคราะห์คุณสมบัติในการป้องกันเสียงรบกวนของตัวแปร ตามเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบเพื่อควบคุมคุณภาพของเสียง ควบคุมเสียงรบกวนจากภายในและภายนอกห้องประชุม จากการวิเคราะห์ผลการวัดค่าอะคูสติกส์จากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 แห่ง พบว่า อิทธิพลในการควบคุมคุณภาพเสียงมีสัดส่วนของตัวแปรเรียงลำดับตามความสำคัญ ได้แก่ ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบห้องประชุม ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับค่าความก้องของเสียง (RT60) และตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์เสียง (NC) จากนั้นจึงหาเกณฑ์ที่เหมาะสมในการประเมินค่าตัวแปรต่างๆ และสร้างระดับที่เป็นตัวชี้วัดถึงคุณภาพเสียงที่ดี โดยแบ่งเป็นเกณฑ์ ที่ดีที่สุด (0.0-3.0)

ผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพเสียง ข้อมูลอะคูสติกส์จากต่างประเทศ และข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยวัดค่าอะคูสติกส์ในครั้งนี้ ซึ่งในประเทศไทยยังไม่เคยปรากฏว่ามีงานวิจัยใดได้ทำการศึกษามาก่อน เมื่อนำไปประยุกต์อย่างถูกต้องจะพบว่าการปรับปรุงเพื่อให้มีทิศทางกระจายเสียงที่ถูกต้อง ให้ได้ค่าการสะท้อนเสียงเหมาะสม และลดเสียงรบกวนลง สามารถเพิ่มศักยภาพในการได้ยินที่ดีขึ้น นอกจากนั้นข้อมูลจากการศึกษาวิจัยยังสามารถนำไปเป็นจุดเริ่มต้นแนวทางในการออกแบบห้องประชุมต้นแบบที่มีคุณภาพเสียงที่ดีได้ตามต้องการ แต่หากต้องการออกแบบห้องประชุมที่มีขนาดใหญ่นั้นจะต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเนื่องจากมีรายละเอียดอีกมากที่ต้องศึกษา

ภาควิชา .....สถาปัตยกรรมศาสตร์..... ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา..... สถาปัตยกรรม..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2551.....

5074187325 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORD: GOOD ACOUSTICS QUALITY / DESIGNGUIDELINES FOR AUDITORIUMS

SARAWUT SONAMIT: MAJOR ACOUSTICAL PARAMETERS

DESIGNGUIDELINES FOR AUDITORIUMS WITH GOOD ACOUSTICS QUALITY

THESIS ADVISOR: PROF. Dr.SOONTORN BONYATIKARN, 115 pp.

The present study is part of a project to design auditoriums with no amplifier systems. Designing acoustical parameters for good acoustic qualities normally does not receive much attention in the design process because not only is it an abstract concept but its benefits are also intangible. As a result, there have always been problems with respect to designing acoustically good auditoriums. This thesis aims to identify the parameters affecting auditoriums' acoustic qualities, rank those parameters according to their impacts, and apply the results to determine guidelines for designing auditoriums which have good acoustic qualities. The study draws on theories and data related to designing auditoriums for sound flow control, external and internal noise prevention, and internal acoustics and sound flow control.

The research procedures were as follows. To begin with, three acoustical parameters were determined, namely the auditoriums' physical features, resonance values, and noise levels. Then, these parameters were given scores in order to establish an index. In this process, each parameter was analyzed in terms of the qualities and techniques of controlling echo, sound absorption and distribution, and external and internal noise prevention, with design standards for acoustic quality control being taken into consideration.

From measuring the acoustical values of three samples, it was found that the parameter with the highest impact was the physical features, followed by the resonance values (RT60) and the noise levels (NC). After that, assessment criteria were set for each parameter, and then acoustic quality indicators were determined, ranging from 0.0-3.0.

The results from the analysis of the parameters were applied in improving a prototype auditorium. Computer programs were used to calculate its cubic volume and determine its echo direction and sound distribution. As for noise control, the wall was modified, e.g. padded, to prevent external noise, and the air-conditioning system and the electrical equipment were adjusted to prevent internal noise.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department of.....Architecture..... Student's signature.....

Field of study.....Architecture..... Advisor's signature.....

Academic year.....2008.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความกรุณาของ ศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวิจัย ขอขอบพระคุณ รศ. ชลธี อิ่มอุดม ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานคณะกรรมการสอบ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์, อ.ดร.วรภัทร อิงคโรจน์ฤทธิ์ และดร.พงษ์ศักดิ์ ชัยศุภรัศมีกุล ที่ให้ความกรุณาเป็นคณะกรรมการสอบ ขอขอบคุณ ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย และวิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดล ที่ให้ข้อมูลประกอบการวิจัย

ขอขอบคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ในภาคสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลืออย่างดี ขอขอบคุณ คุณกัลยา งามพัฒนะกุล และบริษัทเมเปิ้ลโซลูชั่น จำกัด ที่ให้โอกาสและการสนับสนุนทั้งด้านเวลา ทุนทรัพย์ และสิ่งอำนวยการต่างๆ ขอขอบคุณคุณนิวัติ อัญญะมณี ที่ช่วยให้การสนับสนุนในการทำวิจัย

ท้ายที่สุดนี้ คุณความดีและกุศลที่พึงบังเกิดมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เป็นผลมาจากความเมตตากรุณา ของบิดา มารดาผู้คอยให้กำลังใจ และคณาจารย์ทุกท่าน ผู้ประสิทธิ์ประศาสน์วิชาความรู้ทางทางวิชาการแก่ผู้วิจัย จึงขอยกคุณความดีเหล่านั้น เป็นเครื่องบูชาพระคุณ ด้วยความเคารพและสักการะยิ่ง

สราวุฒิ โสนะมิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฑ

สารบัญภาพ.....ญ

สารบัญแผนภูมิ.....ฏ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....3

1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....3

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา.....4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....6

1.6 คำจำกัดความเฉพาะการศึกษาครั้งนี้.....6

บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย.....8

2.1 การออกแบบห้องประชุม.....8

2.1.1 ขนาดของห้องประชุม.....8

2.1.2 รูปแบบห้องประชุม.....8

2.1.3 รูปแบบเวทีห้องประชุม.....10

2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเสียง.....13

2.3 ความถี่เสียง.....14

2.4 ความเร็วของเสียง.....15

2.5 ความเข้มของเสียง.....15

2.6 ระดับความดันเสียง.....16

2.7 มาตรเดซิเบล.....16

2.8 ระดับเสียงเวจท์.....17

2.9 การสะท้อนของเสียง.....18

2.10 การดูดกลืนของเสียง.....20

2.11 การกระจายของเสียง.....24

2.12 แหล่งกำเนิดเสียงรบกวน.....24

2.13 เกณฑ์เสียง.....27

2.14 Reverberation Time.....29

2.15 การส่งผ่านเสียงเข้าภายในห้องหรือภายในอาคาร.....31

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

2.16 ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง....32
2.17 ชั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง....34
2.17.1 ผนังทึบชั้นเดียว....35
2.17.2 ผนังสองชั้นมีช่องว่างอากาศ....36
2.17.3 ผนังผสม....36
2.17.4 ผนังกรณีที่เปิดช่องเปิด....36
2.18 ระบบผนังประหยัดพลังงานช่วยลดเสียงรบกวน....36
2.19 วิธีการรวบรวมข้อมูล....37
2.19.1 ความหมายและความสำคัญของการวัด....37
บทที่ 3 การประเมินปัจจัยสำคัญในการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี....40
3.1 หลักการในการออกแบบห้องประชุมเพื่อป้องกันเสียงรบกวน
จากสภาพแวดล้อมภายนอกห้องประชุม....41
3.1.1 ตัวแปรที่เกี่ยวกับการป้องกันเสียงรบกวน
จากสภาพแวดล้อมภายนอกห้องประชุม....42
3.2 หลักการในการออกแบบห้องประชุมเพื่อป้องกันเสียงรบกวน
จากสภาพแวดล้อมภายในห้องประชุม....46
3.2.1 ตัวแปรที่เกี่ยวกับการป้องกันเสียงรบกวนจาก
สภาพแวดล้อมภายในห้องประชุม....47
3.3 หลักการในการออกแบบห้องประชุมโดยการควบคุมคุณภาพอะคูสติกส์
และการเดินทางของเสียงภายในห้องประชุม....48
3.3.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพอะคูสติกส์
และการเดินทางของเสียงภายในห้องประชุม....49
3.4 การประเมินคุณภาพเสียงที่ดีของห้องประชุม....57
3.4.1 การพิจารณาค่าระดับคะแนนของตัวแปร....57
3.4.2 การพิจารณาค่าคะแนนของตัวแปรที่ส่งผลต่อ
คุณภาพเสียงที่ดีของห้องประชุม....59
3.4.3 ช่วงคะแนนสำหรับประเมินคุณภาพอะคูสติกส์ของห้องประชุม....61
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี....62
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูล....62
4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลค่าระดับตัวแปรกับห้องประชุม
ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย....62
4.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลค่าระดับตัวแปรกับหอแสดงดนตรี
วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ มหาวิทยาลัยมหิดล....66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

4.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลค่าระดับตัวแปรกับห้องบรรยาย 208 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....71

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....76

5.1 บทสรุป.....76

5.2 ข้อเสนอแนะ.....83

5.2.1 หลักการในการออกแบบห้องประชุม.....83

5.2.2 หลักการในการออกแบบห้องประชุมสำหรับกิจกรรมบรรยายที่ใช้เครื่องขยายเสียง และไม่ใช้เครื่องขยายเสียง.....85

รายการอ้างอิง.....86

ภาคผนวก.....87

ภาคผนวก ก มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางเสียงและความสั่นสะเทือนของประเทศไทยและต่างประเทศ.....88

ภาคผนวก ข Sound Transmission Loss และ Sound Transmission Class สำหรับผนัง.....92

ภาคผนวก ค ผลการวัดเสียง ห้องประชุมกลุ่มตัวอย่าง.....95

ภาคผนวก ง ภาพห้องประชุมกลุ่มตัวอย่าง.....113

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....115

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ภาพแสดงการแสดงธรรมเทศนาของพระพุทธเจ้าในวันมาฆบูชา....1
รูปที่ 1.2 แสดงการลดทอนของเสียงในอากาศ....2
รูปที่ 2.1 รูปแบบห้องประชุมสี่เหลี่ยมผืนผ้า....9
รูปที่ 2.2 รูปแบบห้องประชุมรูปพัด....9
รูปที่ 2.3 รูปแบบห้องประชุมทรงเกือกม้า....10
รูปที่ 2.4 รูปแบบห้องประชุมแบบรูปวงกลม....10
รูปที่ 2.5 รูปเวทีปลายห้อง....11
รูปที่ 2.6 รูปเวทีเปิด....11
รูปที่ 2.7 เวทีอารีนา....12
รูปที่ 2.8 เวทีปรับได้....13
รูปที่ 2.9 ส่วนสำคัญของคลื่นเสียง แสดงการส่งคลื่น เกิดการอัดและขยายตัว....14
รูปที่ 2.10 มุมตกกระทบ....18
รูปที่ 2.11 การสะท้อนของเสียงบนพื้นที่เว้า....19
รูปที่ 2.12 การสะท้อนเสียงบนพื้นที่นูน....19
รูป 2.13 แสดงปรากฏการณ์ของเสียงที่กระทบผนัง....21
รูปที่ 2.14 การกระจัดกระจายของเสียงเมื่อกระทบกับพื้นผิวขรุขระ....24
รูปที่ 2.15 แสดงการกระจายเสียงของเสียงที่มีแหล่งกำเนิดเป็นจุด....25
รูปที่ 2.16 แสดงการกระจายเสียงของเสียงที่มีแหล่งกำเนิดเป็นเส้น....25
รูปที่ 2.17 แสดงการส่งผ่านเสียงแบบตรงและแบบทางอ้อม....32
รูปที่ 3.1 แสดงการควบคุมเสียงภายในห้องประชุม....40
รูปที่3.2 รูปสัดส่วนของห้องประชุมที่เหมาะสม....50
รูปที่ 3.3 รูปแบบห้องประชุม....50
รูปที่ 3.4 แสดงค่าระดับคะแนนรูปร่างของห้องประชุม....57
รูปที่ 4.1 แสดงการกำหนดจุดวัด NC ห้องประชุม ศ.สังเวียน....63
รูปที่ 4.2 แสดงการกำหนดจุดวัด RT และจุดติดตั้งลำโพง ห้องประชุม ศ.สังเวียน....64
รูปที่ 4.3 การประเมินค่าคุณภาพอะคูสติกส์ของห้องประชุม ศ.สังเวียน....65
รูปที่ 4.4 แสดงการกำหนดจุดวัด NC หอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดล....67
รูปที่ 4.5 แสดงการกำหนดจุดวัด RT และจุดติดตั้งลำโพง หอแสดงดนตรี
วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดล....69
รูปที่ 4.6 การประเมินค่าคุณภาพอะคูสติกส์ของหอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์....71
รูปที่ 4.7 แสดงการกำหนดจุดวัด NC ห้องบรรยาย 208 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย....72

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

รูปที่ 4.8 แสดงการกำหนดจุดวัด RT และจุดติดตั้งลำโพง ห้องบรรยาย 208 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย....73
รูปที่ 4.9 การประเมินค่าคุณภาพอะคูสติกส์ของห้องบรรยาย 208 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย....75
รูปที่ 5.1 แสดงการกำหนดทิศทางการกระจายเสียงด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน....76
รูปที่ 5.2 แสดงทิศทางและพื้นที่ การกระจายและดูดซับเสียง....77
รูปที่ 5.3 ภาพแสดงทิศทางการกระจาย และดูดซับเสียง....77
รูปที่ 5.4 แสดงค่าระดับคะแนนรูปร่างของห้องประชุม....79
รูปที่ 5.5 รูป 3D ในสภาพปัจจุบัน....81
รูปที่ 5.6 รูป 3D ในสภาพแก้ไขผนังด้านหลังแบบซับเสียง....82
รูปที่ 5.7 อาคารเรียน โรงเรียนพูลเจริญ....83
รูปที่ 5.8 แสดงตำแหน่งการแก้ไขอะคูสติกส์ของห้องเรียน โรงเรียนพูลเจริญ....84

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิ 1.1 แสดงขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา.....5
แผนภูมิ 2.1 แสดงค่าระดับเสียงต่างๆ ที่ถูกเวจท์.....17
แผนภูมิ 2.2 กราฟทางวิศวกรรมที่เกณฑ์แสดงเกณฑ์เสียง.....28
แผนภูมิ 2.3 ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของโครงสร้างแปรตามความถี่.....34
แผนภูมิ 2.4 ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (STC)
เปรียบเทียบระหว่างวัสดุ A กับวัสดุ B.....35
แผนภูมิ 3.1 แสดงกราฟการหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสม.....44
แผนภูมิ 3.2 กราฟแสดงการหาค่าชั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (STC)
ของผนังชนิดต่างๆ.....45
แผนภูมิ 3.3 แสดงกราฟการหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง
ของผนังกรณีมีช่องเปิด (TLc).....46
แผนภูมิ 3.4 แสดงค่า Reverberation Time ที่เหมาะสม สำหรับกิจกรรมต่างๆ.....49
แผนภูมิ 3.5 แสดงค่าระดับคะแนนค่าความก้องของเสียง.....58
แผนภูมิ 3.6 แสดงค่าระดับคะแนนเกณฑ์ระดับเสียง.....59
แผนภูมิ 3.7 แสดงการกำหนดค่าน้ำหนักของตัวแปรที่มีอิทธิพล
ต่อการควบคุมเสียงในห้องประชุม.....60
แผนภูมิ 3.8 แสดงช่วงคะแนนสำหรับประเมินคุณภาพอะคูสติกส์ของห้องประชุม.....61
แผนภูมิ4.1 แสดงผลการวัด NC ห้องประชุม ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย
เปรียบเทียบกับค่า NC ที่ยอมรับได้.....63
แผนภูมิ 4.2 แสดงผลการวัด RT60 ห้องประชุม ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย
เปรียบเทียบกับค่า RT60 ที่ยอมรับได้.....65
แผนภูมิ 4.3 แสดงผลการวัด NC หอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดล
เปรียบเทียบกับค่า NC ที่ยอมรับได้.....68
แผนภูมิ 4.4 แสดงผลการวัด RT60 หอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดล
เปรียบเทียบกับค่า RT60 ที่ยอมรับได้.....70
แผนภูมิ 4.5 แสดงผลการวัด NC ห้องบรรยาย 209 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เปรียบเทียบกับค่า NC ที่ยอมรับได้.....72
แผนภูมิ 4.6 แสดงผลการวัด RT60 ห้องบรรยาย 208 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เปรียบเทียบกับค่า RT60 ที่ยอมรับได้.....74
แผนภูมิ 5.1 แสดงค่าระดับคะแนนค่าความก้องของเสียง.....77
แผนภูมิ 5.2 แสดงค่าระดับคะแนนเกณฑ์ระดับเสียง.....78
แผนภูมิ 5.3 แสดงช่วงคะแนนสำหรับประเมินคุณภาพอะคูสติกส์ของห้องประชุม.....78

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

แผนภูมิ 5.4 แสดงค่าความก้องกังวานในสภาพปัจจุบัน.....80
แผนภูมิ 5.5 แสดงค่าความก้องกังวานจากโปรแกรม.....81
แผนภูมิ 5.6 แสดงการลดทอนของเสียงในอากาศ ห้องประชุม ศ.สังเวียน
ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย.....83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

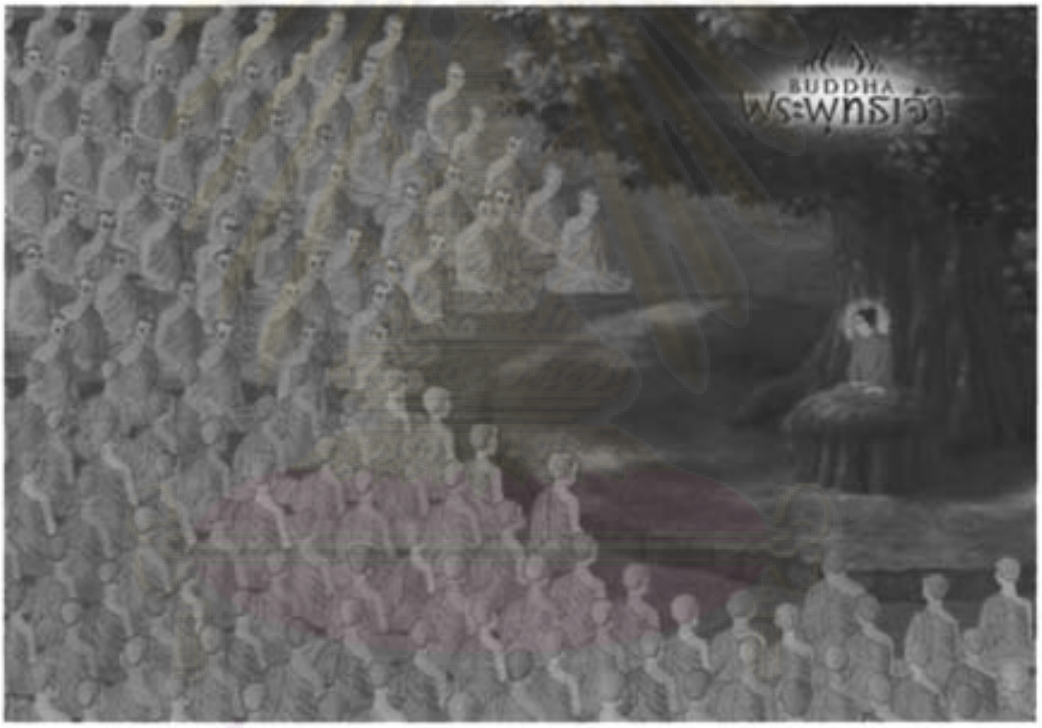
ตาราง 2.1 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ.....22
ตาราง 2.2 เสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิดต่างๆ.....26
ตาราง 2.3 เสียงรบกวนจากอุปกรณ์ประกอบอาคารต่างๆ.....27
ตาราง 2.4 ค่า Noise Criteria (NC) สำหรับเสียงแบคกราวด์ของห้องต่างๆ.....29
ตาราง 2.5 ค่า Reverberation Time ที่เหมาะสม สำหรับกิจกรรมต่างๆ.....31
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียงต่ำสุด (TLmin) ของผนังผสม.....41
ตาราง 3.2 ตารางความสัมพันธ์ TL และ STC ของช่องว่างอากาศ.....43
ตารางที่ 3.3 ค่าเสียงรบกวนจากอุปกรณ์ประกอบอาคารต่างๆ.....47
ตารางที่3.4 แสดงค่าเสียงรบกวนที่เกิดจากความเร็วลมของระบบปรับอากาศอาคาร.....48
ตาราง 3.5 วัสดุปริมาณพื้นผิวและค่าการดูดซับเสียงของห้องประชุม
ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์ แห่งประเทศไทย.....53
ตาราง 3.6 คำนวณค่าวัสดุซับเสียงรวมห้องประชุม ศ.สังเวียน
ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย.....54
ตาราง 3.7 วัสดุปริมาณพื้นผิวและค่าการดูดซับเสียงของ
หอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดล.....55
ตาราง 3.8 คำนวณค่าวัสดุซับเสียงรวม หอแสดงดนตรี
วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดล.....56
ตาราง 3.9 ค่าระดับคะแนนรูปร่างของห้องประชุม.....57
ตาราง 3.10 ค่าระดับคะแนนค่าความก้องของเสียง.....58
ตาราง 3.11 ค่าระดับคะแนนเกณฑ์ระดับเสียง.....59
ตาราง 3.12 ช่วงคะแนนสำหรับประเมินคุณภาพอะคูสติกส์ของห้องประชุม.....61

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอดีตสมัยพุทธกาล พระสัมมาสัมพุทธเจ้าได้แสดงธรรมปาติโมกข์ในวันมาฆบูชา โดยมีพระสงฆ์จำนวน 1250 รูป ร่วมประชุมรับฟังธรรมท่ามกลางสภาพแวดล้อมที่เงียบสงัด ไม่มีสิ่งประดิษฐ์ที่ทำให้เกิดเสียงรบกวน ไม่มีไฟฟ้า ไม่มีเครื่องปรับอากาศ ไม่มีรถยนต์ ไม่มีเครื่องบิน ไม่มีโรงไฟฟ้า ในช่วงเวลานั้นทำให้พระสงฆ์ทุกรูปสามารถรับฟังเสียงจากการเทศนาธรรมของสมเด็จพระสัมมาสัมพุทธเจ้าได้อย่างน่าอัศจรรย์ ทั้งๆ ที่ไม่มีเครื่องขยายเสียงและไมโครโฟนมาใช้

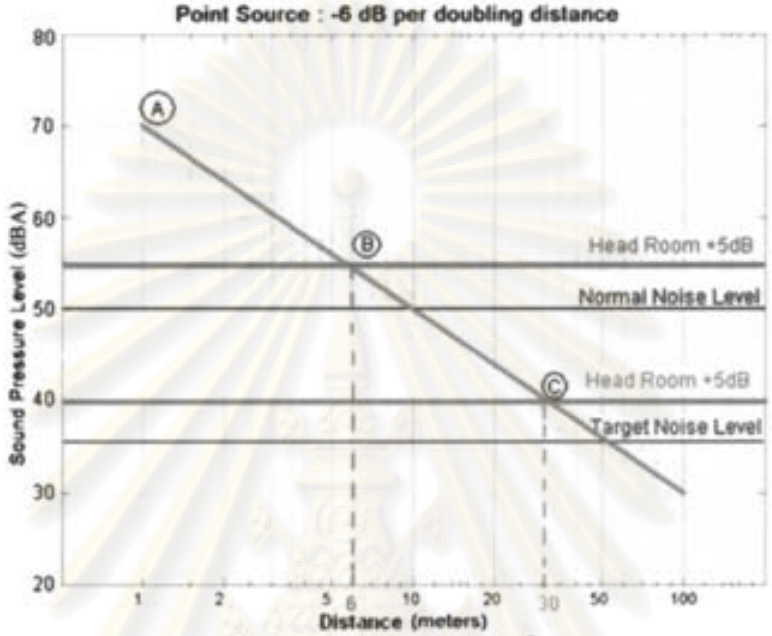


รูปที่ 1.1 ภาพแสดงการแสดงธรรมเทศนาของพระพุทธเจ้าในวันมาฆบูชา

ในปัจจุบันสภาพแวดล้อม เปลี่ยนแปลงไปจากอดีตมาก เพราะมีการพัฒนาใช้เทคโนโลยีสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่ทำให้เกิดเสียงรบกวนมากขึ้น มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในการดำรงชีวิต อุณหภูมิของโลกร้อนขึ้น ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง เกิดสภาวะเรือนกระจก การเดินทางของเสียงและคุณภาพของเสียงจึงถูกรบกวนจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

การเดินทางของเสียงโดยหลักของฟิสิกส์ จะมีการลดทอนลงทุกๆ 6 dB ที่ระยะทางเพิ่มขึ้น 2 เท่า เป็นพื้นฐานทฤษฎีที่จะทำให้เข้าใจได้ว่า เราจะสามารถทำให้คนจำนวน 1250 คน ฟังได้ยินเสียงอย่างเข้าใจได้

อย่างไร และหากเรานำผู้คนเหล่านั้นเข้ามาอยู่ในห้องประชุมซึ่งมีอุปกรณ์ทางเทคโนโลยีอยู่มากมาย ไม่ว่าจะเป็น ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง ระบบไฟฟ้าอื่นๆ ซึ่งล้วนแต่ก่อให้เกิดเสียงรบกวนทั้งสิ้น โดยจะสามารถอธิบายให้เข้าใจได้จากภาพประกอบดังนี้



กราฟแสดงการลดทอนของเสียงในอากาศ

รูปที่ 1.2 แสดงการลดทอนของเสียงในอากาศ

กราฟแสดงการลดทอนของเสียงในอากาศ โดยค่าเฉลี่ยของผู้พูดจะมีความดังประมาณ 70 dB SPL ณ จุด A ที่ 1 เมตร จากระยะผู้พูด และจะลดทอนลงทุกๆ 6 dB SPL ที่ระยะทางเพิ่มขึ้น 2 เท่า ณ จุด B เป็นจุดที่การรับฟังเสียงภายในห้องที่มีค่าเสียงรบกวนโดยทั่วไป ซึ่งมักจะมีค่าเสียงรบกวนที่ 50 dB การรับฟังเสียงที่จะเข้าใจความแตกต่างของเสียงที่รับฟังกับเสียงรบกวน มีค่ามากกว่า 5 dB ดังนั้น ณ จุด B จะสามารถรับฟังเสียงห่างจากผู้พูดเพียง 6 เมตร นั่นหมายถึง ห้องประชุมนั้นต้องเล็กมาก หรือต้องใช้ระบบขยายเสียง แต่หากเราสามารถลดเสียงรบกวนลงมาที่ 35 dB จะทำให้เราสามารถฟังและเข้าใจเสียงพูดที่จุด C ซึ่งมีระยะห่างจากผู้พูดถึง 30 เมตร ซึ่งค่าดังกล่าว จะเป็นค่าพื้นฐานในการทำความเข้าใจสำหรับงานวิจัยนี้

อีกนัยหนึ่ง หากสามารถเพิ่มเกณฑ์ของเสียงให้มากขึ้นได้ด้วยการกำหนดทิศทางการเดินทางของเสียง และการเพิ่มการสะท้อนเสียงจากผู้พูดไปยังผู้ฟังได้ ก็จะสามารถเพิ่มระยะการฟังที่มากขึ้นได้เช่นกัน ส่วนค่าความก้องกังวานของเสียงนั้น สำหรับห้องประชุมโดยทั่วไป หากมิได้ให้ความสำคัญในการออกแบบการดูดซับเสียงของห้อง ก็มักจะพบกับปัญหาของเสียงก้องกังวานที่มีมากเกินไป จนทำให้ไม่สามารถเข้าใจเสียงที่พูดได้ ซึ่งเป็นปัญหาพื้นฐานที่พบได้โดยทั่วไป

การออกแบบทางสถาปัตยกรรม เป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบทุกแขนงที่มีความเกี่ยวข้องต้องทำงานร่วมกัน แต่อะคูสติกส์มักไม่ได้รับความสำคัญในขั้นตอนการออกแบบ เนื่องจากเป็นสิ่งที่จับต้องไม่ได้ และไม่สามารถมองเห็นได้ในขั้นตอนการออกแบบ จึงทำให้งานออกแบบที่ต้องการคุณภาพอะคูสติกส์ที่ดีมักมีปัญหาตลอดมา

หอประชุมหลายแห่งในเมืองไทยมักพบกับปัญหาคุณภาพอะคูสติกส์ บางแห่งมีเสียงก้องมาก บางแห่งมีเสียงรบกวนมาก ที่สุดแล้วก็ทำให้การฟังบรรยาย หรือการฟังดนตรีไม่มีคุณภาพ ซึ่งเกิดขึ้นในขั้นพื้นฐานการออกแบบที่ไม่ให้ความสำคัญกับเรื่องอะคูสติกส์ หรือยังมองไม่เห็นถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้น ยังผลทำให้การแก้ไขปัญหาภายหลังเกิดปัญหาต่างๆอย่างต่อเนื่อง และส่งผลทำให้เสียทรัพย์ และเวลาอีกมากมายในการแก้ไขปัญหาด้านอะคูสติกส์ของห้องประชุม

การออกแบบห้องประชุม หรือห้องที่ต้องการมีคุณภาพอะคูสติกส์ที่ดี มีหลักการที่ต้องคำนึงถึงสองด้านหลักๆ คือการออกแบบการควบคุมเสียงรบกวน การออกแบบความก้องกังวานของห้อง และการออกแบบทิศทางการเดินทางของเสียง ซึ่งหากเข้าใจสามด้านนี้แล้ว งานออกแบบที่เราต้องการคุณภาพอะคูสติกส์ที่ดี เกิดแน่

ในฐานะผู้ออกแบบในวันนี้ ควรให้ความสำคัญต่อการออกแบบอะคูสติกส์ตั้งแต่เริ่มต้น เพื่อสร้างสรรค์ผลงานที่ดี ไม่มีปัญหาตามมาในอนาคต เพื่อให้ผู้ใช้งานห้องประชุม ไม่ว่าจะเป็นผู้บรรยาย นักดนตรี นักแสดง หรือผู้ชมผู้ฟังให้มีทัศนะคติที่ดีต่อสถานที่ และผู้ออกแบบได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อสภาพอะคูสติกส์ของหอประชุม
2. เพื่อจัดลำดับอิทธิพลของตัวแปรหลักที่ทำให้สภาพอะคูสติกส์ของห้องเปลี่ยนแปลงไป
3. เพื่อนำผลการวิจัยมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดแนวทางการออกแบบหอประชุมให้มีสภาพอะคูสติกส์ที่ดี

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

เลือกศึกษากลุ่มตัวอย่างจากหอประชุมในกรุงเทพมหานคร/ปริมณฑล ทั้งในส่วนของมหาวิทยาลัย, รัฐบาล และ/หรือเอกชน ที่ใช้สำหรับการพูด (เรียน, สัมมนา, ประชุม) และการแสดงดนตรี ที่ไม่ใช้ระบบขยายเสียง ที่มีขนาดในช่วง 200 - 500 ที่นั่ง ไม่น้อยกว่า 2 แห่ง

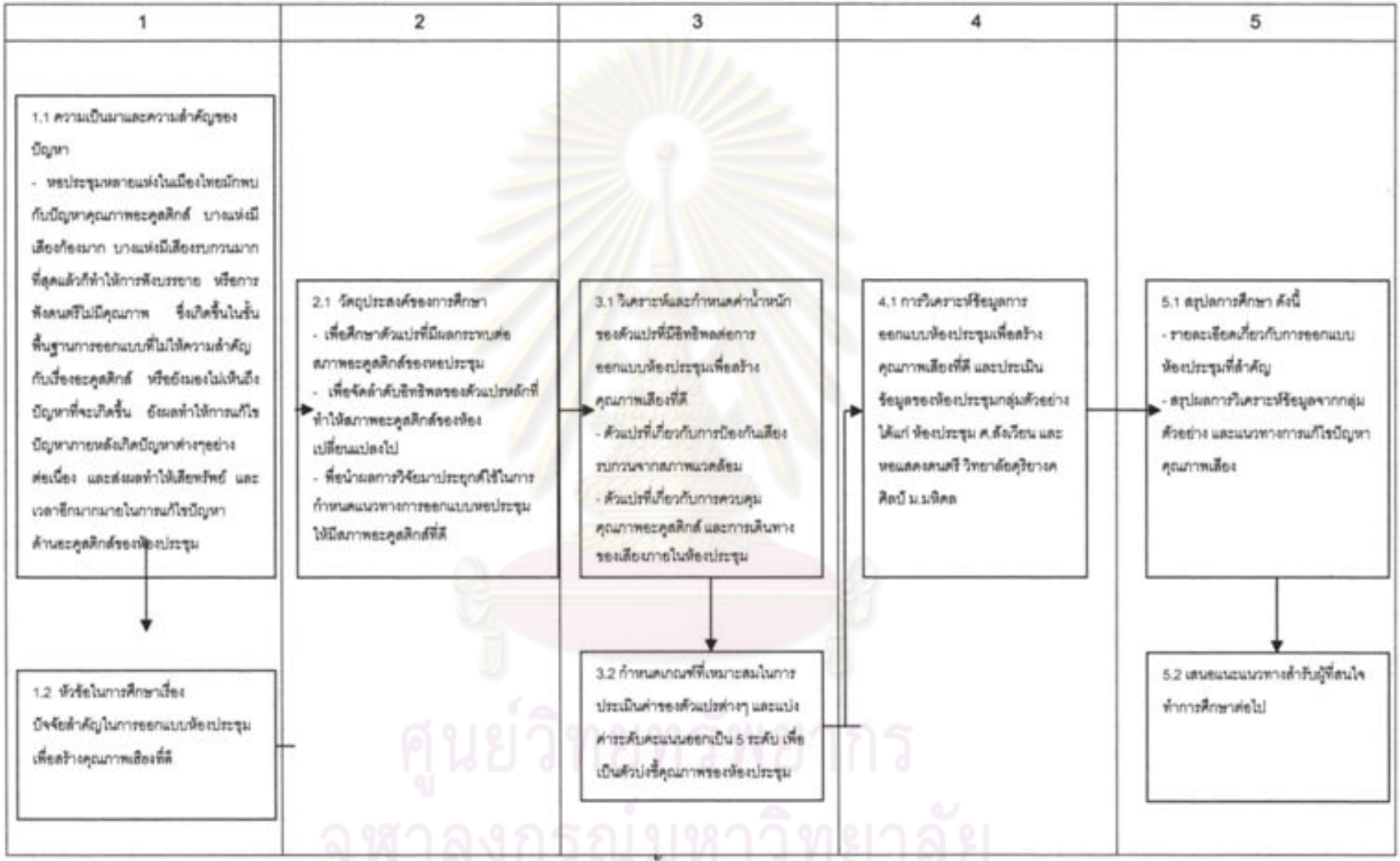
ขอบเขตในการดำเนินงาน ส่วนการศึกษากลุ่มตัวอย่างโดยการวัดสภาพอะคูสติกส์ เปรียบเทียบกับสภาพงานสถาปัตยกรรมภายในหอประชุมกลุ่มตัวอย่าง และทำการทดลองเพิ่มเติมในห้องบรรยาย 208 คณะสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

1. ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลจากหนังสือ หรือผลงานวิจัย ที่ได้มีผู้ทำการศึกษาไว้ เพื่อทำความเข้าใจและสรุปตัวแปรที่มีผลต่อสภาพของอะคูสติกส์ของห้อง
2. ดำเนินการวัดสภาพอะคูสติกส์ในกลุ่มประชากรเป้าหมาย 2 ตัวอย่าง โดยใช้เครื่องมือวัดวิเคราะห์สภาพเสียง และอะคูสติกส์ มาวิเคราะห์ร่วมกับสภาพงานสถาปัตยกรรมของกลุ่มตัวอย่างนั้นๆ
3. ทำการคำนวณค่าจากตัวแปรที่เก็บได้ เพื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในหัวข้อ 1.4.1 แล้วสรุปผลจัดลำดับตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการปรับสภาพอะคูสติกส์ของห้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิ 1.1 แสดงขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. รู้อิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีผลกระทบต่อสภาพอคูสติกส์ของหอประชุม
2. สามารถกำหนดลำดับการปรับปรุงตัวแปรหอประชุมให้มีสภาพอะคูสติกส์ที่ดีได้
3. ได้แนวทางในการออกแบบหอประชุม เพื่อกำหนดมาตรฐานทางด้านอะคูสติกส์สำหรับหอประชุม

1.6 คำจำกัดความเฉพาะการศึกษาครั้งนี้

1. การป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกห้องประชุม หมายถึง การป้องกันหรือการลดระดับเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกห้องประชุม ที่สร้างความรำคาญเป็นผลต่อสมาธิของผู้ฟัง ได้แก่ เสียงจากการจราจร เสียงฝนตก

2. การป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายในห้องประชุม หมายถึง การป้องกันหรือการลดระดับเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายในห้องประชุม ที่สร้างความรำคาญเป็นผลต่อสมาธิของผู้ฟัง ได้แก่ เสียงจากระบบปรับอากาศ และเสียงจากกลุ่มคน

3. อะคูสติกส์ หมายถึง ศาสตร์ที่ว่าด้วยเรื่องเสียง โดยวิทยานิพนธ์นี้เน้นเฉพาะเสียงเพื่อการฟังในห้องประชุมเป็นหลัก

4. การควบคุมคุณภาพอะคูสติกส์ และการเดินทางของเสียงภายในห้องประชุม หมายถึง การควบคุมคุณภาพเสียงภายในห้องประชุมเพื่อให้ห้องประชุมมีศักยภาพในการควบคุมเสียงภายใน หรือเสียงก้อง ที่เกิดขึ้นภายในห้องประชุม

5. เดซิเบล หมายถึง หน่วยวัดระดับความดันเสียงที่เป็นเศษหนึ่งส่วนสิบของเบล

6. Noise Criteria (NC) หมายถึง เกณฑ์เสียง หรือระดับเสียงของสภาพแวดล้อม

7. Reverberation Time (RT60) หมายถึง เวลาการสะท้อนกลับของเสียงที่คงเหลืออยู่เมื่อต้นเสียงหยุดแล้ว เป็นการวัดค่าของเวลาที่เสียงสะท้อนกลับที่มีระดับเสียงลดลง 60dB เมื่อต้นเสียงหยุดแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต้นฉบับไม่มีหน้านี้

NO THIS PAGE IN ORIGINAL

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบห้องประชุม

2.1 การออกแบบห้องประชุม (Auditorium Design)

หลักเกณฑ์ในการออกแบบห้องให้มีการรับฟังเสียงที่ดี ได้แก่การขจัดปัญหาเกี่ยวกับเสียงที่ไม่ต้องการออกไปการเพิ่มหรือลดระดับเสียงในห้อง และการเลือกใช้รูปแบบและทรงของห้องที่เหมาะสม ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบห้องประชุมที่มีการรับฟังเสียงที่ดี สิ่งที่จะนำไปสู่การออกแบบห้องประชุมที่มีการรับฟังเสียงที่ดี คือ

- ขนาดของห้องประชุม (Capacities)
- รูปแบบของห้องประชุม (Auditorium Shapes)
- รูปแบบเวทีห้องประชุม (Stage Types)

2.1.1 ขนาดของห้องประชุม (Capacities)

ขนาดความจุของผู้เข้าชมในห้องประชุม โดยทั่วไปจะเรียกความจุเป็นจำนวนคนหรือจำนวนที่นั่ง เช่น ห้องประชุมขนาด 2000 ที่นั่งหรือ ห้องประชุมขนาดจุคนได้ 450 คน ขนาดของห้องประชุมแบ่งออกเป็น 3 ขนาด ขึ้นอยู่กับจำนวนคนเป็นหลัก ส่วนประโยชน์ใช้สอยอาจแตกต่างกันบ้าง ดังต่อไปนี้

- ห้องประชุมขนาดเล็ก ขนาด 35 – 750 คน
- ห้องประชุมขนาดกลาง ขนาด 750 -2000 คน
- ห้องประชุมขนาดใหญ่ ขนาด 2000 คนขึ้นไป

2.1.2 รูปแบบห้องประชุม (Auditorium Shape)

รูปแบบห้องประชุมมีหลายลักษณะตามแต่สถาปนิกจะออกแบบในรูปแบบใด เช่น

- แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular floor shape)
- แบบรูปพัด (Fan shape)
- แบบรูปเกือกม้า (House shoe, ellipse floor shape)
- แบบรูปวงกลม (Form circular floor shape)
- แบบรูปอิสระ (Free form shape, or irregular form)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2.1 **รูปแบบห้องประชุมแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า**

การออกแบบห้องที่มีผนังคู่ขนานกันไปหากเป็นที่แคบ จะมีปรากฏการณ์ของเสียงวิ่งกลับไปมาในห้อง (Sound Flutter) ดังนั้นการแก้ไขปัญหาห้องรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบๆ จึงต้องทำให้ผนังทั้งสองด้านเอนออก (Tilt) จากกันบ้างนอกจากนี้สัดส่วนของห้องที่เหมาะสมที่สุดในการรับฟังเสียงที่ดี ต้องไม่แคบเกินไปและไม่กว้างเกินไป สัดส่วนของผนังห้อง กว้าง : ยาว เป็น 1:1.2 ความยาวของห้องที่รับฟังเสียงที่ดีได้ ต้องไม่เกิน 2 เท่าของความกว้าง

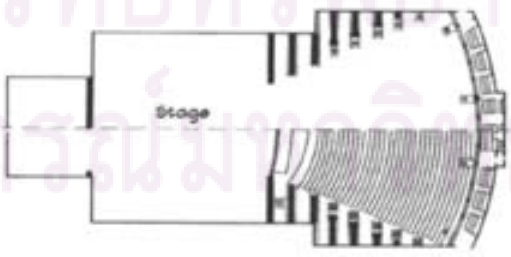
รูปที่ 2.1 รูปแบบห้องประชุมสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ที่มา: Marshall Long, Architectural Acoustics. (Elsevier Academic Press, 1988) p.27.

2.1.2.2 **รูปแบบห้องประชุมแบบรูปพัด**

ลักษณะของห้องประชุมรูปแบบนี้ เหมาะสำหรับใช้เพื่อชมการแสดง มากกว่าการรับฟังเสียงดนตรีหรือเป็นรูปแบบของ Concert Hall เพราะเสียงดนตรีที่มีความถี่สูง จะไม่กระจายเสียงไปด้านข้างทั่วห้องประชุม เนื่องจากคลื่นเสียงของความถี่สูงนี้จะมีขนาดเล็กเดินทางเป็นทิศทางตรงไม่กระจายออกไปทางกว้าง เช่น เสียงของไวโอลิน ฉิ่ง หรือ Cow Bell ส่วนคลื่นเสียงของความถี่ต่ำมีขนาดใหญ่จะกระจายออกได้มากทั่วห้อง เช่น เสียงเบส

เพราะฉะนั้นผู้ที่นั่งอยู่กลางห้องประชุมเท่านั้นที่จะได้ยินและรับฟังเสียงสูง เช่น เสียงของไวโอลินได้ชัดเจน ส่วนผู้ที่อยู่บริเวณสองข้างของห้องจะได้ยินเสียงน้อยลงไปมากส่วนการชมการแสดงผู้ชมที่นั่งด้านหลังก็จะขยับเข้าใกล้เวทีการแสดงกระจายออกไปทางด้านข้างทำให้สามารถชมการแสดงได้ชัดเจนขึ้น



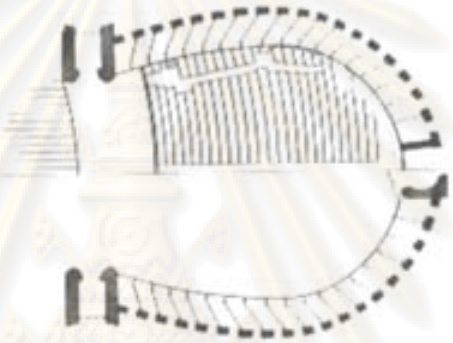
รูปที่ 2.2 รูปแบบห้องประชุมรูปพัด

ที่มา: Marshall Long, Architectural Acoustics. (Elsevier Academic Press, 1988:26)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2.3 **รูปแบบห้องประชุมแบบรูปเกือกม้า**

เป็นรูปแบบที่ผสมผสานระหว่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากับรูปทรงกลม โดยขยายด้านสกัดของเหลี่ยมออกไปให้เป็นโค้ง ส่วนใหญ่รูปแบบนี้มักจะสอดคล้องไปตามรูปทรง (Mass) ของที่ว่าง (Space) ของห้องประชุมนั้นมากกว่า ลักษณะรูปแบบอาจจะไปทาง Rectangular Shape หรือ Fan Shape นั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งเวที เพราะฉะนั้น การออกแบบห้องประชุมรูปทรงนี้ต้องออกแบบรูปทรงเวทีพร้อมกันไปด้วย หากมีการเปลี่ยนแปลงเป็นการฉายภาพยนตร์ คนดูด้านข้างก็จะไม่สามารถแลเห็นได้อย่างชัดเจน หากมีการเปลี่ยนแปลงเป็นการฉายภาพยนตร์ คนดูด้านข้างก็จะไม่สามารถแลเห็นได้อย่างชัดเจน ปัญหาด้านเสียงก็จะต้องแก้ไขปัญหาของการรวมตัวของเสียง (Sound Foci) อันเนื่องมาจากผนังที่โค้งเว้าเข้า (Concave)

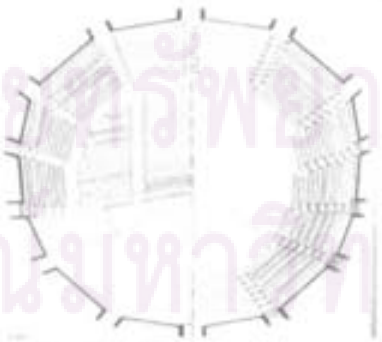


รูปที่ 2.3 รูปแบบห้องประชุมทรงเกือกม้า

ที่มา : Marshall Long, Architectural Acoustics, (Elsevier Academic Press, 1988:24)

2.1.2.4 **รูปแบบห้องประชุมแบบรูปวงกลม**

รูปทรงวงกลมของห้องประชุมประเภทนี้ เหมาะสำหรับการชกมวย หรือการแข่งขันกีฬา เช่นบาสเกตบอล วอลเล่ย์บอล มากกว่าการแสดงละครหรือดนตรี สิ่งที่ควรระวังในการออกแบบห้องประชุมประเภทนี้ คือ การเกิดเสียงสะท้อนรวมกัน (Sound Foci) ขึ้นได้



รูปที่ 2.4 รูปแบบห้องประชุมแบบรูปวงกลม

ที่มา: Michel Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design,

(E & FN Spon, and imprint of Chapman & Hall, 1933:100)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2.5 **รูปแบบห้องประชุมอิสระ**

การออกแบบห้องประชุมรูปแบบอิสระนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการเน้นรูปลักษณะเป็นหลัก ประโยชน์ใช้สอยตามใบกำกับรูปลักษณะนั้นๆ การเลือกรูปแบบต้องระมัดระวังเรื่องของจุดเสียงดับ (Dead Spot) จุดสะท้อนรวมตัวของเสียง (Sound Foci) ด้วย การใช้งานคงจะเน้นให้ดีในเรื่องของเสียงคงจะไม่ได้

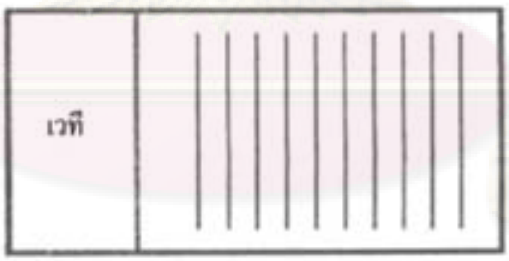
2.1.3 **รูปแบบเวทีห้องประชุม** (Stage Types)

ตำแหน่งและรูปแบบเวทีมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบห้องประชุมทั่วๆ ไป รูปแบบเวทีสามารถแบ่งได้ดังนี้ คือ

- End Stage
- Open Stage
- Central Stage or Island Stage or Arena Stage
- Adaptable Stage

2.1.3.1 End Stage (**เวทีปลายห้อง**)

เป็นรูปแบบของเวทีในห้องประชุมทั่วๆไป คืออยู่ทางปลายด้านหนึ่งของรูปทรงห้องประชุม เป็นรูปทรงที่เหมาะที่สุดและสามารถควบคุมการดูและการรับฟังของผู้ชมได้ง่าย ควบคุมดเสียงได้ดีเหมาะสำหรับการชมดนตรี การแสดง และการปาฐกถา



รูปที่ 2.5 รูปเวทีปลายห้อง

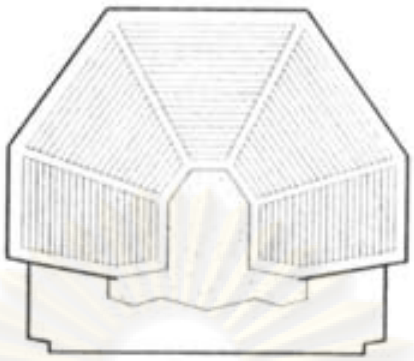
ที่มา: Michel Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design,

(E & FN Spon, and imprint of Chapman & Hall, 1933:2)

2.1.3.2 Open Stage (**เวทีเปิด**)

เป็นเวทีที่เน้นการชมการแสดงมากกว่าการฟัง เช่น ใช้เดินแฟชั่นโชว์ ฯลฯ การควบคุมเสียงกระทำได้ยาก แต่การแสดงนั้นผู้ชมและผู้แสดงมีโอกาสได้สัมผัสใกล้ชิดมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



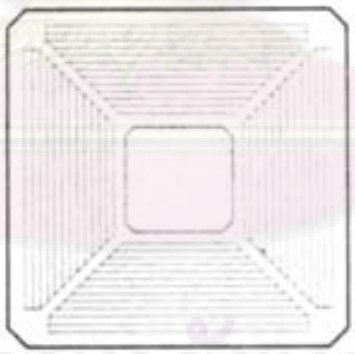
รูปที่ 2.6 รูปเวทีเปิด

ที่มา: Michel Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design,

(E & FN Spon, and imprint of Chapman & Hall, 1933:2)

2.1.3.3 Arena Stage**หรือ** Central Stage **หรือ** Island Stage

เหมาะสำหรับการแสดงต่างๆ ที่มองดูรอบตัวการแสดง รวมทั้งรายการชกมวยแต่ไม่เหมาะสำหรับการให้เสียงที่ดี พื้นที่ทุกด้านของเวทีนี้เปิดสู่ผู้ชมทั้งหมดทุกด้าน การกระจายเสียงจะคำนึงถึงการกระจายเสียงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียงโดยตรงเป็นหลักมากกว่าการสะท้อน เพราะมีพื้นที่รองการสะท้อนเสียงน้อย



รูปที่ 2.7 เวทีอารีนา (ARENA STAGE)

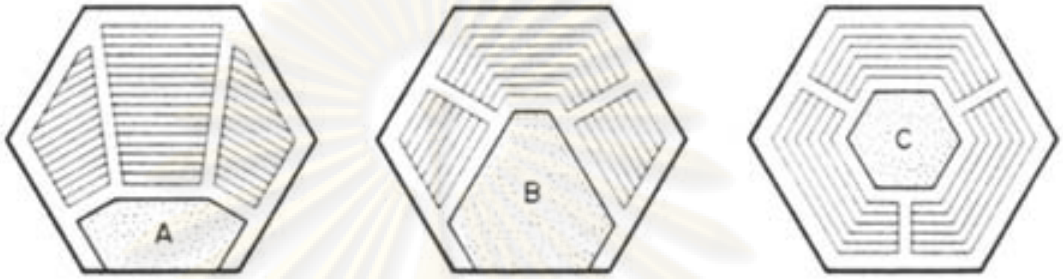
ที่มา: Michel Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design,

(E & FN Spon, and imprint of Chapman & Hall, 1933:2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.3.4 Adaptable Stage **เวทีปรับได้**

เป็นเวทีที่สามารถปรับได้และดัดแปลงรูปทรงได้ตามความจำเป็นของงาน และจุดประสงค์ของประโยชน์ใช้สอยที่ต่างกัน การควบคุมเพื่อให้ได้รับฟังเสียงได้ดีกระทำได้ยากมาก เวทีประเภทนี้โดยมากเป็นเวทีเอนกประสงค์ เช่น เวทีห้องประชุมประจำโรงเรียน ซึ่งใช้สำหรับเล่นกีฬา ประชุม แสดงละคร และการแสดงดนตรี ฯลฯ



รูปที่ 2.8 เวทีปรับได้ (ADAPTABLE STAGE)

ที่มา: Michel Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design,

(E & FN Spon, and imprint of Chapman & Hall, 1933:2)

รูปแบบเวทีทั้งหมดที่มิได้อยู่ในแบบทั้ง 3 ที่ได้กล่าวข้างต้น จัดอยู่ในรูปแบบของเวทีประเภทที่ 4 ทั้งสิ้น

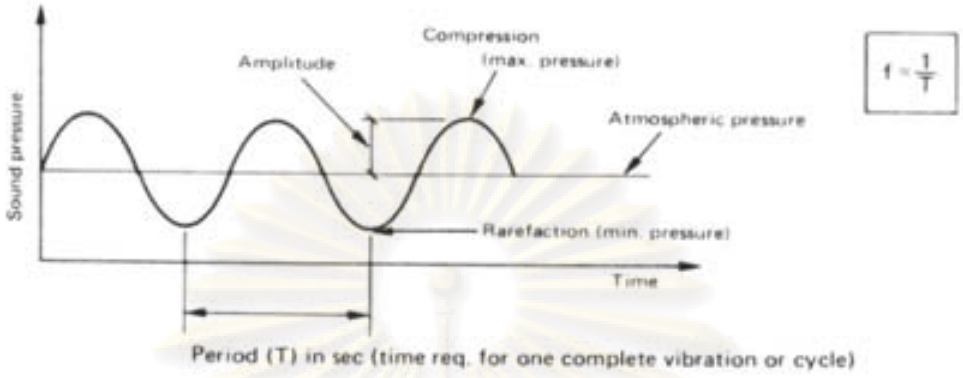
แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเสียง

2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเสียง

เสียงเป็นคลื่น (Wave) ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการสั่นสะเทือนในอากาศและวัตถุอื่นๆ การสั่นสะเทือนนี้ทำให้โมเลกุลของตัวกลางเกิดการสั่นไปด้วย อันเป็นผลให้เสียงแผ่ไปในตัวกลางนั้น ทิศทางการสั่นของโมเลกุลของตัวกลางจะขนานกับทิศทางของการแผ่ของเสียง อันเป็นสมบัติของคลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการแผ่ เมื่อมีการถ่ายทอดคลื่นตัวกลางนี้จะต้องมีการยืดหยุ่น (Elasticity) ของโมเลกุลวัตถุ ซึ่งตัวกลาง (Medium) ที่กล่าวถึงนี้จะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซก็ได้ เพราะในสุญญากาศเสียงจะผ่านไม่ได้เลย คลื่นเสียงจัดเป็นเชิงคลื่นกล (Mechanical Wave) ชนิดหนึ่ง

การเกิดคลื่นเสียงในอากาศ อันเกิดจากการสั่นของต้นกำเนิดเสียงนั้น ทำให้โมเลกุลในอากาศเกิดการเคลื่อนที่ เรียกว่า Wave Motion หรือการเคลื่อนไหวของคลื่นใน 2 ลักษณะ คือ ในลักษณะที่เป็นช่วงอัด หรืออากาศมีการกดตัว (Compression) และลักษณะที่ 2 คือ ช่วง ขยาย (Rarefaction) ลักษณะทั้งสองนี้เกิดเป็น

คลื่นแผ่ออกไปรอบ คล้ายกับการโยนหินลงไปในบ่อน้ำจะเห็นคลื่นของน้ำแผ่ออกไปรอบด้าน ลักษณะที่กล่าวนี้เป็นปรากฏการณ์ที่เราเรียกว่า แอมพลิจูด (Amplitude)



รูปที่ 2.9 ส่วนสำคัญของคลื่นเสียง แสดงการส่งคลื่น เกิดการอัดและขยายตัว

ที่มา: M.David Egan, Architectural Acoustics. (McGraw-Hill, Inc., 1988:3)

ในรูปที่ 2.9 แสดงการส่งคลื่นนั้นเกิดติดต่อกันไปเหมือนคลื่นของน้ำ เมื่อโยนหินลงไป ทำให้เกิดการอัด (Compressions) และการขยาย (Rarefaction) ช่วงของคลื่นขึ้นลงเราเรียกว่า แอมพลิจูด (Amplitude) แอมพลิจูด หมายถึงระยะการกระชับ (Displacement) ที่มีค่ามากที่สุดจากแนวสมดุลไปยังสันคลื่นหรือท้องคลื่น อธิบายง่ายๆ คือ แอมพลิจูดเป็นตัวแสดงกับพลังงานของคลื่นนั่นเอง ถ้าแอมพลิจูดพุ่งขึ้นสูง แสดงว่าพลังงานของคลื่นมีค่ามาก แต่ถ้าแอมพลิจูดต่ำพลังงานของคลื่นจะมีค่าน้อย สรุปได้ว่า แอมพลิจูดของคลื่นเสียงแสดงถึงความดังค่อย ของเสียง ส่วนความยาวของคลื่น (Wavelength) นั้น คือระยะทางที่เสียงเดินทางไปได้ในช่วงเวลาที่ตัวกลางครบ 1 รอบ โดยทั่วไปใช้สัญลักษณ์ λ (Lamda) แทนความยาวคลื่น

2.3 **ความถี่เสียง** (Frequency)

ความถี่ คือ การสะท้อนกลับไปกลับมาของคลื่นจากต้นกำเนิดของเสียง ผ่านตัวกลางใน 1 วินาที การสั่นสะเทือนของคลื่นจากต้นกำเนิดของเสียง ผ่านตัวกลางใน 1 วินาที การสั่นสะเทือนของคลื่นความถี่ (Frequency of Vibration) เป็นปรากฏการณ์ทางกายภาพ (Physical Phenomenon) สามารถใช้เครื่องมือวัดได้ และมีความเกี่ยวข้องกับความดัง (Pitch) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทางจิตวิทยา (Psychological Phenomenon) ความถี่จะวัดเป็นหน่วยของไซเคิลต่อวินาที (Cps) หรือเรียกสั้นๆ ว่าไซเคิล (Cycles) ซึ่งมีสัญลักษณ์ ~

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

2.4 **ความเร็วของเสียง** (Speed of Sound)

การเดินทางของเสียงในอุณหภูมิปกติของห้องทั่วๆ ไปนั้นเสียงจะเดินทางทางได้เร็วเพียง 1130 ฟุตต่อวินาทีเท่านั้น และสิ่งที่เกิดขึ้นก็คือ การเกิดการสะท้อนเสียงหรือ Echoes นั่นเอง กล่าวคือเมื่อเสียงวิ่งออกจากต้นกำเนิดของเสียง คลื่นเสียงเกิดเป็น 2 ลักษณะ คือ คลื่นเสียงที่วิ่งตรงเข้าหูผู้ฟัง กลับคลื่นเสียงที่วิ่งกระจายออกจากต้นกำเนิดของเสียงไปสัมผัสกับวัตถุอื่นๆ ของห้องแล้วจึงสะท้อนกลับเข้าหูผู้ฟังอีกครั้งหนึ่ง คลื่นเสียงลักษณะที่ 2 นี้คือปัญหาถ้าคลื่นนี้วิ่งเข้าสู่หูเราช้ากว่าคลื่นเสียงประเภทแรกเพียง 0.058 วินาที ก็จะเกิดเสียงก้องหรือเสียงสะท้อนให้รำคาญหูขึ้น การรับฟังเสียงไม่ดีนักอาจเกิดความสับสนในเสียงที่ได้ยิน

อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของอากาศก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ความเร็วของเสียงเปลี่ยนแปลงได้ ที่อุณหภูมิของห้องปกติเราคิดความเร็วของเสียง 1130 ฟุต/วินาที (331เมตร/วินาที) ถ้าหากอุณหภูมิในอากาศสูงขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์ ความเร็วของเสียงจะเพิ่มขึ้น 1.1 ฟุต ต่อวินาที หรืออุณหภูมิในอากาศสูงขึ้น 1 เซนติเกรด ความเร็วของเสียงจะเพิ่มขึ้น 61 เซนติเมตร

เราสามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$V = \boxed{V = \lambda f} \quad \text{---------- (1)}$$

คลื่นที่วิ่งครบ 1 รอบ ไซเคิลใน 1 วินาที เรียกว่า ความยาวคลื่น Wavelength ภาษากรีกเรียกลัมปดา (Lambda λ)

2.5 **ความเข้มของเสียง** (intensity of Sound)

ความเข้มของเสียงตามหลักวิชาฟิสิกส์ กล่าวได้ว่าเป็นพลังงานต่อวินาทีหรือกำลัง (คิดเป็นไมโครวัตต์) ที่ผ่านเข้ามาในเนื้อที่ตั้งฉาก 1 ตารางเซนติเมตร โดยทั่วไปจะมีหน่วยวัดเป็นวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (Watt/Cm2) สามารถเขียนสมการของความเข้มของเสียงได้ว่า

$$\boxed{I = P/A} \quad \text{---------- (2)}$$

โดย I เป็นความเข้มของเสียง (Intensity)

P เป็นกำลังของเสียง (Power)

Δ เป็นพื้นที่ที่เสียงนั้นแผ่ผ่านไป (Area)

แหล่งกำเนิดเสียงโดยทั่วไปแผ่เสียงออกมาเป็นรูปทรงกลม เพราะฉะนั้น "Δ" หรือ Area มีค่าเป็น $4\pi r^2$ ส่วน P เมื่อมีค่าของพลังงานต่อเวลาจะเป็น "E" (พลังงาน Energy) เวลาคือ "t" จะได้สูตรเป็น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$I = E/4\pi r^2 t$$ วัตต์/ตารางเมตร--------- (3)

การวัดระดับความเข้มของเสียง จะมีค่าเป็นเบล (Bel) แต่เพื่อความสะดวกในการใช้วัด จึงมีการเปลี่ยนจากเบลเป็น เดซิเบล (Decibel) ซึ่งมีค่า 1 เบลเท่ากับ 10 เดซิเบล เขียนตัวย่อเป็น dB

2.6 **ระดับความดันเสียง** (Sound Pressure Level, SPL)

ระดับความดันเสียงใช้ในการประเมินการได้ยินของหูคน ซึ่งมีระดับความเข้มเสียงเปลี่ยนตามคลื่นเสียง ระดับความเข้มเสียงที่เปลี่ยนมีผลต่อการได้ยินของหูคนดังนี้

1 เดซิเบล	แทบจะสังเกตไม่ได้
2 เดซิเบล	เริ่มสังเกตได้
3 เดซิเบล	สังเกตได้แน่ชัด
4 เดซิเบล	ดังเป็นสองเท่า
5 เดซิเบล	ดังมากหรือเงียบมาก

ระดับความดันเสียงที่จุดใดๆ คือ ความแตกต่างระหว่างความดันเสียง ณ.จุดนั้นเมื่อมีเสียง และระดับความดันเสียง ณ.จุดเดียวกันเมื่อไม่มีเสียง ระดับความดันเสียงแปรผันตามค่า Logarithmic ของอัตราส่วนกำลังสองของความดันหนึ่งและอัตราส่วนของความดันอ้างอิง

$$SPL = 10\log (P/Po)^2 = 20\log P/Po$$ ---------- (4)

เมื่อ SPL = ระดับความดันเสียง, dB

P = ระดับความดันเสียงที่ต้องการวัด, Pa, µbar

Po = ความดันเสียงอ้างอิงที่มีค่าเท่ากับ 20 µPa (ไมโครปาสกาล) ซึ่งเป็นความดันเสียงที่ ค่อยที่สุดที่ความถี่ 1000 Hz ที่หูคนปกติเริ่มได้ยิน

ระดับความเข้มเสียงและระดับความดันเสียงจะตอบสนองการได้ยินเริ่มจาก 0 เดซิเบล เหมือนกับระดับความเข้มเสียงและระดับความดันเสียงมีสมการที่วัด

2.7 **มาตราเดซิเบล** (The decibel Scale)

หูของคนเราสามารถรับเสียงที่มีความดันเสียงสิบล้านเท่ามากกว่าความดันเสียงค่อยที่สุดที่ได้ยินได้ โดยไม่เป็นอันตรายต่อประสาทหู การวัดเสียงโดยใช้มาตราเชิงเส้นธรรมดาย่อมไม่สะดวกสำหรับพิสัยที่กว้าง ยิ่งกว่านั้นหูคนยังสามารถตอบสนองต่อเสียงแบบลอการิทึม (Logarithmic) ไม่ใช่แบบเชิงเส้น จึงเป็นการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เหมาะสมที่จะบอกปริมาณเสียงเป็นอัตราเชิงลอการิทึม ของค่าที่วัดได้ เทียบกับค่าอ้างอิง ซึ่งจะลดจำนวนที่เกี่ยวข้องลงให้สะดวกในการคำนวณและผลลัพธ์ที่ได้ เรียกว่า เบล (The Bel) เบล หมายถึง ลอการิทึมฐานสิบของอัตราส่วนของกำลังหรือพลังงานสองค่าด้วยกัน แต่ในทางปฏิบัติหน่วยของเบลค่อนข้างใหญ่ โดยทั่วไปนิยมใช้หน่วยที่เป็นเศษหนึ่งส่วนสิบของเบล เรียกว่า เดซิเบล (Decibel)

2.8 **ระดับเสียงเวจท์** (Weighted sound level)

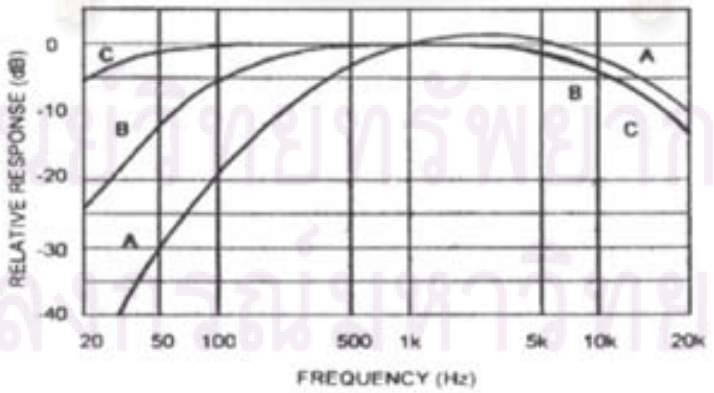
ระดับเสียงเวจท์ คือ ระดับเสียงที่ได้จากการวัดไมโครโฟนแล้วผ่านที่กรองเวจท์ (Weighting network) ซึ่งจะได้ระดับเสียงเวจท์ในหลายรูปแบบ เช่น A-weighted (dBA), B-weighted (dBB), C-weighted (dBC) และ D-weighted (dBD) การที่มีหลายเวจท์ก็เพราะว่าความรู้สึกบางอย่างของคน เช่น ภาวะรำคาญไม่ได้แปรแบบ linear กับความดังเมื่อเทียบกับความถี่ต่างกัน A-weighted เป็นการกรองเสียงที่ให้ผลโดยตรงกับความรู้สึกของคน Scale A มีคุณลักษณะการตอบสนองในการวัดเสียงได้เร็วกว่า Scale B, C และ D และใกล้เคียงกับคุณลักษณะการตอบสนองในการได้ยินของหูมนุษย์มากกว่า Scale B, C และ D

A-weighted เป็นการกรองเสียงเพื่อให้ผลตรงกับความรู้สึกของคน Scale A จะมีคุณลักษณะการตอบสนองในการวัดเสียงได้เลงกว่า Scale B และ C แต่จะใกล้เคียงกับคุณลักษณะการตอบสนองในการได้ยินของหูมนุษย์มากกว่า Scale B และ C

B-weighted มีเหตุผลการกรองเช่นเดียวกันกับ A-weighted แต่ใช้กับเสียงความเข้มปานกลาง ปัจจุบันไม่ค่อยใช้ การวัดด้วย Scale B จะตอบสนองได้ดีในความถี่ระหว่าง 400 Hz – 3000 Hz

C-weighted ไม่มีการกรองมากนัก การวัดจะใกล้เคียงกับความเป็นจริง จะใช้วัดเสียงของกลุ่มความถี่ต่ำเนื่องจาก A-weighted จะถูกกรองมากเกินไป

D-weighted ใช้วัดเสียงจากอากาศยาน



แผนภูมิ 2.1 แสดงค่าระดับเสียงต่างๆ ที่ถูกเวจท์

ที่มา: Cowan, James, Architectural Acoustics Design Guide (New York: McGraw-Hill, 2000), p. 20.

2.9 **การสะท้อนของเสียง** (Reflection of Sound)

เมื่อเรายืนอยู่ในระหว่างหุบเขาและเปล่งเสียงตะโกนออกมา ในเวลาอีกไม่นานเราก็จะได้ยินเสียงอุโมษ (echo) ซึ่งเป็นเสียงของเราเองที่สะท้อนกลับมาหาตัวเรา ถ้าในหุบเขามีภูเขาตั้งอยู่หลายๆลูก เสียงอุโมษจะเกิดขึ้นหลายๆ ครั้ง นี่คือปรากฏการณ์ในลักษณะของการสะท้อนของเสียง ตามปกติเมื่อเสียงกระทบกับกำแพงที่มีผิวแข็งๆ ส่วนหนึ่งของเสียงจะสะท้อนกลับ แต่เสียงอีกส่วนหนึ่งจะแทรกซึมเข้าไปในกำแพง ส่วนที่แทรกเข้าไป (transmit) นี้ อาจเปลี่ยนสภาพกลายเป็นความร้อน และยังมีอีกส่วนหนึ่งที่จะทะลุออกอีกด้านหนึ่งของกำแพงไปได้ ลักษณะของการแทรกซึมผ่านไปนี้เราเรียกว่า Transmittance

ถ้าหากว่ากำแพงเหล่านั้น ประกอบขึ้นด้วยไม้อัดบางๆ หรือเป็นหน้าต่างบานกระจก เมื่อถูกเสียงมากระทบเข้า กำแพงก็จะสั่นสะเทือน ซึ่งจะส่งพลังงานเสียงออกไปอีกต่อหนึ่ง ฉะนั้น กำแพงที่แข็งและไม่สั่นสะเทือนจะเป็นตัวกันเสียง (Barrier) ที่ดีที่จะไม่ให้เสียงผ่านไปได้โดยการสั่น ในขณะที่กำแพงไม้อัดบางๆ หรือหน้าต่างบานกระจกเสียงจะผ่านไปได้อย่างสะดวกอันเกิดจากการสั่นสะเทือน อนึ่งวัตถุที่มีรูพรุน (porous materials) ทั้งหลาย สามารถดูดกลืนเสียงได้มาก ถ้านำวัตถุที่มีรูพรุนเหล่านี้มาประกบเข้ากับกำแพงแข็งเข้าด้วยกัน ก็จะเป็น **ฉนวนกันเสียง** (insulation) ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งเป็นฉนวนกันความร้อนได้ด้วย

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

กฎของการสะท้อนของเสียงมี 2 ประการ คือ

1. มุมตกกระทบ (Angle of Incidence) จะมีค่าเท่ากับมุมสะท้อน (Angle of Reflection)
2. รังสีตกกระทบ เส้นปกติและรังสีสะท้อนย่อมอยู่ในระนาบเดียวกัน เสียงที่ลักษณะของการสะท้อนเช่นเดียวกันแสง

รูปที่ 2.10 มุมตกกระทบ

ที่มา: Michel Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design,

(E & FN Spon, and imprint of Chapman & Hall, 1933:21)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในทำนองเดียวกัน ถ้าพื้นที่ตกกระทบเป็นพื้นเว้า (concave surface) เสียงออกจากการสะท้อนของเสียงบนพื้นราบจะไปรวมกันที่จุดใดจุดหนึ่งด้านนอกของพื้นที่เว้า ในที่นี้คือจุด F.P (ดูรูป)

รูปที่ 2.11 การสะท้อนของเสียงบนพื้นที่เว้า

ที่มา: Michel Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design,

(E & FN Spon, and imprint of Chapman & Hall, 1933:21)

แต่ถ้าพื้นหน้านูน (convex) เสียงที่ตกกระทบแล้วจะสะท้อนกระจายออกไป ไม่ไปรวมกันที่จุดใดจุดหนึ่ง หากแต่จะกระจายออกไปทั่ว คุณสมบัตินี้สถาปนิกนำไปใช้กันมากเมื่อต้องการให้เสียงกระจายแผ่ออกไป โดยเฉพาะในห้องที่ผัง

รูปที่ 2.12 การสะท้อนเสียงบนพื้นที่นูน

ที่มา: Michel Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design,

(E & FN Spon, and imprint of Chapman & Hall, 1933:21)

พื้นเป็นทรงกลม ซึ่งมักจะมีแผงนูนรูปทรงกระบอก (Cylindrical convex panel) หลายๆอันเพื่อจะให้เสียงแผ่ออกไปทั่วๆห้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.10 **การดูดกลืนของเสียง** (Absorption of Sound)

อัตราที่เสียงถูกดูดกลืนในห้อง เช่น ห้องประชุม หรือมีโรงภาพยนตร์หรือโรงละคร เป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้มีเสียงหนวกหู (Noise) หรือเสียงที่ไม่พึงปรารถนาลดน้อยลง ทั้งจะสามารถควบคุมการสะท้อนกลับไปกลับมา (Reverberation) ของเสียงได้ดีด้วย วัสดุที่ผลิตขึ้นเพื่อประโยชน์ในการนี้เรียกว่าวัสดุอะคูสติกส์ (Acoustical Materials) ซึ่งอาจจะเป็นจำพวกไม้อัด หรือวัสดุอย่างอื่นก็ได้ โดยเฉพาะที่มีผิวนิ่มหรือรูพรุน ถ้าใช้วัสดุเหล่านี้และวางในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้วทุกๆ คนในโรงภาพยนตร์หรือโรงละครอนย่อมจะได้ยินเสียงชัดเจนและไพเราะทั่วถึงกันหมด ไม่ว่าจะนั่งอยู่ที่จุดใดของห้องก็ตาม ตัวอย่างเช่น มุมของที่อาจจะเป็นมุมอับของเสียง สถาปนิกอาจติดตั้งวัสดุบุผนังหรือเพดานที่มีการสะท้อนเสียงจากมุมอื่นมาช่วยเสริมเสียงตรงมุมอับก็ได้ หรือในส่วนที่มีเสียงสะท้อนมากๆ จนฟังไม่รู้เรื่อง อาจแก้ไขโดยการบุวัสดุดูดซับเสียงหรือวัสดุอะคูสติกส์ ในบริเวณนั้นๆ เพราะฉะนั้นการออกแบบห้องและการบุวัสดุในแต่ละส่วนของห้องไม่จำเป็นจะต้องบุวัสดุกันเสียงทั่วทั้งห้อง อย่างไรก็ตามการตกแต่งห้องให้สวยงาม ฟังเสียงได้ชัดเจนย่อมต้องคำนึงถึงวัสดุที่นำมาใช้ว่าปลอดภัย คงทนและทนไฟหรือไม่ มิฉะนั้นก็ก่อให้เกิดปัญหาอย่างอื่นตามมากับวัสดุที่ใช้ เช่น ไฟไหม้ มอดปลวกกิน หรือดูดน้ำดูดความชื้น ทำให้ขึ้นรา ฯลฯ

ตามปกติเสียงถูกดูดกลืนโดยถูกกระทำให้กลายเป็นพลังงานอย่างอื่น แล้วสุดท้ายกลายเป็นพลังงานความร้อน แต่พลังงานความร้อนเกิดขึ้นน้อยมากจนแทบจะไม่กระทบกระเทือนกับประสิทธิภาพของการดูดซับเสียงของวัสดุกันเสียง เช่น วัสดุที่มีรูพรุนแต่อย่างไร ตัวอย่างเช่นอาจารย์ปาฐกถาอยู่ 1 ชั่วโมง พลังงานเสียงที่แปลงออกเป็นพลังงานความร้อนทั้งชั่วโมง สามารถนำไปต้มน้ำชาถ้วยเล็กๆ ได้เพียงถ้วยเดียว

วัสดุต่างๆ ที่ดูดกลืนเสียงถ้ามีความหนาที่ถูกต้องก็อาจดูดกลืนเสียงได้ถึง 95 % หรือเรียกว่ามีค่าสัมประสิทธิของการดูดเสียง (Absorption Coefficient) 0.95 ถ้าค่าสัมประสิทธิ 100 % มีค่าการดูดกลืน 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 ถ้าความถี่สูงวัสดุจะดูดซับเสียงได้มากกว่าความถี่ต่ำ โดยเฉพาะวัสดุประเภทที่มีรูพรุน (Porous material) แต่ในทางกลับกันถ้าเป็นผนังจำพวกไม้อัดหรือผนังกั้นห้อง

(Panel vibration) การดูดซับเสียงจะน้อยสำหรับความถี่สูง แต่จะดูดกลืนเสียงที่มีความถี่ต่ำได้มากกว่า การดูดซับเสียงของวัสดุสองประเภทนี้ นำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบห้องได้

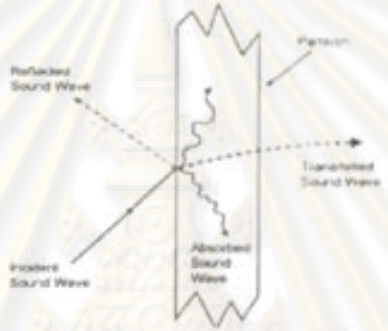
เมื่อคลื่นเสียงไปกระทบกับพื้นผิวจะเกิดปรากฏการณ์คือ ส่วนหนึ่งจะสะท้อนออก (Reflect) ส่วนหนึ่งจะแทรกผ่านผนังไปยังอากาศที่อยู่นอกผนัง (Transmit) อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนเข้าไปในผนัง (Absorb) ถ้าเสียงทั้งหมดจากต้นกำเนิดเสียง มีความเข้มเสียง $I = 1$ จะได้

$$r + \alpha + t = 1 \quad \text{---------- (4)}$$

เมื่อ r = เสียงสะท้อน (reflected)

α = เสียงที่ถูกดูดกลืนเข้าไปในผนัง (Absorb)

t = เสียงที่แทรกผ่านเข้าไปยังอากาศที่อยู่นอกผนัง (Transmitted)



รูป 2.13 แสดงปรากฏการณ์ของเสียงที่กระทบผนัง

ที่มา: Cowan, James, Architectural Acoustics Design Guide (New York: McGraw-Hill, 2000:24)

พลังงานที่ถูกดูดซับสามารถอธิบายได้ในรูปของสัมประสิทธิ์ของการดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient, α) ที่ได้จากห้องทดลองหรือวัสดุที่เป็นพื้นผิวของห้อง ค่าดูดซับเสียงเป็นค่าที่บอกถึงคุณภาพของวัสดุที่มีช่วง จาก 0 ถึง 1 ถ้าผนังไม่ดูดกลืนเสียงซึ่งหาได้ยากในธรรมชาติ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจะเท่ากับ 0 ถ้าผนังดูดกลืนเสียงไปทั้งหมด เช่น ช่องเปิด จะเท่ากับ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2.1 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ

SOUND ABSORPTION DATA FOR COMMON BUILDING MATERIALS AND FURNISHINGS

Material	Sound Absorption Coefficient 125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC Number *
Walls[1,4,9,10]							
Sound-Reflecting:							
1 Brick, unglazed	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.05
2 Brick, unglazed and painted	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00
3 Concrete, rough	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.05
4 Concrete block, painted	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.05
5 Glass, heavy (large panes)	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.05
6 Glass, ordinary window	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04	0.15
7 Gypsum board, 1/2 in thick (nailed to 2 × 4s, 16 in oc)	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09	0.05
8 Gypsum board, 1 layer, 5/8 in thick (screwed to 1 × 3s, 16 in oc with airspaces filled with fibrous insulation)	0.55	0.14	0.08	0.04	0.12	0.11	0.10
9 Construction no. 8 with 2 layers of 5/8 in thick gypsum board	0.28	0.12	0.10	0.07	0.13	0.09	0.10
10 Marble or glazed tile	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
11 Plaster on brick	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
12 Plaster on concrete block (or 1 in thick on lath)	0.12	0.09	0.07	0.05	0.05	0.04	0.05
13 Plaster on lath	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.05
14 Plywood, 3/8 in paneling	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.15
15 Steel	0.05	0.10	0.10	0.10	0.07	0.02	0.10
16 Venetian blinds, metal	0.06	0.05	0.07	0.15	0.13	0.17	0.10
17 Wood, 1/4 in paneling, with airspace behind	0.42	0.21	0.10	0.08	0.06	0.06	0.10
18 Wood, 1 in paneling with airspace behind	0.19	0.14	0.09	0.06	0.06	0.05	0.10
Sound-Absorbing							
19 Concrete block, coarse	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25	0.35
20 Lightweight drapery, 10 oz/yd², flat on wall (*Note*: Sound-reflecting at most freqiencies.)	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35	0.15
21 Mediumweight drapery, 14 oz/yd², draped to half area (i.e., 2 ft of drapery to 1 ft of wall)	0.07	0.31	0.49	0.75	0.70	0.60	0.55
22 Heavyweight drapery, 18 oz/yd², draped to half area	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65	0.60
23 Fiberglass fabric curtain, 8 1/2 oz/yd², draped to half area (*Note*: The deeper the airspace behind the drapery (up to 12 in), the greater the low frequency absorption.)	0.09	0.32	0.68	0.83	0.39	0.76	0.55
24 Shredded wood fiberboard, 2 in thick on concrete (mtg. A)	0.15	0.26	0.62	0.94	0.64	0.92	0.60
25 Thick, fibrous material behind open facing	0.60	0.75	0.82	0.80	0.60	0.38	0.75
26 Carpet, heavy, on 5/8 in perforated mineral fiberboard with airspace behind	0.37	0.41	0.63	0.85	0.96	0.92	0.70
27 Wood, 1/2 in paneling, perforated 3/16 in-diameter holes, 11% open area, with 2 1/2 in glass fiber in airspace behind	0.40	0.90	0.80	0.50	0.40	0.30	0.65
Floors[4,11]							
Sound-Reflecting							
28 Concrete or terrazzo	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
29 Linoleum, rubber, or asphalt tile on concrete	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.05
30 Marble or glazed tile	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
31 Wood	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.10
32 Wood parquet on concrete	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07	0.05
Sound-Absorbing							
33 Carpet, heavy, on concrete	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65	0.30
34 Carpet, heavy, on foam rubber	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73	0.55
35 Carpet, heavy, with impermeable latex backing on foam rubber	0.08	0.27	0.39	0.34	0.48	0.63	0.35
36 Indoor-outdoor carpet	0.01	0.05	0.10	0.20	0.45	0.65	0.20
Ceilings[5,6,9,11]							
Sound-Reflecting							
37 Concrete	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
38 Gypsum board, 1/2 in thick	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09	0.05
39 Gypsum board, 1/2 in thick, in suspension system	0.15	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09	0.05
40 Plaster on lath	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.05
41 Plywood, 3/8 in thick	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.15
Sound-Absorbing							
42 Acoustical board, 3/4 in thick, in suspension system (mtg. E)	0.76	0.93	0.83	0.99	0.99	0.94	0.95
43 Shredded wood fiberboard, 2 in thick on lay-in grid (mtg. E)	0.59	0.51	0.53	0.73	0.88	0.74	0.65

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2.1 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ (ต่อ)

Material	Sound Absorption Coefficient 125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC Number *
44 Thin, porous sound-absorbing material, 3/4 in thick. (mtg. B)	0.10	0.60	0.80	0.82	0.78	0.60	0.75
45 Thick, porous sound absorbing material, 2 in thick (mtg. B), or thin material with airspace behind (mtg. D)	0.38	0.60	0.78	0.80	0.78	0.70	0.75
46 Sprayed cellulose fibers, 1 in thick on concrete (mtg. A)	0.08	0.29	0.75	0.98	0.93	0.76	0.75
47 Glass fiber roof fabric, 12 oz/yd²	0.65	0.71	0.82	0.86	0.76	0.62	0.80
48 Glass fiber roof fabric, 37 1/2 oz/yd² (Note: Sound reflecting at most frequencies.)	0.38	0.23	0.17	0.15	0.09	0.06	0.15
49 Polyurethane foam, 1 in thick, open cell, reticulated	0.07	0.11	0.20	0.32	0.60	0.85	0.30
50 Parallel glass fiberboard panels, 1 in thick by 18 in deep, spaced 18 in apart, suspended 12 in below ceiling	0.07	0.20	0.40	0.52	0.60	0.67	0.45
51 Parallel glass fiberboard panels, 1 in thick by 18 in deep, spaced 6 1/2 in apart, suspended 12 in below ceiling	0.10	0.29	0.62	1.12	1.33	1.38	0.85
Seats and Audience[1, 5, 7, 8, †]							
52 Fabric well-upholstered seats, with perforated seat pans, unoccupied	0.19	0.37	0.56	0.67	0.61	0.59	
53 Leather covered upholstered seats, unoccupied‡	0.44	0.54	0.60	0.62	0.58	0.50	
54 Audience, seated in upholstered seats‡	0.39	0.57	0.80	0.94	0.92	0.87	
55 Congregation, seated in wooden pews	0.57	0.61	0.75	0.86	0.91	0.86	
56 Chair, metal or wood seat, unoccupied	0.15	0.19	0.22	0.39	0.38	0.30	
57 Students, informally dressed, seated in tablet arm chairs	0.30	0.41	0.49	0.84	0.87	0.84	
Openings[5, ¶]							
58 Deep balcony, with upholstered seats			0.50–1.00				
59 Diffusers or grilles, mechanical system			0.15–0.50				
60 Stage			0.25–0.75				
Miscellaneous[3, 9, 11]							
61 Gravel, loose and moist, 4 in thick	0.25	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.70
62 Grass, manon bluegrass, 2 in high	0.11	0.26	0.60	0.69	0.92	0.99	0.60
63 Snow, freshly fallen, 4 in thick	0.45	0.75	0.90	0.95	0.95	0.95	0.90
64 Soil, rough	0.15	0.25	0.40	0.55	0.60	0.60	0.45
65 Trees, balsam firs, 20 ft² ground area per tree, 8 ft high	0.03	0.06	0.11	0.17	0.27	0.31	0.15
66 Water surface (swimming pool)	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.00

*NRC (noise reduction coefficient) is a single-number rating of the sound absorption coefficients of a material. It is an average that only includes the coefficients in the 250 to 2000 Hz frequency range and therefore should be used with caution. See page 50 for a discussion of the NRC rating method.

†Refer to manufacturer's catalogs for absorption data which should be from up-to-date tests by independent acoustical laboratories according to current ASTM procedures.

‡Coefficients are per square foot of seating floor area or per unit. Where the audience is randomly spaced (e.g., courtroom, cafeteria), mid-frequency absorption can be estimated at about 5 sabins per person. To be precise, coefficients per person must be stated in relation to spacing pattern.

§The floor area occupied by the audience must be calculated to include an *edge effect* at aisles. For an aisle bounded on both sides by audience, include a strip 3 ft wide; for an aisle bounded on only one side by audience, include a strip 1 1/2 ft wide. No edge effect is used when the seating abuts walls or balcony fronts (because the edge is shielded). The coefficients are also valid for orchestra and choral areas at 5 to 8 ft² per person. Orchestra areas include people, instruments, music racks, etc. No edge effects are used around musicians.

¶Coefficients for openings depend on absorption and cubic volume of opposite side.

Test Reference

"Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method," ASTM C 423. Available from American Society for Testing and Materials (ASTM), 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103.

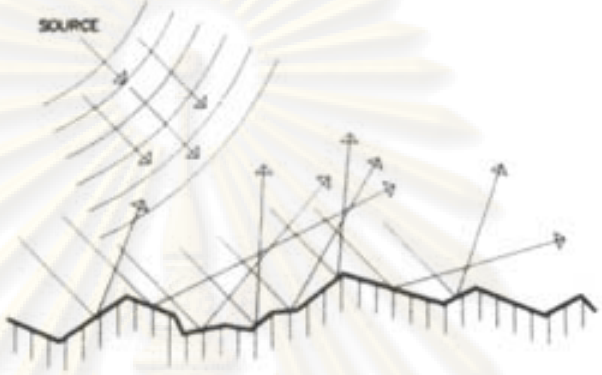
Sources

1. L. L. Beranek, "Audience and Chair Absorption in Large Halls," *Journal of the Acoustical Society of America*, January 1969.
2. A. N. Burd et al., "Data for the Acoustic Design of Studios," British Broadcasting Corporation, BBC Engineering Monograph no. 64, November 1966.
3. E. J. Evans and E. N. Bazley, "Sound Absorbing Materials," H. M. Stationery Office, London, 1964.

ที่มา: M.David Egan, Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1988:52-53)

2.11 การกระจายของเสียง

ถ้าเสียงตกลงบนพื้นขรุขระ เสียงจะสะท้อนกระจัดกระจายออกไปทุกๆทาง (เช่นเดียวกันกับคลื่นแสง) ถ้าเสียงมาถูกขอบหรือพื้นที่ขรุขระก็จะมีทั้งการสะท้อนและการกระจัดกระจาย มีการเลี้ยวมุมในลักษณะต่างๆ กัน หากพื้นผิวที่มีพื้นหน้าขรุขระหรือมีร่องมากก็สามารถทำให้เสียงกระจัดกระจายออกไปได้มากที่สุด หากมีรูพรุน (Porous) ด้วยก็จะยิ่งสามารถดูดคลื่นเสียงในเวลาเดียวกันได้ดีด้วย



รูปที่ 2.14 การกระจัดกระจายของเสียงเมื่อกระทบกับพื้นผิวขรุขระ

ที่มา: Michel Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design,

(E & FN Spon, and imprint of Chapman & Hall, 1933:2)

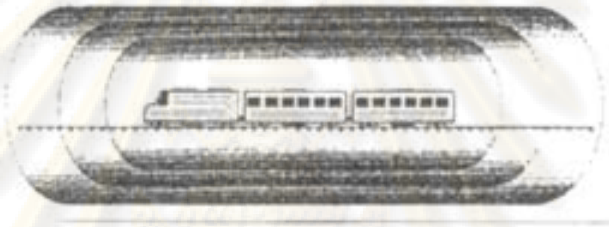
2.12 แหล่งกำเนิดเสียงรบกวน

แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนมีมากมาย โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดเสียงดังที่ส่งผลต่ออาคารและการดำเนินกิจกรรมภายในอาคาร แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดเสียงที่เกิดจากภายนอกอาคาร เช่น การจราจร การขนส่ง โรงงาน อุตสาหกรรม เครื่องจักร เครื่องเสียง การก่อสร้าง เป็นต้น แหล่งกำเนิดเสียงที่เกิดภายในอาคาร เช่น กลุ่มคน กิจกรรมภายในอาคาร อุปกรณ์ หรือเครื่องมือ ต่างๆ เป็นต้น (Doelle, Leslie L, 1972: 140)

โดยทั่วไปการแผ่กระจายของเสียงขึ้นกับชนิดของแหล่งกำเนิดเสียง เช่น แหล่งกำเนิดเสียง เช่น แหล่งกำเนิดเสียงแบบเป็นจุด (Point Source) พลังเสียงจะกระจายออกเท่ากันทุกทิศทางคล้ายรูปวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางเป็นแหล่งกำเนิดเสียง ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงเป็นแบบเป็นเส้น (Line Source) พลังเสียงจะกระจายออกจากแหล่งกำเนิดคล้ายรูปทรงกระบอก (Cylinder) หรือครึ่งของรูปทรงกระบอกเมื่อแหล่งกำเนิดเสียงติดระดับหน้าดิน เสียงรบกวนภายนอกอาคารหากมีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่า 200-300 ฟุต จะได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมทำให้เกิดการดูดซับเสียง-การสะท้อนเสียง ซึ่งองค์ประกอบต่างๆ ของสภาพแวดล้อมจะสามารถทำให้ระดับเสียงรบกวนมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงถึง 20 เดซิเบล ถ้าระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงมีมากกว่า 1000 ฟุต

รูปที่ 2.15 แสดงการกระจายเสียงของเสียงที่มีแหล่งกำเนิดเป็นจุด (point Source)

ที่มา: Cowan, James, Architectural Acoustics Design Guide (New York: McGraw-Hill, 2000:18)



รูปที่ 2.16 แสดงการกระจายเสียงของเสียงที่มีแหล่งกำเนิดเป็นเส้น (Line Source)

ที่มา: Cowan, James, Architectural Acoustics Design Guide (New York: McGraw-Hill, 2000:19)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2.2 เสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

Example Source	Sound Pressure Level (dB)								dBA
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
Home									
Alarm clock at 4 to 9 ft (ringing)		46	48	55	62	62	70	80	80
Electric shaver at 1½ ft	59	58	49	62	60	64	60	59	68
Vacuum cleaner at 3 ft	48	66	69	73	79	72	73	72	81
Garbage disposal at 2 ft	64	63	69	56	55	50	50	49	69
Clothes washer at 2 to 3 ft (wash cycle)	59	65	59	59	58	54	50	46	62
Toilet (refilling tank)	50	55	53	54	57	56	57	52	63
Whirlpool, six nozzles (filling tub)	68	65	68	69	71	71	68	65	74
Window air conditioning unit	64	64	65	56	53	48	44	37	59
Telephone at 4 to 13 ft (ringing)		41	44	56	68	73	69	83	83
TV at 10 ft	49	62	64	67	70	68	63	39	74
Stereo (teenager listening level)	60	72	83	82	82	80	75	60	86
Stereo (adult listening level)	56	66	75	72	70	66	64	48	75
Violin at 5 ft (fortissimo)			91	91	87	83	79	66	92
Normal conversational speech at 3 ft		57	62	63	57	48	40		63
Outdoors									
Birds at 10 ft						50	52	54	57
Cicadas					35	51	54	48	57
Large dog at 50 ft (barking)		50	58	68	70	64	52	48	72
Lawn mower at 5 ft	85	87	86	84	81	74	70	72	86
Pistol shot at 250 ft (peak impulse levels)				83	91	99	102	106	106
Surf at 10 to 15 ft (moderate seas)	71	72	70	71	67	64	58	54	78
Wind in trees (10 mi/h)				33	35	37	37	35	43
Transportation									
Large trucks at 50 ft (55 mi/h)	83	85	83	85	81	76	72	65	86
Passenger cars at 50 ft (55 mi/h)	72	70	67	66	67	66	59	54	71
Motorcycle at 50 ft (¼ throttle, without baffle)	95	95	91	91	91	87	87	85	95
Snowmobile at 50 ft	65	82	84	75	78	77	79	69	85
Train at 100 ft (pulling hard)	95	102	94	90	86	87	83	79	94
Train siren at 50 ft	88	90	110	110	107	100	91	78	109
Car horn at 15 ft				92	95	90	80	60	97
Commercial turbofan airplane at 1 mile (from takeoff flight path)	77	82	82	78	70	56			79
Military helicopter at 500 ft (single engine, medium size)	92	89	83	81	76	72	62	51	80
Interiors									
Amplified rock music performance (large arena)	116	117	119	116	118	115	109	102	121
Audiovisual room	85	89	92	90	89	87	85	80	94
Auditorium (applause)	60	68	75	79	85	84	75	65	88
Classroom	60	66	72	77	74	68	60	50	78
Computer equipment room	78	75	73	78	80	78	74	70	84
Dog kennel			90	104	106	101	89	79	108
Gymnasium	72	78	84	89	86	80	72	64	90
Kitchen	86	85	79	78	77	72	65	57	81
Laboratory	65	70	73	75	72	69	65	61	77
Library	60	63	66	67	64	58	50	40	68
Mechanical equipment room	87	86	85	84	83	82	80	78	88
Music practice room	90	94	96	96	96	91	91	90	100
Racquetball court	82	85	80	85	83	75	68	62	86
Reception area/lobby area	60	66	72	77	74	68	60	50	78
Teleconference	65	74	78	80	79	75	68	60	83

ที่มา: M.David Egan, Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1988:34)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2.3 เสียงรบกวนจากอุปกรณ์ประกอบอาคารต่างๆ

Equipment	Sound Pressure Level (dB)								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	dBA
Absorption machine	91	86	86	86	83	80	77	72	89
Axial fan	98	99	99	98	97	95	91	87	102
Boiler	92	92	89	86	83	80	77	74	89
Centrifugal fan	86	95	89	90	87	82	76	77	92
Chiller, centrifugal	90	85	87	87	90	98	91	87	100
Compressor, air	86	84	86	87	86	84	80	75	91
Condenser	99	92	90	90	89	85	76	68	92
Cooling tower	102	102	97	94	90	88	84	79	97
Fan coil unit	57	55	53	50	48	42	38	32	53
Induction unit	57	58	56	54	45	40	35	33	54
PTAC	64	64	65	56	53	48	44	37	58
Pump	75	80	82	87	86	80	77	75	89
Rooftop unit	95	93	89	85	80	75	69	66	87
Warm-air furnace	65	65	59	53	48	45	39	30	57

Reference

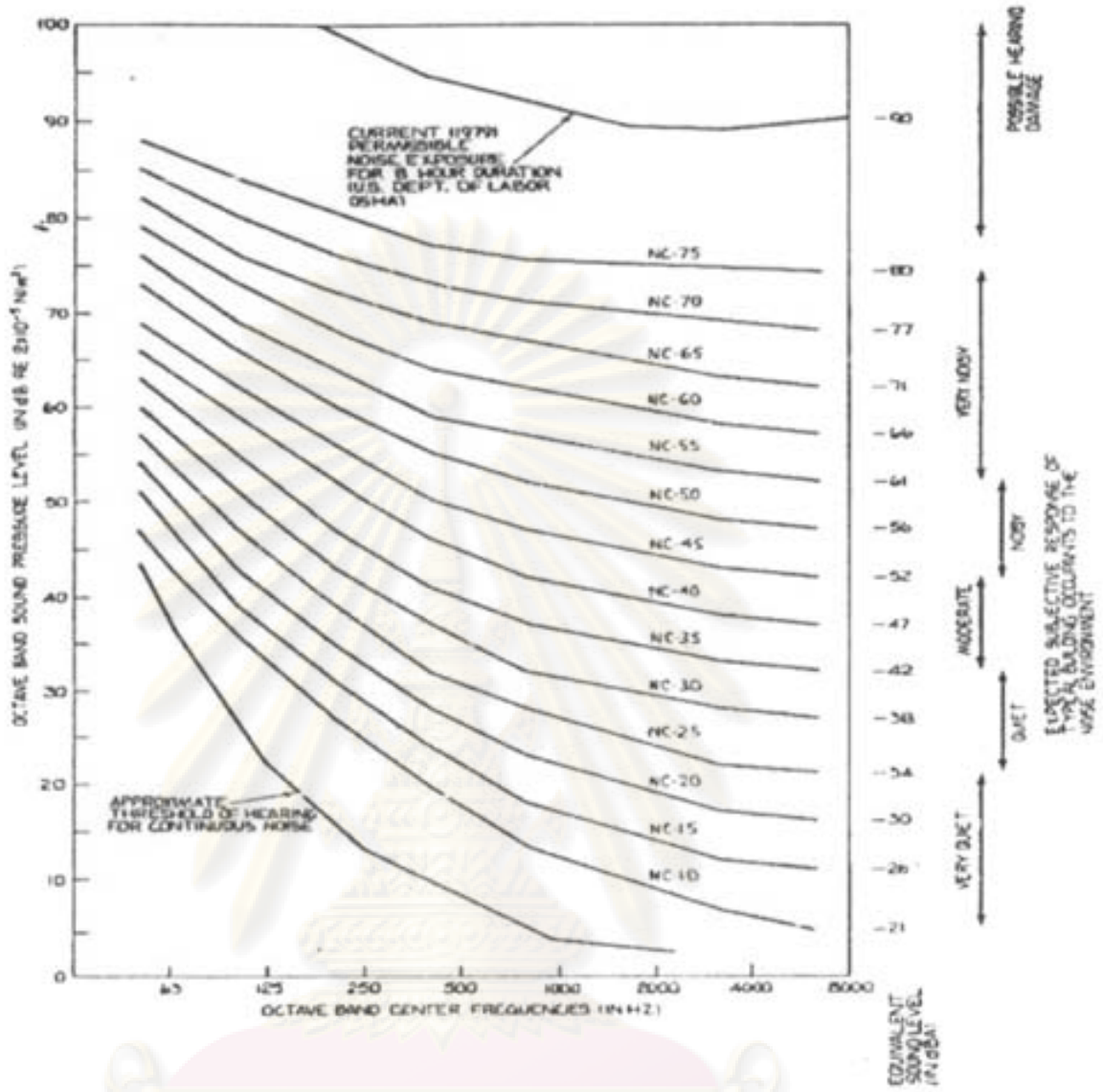
"Noise from Construction Equipment and Operations, Building Equipment, and Home Appliances," U S. Environmental Protection Agency, NTID 300. I, Washington, December 1971

ที่มา: M.David Egan, Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1988:315)

2.13 เกณฑ์เสียง (Noise Criteria)

ระดับเสียงของสภาพแวดล้อม (Ambient sound level) ในพื้นที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อระดับเสียงของพื้นที่นั้น และเป็นตัวบอกถึงความพึงพอใจหรือไม่พอใจของกลุ่มคนในพื้นที่ เสียงของสภาพแวดล้อมเป็นตัวกำบังหรือเป็นตัวกั้นการส่งผ่านของเสียงไปถึงพื้นที่ ที่อยู่ติดกันหรือพื้นที่ที่อยู่ใกล้กัน ความต้องการระดับเสียงจากสภาพแวดล้อมของแต่ละอาคารแตกต่างกันขึ้นกับพื้นที่และความสำคัญของกิจกรรม เกณฑ์เสียงเป็นที่ยอมรับและใช้กันมากในการประเมินปัญหาที่เกิดจากเสียงและใช้เป็นเป้าหมายในการออกแบบเพื่อให้ได้เสียงแบคกราวด์ตามที่ตามที่ต้องการและเป็นที่พอใจเป็นเกณฑ์เสียงมีพื้นฐานขึ้นกับระดับเสียงรบกวนเสียงพูด ซึ่งแสดงเป็นลักษณะเส้น วิธีการหากเกณฑ์เสียงโดยการลากเส้นความสัมพันธ์ระหว่างความดังกับความถี่จะได้ค่าเกณฑ์เสียง (Noise Criteria, NC) ที่อยู่ ณ ตำแหน่งสูงสุดของเส้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิ 2.2 กราฟทางวิศวกรรมที่เกณฑ์แสดงเกณฑ์เสียง (Noise Criteria, NC)

ที่มา: Cavanaugh. J Willaim and Wilkes, Architectural Acoustics Principles and Practice

(New York: John Wiley & Sons, Inc, 1998:37)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2.4 ค่า Noise Criteria (NC) สำหรับเสียงแบคกราวด์ของห้องต่างๆ

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 Chapter 1]

ที่มา: M.David Egan, Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1988:233)

ในการศึกษาปัจจัยสำคัญในการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี คือการถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพเสียงที่ดีของห้องประชุม สำหรับค่า Noise Criteria ที่ยอมรับได้ของห้องประชุมคือ NC-20 to NC-30 ที่ระดับเสียง 30 to 38 dBA (M.David Egan, Architectural Acoustics, P.233) ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ จึงกำหนดค่า Noise Criteria ที่ยอมรับได้ที่ NC-20 to NC-30 ที่ระดับเสียง 30 to 38 dBA

2.14 Reverberation Time (RT60)

เสียงที่ก้องสะท้อนกลับไปกลับมา เช่น ห้องประชุมที่มีผนังแบบฉาบปูน เมื่อสร้างเสร็จและยังไม่มีการตกแต่ง เสียงที่เกิดขึ้นจากต้นกำเนิดเสียงสะท้อนกลับมาหาเราในเวลาที่ยาวนาน เวลาที่ยาวนานคือเวลาที่ทำให้เกิดการรบกวน เพราะฉะนั้นนอกจากการจำกัดการสะท้อนแล้ว เรายังควรลดเวลาของการสะท้อนกลับให้น้อยลง จะช่วยให้การได้ยินดียิ่งขึ้น ตามหลักวิชาการเรียกว่า "Reverberation Time" หรือเขียนย่อว่า RT หรือ RT60 วิธีการลดเวลาของการสะท้อนกลับให้น้อยลงวิธีหนึ่งก็คือ การเลือกใช้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนที่ดี เช่น พรมซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ที่ 0.63 ในความถี่ที่ 500 Hz แทนพื้นที่หินขัดที่มีค่าสัมประสิทธิ์ที่ 0.02 (ค่าสัมประสิทธิ์ของ 0.63 คือ ความสามารถของวัสดุในการดูดซับเสียงได้ 63%และค่าของ 0.02 มีการดูดซับเสียงได้เพียง 2% เท่านั้น)

Reverberation Time (RT หรือ RT60) คือ เวลาการสะท้อนกลับของเสียงที่คงเหลืออยู่เมื่อต้นเสียงหยุดแล้ว เป็นการวัดค่าของเวลาที่เสียงสะท้อนกลับที่มีระดับเสียงลดลง 60dB เมื่อต้นเสียงหยุดแล้ว ถ้า

เวลาน้อยไปจะทำให้รู้สึกว่าเสียงในห้องนั้นหายเร็วเกินไป ไม่มีชีวิตชีวา หรือเสียงแห้ง(Dead Sound) โดยเฉพาะห้องเล่นดนตรี แต่ถ้าค่าของเวลามากไป ก็จะได้ยินเสียงสะท้อนมาก (Live Sound)

การออกแบบห้องต่างๆ การสะท้อนเสียงและการใช้วัสดุสะท้อนเสียง กระจายเสียง และดูดซับเสียงมีความสำคัญอย่างมากต่อผู้ที่ใช้ เพราะหากเสียงก้องเกินไปจะทำให้การสื่อสารข้อมูลผิดพลาดไปขาดความชัดเจน ซึ่งมีผลต่อการทำงานของผู้ที่อยู่ในพื้นที่ เพราะฉะนั้นการออกแบบห้องจำเป็นต้องควบคุมความก้องกังวาน(RT60) ให้เหมาะสม

การหาค่า RT ตามวิธีของซาบิน (Sabine) มีดังนี้ (Cabanaugh, William J; and Wikes, Joseph A, Architectural Acoustics: Principles and Practice (New York: John Wiley&Sons, 1998) p.21)

RT = 0.161 V/A (In metric Units)----------(5)

เมื่อ RT = Reverberation Time (RT), Second

V = ปริมาตรของห้อง, m^3

A = ค่าการดูดซับเสียงรวมของห้อง, (Sabine, m^3)

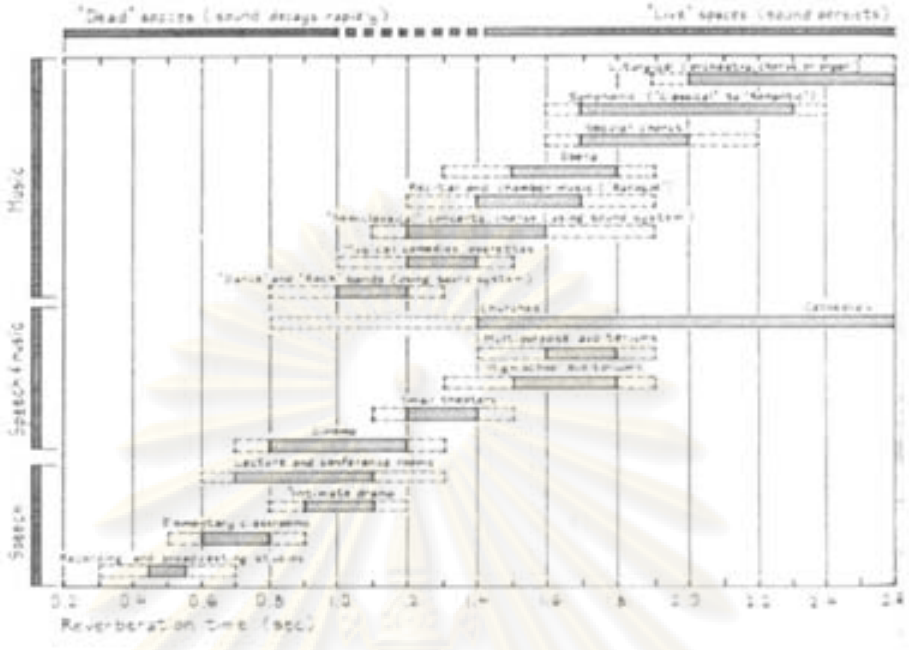
= $S1\alpha1 + S2\alpha2 + S3\alpha3 + \ldots\ldots\ldots\ldots Sn\alpha n$

S1,2,3 = พื้นที่ผิวของห้อง, m^2

α 1,2,3 = สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2.5 ค่า Reverberation Time ที่เหมาะสม สำหรับกิจกรรมต่างๆ



Note: Long reverberation times degrade speech perception of hearing-impaired persons far more than normal-hearing persons. For hearing-impaired and elderly listeners, reverberation times should be well below most of the values in the graph (e.g., 0.5 s for satisfactory speech perception).

ที่มา: Cavanaugh, William J; and Wikes, Joseph A, Acrhitectural Acoustics: Principles and Practice (New York: John Wiley & Sons, 1998:156)

ในการศึกษาค่าเกี่ยวกับ RT60 ที่เหมาะสมกับห้องประชุมที่ศึกษาโดย Russell Johnson (Country of Russell Johnson and Bolet Beranek and Newman, Inc) พบว่า RT60 ที่เหมาะสมสำหรับห้องประชุม อยู่ระหว่าง 0.7 -1.1 วินาที ดังนั้น ในการศึกษาปัจจัยสำคัญในการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี ครั้งนี้จึงกำหนดให้ค่า RT60 ที่เหมาะสม อยู่ระหว่าง 0.7 -1.1 วินาที

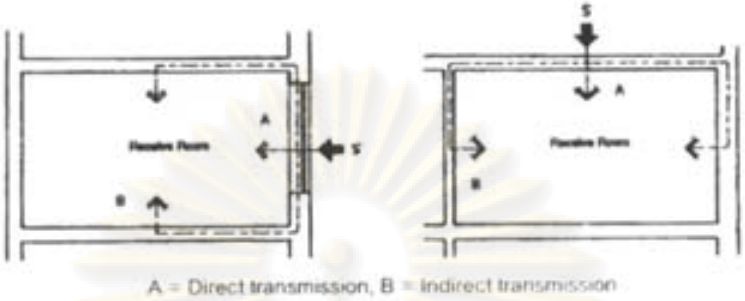
2.15 การส่งผ่านเสียงเข้าภายในห้องหรือภายในอาคาร

เสียงที่ส่งผ่านเข้าไปในห้องหรือในอาคารสามารถแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ

2.13.1 เสียงที่ลอดผ่านท่อระบายอากาศ หน้าต่างหรือประตู ที่เปิดทิ้งไว้เป็นเสียงที่มีอากาศเป็นตัวกลาง เรียกว่า Airborne Sound

2.13.2 เสียงที่กระทบกับผนังหรือผิวพื้นที่แข็ง (Solid Body) จะทำให้พลังเสียงบางส่วนที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของอากาศแทรกผ่านพื้น ผนังนั้นไปผนังอีกด้านหนึ่ง เรียกว่า การส่งผ่านแบบตรง (Direct Transmission) และพลังเสียงบางส่วนจะแผ่กระจายไปภายในผนังแล้วทะลุไปยังอากาศที่อยู่อีกด้านหนึ่ง เรียกว่า การส่งแบบทางอ้อม (Indirect Transmission) ทั้งสองรูปแบบการส่งผ่านเสียงนี้เรียกว่า Structure borne sound แต่ในทางปฏิบัติการส่งผ่านเสียงแบบตรงถือว่าเป็นการส่งผ่านที่มี

อากาศเป็นตัวกลาง (Airborne sound) (Doelle, Leslie L. Environmental Acoustics. (New York: McGraw-Hill, 1972) p.144-146.)



รูปที่ 2.17 แสดงการส่งผ่านเสียงแบบตรงและแบบทางอ้อม

ที่มา: Moore, John Edwin, Design for Good Acoustics and Noise Control (London: the Macmillan Press, 1978:65)

2.16 ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound transmission loss, TL)

ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของโครงสร้างที่วัดเป็นปริมาณ เรียกว่า ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound transmission loss, TL) ซึ่งหมายถึง จำนวนเดซิเบล ของพลังงานเสียงที่สูญเสียไปเมื่อมีการส่งผ่านโครงสร้าง 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)

$$TL = 10 \log (W1/W2) = 10 \log 1/\lambda \quad \text{---------- (6)}$$

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

W1 = กำลังเสียงที่ตกกระทบผนัง, watt

W2 = กำลังเสียงที่ส่งผ่านผนัง, watt

λ = สัมประสิทธิ์ค่าความเป็นฉนวนเฉลี่ยของวัสดุที่ได้จากห้องทดลอง

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

การส่งผ่านของเสียงเข้าในอาคารโยการสั่นสะเทือนของโครงสร้างจะลดได้ถ้าใช้โครงสร้างที่มีความหนาแน่นสูงเพื่อทำให้เสียงสะท้อนออก ค่าการสูญเสียการส่งผ่านของโครงสร้างแปรตามความถี่ของผนัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.14.1 ช่วงความถี่ต่ำ ค่าการสูญเสียการส่งผ่านโครงสร้างขึ้นอยู่กับความแข็ง (Stiffness) ของโครงสร้าง หมายความว่า ในช่วงความถี่ต่ำโครงสร้างอาคารที่เข็งจะทำให้ค่าการสูญเสียการส่งผ่านสูงไป แต่ถ้าเสียวที่มีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของผนังเสียงจะส่งผ่านไปได้มาก เรียกว่าปรากฏการณ์ วิโซแนนท์ (resonant)

2.14.2 ช่วงความถี่ปานกลาง ค่าการสูญเสียการส่งผ่านโครงสร้างจะถูกควบคุมด้วยกฎของมวล (Mass law) โครงสร้างอาคารที่มีมวลหนักจะให้ประโยชน์ในการป้องกันเสียงดีกว่ามวลเบา หากน้ำหนักของโครงสร้างหรือความถี่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าค่าการสูญเสียการส่งผ่านของโครงสร้างจะเพิ่มขึ้น 6 เดซิเบล สมการตามกฎของมวล คือ

TL = 20 log M + 20 log f – 45 (M มวลต่อพื้นที่ kg/m²) ---------- (7)

TL = 20 log M + 12 log f – 29 (M มวลต่อพื้นที่ lb/ft²) ---------- (8)

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

F = ความถี่ของเสียง, Hz

สำหรับเสียงที่ตกกระทบเป็นมุมฉากกับผนัง และเสียงที่ตกกระทบผนังแบบกระจัดกระจาย TL จะต่ำกว่าปกติ 5 เดซิเบล

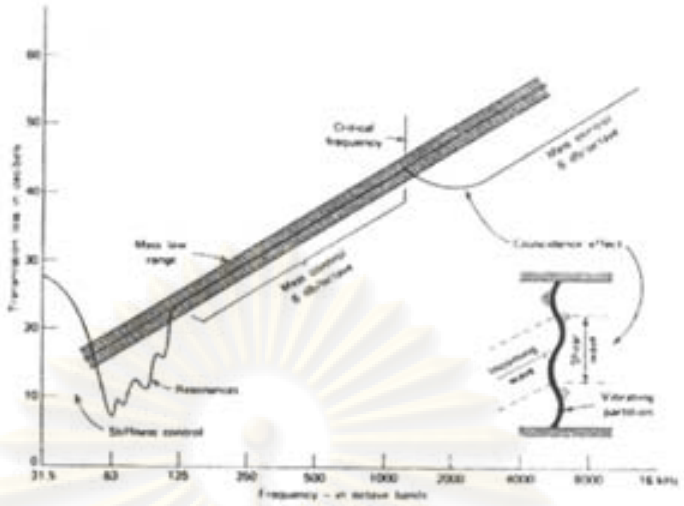
จากผลการทดลองด้วยการคำนวณทางเรขาคณิตสำหรับช่วงความถี่ (125-200Hz) ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงสามารถคำนวณได้จากสมการ

TL = 14.5 log M + 14.5 log f – 26 (M มวลต่อพื้นที่ kg/m²) ---------- (9)

TL = 14.5 log M + 14.5 log f – 16 (M มวลต่อพื้นที่ lb/ft²) ---------- (10)

2.14.3 ช่วงความถี่สูง ค่าการสูญเสียการส่งผ่านโครงสร้างจะลดลง เนื่องจากผลของการพ้องตรงกัน (Coincidence) โดยเฉพาะที่ความถี่วิกฤต (Critical frequency, fc) เมื่อเสียงตกกระทบผนังที่ค่อนข้างเบา และมีแดมปิ้งต่ำจะทำให้ผนังนั้นสั่นสะเทือน และทำให้เสียงส่งผ่านได้มากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิ 2.3 ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของโครงสร้างแปรตามความถี่

ที่มา: Miller, Richard K. and Montone, Wayne v. Handbook Acoustical Enclosures and Barriers (The United States of America: The Fairmont Press, 1978:46)

สำหรับโครงสร้างผสม (Composite Construction) หมายถึง โครงสร้างอาคารที่มีองค์ประกอบ เช่น ประตู, หน้าต่างหรือช่องแสง ฯลฯ ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของโครงสร้างผสมมีสมการดังนี้

$$TL = 10 \log \Sigma S / \Sigma \lambda S \quad \text{(M. David, 1972:184)} \text{ ---------- (11)}$$

เมื่อ $S1, S2, S3, \ldots\ldots\ldots, Sn$ = พื้นที่ของแต่ละพื้นผิวของห้อง, Ft^2 ,m^2

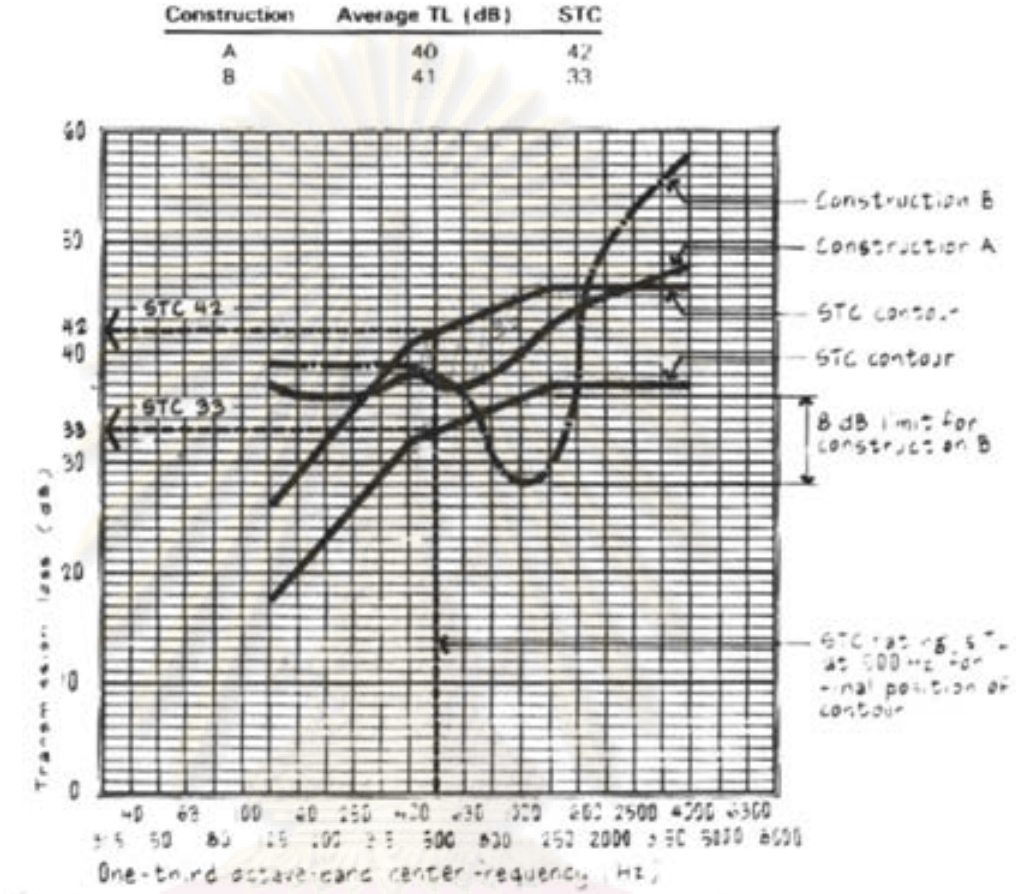
$\lambda 1, \lambda 2, \lambda 3, \ldots\ldots\ldots, \lambda n$ = สัมประสิทธิ์ค่าความเป็นฉนวนของวัสดุแต่ละพื้นผิว

2.17 ชั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound Transmission Class, STC)

การสูญเสียการส่งผ่านเสียงในหัวข้อ 2.14 เป็นการกำหนดการส่งผ่านเสียงในแต่ละความถี่ของวัสดุที่ทดสอบ ซึ่งบางวัสดุมีความสามารถในการป้องกันเสียงที่ส่งผ่านในความถี่ที่แตกต่างกัน การหาค่าเฉลี่ยรวมของการส่งผ่านเสียงในแต่ละความถี่ในบางครั้งจะได้ค่าที่คลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยสูง ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดค่าการวัดค่าการส่งผ่านเสียงให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงจริงที่สามารถนำมาใช้งานได้แม่นยำกว่า ค่านั้นคือค่า Sound Transmission Class (STC) โดยค่า STC เป็นการนำค่าการสูญเสียงการส่งผ่านเสียง TL มาพล็อตลงในกราฟคอนทัวร์ของ STC ดังแผนภูมิ 2.3

เปรียบเทียบระหว่างวัสดุ A ซึ่งมีค่าเฉลี่ย TL=40dB ซึ่งน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของวัสดุ B ซึ่งมีค่าเฉลี่ย TL=41dB แต่จากแผนภูมิที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียส่งผ่านเสียงของวัสดุ B ที่ความถี่ประมาณ 1,000 Hzมีค่าน้อยมากๆ หากนำค่าเฉลี่ย TL=41dB ของวัสดุ B ไปออกแบบ ก็อาจจะเกิดปัญหาภายหลัง แต่

เมื่อนำมาพล็อตลงกราฟในแผนภูมิที่ 2.3 แล้ว ค่าเฉลี่ยSTC ของวัสดุ A จะมีค่า STC=42 ในขณะที่วัสดุ B จะมีค่าเฉลี่ย STC=33 เท่านั้น ดังนั้นในการนำค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงไปใช้ในการคำนวณ หรือออกแบบ จึงนิยมใช้ค่า STC มากกว่า



แผนภูมิ 2.4 ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (STC) เปรียบเทียบระหว่างวัสดุ A กับวัสดุ B

ที่มา: M.David Egan, Architectural Acoustics. (McGraw-Hill, Inc., 1988:199)

ขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียงเป็นค่าที่แสดงการยอมให้เสียงผ่านได้ของระบบเปลือกอาคารชนิดต่างการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาระบบเปลือกอาคารเฉพาะในส่วนของผนังระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนังแบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ

2.15.1 ผนังทึบชั้นเดียว (Single Homogeneous Wall) เช่น ผนังไม้, ผนังก่ออิฐ, ผนังคอนกรีตบล็อก ฯลฯ ขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (STC) ของผนังทึบชั้นเดียวจะขึ้นกับมวลอาจมีค่าถึง 70 ผนังที่มีมวลหนักจะสาม ารถกันเสียงได้มากกว่าผนังที่มีมวลเบา ค่า STC ของผนังทึบชั้นเดียวจะได้จากการคำนวณหรือจากห้องทดลองของ Ceder Knolls, Geiger and Hamme, Riverbank, etc จากหนังสืออ้างอิงของ Egan, M. David

2.15.2 ผนังสองชั้นมีช่องว่างอากาศ (Cavity Wall) เมื่อได้ประโยชน์จากระบบผนังทึบแล้วได้มีการศึกษาถึงระบบผนังที่มีช่องว่างอากาศ เช่น กระจกสองชั้น ผนังก่ออิฐสองชั้น ผนังยิบซั่มหรือไม้อัดสองชั้นที่ประกอบด้วยโครงสร้างไม้-เหล็ก ช่องว่างอากาศภายในมีคุณประโยชน์ในการดูดซับเสียง โดยเสียงรบกวนที่กระทบกับพื้นผิว ผนังจะสะท้อนกลับไปมาภายในช่องว่างอากาศทำให้ความเข้มเสียงที่ส่งผ่านผนังนั้นลดลง โดยทั่วไปผนังที่มีช่องว่างอากาศจะทำให้โครงสร้างอาคารสามารถกันเสียงเพิ่มขึ้นอีก 3-6 เดซิเบล (Stein, B; and Reynolds, J.S, 1992: 1387)

2.15.3 ผนังผสม (Composite Wall) หมายถึง ผนัง พื้น ฝ้าเพดาน ที่มีองค์ประกอบเป็นวัสดุสองชนิดขึ้นไป ผนังผสมสร้างด้วยเหตุผลทางด้านการใช้งาน เช่น การระบายอากาศ การดูวิว แสงสว่าง ฯลฯ โดยทั่วไปโครงสร้างผสมจะประกอบด้วย ประตู หน้าต่าง และช่องแสง ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงรวมของผนังคำนวณได้จากค่าสัมประสิทธิ์ค่าความเป็นฉนวนเฉลี่ยของผนัง (Sound Transmission Coefficient, $\bar{\alpha}$) ผนังผสมเป็นสาเหตุทำให้คุณสมบัติความเป็นฉนวนกันเสียงของผนังลดลงเมื่อเทียบกับผนังทึบ

2.15.4 ผนังกรณีที่เปิดช่องเปิด เช่น เปิดประตู หน้าต่าง หรือช่องแสง เพื่อการระบายอากาศหรือเพื่อรับแสงสว่าง ซึ่งเป็นสาเหตุให้เสียงรบกวนจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้องประชุม ถ้าหากพื้นที่ช่องเปิดยิ่งมากทำให้ค่าความเป็นฉนวนกั้นเสียงของระบบเปลือกอาคารลดลง

การรั่วซึมของเสียง (Sound Leaks) จากระบบผนัง เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการป้องกันเสียงรบกวน จากสภาพแวดล้อมภายนอกห้องประชุม เนื่องจากเสียงภายนอกได้รั่วซึมเข้าภายในห้องประชุมทำให้ระดับเสียงภายในห้องเพิ่มขึ้น การรั่วไหลของเสียงจะเกิดขึ้นเพียงแต่ผนังมีรอยแตกร้าวที่ประมาณ 1/32" เช่น รอยต่อระหว่างวงกบกับประตู หรือหน้าต่างกับผนัง (Miller and Montone, 1978: 55) นอกจากนี้ การรั่วซึมของเสียงผ่านรอยต่อระหว่างโครงสร้างอาคาร เช่น ระหว่างผนังกับพื้น ผนังกับฝ้าเพดาน โดยเฉพาะผนังที่มีมวลน้อย การรั่วซึมของเสียงจะเกิดได้มากกว่าผนังที่มีมวลมาก ดังนั้น ควรมีการขยายจุดต่อต่างๆ และหาวิธีป้องกันการรั่วซึมของเสียงด้วยวัสดุที่ประยุกต์จากฉนวน

2.18 ระบบผนังประหยัดพลังงานช่วยลดเสียงรบกวน

การออกแบบผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (สุนทร บุญญาธิการ ศ.ดร. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า, 2542: 159) เป็นการออกแบบผนังระบบประหยัดพลังงานลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายในได้ดี จะช่วยทำให้ลดการใช้พลังงานในอาคาร หรือในหอประชุม กล่าวคือ พลังงานที่ใช้มากที่สุดในหอประชุมคือระบบปรับอากาศ และเสียงรบกวนที่มากที่สุดในห้องประชุมก็เกิดจากระบบปรับอากาศเช่นกัน โดยระบบผนัง EIFS 3" จะสามารถลดการใช้ระบบปรับอากาศลงถึง 5-8 เท่า ทำให้เสียงรบกวนที่เกิดจากระบบปรับอากาศลดลงได้ถึง 12 – 15 dBA ซึ่งจะทำให้การควบคุมเสียงให้ได้ตามเป้าหมาย NC สำหรับห้องประชุมตามตาราง 2.4 นั้น สามารถทำได้ง่ายขึ้นมาก

2.19 วิธีการรวบรวมข้อมูล

2.19.1 ความหมายและความสำคัญของการวัด

งานวิจัยเป็นงานที่ต้องอาศัยข้อมูลควบคู่ไปกับแนวความคิดในการวิจัย ขั้นตอนสำคัญของการงวิจัยจึงอยู่ที่การเชื่อมโยงข้อมูลกับแนวความคิดที่ใช้ทำวิจัยเข้าด้วยกัน ขั้นตอนนั้นคือ การวัดหรือการรวบรวมข้อมูล (บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์, 2535:18)

การวัดหรือการรวบรวมข้อมูลเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแนวความคิด หรือตัวแปรที่ต้องการศึกษาตามที่ระบุไว้ในแนวความคิดให้เป็นข้อมูล โดยทั่วไปมักจะหมายถึงการกำหนดค่าเป็นสัญลักษณ์หรือตัวเลขให้กับสิ่งที่ต้องการวัดตามกฎเกณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่งซึ่งเป็นที่ยอมรับเชิงเหตุผลได้ สัญลักษณ์หรือตัวเลขที่กำหนดให้นั้นจะมีคุณสมบัติประจำ 3 ประการเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างพร้อมๆ กันก็ได้ ได้แก่ คุณสมบัติของความเหมือนกัน คุณสมบัติของการเรียงลำดับ และคุณสมบัติของความเป็นบวก

2.19.2 ระดับการวัด (Level of Measurement)

เนื่องจากข้อมูลเป็นสัญลักษณ์หรือตัวเลขที่บอกลักษณะ อาการ หรือปริมาณของตัวแปรที่ต้องการศึกษา สามารถที่จะได้ผลหยาบละเอียดแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้และลักษณะของตัวแปร เครื่องมือการวัดอาจใช้เป็นเกณฑ์ในการแบ่งระดับได้เป็น 4 ระดับ ได้แก่

1. การวัดระดับแบ่งกลุ่ม (Nominal Measurement)

เป็นการวัดตัวแปรแบบง่ายๆ เพียงแบ่งตัวแปรเป็นกลุ่ม หรือแบ่งเป็นประเภทเท่านั้น ถ้าหน่วยวิเคราะห์ใดมีคุณสมบัติเหมือนกันก็จัดไว้ในกลุ่มเดียวกันหรือประเภทเดียวกัน ถ้าคุณสมบัติแตกต่างกันก็จัดไว้คนละกลุ่ม เช่น เพศเป็นตัวแปรที่แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ชายกับหญิง ทำนองเดียวกันสถานภาพสมรสแบ่งเป็น โสด แต่งงาน หม้าย หย่า

การวัดระดับนี้มีความสำคัญที่ต้องการแบ่งกลุ่ม หรือแบ่งประเภท อย่างน้อยจะต้องแบ่งเป็น 2 กลุ่ม หรือจะแบ่งเป็นหลายกลุ่มก็ได้ แต่กลุ่มที่แบ่งนั้นจะต้องแยกกันอย่างเด็ดขาดและจะคลอบคลุมข้อมูลทั้งหมดที่มีกล่าวคือ ข้อมูลแต่ละตัวจะต้องจัดเข้าไปอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งและจะต้องจัดได้เพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น จะจัดให้อยู่ได้พร้อมกันของกลุ่มไม่ได้

การวัดระดับแบ่งกลุ่มมีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

- สมาชิกในกลุ่มเดียวกันมีความเท่าเทียมกัน มีคุณสมบัติและค่าเหมือนกัน
- ตัวเลขหรือสัญลักษณ์ที่กำหนดเป็นกลุ่มที่ลักษณะเพียงบอกชื่อเท่านั้น ไม่มีความหมายเชิงปริมาณ จึงนำไปบวก ลบ คูณ หาร กันไม่ได้

- ตัวเลขหรือสัญลักษณ์ที่กำหนดให้แทนกลุ่มใดแล้วจะต้องแทนกลุ่มนั้นตลอดไป จะเอาแทนกลุ่มอื่น หรือประเภทอื่นไม่ได้
- มีคุณสมบัติเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ และเป็นข้อมูลไม่ต่อเนื่อง (discrete data)

2. การวัดระดับอันดับ (Ordinal Measurement)

เป็นการวัดที่แบ่งแยกเป็นกลุ่ม เป็นประเภทแล้วแต่ละกลุ่มที่แบ่งจะต้องมีความเกี่ยวข้องกันด้วย โดยมีความเกี่ยวข้องกันและจะต้องสามารถบอกได้ถึงระดับความเกี่ยวข้องว่ากลุ่มใดมากกว่ากลุ่มใด เช่น แบ่งชายออกเป็นชายล้วนกับชายผสม แบ่งนักเรียนออกเป็นนักเรียนเก่งมาก ปานกลางและอ่อน การวัดในลักษณะนี้มีลักษณะเหมือนกับการประเมินค่า เช่น ประเมินเป็นสูง ปานกลาง ต่ำ เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วย ไม่แน่ใจ ไม่เห็นด้วย ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง เป็นต้น กลุ่มที่แบ่งเหล่านี้เพียงบอกได้ว่า กลุ่มใดมากกว่าหรือน้อยกว่ากลุ่มใดเท่านั้น ไม่สามารถบอกได้ว่ามากกว่ากัน หรือน้อยกว่ากันเท่าไร

การวัดระดับอันดับมีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

- การจัดกลุ่มหรือจัดประเภทเพื่อเรียงอันดับจะต้องใช้เกณฑ์ใดเกณฑ์หนึ่งเป็นหลัก จะใช้หลายเกณฑ์พร้อมๆ กันไม่ได้
- แต่ละกลุ่มที่แบ่งใช้เปรียบเทียบกันได้ แต่เปรียบเทียบกันได้เฉพาะว่า กลุ่มใดมากหรือน้อยกว่ากลุ่มใดเท่านั้น ไม่สามารถบอกว่ามากกว่าหรือน้อยกว่ากันเท่าไร
- ข้อมูลที่วัดได้ไม่สามารถนำไป บวก ลบ คูณ หารกันได้
- ข้อมูลที่วัดได้อาจเป็นข้อมูลที่ต่อเนื่องและข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่อง โดยปกติถ้านำไปคำนวณทางสถิติมักจะสมมติว่าเป็นข้อมูลต่อเนื่อง

3. การวัดระดับช่วง (Interval Measurement)

การวัดระดับนี้มีคุณสมบัติของการวัดระดับอันดับอย่างครบถ้วนและเพิ่มคุณสมบัติอีกหนึ่งอย่าง คือ แต่ละกลุ่มที่แบ่งนั้นมีความห่างเท่ากันสามารถบอกได้ว่า มากกว่าหรือน้อยกว่าเท่าใด เช่น การวัดอุณหภูมิ ปี พ.ศ. หรือปี ค.ศ. การวัดระดับนี้ขาดจุดเริ่มต้นที่สูญแท้ (Absolute) เช่น วัดอุณหภูมิเราไม่ทราบว่าอุณหภูมิ 0 เริ่มตรงไหน ซึ่งกำหนดว่า 0 องศาเซลเซียสเป็นเพียงสูญสมมติเท่านั้น

การวัดระดับช่วงมีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

- กลุ่มหรือประเภทที่แบ่งนั้นจะห่างกันเป็นช่วงๆ และแต่ละช่วงจะมีค่าความห่างเท่ากัน จุดเริ่มต้นของสิ่งที่วัดนั้นไม่มีจุดเริ่มต้นที่เป็นสูญแท้ ที่เห็นเป็นสูญนั้นเป็นเพียงสูญที่สมมติขึ้นเพื่อเปรียบเทียบเท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- อาจกำหนดตัวเลขแทนกลุ่มหรือสิ่งที่วัดได้ และความแตกต่างระหว่างตัวเลขจะแทนความแตกต่างของกลุ่มหรือสิ่งที่วัดได้นั้น
- ชุดของตัวเลขแต่ละชุดสามารถนำไปเปรียบเทียบกับชุดของตัวเลขชุดอื่นได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (เทียบบัญญัติไตรยางศ์) ระหว่างชุดของตัวเลขทั้งสองนั้น
- ข้อมูลที่ได้มีลักษณะเชิงปริมาณสามารถนำไป บวก ลบ คูณ หารกันได้

4. การวัดระดับอัตราส่วน (Ratio Measurement)

การวัดระดับนี้เป็นการวัดเชิงปริมาณอย่างแท้จริง แต่ละกลุ่มมีช่วงห่างเท่ากัน เช่น น้ำหนัก ส่วนสูง ความยาว เป็นต้น การวัดระดับนี้เป็นการวัดที่ใช้ทางฟิสิกส์ทั่วไปนั้นเอง คุณสมบัติของการวัดระดับต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้นจะเห็นว่า การวัดระดับแบ่งกลุ่มเป็นระดับต่ำสุด การวัดระดับอันดับสูงขึ้นโดยรวมคุณสมบัติของการวัดระดับแบ่งกลุ่มเข้าไว้ด้วยและการวัดระดับอัตราส่วนเป็นการวัดระดับสูงสุดจะรวมคุณสมบัติของการวัดทุกระดับเข้าไว้ด้วยกัน จากหลักการนี้การวัดระดับที่สูงกว่าสามารถเปลี่ยนเป็นระดับที่ต่ำกว่าได้ แต่ระดับที่ต่ำกว่าจะเปลี่ยนเป็นระดับที่สูงกว่าไม่ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

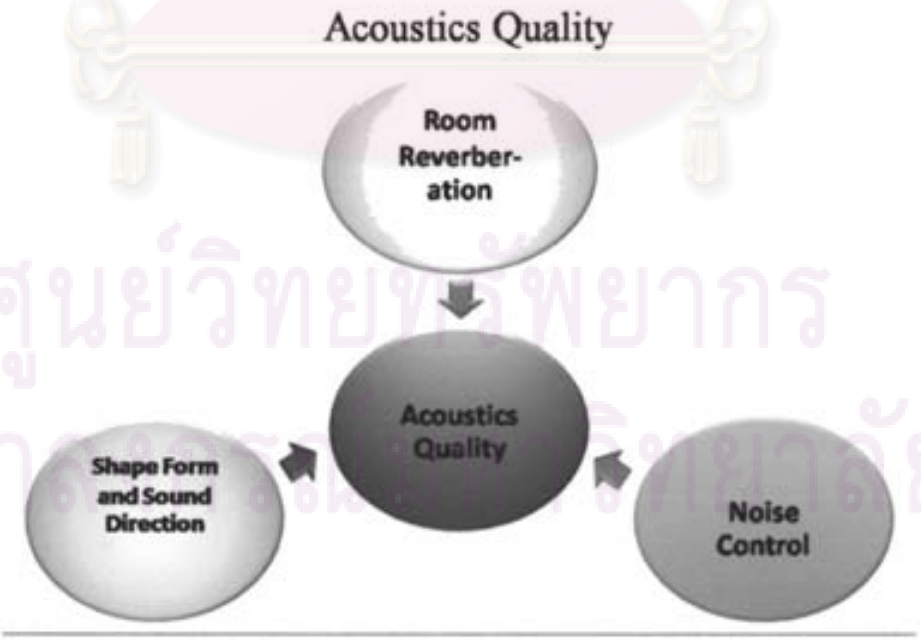
บทที่ 3

การประเมินปัจจัยสำคัญในการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี

จากทฤษฎีและแนวความคิดในการประเมินปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพเสียงห้องประชุม คือ การกำจัดเสียงรบกวนที่ไม่ต้องการออกไป (Noise Control) และควบคุมเสียงภายในที่ต้องการ (Room Acoustics) ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้ห้องประชุม โดยผู้ที่อยู่ในห้องประชุมสามารถได้ยินเสียงอย่างชัดเจนจากพลังงานธรรมชาติของมนุษย์ หรือผู้พูด โดยไม่ต้องใช้ระบบเสียง (Sound System) ในการใช้งาน

เสียงรบกวน (Noise) หรือเสียงที่ทำให้เกิดความรำคาญเป็นผลต่อสมาธิของผู้ฟัง โดยระดับที่ทำให้เกิดการรบกวนขึ้นอยู่กับการใช้งานในแต่ละประเภท วิธีป้องกันเสียงรบกวนเริ่มจากการศึกษาแหล่งกำเนิดเสียงและระดับของเสียงรบกวนที่เกิดขึ้น รูปแบบการส่งผ่านของเสียงเข้าในห้องประชุม เสียงที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายนอกห้องประชุม เช่น เสียงจากการจราจร เสียงฝนตก เป็นต้น เสียงรบกวนที่เกิดภายในอาคาร ได้แก่ เสียงจากระบบปรับอากาศ และเสียงจากกลุ่มคน

ระดับเสียง (Sound Pressure Level) ที่เกิดขึ้นภายในห้องประชุมเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงหรือผู้พูด และระยะห่างของผู้รับฟัง ดังนั้น การสร้างประสิทธิภาพในการรับฟังภายใน คือ การที่ผู้รับฟังทุกตำแหน่งในห้องประชุมภายในห้องประชุมทุกจุดได้ยินเสียงจากผู้พูดได้อย่างชัดเจน การควบคุมเสียงภายในห้องประชุมมีความสัมพันธ์กับขนาดและรูปทรงของห้อง ค่าการสะท้อนเสียง การกระจายเสียง และการดูดซับเสียง ของพื้นผิวภายในห้อง (ผนัง พื้น ฝ้าเพดาน) และ เสียงก้อง ภายในห้อง สามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงการควบคุมเสียงภายในห้องประชุม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 หลักการในการออกแบบห้องประชุมเพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกห้องประชุม

ในการออกแบบห้องประชุมให้มีคุณภาพเสียงที่ดีนั้น การที่ห้องประชุมมีศักยภาพในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้ห้องประชุมมีคุณภาพเสียงที่ดีได้ กล่าวคือ ห้องประชุมที่มีระดับเสียงที่เป็นแบคกราวด์อยู่ในขอบเขตระดับของเกณฑ์เสียง (Noise Criteria) ที่ยอมรับได้นั้น ความเป็นฉนวนกันเสียงของระบบเปลือกอาคารมีส่วนสำคัญในการลดระดับเสียงก่อนส่งผ่านเข้ามาในห้องประชุม การออกแบบระบบเปลือกอาคารเพื่อป้องกันเสียงรบกวนควรพิจารณาร่วมกับกลุ่มตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ระดับเสียงแบคกราวด์ที่ต้องการ ชั้นสูญเสียการส่งผ่านเสียง (STC) ที่ต่ำสุดขององค์ประกอบของผนัง (ประตู หน้าต่างหรือช่องแสง)

สำหรับค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound transmission loss, TL) ของระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนังผสม (Composite Wall) ที่ศึกษาร่วมกันระหว่างค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนัง ค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียงขององค์ประกอบ (ประตู หน้าต่างหรือช่องแสง) และสัดส่วนขององค์ประกอบ ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานของ Southern Building Code Congress International, SBCCI ที่ใช้ในการออกแบบผนังผสม มีดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียงต่ำสุด (TLmin) ของผนังผสม

สัดส่วนขององค์ประกอบ (%)	**ระดับเสียงต่ำสุดที่ลดลง (เดซิเบล)**	TLmin **ของผนังหรือหลังคา (เดซิเบล)**	TLmin **ขององค์ประกอบ (เดซิเบล)**
1 - 25	25	39	28
	30	45	37
	35	50	42
26 - 70	25	45	37
	30	50	41
	35	55	45

ที่มา: Cavanaugh.J Willaim and Wilkes, Architectural Acoustics Principles and Practice (New York: John Wiley & Sons, 1998:199)

จากการศึกษาเปรียบเทียบเกณฑ์ที่เป็นมาตรฐานของประเทศต่างๆ เกี่ยวกับค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนัง พบว่า ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงที่ต่ำสุดของระบบผนัง STC เท่ากับ 45 แต่ในการออกแบบห้องประชุม จะต้องคำนึงถึงสภาวะทางสภาพแวดล้อมภายในห้องประชุมโดยทั่วไป ห้องประชุมประกอบด้วยประตู หน้าต่างห้องควบคุม ซึ่งเป็นเหตุให้ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนัง

อาคารลดลง แต่ในทางปฏิบัติอาจใช้วัสดุที่มีค่าความเป็นฉนวนกันเสียงสูงเพื่อได้ผนังที่เป็นมาตรฐานในการป้องกันเสียงรบกวน หากพิจารณาผนังผสมจากตาราง 3.1 พบว่าในทางปฏิบัติอาจใช้วัสดุที่มีค่าความเป็นฉนวนกันเสียงสูงเพื่อให้ได้ผนังผสมที่เป็นมาตรฐานในการป้องกันเสียงรบกวน

3.1.1 ตัวแปรที่เกี่ยวกับการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกห้องประชุม

ตัวแปรระบบเปลือกอาคาร หมายถึง ส่วนที่ทำหน้าที่ปกป้องภายในอาคารได้แก่ พื้น ผนัง หลังคา ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการป้องกันหรือลดระดับเสียงรบกวนก่อนเข้าถึงภายในห้องหรือภายในอาคาร ความสามารถในการป้องกันเสียงของระบบเปลือกอาคารขึ้นอยู่กับคุณสมบัติความเป็นฉนวนกันเสียงของวัสดุก่อสร้างที่ใช้ถ้าวัสดุที่ใช้มีค่าความเป็นฉนวนกันเสียงสูง ระบบเปลือกอาคารก็จะมีชั้นการสูญเสียการส่งเสียงผ่านมาก (Sound Transmission Class, STC) ชั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียงเป็นระดับการยอมให้เสียงผ่านได้ของระบบเปลือกอาคารชนิดต่างๆ การศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาระบบเปลือกอาคารเฉพาะในส่วนของผนัง

3.1.1.1 ระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนังแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

- ผนังทึบชั้นเดียว (Single Homogeneous Wall) ศักยภาพในการป้องกันเสียงรบกวน หรือคุณสมบัติค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของระบบผนัง ซึ่งปริมาณที่ใช้ในการวัดความสามารถป้องกันเสียงของระบบผนัง เรียกว่า ชั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound Transmission Class, STC) ในการศึกษาค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนังครั้งนี้ ใช้ข้อมูล STC สำหรับโครงสร้างอาคารทั่วไปที่ปรับปรุงใหม่จากห้องทดลองของ Cedar Knolls, Geiger and Hamme, Riverbank, etc จากหนังสืออ้างอิงของ Egan, M. David ที่ได้มีการศึกษาไว้แล้ว

- ผนังสองชั้นมีช่องว่างอากาศ (Cavity Wall) ช่องว่างอากาศที่มีผลต่อการป้องกันเสียงรบกวนควรมีระยะห่างมากกว่า 1 ½" การหาค่าการสูยเสียการส่งผ่านเสียง (TL) และชั้นสูญเสียการส่งผ่านเสียง(STC) รวมของผนังที่มีช่องว่างอากาศจะเริ่มจากการคำนวณค่า TL และ STC ในกรณีเป็นผนังทึบ แล้วนำค่า TL และ STC ที่ได้บวกกับค่า TL และ STCของช่องว่างอากาศ การพัฒนาผนังที่มีช่องว่างอากาศให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการเพิ่มฉนวนกันเสียงเข้าในช่องว่างอากาศจะทำให้ผนังมีความสามารถกันเสียงเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 3-5 เดซิเบล ค่า TL และ STC ของช่องว่างอากาศขึ้นกับระยะของช่องว่างอากาศและความถี่ ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3.2 ตารางความสัมพันธ์ TL และ STC ของช่องว่างอากาศ

	ค่าที่เพิ่มขึ้นจาก TL (dB)						STC
Space	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1,000 Hz	2,000 Hz	4,000 Hz	Improve
1 ½"	0	1	2	5	9	12	3
3"	1	2	7	10	14	15	6
6"	5	7	11	15	19	20	8

ที่มา: Egan, M. David, Concepts in Architectural Acoustics

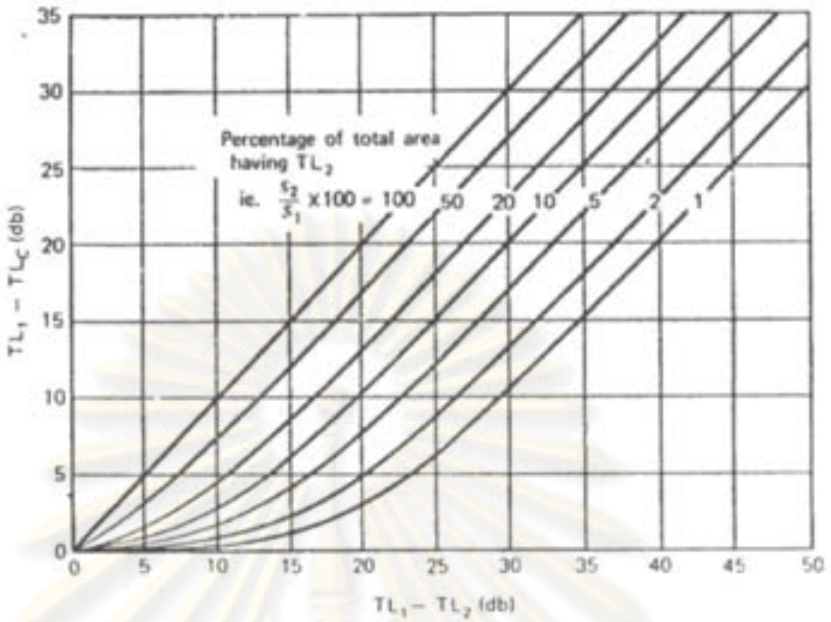
(New York: McGraw-Hill, 1972:77)

- ผนังผสม (Composite Wall) ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนังที่มีองค์ประกอบ เช่น ประตู หน้าต่าง มีความสัมพันธ์กับสัดส่วนและค่าความเป็นฉนวนกันเสียงขององค์ประกอบ ถ้าสัดส่วนขององค์ประกอบมีมากและมีค่าความเป็นฉนวนกันเสียงต่ำก็จะทำให้ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนังลดลง ในการหาค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนังผสมของห้องประชุม โดยดูจากประเภทของวัสดุที่ใช้สร้างผนังห้องประชุม คำนวณค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงในแต่ละคลื่นเสียง

วิธีการหาค่าสูญเสียการส่งผ่านของผนังผสม (TLc) โดยเริ่มจากการคำนวณค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังหลัก (TL1) ซึ่งเป็นผนังที่เป็นระบบโครงสร้างของอาคารและ ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงขององค์ประกอบ (TL2) ซึ่งได้แก่ ประตู หน้าต่าง และช่องแสง จากนั้นหาค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสม (TLc) จากแผนภูมิ 3.1

ในกรณีผนังผสมประกอบด้วย ประตู หน้าต่างและช่องแสง ทำด้วยวัสดุแตกต่างกัน การหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสม (TLc) ให้เลือกเอาค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียง (TL2) ขององค์ประกอบที่มีพื้นที่มากที่สุดมาพิจารณา แต่การหาค่าสัดส่วนขององค์ประกอบของผนังเปรียบเทียบกับผนังหลักให้ใช้พื้นที่ขององค์ประกอบทั้งหมดของผนังนั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิ 3.1 แสดงกราฟการหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสม (TLc)

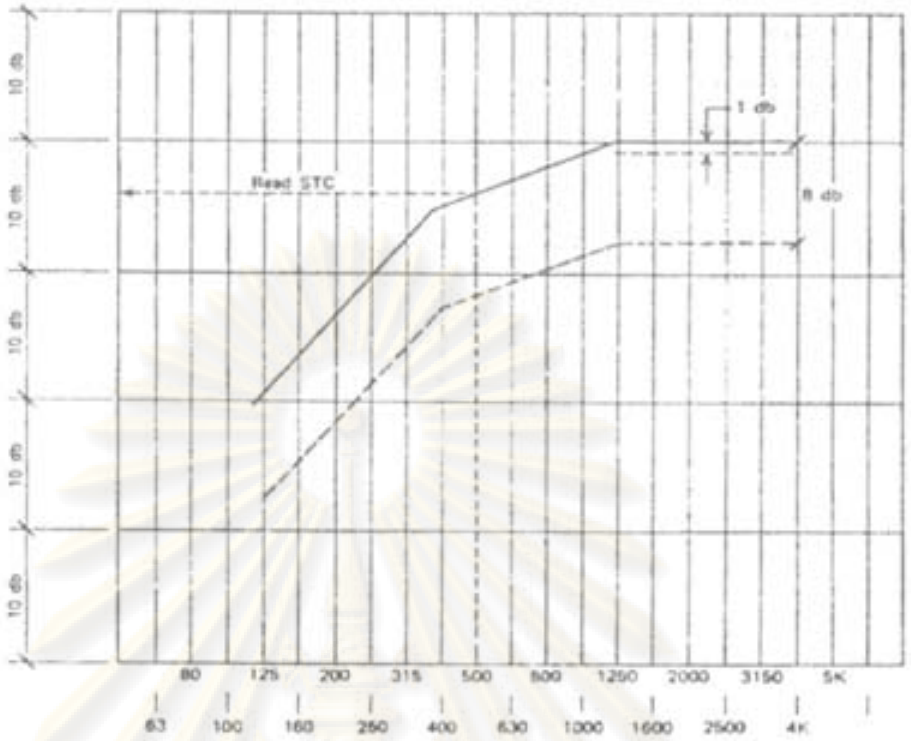
ที่มา: Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992:1392)

วิธีการคำนวณค่าชั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสม การหาค่าชั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสม (STCc) โดยนำค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสม (TLc) ที่ได้จากข้างต้นนำมาพลอตในแผ่นใสเพื่อเทียบกับแผนภูมิ 3.2 โดยมีเงื่อนไขดังนี้

1. ให้ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสมที่นำมาพลอตมีค่าน้อยกว่าเส้นSTC ในแผนภูมิ 3.2 ได้ไม่เกิน 8 เดซิเบล (ห้ามเกินเส้นประในแผนภูมิ 3.2)

2. ผลรวมของค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสมน้อยกว่าเส้น STC ของทุกๆ 1/3 ออกเทบแบนด์จะต้องไม่เกิน 32 เดซิเบล เมื่อได้ครบตามเงื่อนไขทั้งสองแล้วค่า STC ของผนัง ก็คือตัวเลขบนแกนของค่าการสูญเสียการส่งผ่านที่ตรงกับเส้น STC ที่ความถี่ 500 Hz ผนังที่มีค่า STC มากจะสามารถกันเสียงได้มาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



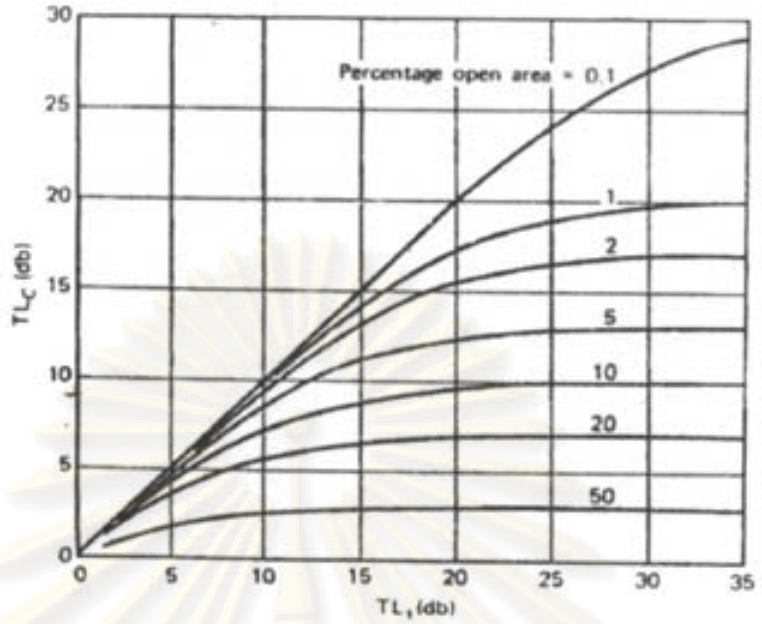
แผนภูมิ 3.2 กราฟแสดงการหาค่าชั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (STC) ของผนังชนิดต่างๆ

ที่มา: Egan, M. David, Concepts in Architectural Acoustics

(New York: McGraw-Hill, 1972:70)

- ผนังกรณีที่เปิดช่องเปิด กรณีห้องประชุมเปิดประตู หน้าต่างหรือช่องแสงจะเปรียบเสมือนการนำเอาเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกเข้ามาภายในห้องประชุม เนื่องจากพื้นที่ช่องเปิดมีค่าความเป็นฉนวนกันเสียงเท่ากับ 0 เดซิเบล การหาค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนังในกรณีเปิดประตู หน้าต่างหรือช่องแสง โดยการศึกษามีค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังทึบที่เป็นผนังหลักโดยทั่วไป TL1 อยู่ระหว่าง 25-60 เดซิเบล จากแผนภูมิ 3.3 พบว่า หากผนังหลักมีสัดส่วนช่องเปิดเพียงร้อยละ 0.1 ของพื้นที่ของผนังก็จะทำให้ผนังมีค่าความเป็นฉนวนกันเสียง (TLc) ได้มากที่สัด 29 เดซิเบล และผนังมีพื้นที่ของช่องเปิดที่มีสัดส่วนร้อยละ 1 จะทำให้ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนังนั้นมีค่าเท่ากับ 20 เดซิเบล

ดังนั้น ถ้าห้องประชุมเปิดประตู หน้าต่างหรือช่องแสงเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งก็จะทำให้ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงนั้นจะมีค่าน้อยกว่า 25 เดซิเบล เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าชั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียงจะจัดอยู่ในระดับ 1



แผนภูมิ 3.3 แสดงกราฟการหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังกรณีมีช่องเปิด (TLc)

ที่มา: Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992:1392)

3.1.1.2 การรั่วซึมของเสียง (Sound Leaks) จากระบบผนัง เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการป้องกันเสียงรบกวน จากสภาพแวดล้อมภายนอกห้องประชุม เนื่องจากเสียงภายนอกได้รั่วซึมเข้าภายในห้องประชุมทำให้ระดับเสียงภายในห้องเพิ่มขึ้น การรั่วไหลของเสียงจะเกิดขึ้นเพียงแต่ผนังมีรอยแตกร้าวที่ประมาณ 1/32" เช่น รอยต่อระหว่างวงกบกับประตู หรือหน้าต่างกับผนัง (Miller and Montone, 1978: 55) นอกจากนี้การรั่วซึมของเสียงผ่านรอยต่อระหว่างโครงสร้างอาคาร เช่น ระหว่างผนังกับพื้น ผนังกับฝ้าเพดาน โดยเฉพาะผนังที่มีมวลน้อยการรั่วซึมของเสียงจะเกิดได้มากกว่าผนังที่มีมวลมาก ดังนั้น ควรมีการขยายจุดต่อต่างๆ และหาวิธีป้องกันการรั่วซึมของเสียงด้วยวัสดุที่ประยุกต์จากฉนวน

3.2 หลักการในการออกแบบห้องประชุมเพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายในห้องประชุม

การออกแบบห้องประชุมนอกจากการป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกห้องประชุมแล้ว ควรป้องกันเสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในห้องประชุมด้วย โดยทั่วไปเสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายใน จะเป็นเสียงจากอุปกรณ์ภายในห้องประชุม จากระบบปรับอากาศ ซึ่งวิธีป้องกันหรือลดระดับเสียงรบกวนในเบื้องต้นควรศึกษาระดับเกณฑ์เสียงที่ต้องการของห้องประชุม สำหรับค่าเกณฑ์เสียงที่ยอมรับได้ของห้องประชุมคือ NC-20 to NC-30 ที่ระดับเสียง 30 to 38 dBA (M.David Egan, Architectural Acoustics,

P.233) การควบคุมเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายในสำหรับห้องประชุมนั้นเสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในห้องประชุม หลักๆ ได้แก่ เสียงจากระบบปรับอากาศ หรือเสียงจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ต่างๆ

3.2.1 ตัวแปรที่เกี่ยวกับการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายในห้องประชุม

การออกแบบห้องประชุมนอกจากการป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกห้องประชุมแล้ว ควรป้องกันเสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในห้องประชุมด้วย โดยทั่วไปเสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายใน จะเป็นเสียงจากอุปกรณ์ภายในห้องประชุม จากระบบปรับอากาศ ซึ่งวิธีป้องกันหรือลดระดับเสียงรบกวนในเบื้องต้นควรศึกษาระดับเกณฑ์เสียงที่ต้องการของห้องประชุม สำหรับค่าเกณฑ์เสียงที่ยอมรับได้ของห้องประชุมคือ NC-20 to NC-30 ที่ระดับเสียง 30 to 38 dBA (M.David Egan, Architectural Acoustics, P.233) การควบคุมเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายในสำหรับห้องประชุมนั้นเสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในห้องประชุม หลักๆ ได้แก่ เสียงจากระบบปรับอากาศ หรือเสียงจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ต่างๆ

ตารางที่ 3.3 ค่าเสียงรบกวนจากอุปกรณ์ประกอบอาคารต่างๆ

	Sound Pressure Level (dB)								
Equipment	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	dBA
Absorption machine	91	86	86	86	83	80	77	72	89
Axial fan	98	99	99	98	97	95	91	87	102
Boiler	92	92	89	86	83	80	77	74	89
Centrifugal fan	86	95	89	90	87	82	76	77	92
Chiller, centrifugal	80	85	87	87	90	98	91	87	100
Compressor, air	86	84	86	87	86	84	80	75	91
Condenser	99	92	90	90	89	85	76	68	92
Cooling tower	102	102	97	94	90	88	84	79	97
Fan coil unit	57	55	53	50	48	42	38	32	53
Induction unit	57	58	56	54	45	40	35	33	54
PTAC	64	64	65	56	53	48	44	37	59
Pump	75	80	82	87	86	80	77	75	89
Rooftop unit	95	93	89	85	80	75	69	66	87
Warm-air furnace	65	65	59	53	48	45	39	30	57

Reference

"Noise from Construction Equipment and Operations, Building Equipment, and Home Appliances," U.S. Environmental Protection Agency, NTID 300.1, Washington, December 1971

ที่มา: M.David Egan, Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1988:233)

จากข้อมูลเสียงรบกวนข้างต้น พบว่าระดับเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจาก Fan Coil Unit สามารถทำให้เกิดเสียงรบกวนภายในห้องประชุมได้ถึง 53 dBA และจากการศึกษาในเบื้องต้นระดับเกณฑ์เสียงที่ต้องการของห้องประชุม สำหรับค่าระดับเสียงรบกวนที่ยอมรับได้ของห้องประชุมคือ NC-20 to NC-30 ระดับเสียง 30 to 38 dBA (M.David Egan, Architectural Acoustics ,P.233) ดังนั้น ความต้องการในการออกแบบระบบปรับอากาศใน

ระบบจ่าย และย้อนกลับของอากาศเย็น ต้องมีการออกแบบให้เกิดเสียงรบกวนในระดับที่ยอมรับได้ของห้องประชุมซึ่งต้องควบคุมความเร็วของลมให้ได้ในระดับที่ทำให้เกิด NC 20 – 30 คือ ความเร็วลมบริเวณหัวจ่ายลมเย็น 300 ถึง 425 fpm และ ความเร็วลมบริเวณตะแกรงย้อนกลับลมเย็น 360 – 510 fpm (M.David Egan, Architectural Acoustics ,P.301)

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าเสียงรบกวนที่เกิดจากความเร็วลมของระบบปรับอากาศอาคาร

Noise Criteria	Air Velocity at Supply Register (fpm)	Air Velocity at Return Grille (fpm)
NC-15 to NC-20	250 to 300	300 to 360
NC-20 to NC-25	300 to 350	360 to 420
NC-25 to NC-30	350 to 425	420 to 510
NC-30 to NC-35	425 to 500	510 to 600
NC-35 to NC-40	500 to 575	600 to 690
NC-40 to NC-45	575 to 650	690 to 780

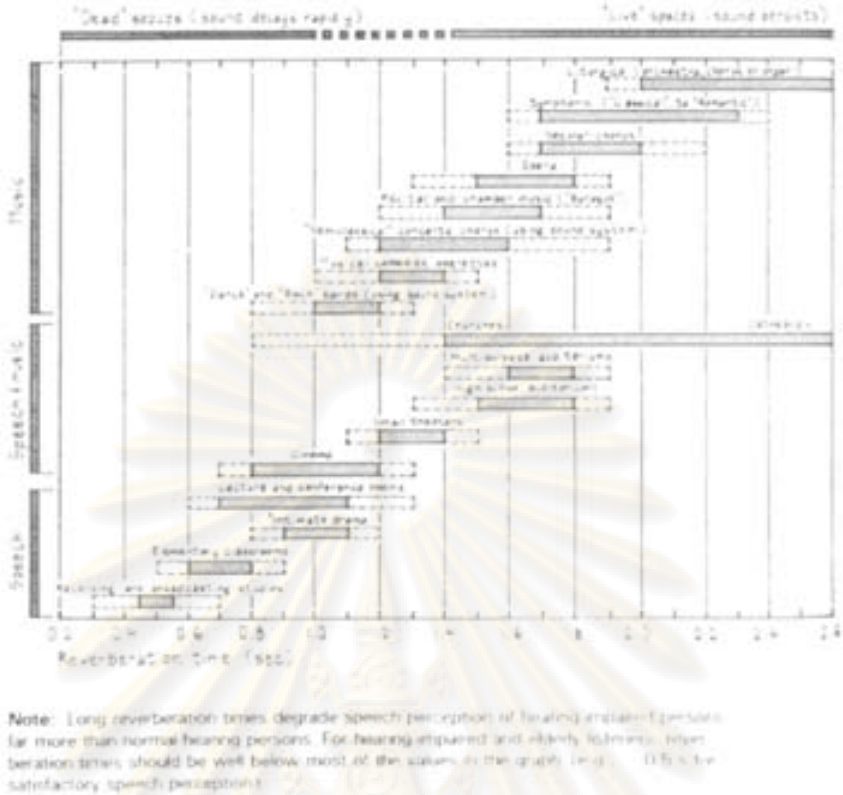
ที่มา: M.David Egan, Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1988:301)

3.3 หลักการในการออกแบบห้องประชุมโดยการควบคุมคุณภาพอะคูสติกส์ และการเดินทางของเสียงภายในห้องประชุม

ในการศึกษาปัจจัยสำคัญในการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี ในส่วนของการควบคุมคุณภาพเสียงภายในห้องประชุมนั้นเพื่อให้ห้องประชุมมีศักยภาพในการควบคุมเสียงภายในควรมีการศึกษา Reverberant Sound หรือเสียงก้อง ที่เกิดขึ้นภายในห้องประชุม ซึ่งการออกแบบรูปร่างของห้องประชุมที่ดีที่ทำให้เกิดการสะท้อนเสียงกลับไปมา และการกำหนดสัดส่วนของห้องที่เหมาะสมจะส่งผลให้ได้ค่า Reverberant Time (RT) ที่เหมาะสม

ในการประเมินค่าเกี่ยวกับ Reverberation Time ภายในห้องประชุม ใช้วิธีศึกษา RT ที่เหมาะสมสำหรับห้องประชุม ที่ศึกษาโดย Russell Johnson (Country of Russell Johnson and Bolet Beranek and Newman, Inc) พบว่าRT ที่เหมาะสมสำหรับห้องประชุม อยู่ระหว่าง 0.7 -1.1 วินาที ดังนั้น การประเมินค่าโดยการกำหนด RT ที่เหมาะสมจึงอ้างอิงค่าของ Russell Johnson เป็นหลัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิ 3.4 แสดงค่า Reverberation Time ที่เหมาะสม สำหรับกิจกรรมต่างๆ

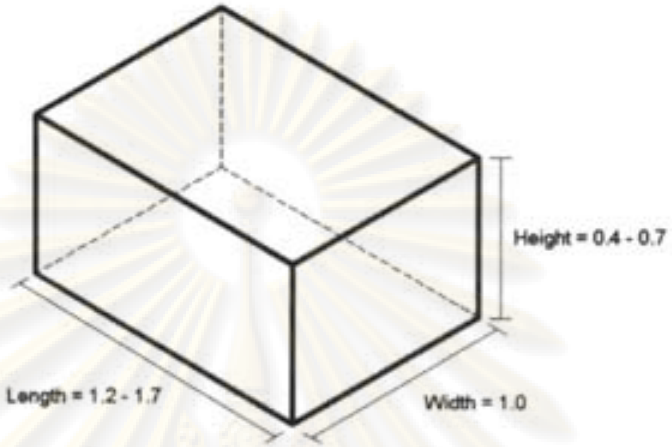
ที่มา: Cavanaugh, William J; and Wikes, Joseph A, Acrhitectural Acoustics: Principles and Practice (New York: John Wiley & Sons, 1998:156)

3.3.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพอะคูสติกส์ และการเดินทางของเสียงภายในห้องประชุม

ในการศึกษาปัจจัยสำคัญในการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี ในส่วนของการควบคุมคุณภาพเสียงภายในห้องประชุมนั้นเพื่อให้ห้องประชุมมีศักยภาพในการควบคุมเสียงภายในควรมีการศึกษา เสียงก้อง ที่เกิดขึ้นภายในห้องประชุม ซึ่งการออกแบบรูปร่างของห้องประชุมที่ดีที่ทำให้เกิดการสะท้อนเสียงกลับไปมา และการกำหนดสัดส่วนของห้องที่เหมาะสมจะส่งผลให้ได้ค่า Reverberant Time (RT) ที่เหมาะสม

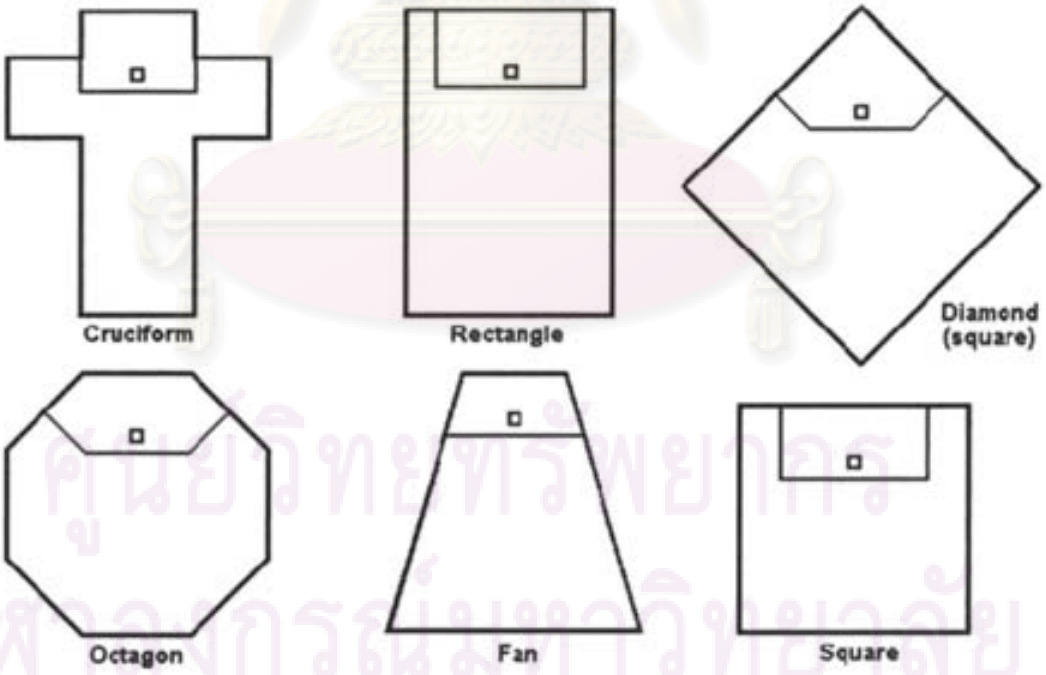
3.3.1.1 รูปร่างของห้องประชุมที่ดีสำหรับการออกแบบเสียงภายในห้องประชุม คือ การทำให้ผนังไม่ขนานกันเพื่อกันการสะท้อนเสียง รูปร่างห้องที่เหมาะสมควรเป็น รูปพัด (Fanshape) ในการออกแบบเพื่อหลีกเลี่ยงการขนานกันของพื้นและฝ้าเพดาน ซึ่งเป็นการทำลายการได้ยินเสียงที่ดี โดยการทำที่นั่งฟังเป็นขั้นบันไดหรือการออกแบบเพดานเป็นส่วนๆ ย่อยจะช่วยในการกระจายเสียงที่สม่ำเสมอ รูปร่างที่ควรหลีกเลี่ยง คือ รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square) รูปวงกลม (Circular) และวงรี (Oval Shape) เพราะพื้นที่โค้งกว้าง (Large

curved area) จะเป็นเขตรวมเสียงเป็นจุด และสัดส่วนของห้องที่เหมาะสมที่สุด (กว้าง:ยาว:สูง) คือ 1: 1.2-1.7 : 0.4-0.7



รูปที่ 3.2 รูปสัดส่วนของห้องประชุมที่เหมาะสม

ที่มา: Michel Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design, (E & FN Spon, and imprint of Chapman & Hall, 1933:48)



รูปที่ 3.3 รูปแบบห้องประชุม

ที่มา: Michel Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design, (E & FN Spon, and imprint of Chapman & Hall, 1933:48).

3.3.1.2 ขนาดของห้องประชุมมีความสัมพันธ์กับค่าความก้องของเสียงในห้องประชุม ดังนั้น ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณ ปริมาตรของห้อง เพื่อเปรียบเทียบหาสัดส่วนของวัสดุดูดซับเสียงของห้อง ในกรณีที่ต้องการแก้ไขปัญหาจากความก้องของเสียง ดังนี้

สมมติฐานกำหนดให้ ทุกด้านเป็นวัสดุ Concrete block, painted ค่าสัมประสิทธิ์ 0.05

1. **ห้องขนาด 8 x 8 x 4 ม.**

$$RT60 = 0.161\ V/A$$

$$RT60 = 0.161 \times \frac{256}{(64 \times 0.05)+(64 \times 0.05)+(128 \times 0.05)}$$

$$RT60 = 0.161 \times 12.8$$

$$RT60 = 2.6\ Sec$$

หากต้องการลดค่า RT60 ให้เหลือ 1.0 Sec โดยสมมติฐานกำหนดให้ใช้วัสดุ Shredded-wood fiberboard, 2 in thick on concrete (mtg. A) ค่าสัมประสิทธิ์ 0.60 เป็นวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงห้อง

$$1.0\ Sec = 0.161 \times \frac{256}{(64 \times 0.05) + (64 \times 0.05) + \{(128X \times 0.6)+(128(1-X)0.05)\}}$$

$$= 0.40$$

สรุปว่า หากต้องการปรับปรุงห้องประชุมขนาดเล็กนี้ให้มีค่า RT ที่เหมาะสม ควรต้องมีผนังฝั่งตรงข้ามผู้บรรยายประมาณร้อยละ 40 ของผนังทั้งหมด ใช้วัสดุซับเสียง ที่มีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (NRC) 0.6 เช่น Shredded-wood fiberboard, 2 in thick on concrete (mtg. A) เป็นต้น

2. **ห้องขนาด 10 x 12 x 4 ม.**

$$RT60 = 0.161\ V/A$$

$$RT60 = 0.161 \times \frac{480}{(120 \times 0.05)+(120 \times 0.05)+(176 \times 0.05)}$$

$$RT60 = 0.161 \times 20.8$$

$$RT60 = 3.35\ Sec$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หากต้องการลดค่า RT60 ให้เหลือ 1.0 Sec โดยสมมติฐานกำหนดให้ใช้วัสดุ Shredded-wood fiberboard, 2 in thick on concrete (mtg. A) ค่าสัมประสิทธิ์ 0.60 เป็นวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงห้อง

$$1.0 \text{ Sec} = 0.161 \times \frac{480}{(120 \times 0.05) + (120 \times 0.05) + \{(176X \times 0.6)+(176(1-X)0.05)\}}$$

$$= 0.58$$

สรุปว่า หากต้องการปรับปรุงห้องประชุมขนาดกลางนี้ให้มีค่า RT ที่เหมาะสม ควรต้องมีผนังฝั่งตรงข้ามผู้บรรยายประมาณร้อยละ 60 ของผนังทั้งหมด ใช้วัสดุซับเสียง ที่มีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (NRC) 0.6 เช่น Shredded-wood fiberboard, 2 in thick on concrete (mtg. A) เป็นต้น

3. **ห้องขนาด** 16 x 25 x 5

$$RT60 = 0.161 V/A$$

$$RT60 = 0.161 \times \frac{2000}{(400 \times 0.05)+(400 \times 0.05)+(410 \times 0.05)}$$

$$RT60 = 0.161 \times$$

$$RT60 = 9.74 \text{ Sec}$$

หากต้องการลดค่า RT60 ให้เหลือ 1.0 Sec โดยสมมติฐานกำหนดให้ใช้วัสดุ Shredded-wood fiberboard, 2 in thick on concrete (mtg. A) ค่าสัมประสิทธิ์ 0.60 เป็นวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงห้อง

$$1.0 \text{ Sec} = 0.161 \times \frac{2000}{(400 \times 0.05) + (400 \times 0.05) + \{(410X \times 0.6)+(410(1-X)0.05)\}}$$

$$= 1.16$$

สรุปว่า หากต้องการปรับปรุงห้องประชุมขนาดใหญ่นี้ให้มีค่า RT ที่เหมาะสม ควรต้องมีผนังฝั่งตรงข้ามผู้บรรยายประมาณร้อยละ 60 ของผนังทั้งหมด ใช้วัสดุซับเสียง ที่มีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (NRC) 0.6 เช่น Shredded-wood fiberboard, 2 in thick on concrete (mtg. A) เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และอีกร้อยละ 60 ให้ทำการแก้ไขปรับปรุงฝ้าเพดานบริเวณ นับตั้งแต่หลังห้องขึ้นมาด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ (NRC) 0.6

3.3.1.2 Reverberation Time, RT การประเมินค่าการควบคุมเสียงภายในห้องประชุมในส่วนของ Reverberation Time, RT โดยใช้ข้อมูลของห้องประชุมกลุ่มตัวอย่าง ที่ได้รวบรวมข้อมูลไว้แล้ว มาทำการคำนวณหาค่า RT โดยใช้สมการของซาบิน ซึ่งมีรายละเอียดในการคำนวณ RT ของห้องประชุมที่เลือกมาเป็นตัวอย่าง ดังนี้

วิธีการคำนวณ RT เริ่มจากการคำนวณเพื่อหาปริมาตรห้อง และค่าการดูดซับเสียงรวมของพื้นผิวภายในห้องประชุมกลุ่มตัวอย่าง

ตาราง 3.5 วัสดุปริมาณพื้นผิวและค่าการดูดซับเสียงของห้องประชุม ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์ แห่งประเทศไทย

ตัวแปรที่มีผลต่อ RT ของห้องประชุม	**ห้องประชุม ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์ แห่งประเทศไทย**	**พื้นที่**	Sound Absorption
Ceiling	Plywood	336 m^2	0.15
	Opening	16 m^2	1.00
Floor	Rubber	138 m^2	0.05
	Wood	22 m^2	0.15
Wall	Wood	64 m^2	0.15
	Plywood	176 m^2	0.15
Door	Steel	6 m^2	0.10
Window	Glass, ordinary window	4.2 m^2	0.15
Seat(300 Seat)	Audience, seated in upholstered seats	118 m^2	0.81

วิธีการคำนวณค่าดูดซับเสียงรวมของพื้นผิวภายในห้องประชุม ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์ แห่งประเทศไทย ขนาดห้องเท่ากับ (กว้างxยาวxสูง) ค่าดูดซับเสียงรวมภายในห้องหาได้จากสูตร

$$A = S1x\alpha 1 + S2x\alpha 2 + S3x\alpha 3, \ldots\ldots\ldots\ldots + Snx\alpha n$$

ตาราง 3.6 คำนวณค่าวัสดุซับเสียงรวมห้องประชุม ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย

Area of Surface, m^2	Absorption Coefficients, α NRC Number	$A = S\alpha$ Sabine, m^2
S1 Ceiling: 256 m^2	$\alpha 1$ = 336 x 0.15	50.4
	= 16 x 0.8	12.8
S2 Floor: 138 m^2	$\alpha 2$ = 138 x 0.05	69
	= 22 x 0.15	3.3
S3 Wall: 234 m^2	$\alpha 3$ = 64 x 0.15	9.6
	= 176 x 0.15	26.4
S4 Door: 6 m^2	$\alpha 4$ = 6 x 0.10	0.6
S5 Window: 4.2 m^2	$\alpha 5$ = 4.2 x 0.15	0.63
S6 Seat: 300 seats(118 m^2)	$\alpha 6$ = 118 x 0.81	95.58
	Total	268.31

การคำนวณค่า RT ห้องประชุม ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย

เมื่อ RT = Reverberation Time (RT), Second

V = ปริมาตรของห้อง, m^3

A = ค่าการดูดซับเสียงรวมของห้อง, (Sabine, m^2)

= $S1\alpha 1 + S2\alpha 2 + S3\alpha 3 + \ldots\ldots\ldots\ldots Sn\alpha n$

แทนค่าสูตร

RT = 0.161 V/A

RT = 0.161 x (22x16x4.5) / 268.31

RT = 0.95 Sec

เมื่อคำนวณโดยการแทนค่าสูตร สูตร พบว่าค่าที่ได้ มีความใกล้เคียงกับการวัดด้วยเครื่อง และค่าที่ได้เหมาะสมกับกิจกรรมของห้อง คือ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.7 -1.1 วินาที ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า RT ที่เหมาะสมนั้น เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร และการดูดซับเสียงโดยรวมของห้อง ซึ่งการดูดซับเสียงโดยรวมนั้น จำเป็นต้องได้รับการออกแบบที่เหมาะสม ในสัดส่วนของวัสดุกรุผิวที่ต้องเลือกใช้วัสดุสะท้อนเสียง วัสดุดูดซับเสียง และกระจายเสียงที่เหมาะสม รวมถึงการกำหนดทิศทางการเดินทางของเสียงที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3.7 วัสดุปริมาณพื้นผิวและค่าการดูดซับเสียงของ หอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดล

ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพเสียงของห้องประชุม	**หอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์**	**พื้นที่**	Sound Absorption
Ceiling	Plywood	96 m²	0.15
	Polyurethane foam	318 m²	0.30
Floor	Rubber	160 m²	0.05
	Wood	77 m²	0.15
Wall	Plywood	493.8m²	0.15
Door	Steel	6 m²	0.10
Window	Glass, ordinary window	4.2 m²	0.15
Seat (353 Seats)	Audience, seated in upholstered seats	139 m²	0.81

วิธีการคำนวณค่าดูดซับเสียงรวมของพื้นผิวภายในหอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยงคศิลป์ ม.มหิดล ขนาดห้องเท่ากับ (กว้างxยาวxสูง) ค่าดูดซับเสียงรวมภายในห้องหาได้จากสูตร

$$A = S1x\alpha 1 + S2x\alpha 2 + S3x\alpha 3, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + Snx\alpha n$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3.8 คำนวณค่าวัสดุซับเสียงรวม หอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดล

Area of Surface, m^2	Absorption Coefficients, α NRC Number	$A = S x \alpha$ Sabinex, m^2
S1 Ceiling: 414 m^2	$\alpha 1$ = 96 x 0.15	14.4
	= 318 x 0.30	95.4
S2 Floor: 420 m^2	$\alpha 2$ = 160 x 0.05	8
	= 77 x 0.15	11.5
S3 Wall: 462 m^2	$\alpha 3$ = 493.8 x 0.15	74.07
S4 Door: 6 m^2	$\alpha 4$ = 6 x 0.10	0.6
S5 Window 4.2 m^2	$\alpha 5$ = 4.2 x 0.15	0.63
S6 Seat (353 Seats)	$\alpha 6$ = 139 x 0.81	112.59
	Total	317.19

การคำนวณค่า RT หอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยงคศิลป์ ม.มหิดล

เมื่อ RT = Reverberation Time (RT), Second

V = ปริมาตรของห้อง, m^3

A = ค่าการดูดซับเสียงรวมของห้อง, (Sabine, m^3)

= $S1\alpha 1 + S2\alpha 2 + S3\alpha 3 + \ldots\ldots\ldots\ldots Sn\alpha n$

แทนค่าสูตร

RT = 0.161 V/A

RT = 0.161 x (18x23x7) / 317.19

RT = 1.47 Sec

เมื่อคำนวณโดยการแทนค่าสูตร สูตร พบว่าค่าที่ได้ มีความใกล้เคียงกับการวัดด้วยเครื่อง และค่าที่ได้นั้นมากกว่า ค่าที่เหมาะสมกับกิจกรรมของห้อง คือ อยู่ในช่วงระหว่าง 0.7 -1.1 วินาที อยู่เล็กน้อย ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า RT ที่เหมาะสมนั้น เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร และการดูดซับเสียงโดยรวมของห้อง ซึ่งการดูดซับเสียงโดยรวมนั้น จำเป็นต้องได้รับการออกแบบที่เหมาะสม ในสัดส่วนของวัสดุกรุผิวที่ต้องเลือกใช้วัสดุสะท้อนเสียง วัสดุดูดซับเสียง และกระจายเสียงที่เหมาะสม รวมถึงการกำหนดทิศทางการเดินทางของเสียงที่เหมาะสม

3.4 การประเมินคุณภาพเสียงที่ดีของห้องประชุม

จากการศึกษาอิทธิพลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี ซึ่งได้ทำการศึกษาตัวแปรต่างๆ ผู้ทำการศึกษาจึงได้นำเอาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี ตัวแปรหลักที่ใช้ในการประเมินแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ รูปร่างลักษณะของห้องประชุม (Shape Form) ค่าความก้องของเสียง (Reverberation Time, RT60) และเกณฑ์ระดับเสียงรบกวน (Noise Criteria, NC), มาประกอบในการประเมินคุณภาพเสียงที่ดีของห้องประชุม

3.4.1 การพิจารณาค่าระดับคะแนนของตัวแปร

3.4.1.1 รูปร่างของห้องประชุม Shape Form ในการพิจารณารูปร่างของห้องประชุมที่ดีสำหรับการออกแบบเสียงภายในห้องประชุม พิจารณาถึงศักยภาพการสะท้อนเสียงของพื้นผิวภายในห้อง จึงใช้รูปร่างของผังพื้นที่เป็นส่วนที่กำหนดรูปทรงของห้องมากำหนดช่วงคะแนนเป็น 5 ระดับ ดังนี้

รูปที่ 3.4 แสดงค่าระดับคะแนนรูปร่างของห้องประชุม

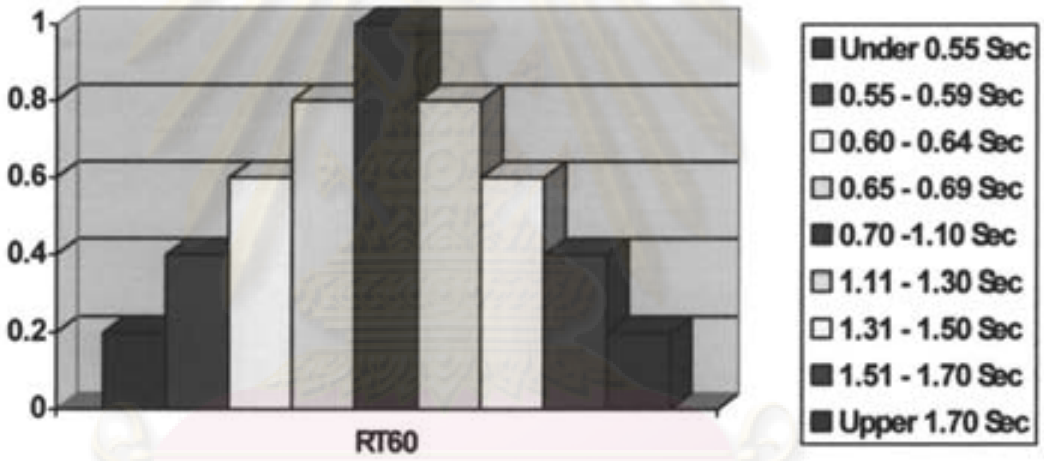
ตาราง 3.9 ค่าระดับคะแนนรูปร่างของห้องประชุม

รูปร่างของห้องประชุม	ค่าระดับ
รูปสี่เหลี่ยมคางหมู และรูปพัด	1
รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	0.8
รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส	0.6
รูปวงรี	0.4
รูปวงกลม	0.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	0.8
รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส	0.6
รูปวงรี	0.4
รูปวงกลม	0.2

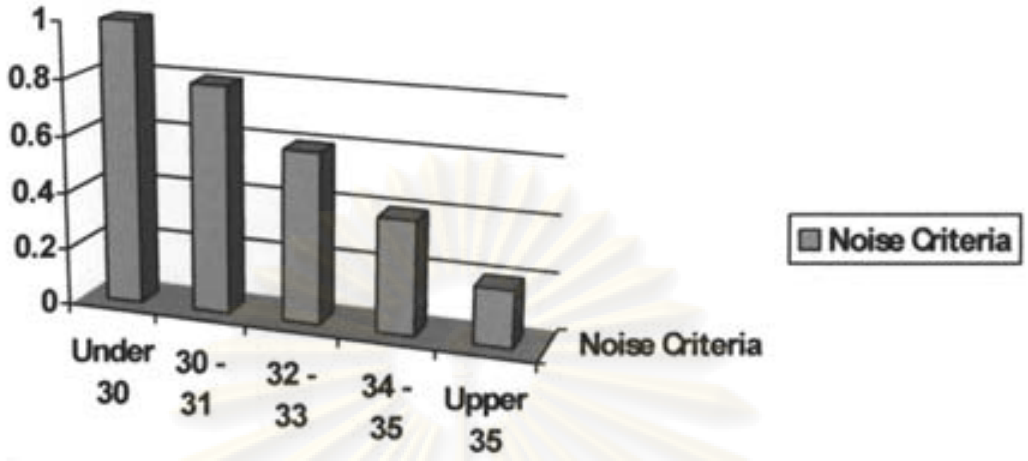
3.4.1.2 ค่าความก้องของเสียง Reverberation Time (RT) ในการประเมินค่าเกี่ยวกับ RT ภายในห้องประชุม ใช้วิธีการศึกษา RT ที่เหมาะสมกับห้องประชุมที่ศึกษาโดย Russell Johnson (Country of Russell Johnson and Bolet Beranek and Newman, Inc) พบว่าRT ที่เหมาะสมสำหรับห้องประชุม อยู่ระหว่าง 0.7 -1.1 วินาที ดังนั้น การประเมินค่าโดยการแบ่งช่วง RT ออกเป็น 5 ระดับ โดยการกำหนดให้ค่า RT ที่ตรงกับ RT ที่เหมาะสมของ Russell Johnson มากที่สุด ได้คะแนนเท่ากับ 1 และค่า RT ที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นจากช่วง RT ที่เหมาะสมนั้นได้คะแนนลดลงตามลำดับ



แผนภูมิ 3.5 แสดงค่าระดับคะแนนค่าความก้องของเสียง

ตาราง 3.10 ค่าระดับคะแนนค่าความก้องของเสียง

การแบ่งช่วง RT	*ค่าระดับ*
RT ตั้งแต่ 0.70 แต่น้อยกว่า 1.1 วินาที	1
RT ตั้งแต่ 0.65 แต่น้อยกว่า 0.7 และ ตั้งแต่ 1.1 แต่น้อยกว่า 1.3 วินาที	0.8
RT ตั้งแต่ 0.60 แต่น้อยกว่า 0.65 และ ตั้งแต่ 1.3 แต่น้อยกว่า 1.5 วินาที	0.6
RT ตั้งแต่ 0.55 แต่น้อยกว่า 0.60 และ ตั้งแต่ 1.5 แต่น้อยกว่า 1.7 วินาที	0.4
RT น้อยกว่า 0.55 และ ตั้งแต่ 1.7 วินาทีขึ้นไป	0.2



แผนภูมิ 3.6 แสดงค่าระดับคะแนนเกณฑ์ระดับเสียง

ตาราง 3.11 ค่าระดับคะแนนเกณฑ์ระดับเสียง

	เกณฑ์ระดับเสียงรบกวน	ค่าระดับ
ระดับที่เหมาะสม	น้อยกว่า 30	1
ระดับรบกวนน้อย	ตั้งแต่ 30 - 31	0.8
ระดับรบกวนปานกลาง	ตั้งแต่ 32 - 33	0.6
ระดับรบกวนมาก	ตั้งแต่ 34 - 35	0.4
ระดับรบกวนที่ใช้ไม่ได้	ตั้งแต่ 36 ขึ้นไป	0.2

3.4.2 การพิจารณาค่าคะแนนของค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพเสียงที่ดีของห้องประชุม

ในการศึกษาเพื่อหาตัวแปรที่ใช้ในการประเมินค่าการออกแบบห้องประชุมที่ส่งผลต่อคุณภาพเสียงที่ดีครั้งนี้ จากการวิเคราะห์ผลการวัดค่าอะคูสติกส์จากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 แห่ง พบว่า อิทธิพลในการควบคุมคุณภาพเสียงมีสัดส่วนของตัวแปรเรียงลำดับตามความสำคัญ ได้แก่ ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบห้องประชุม ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับค่าความก้องของเสียง (RT60) และตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์เสียง (NC)

กำหนดลำดับความสำคัญมากที่สุดในตัวแปรรูปแบบห้องประชุม เนื่องจากหากกำหนดทิศทางการเดินทางของเสียงผิดแล้วจะไม่สามารถทำให้ห้องประชุมมีคุณภาพเสียงที่ดีได้ รวมถึงการกำหนดรูปแบบห้องเป็นการออกแบบตั้งแต่เริ่มต้น ดังนั้น หลังจากสร้างแล้วโอกาสที่จะแก้ไขเป็นไปได้ลำบาก

คุณภาพเสียงมีสัดส่วนของตัวแปรเรียงลำดับตามความสำคัญ ได้แก่ ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบห้องประชุม ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับค่าความก้องของเสียง (RT60) และตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์เสียง (NC)

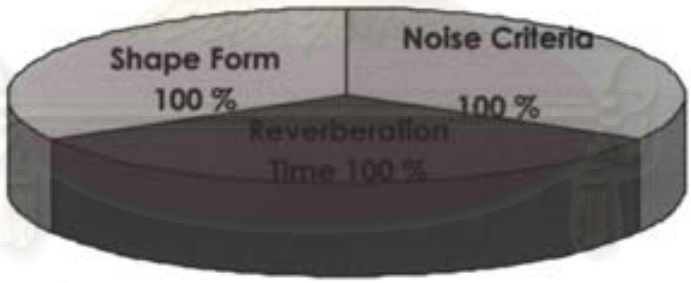
กำหนดลำดับความสำคัญมากที่สุดในตัวแปรรูปแบบห้องประชุม เนื่องจากหากกำหนดทิศทางการเดินทางของเสียงผิดแล้วจะไม่สามารถทำให้ห้องประชุมมีคุณภาพเสียงที่ดีได้ รวมถึงการกำหนดรูปแบบห้องเป็นการออกแบบตั้งแต่เริ่มต้น ดังนั้น หลังจากสร้างแล้วโอกาสที่จะแก้ไขเป็นไปได้ลำบาก

การกำหนดลำดับความสำคัญตัวแปร RT สำคัญในลำดับรองลงมามา เนื่องจากเมื่อสร้างห้องประชุมแล้วเกิดปัญหาเกี่ยวกับเสียงก้อง หรือสะท้อน เราสามารถแก้ไขโดยการปรับเปลี่ยนวัสดุต่างๆ ช่วยได้

และ ลำดับความสำคัญในลำดับสุดท้าย คือ NC เนื่องจาก ห้องประชุมส่วนใหญ่มักจะใช้ระบบขยายเสียงช่วยในการใช้งานอยู่แล้ว การมีเสียงรบกวนที่เพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยจึงไม่เป็นปัญหามากนักสำหรับห้องประชุมที่ใช้ระบบเสียงช่วย แต่ไม่ได้หมายความว่า การมีห้องประชุมที่มีคุณภาพอะคูสสติกส์ที่ดีนั้นจะละเลยเรื่องการควบคุมเสียงรบกวน

จากนั้นจึงหาเกณฑ์ที่เหมาะสมในการประเมินค่าตัวแปรต่างๆ และสร้างระดับที่เป็นตัวชี้วัดถึงคุณภาพเสียงที่ดี โดยแบ่งเป็นเกณฑ์ ที่ดีที่สุด (0.0-3.0)

เพื่อความสะดวกในการศึกษาจึงกำหนดค่าน้ำหนักของตัวแปรที่ ประกอบด้วย ค่าเกณฑ์เสียงที่เหมาะสมกับกิจกรรมต่างๆ (Noise Criteria, NC) ร้อยละ 100 ค่าความก้องของเสียง (Reverberation Time, RT) ร้อยละ 100 และ รูปร่างของห้องประชุม (Shape Form) ร้อยละ 100

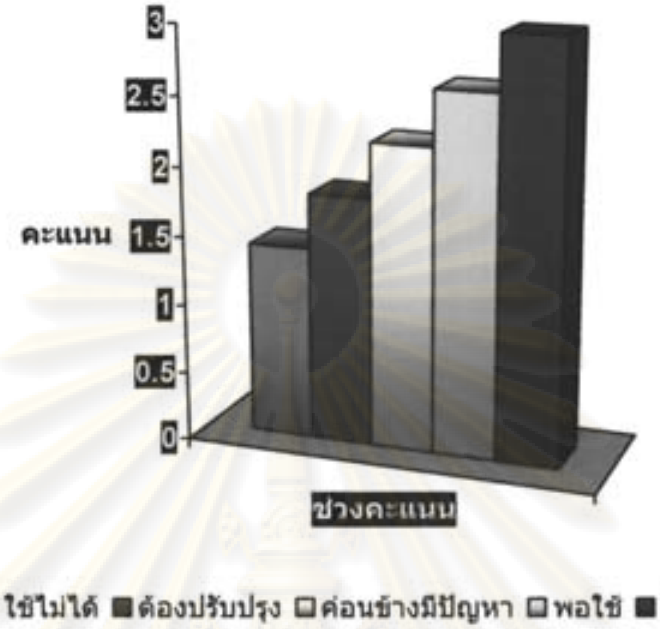


แผนภูมิ 3.7 แสดงการกำหนดค่าน้ำหนักของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการควบคุมเสียงในห้องประชุม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.3 ช่วงคะแนนสำหรับประเมินคุณภาพอะคูสติกส์ของห้องประชุม

ในการพิจารณาถึงคุณภาพอะคูสติกส์ของห้องประชุม ผู้วิจัยได้กำหนดช่วงคะแนนเป็น 5 ระดับ ดังนี้



แผนภูมิ 3.8 แสดงช่วงคะแนนสำหรับประเมินคุณภาพอะคูสติกส์ของห้องประชุม

ตาราง 3.12 ช่วงคะแนนสำหรับประเมินคุณภาพอะคูสติกส์ของห้องประชุม

ช่วงคะแนน	คุณภาพอะคูสติกส์ห้องประชุม
2.61 – 3.00	ดี
2.21 – 2.60	พอใช้
1.81 – 2.20	ค่อนข้างมีปัญหา
1.41 – 1.80	ต้องปรับปรุง
0 - 1.40	ใช้ไม่ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการรวบรวมตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพสียงที่ดี ซึ่งได้ทำการศึกษาเพื่อกำหนดค่าน้ำหนักและค่าระดับของแต่ละกลุ่มตัวแปรต่างๆ ไปแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปคือการศึกษาโดยใช้วิธีการประมวลผลกลุ่มตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดนำมาวิเคราะห์ค่า และสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำมากำหนดเป็นแนวทางในการออกแบบห้องประชุม ตามส่วนต่างๆ ที่สำคัญ

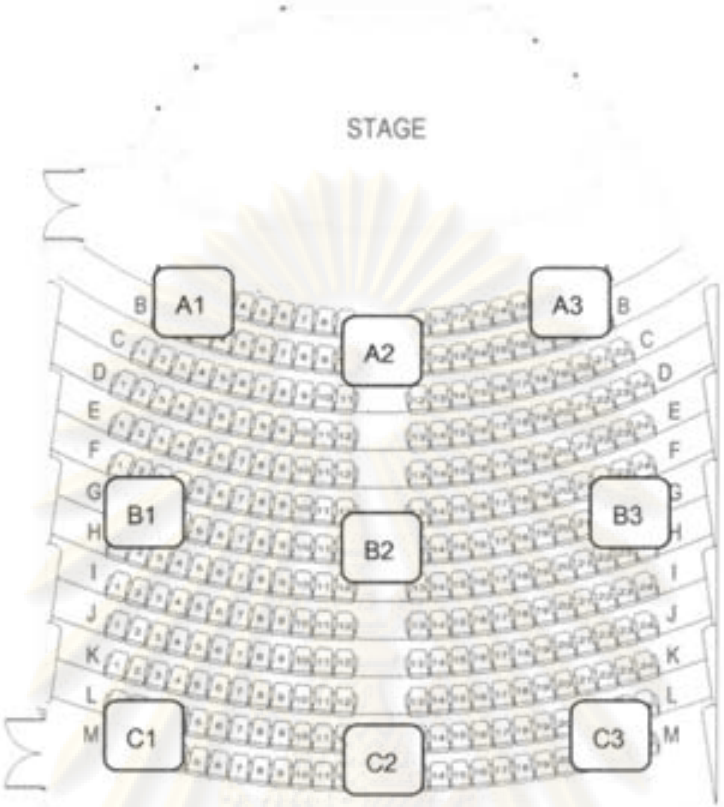
4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลค่าระดับตัวแปรกับห้องประชุม ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย

ข้อมูลห้องประชุม ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย เป็นห้องประชุมที่ใช้ระบบปรับอากาศ ซึ่งมีขนาด (กว้างxยาวxสูง) 22x16x4.5 เป็นห้องประชุมเอนกประสงค์ที่ใช้สำหรับแสดงดนตรี และงานสัมมนา

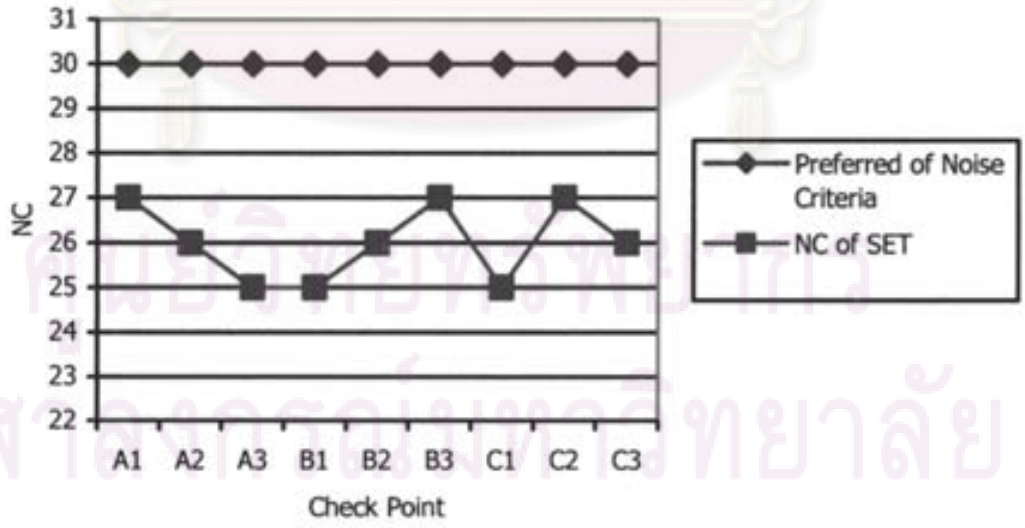
4.1.1.1 ค่าเกณฑ์เสียง Noise Criteria (NC) ทำการวัดด้วยอุปกรณ์วัดเสียง Phonic # PAA3 โดยมีวิธีการวัดค่า ดังนี้

- กำหนดจุดการวัดค่าทั้งหมด 9 จุด
- ติดตั้งอุปกรณ์ และตรวจสอบการทำงาน
- ติดตั้งไมโครโฟน ในระดับหูของผู้ฟัง
- วัดค่า NC และบันทึกผล
- วิเคราะห์ข้อมูล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 แสดงการกำหนดจุดวัด NC ห้องประชุม ศ.สังเวียน



แผนภูมิ4.1 แสดงผลการวัด NC ห้องประชุม ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย เปรียบเทียบกับค่า NC ที่ยอมรับได้

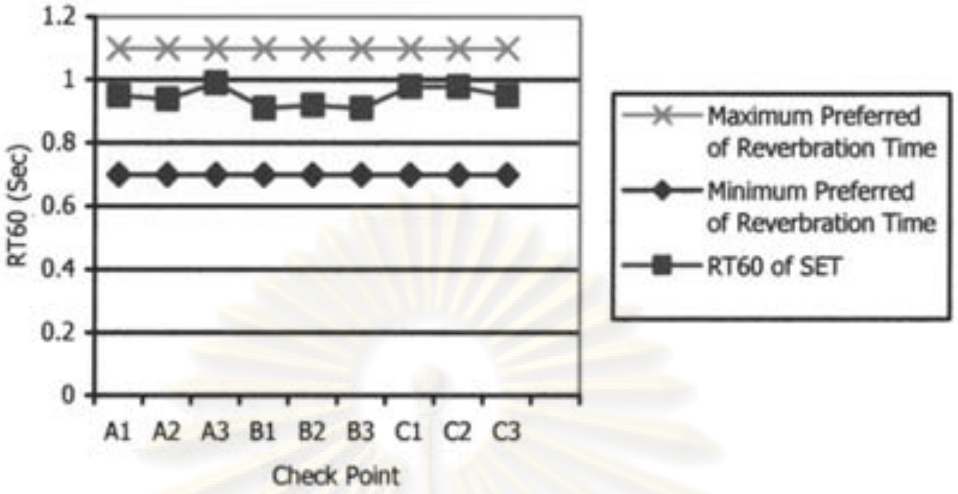
การพิจารณาค่าตัวแปรเกณฑ์เสียงที่วัดได้ NC เฉลี่ยเท่ากับ 26 เป็นระดับที่เหมาะสม กล่าวคือ น้อยกว่า 30 ค่าระดับที่ได้ เท่ากับ 1

4.1.1.2 ค่าความก้องของเสียง Reverberation Time (RT) ทำการวัดด้วย เครื่องมือวัดเสียง SIA-Smaart Acoustic Tools โดยมีวิธีการวัดดังนี้

- กำหนดจุดวัดค่า
- ติดตั้งอุปกรณ์การวัด คือ SIA-Smaart Acoustic Tools และทดสอบการทำงาน
- ตั้งไมโครโฟนบริเวณจุดที่กำหนดไว้ทั้งสิ้น 9 จุด และติดตั้งลำโพง เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดเสียง บริเวณจุดที่ใช้งานจริงบนเวที
- วัดค่า RT และบันทึกผล
- วิเคราะห์ข้อมูล

รูปที่ 4.2 แสดงการกำหนดจุดวัด RT และจุดติดตั้งลำโพง ห้องประชุม ศ.สังเวียน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

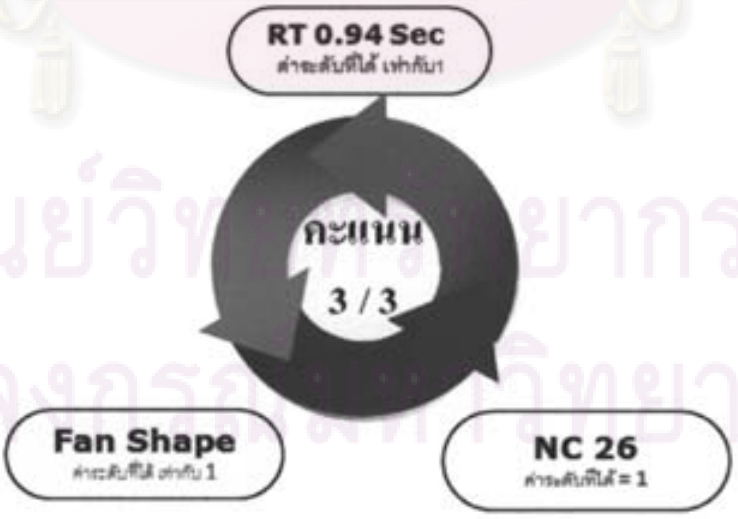


แผนภูมิ 4.2 แสดงผลการวัด RT60 ห้องประชุม ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย เปรียบเทียบกับค่า RT60 ที่ยอมรับได้

การพิจารณาค่าตัวแปรความก้องของเสียง ที่วัดได้ RT60 เฉลี่ยเท่ากับ 0.94 กล่าวคือ RT ตั้งแต่ 0.70 แต่น้อยกว่า 1.1 วินาที ค่าระดับที่ได้ เท่ากับ1

4.1.1.3 รูปร่างของห้องประชุม Shape Form การพิจารณาค่าตัวแปรรูปร่างของห้องประชุม ศ.สังเวียน พบว่า รูปร่างของห้องประชุมมีลักษณะเป็น รูปพัด (Fan Shape) ดังนั้น ค่าระดับที่ได้ เท่ากับ 1

4.1.1.4 การวิเคราะห์ค่าคะแนนรวมค่าระดับตัวแปร ห้องประชุม ศ. สังเวียน



รูปที่ 4.3 การประเมินค่าคุณภาพอะคูสติกส์ของห้องประชุม ศ.สังเวียน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้องประชุม ค.สังเวียน NC มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 หมายความว่า มีค่าระดับที่เหมาะสม และ RT มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 หมายความว่า มีค่าระดับที่เหมาะสม และ Shape Form มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 หมายความว่า มีรูปทรงของห้องประชุมที่เหมาะสม ดังนั้น เมื่อคิดคะแนนโดยรวมเท่ากับ 3 หมายความว่า เป็นห้องประชุมที่มีศักยภาพ และประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก

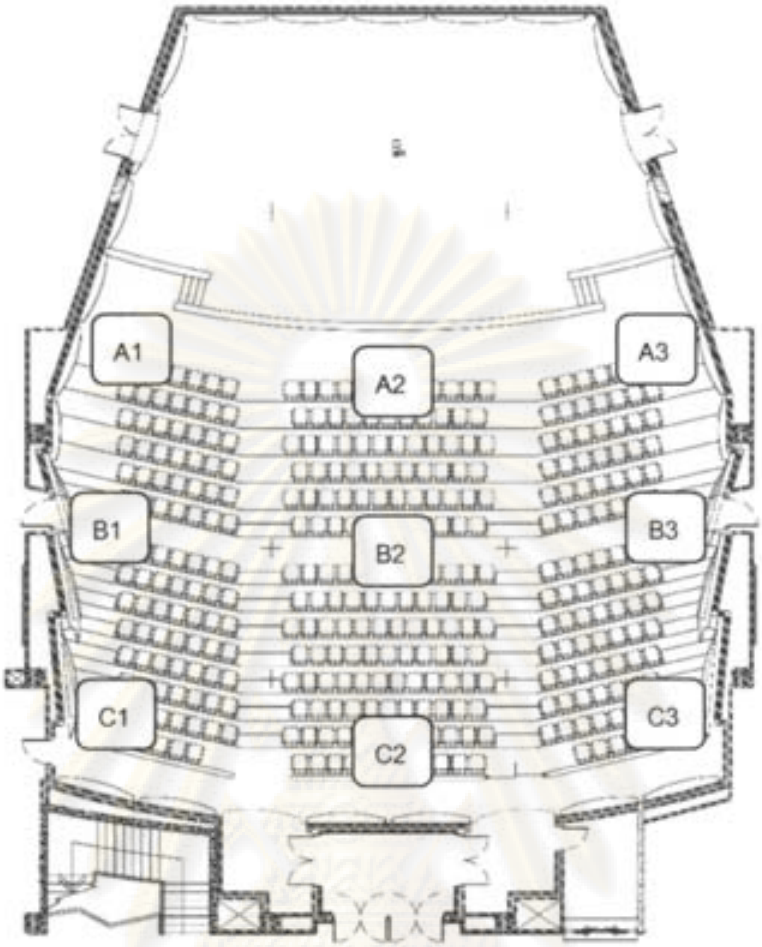
4.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลค่าระดับตัวแปรกับหอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ มหาวิมยาลัยมหิดล

ข้อมูลหอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดล ซึ่งมีขนาด (กว้างxยาวxสูง) 18x23x7 เป็นห้องประชุมเอนกประสงค์ที่ใช้สำหรับแสดงดนตรี

4.1.2.1 ค่าเกณฑ์เสียง Noise Criteria (NC) ทำการวัดด้วยอุปกรณ์วัดเสียง Phonic # PAA3 โดยมีวิธีการวัดค่า ดังนี้

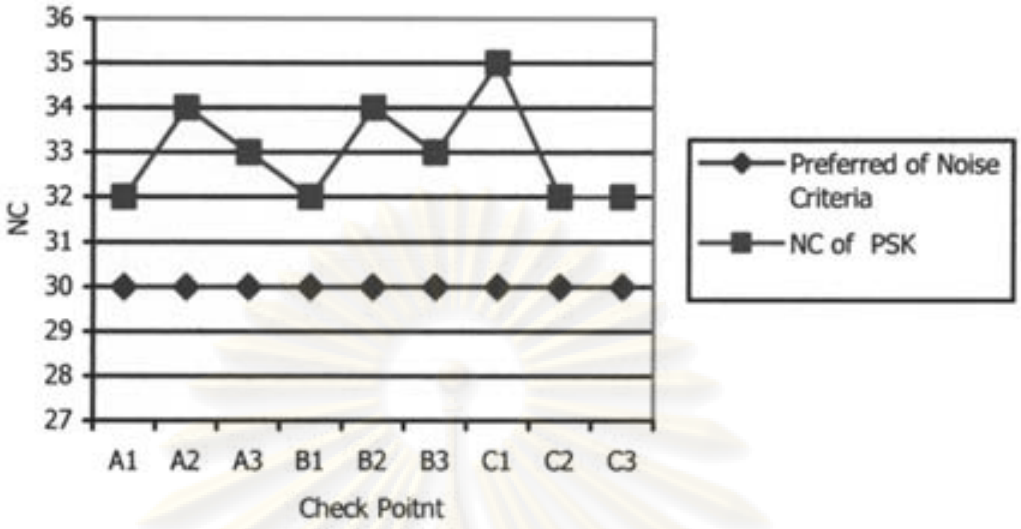
- กำหนดจุดการวัดค่าทั้งหมด 9 จุด
- ติดตั้งอุปกรณ์ และตรวจสอบการทำงาน
- ติดตั้งไมโครโฟน ในระดับหูของผู้ฟัง
- วัดค่า NC และบันทึกผล
- วิเคราะห์ข้อมูล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 แสดงการกำหนดจุดวัด NC หอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิ 4.3 แสดงผลการวัด NC หอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดล

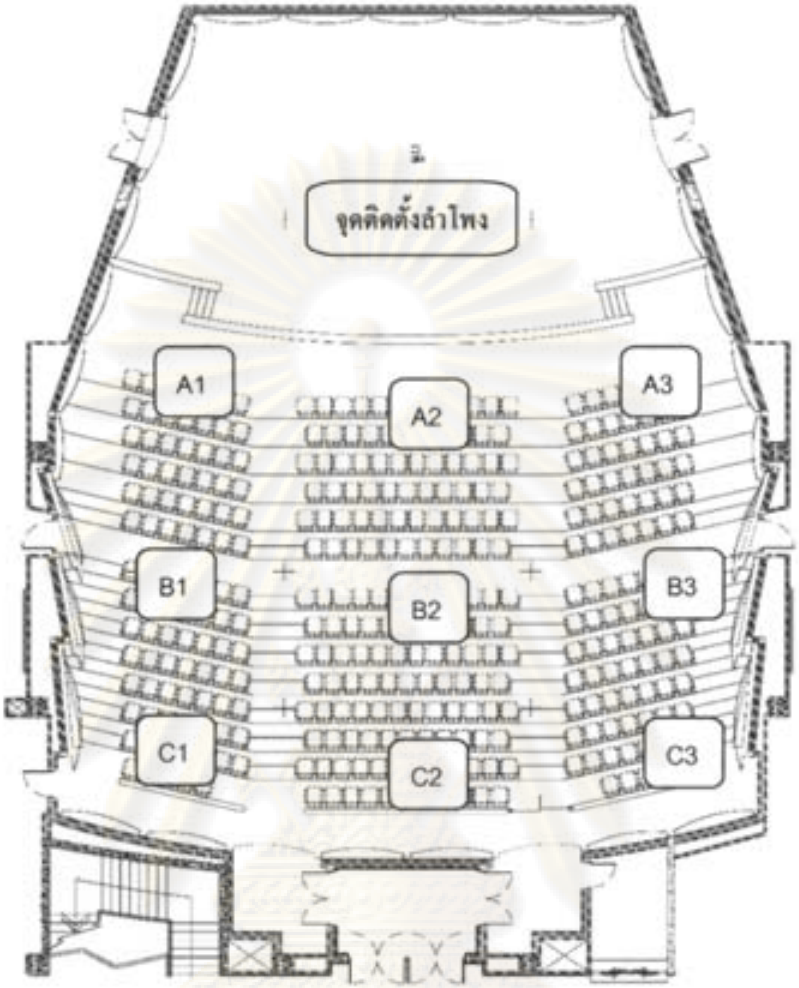
เปรียบเทียบกับค่า NC ที่ยอมรับได้

การพิจารณาค่าตัวแปรเกณฑ์เสียงที่วัดได้ NC เฉลี่ยเท่ากับ 33เป็นระดับที่มีเสียงรบกวนปานกลาง กล่าวคืออยู่ในช่วงตั้งแต่ 32 – 33 ค่าระดับที่ได้ เท่ากับ 0.6

4.1.2.2 ค่าความก้องของเสียง Reverberation Time (RT) ทำการวัดด้วย เครื่องมือวัดเสียง SIA-Smaart Acoustic Tools โดยมีวิธีการวัดดังนี้

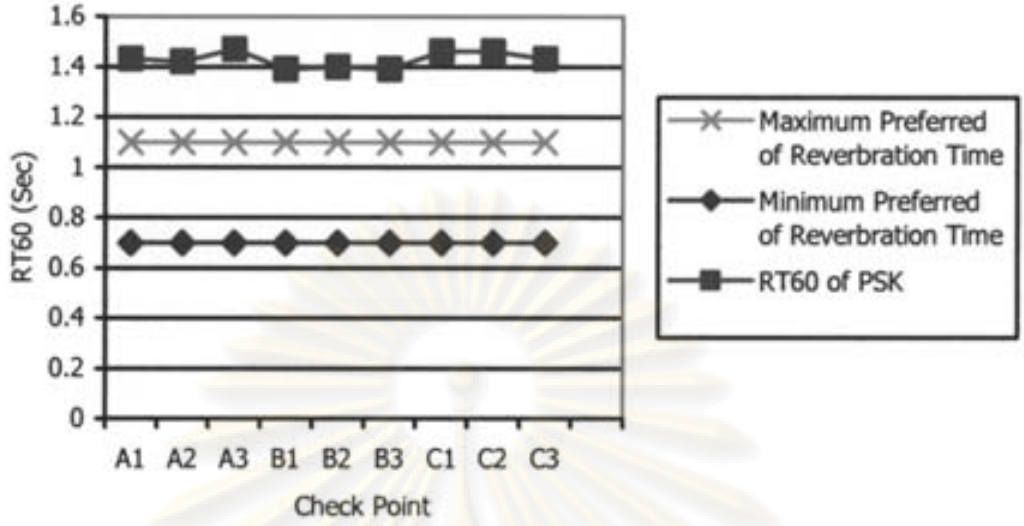
1. กำหนดจุดวัดค่า
2. ติดตั้งอุปกรณ์การวัด คือ SIA-Smaart Acoustic Tools และทดสอบการทำงาน
3. ตั้งไมโครโฟนบริเวณจุดที่กำหนดไว้ทั้งสิ้น 9 จุด และติดตั้งลำโพง เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดเสียงบริเวณจุดที่ใช้งานจริงบนเวที
4. วัดค่า RT และบันทึกผล
5. วิเคราะห์ข้อมูล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 แสดงการกำหนดจุดวัด RT และจุดติดตั้งลำโพง หอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิ 4.4 แสดงผลการวัด RT60 หอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดล

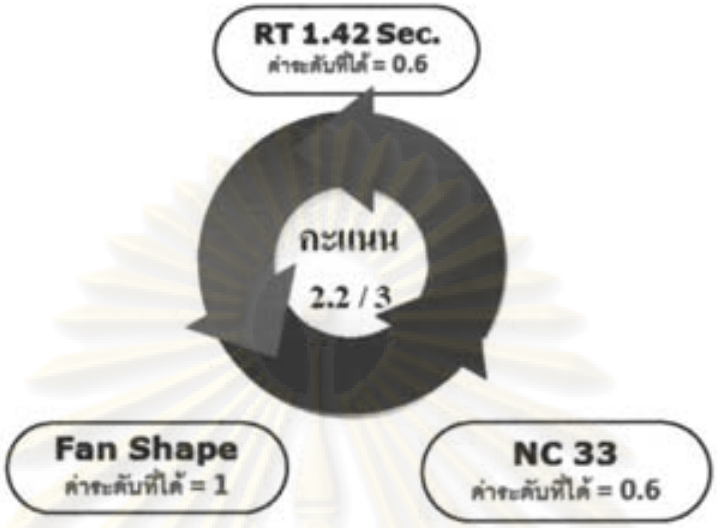
เปรียบเทียบกับค่า RT60 ที่ยอมรับได้

การพิจารณาค่าตัวแปรความก้องของเสียง ที่วัดได้ RT60 เท่ากับ 1.42 กล่าวคือ ตั้งแต่ 1.3 แต่น้อยกว่า 1.5 วินาที ค่าระดับที่ได้ เท่ากับ 0.6

4.1.2.3 รูปร่างของห้องประชุม Shape Form การพิจารณาค่าตัวแปรรูปร่างของหอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดลพบว่า รูปร่างของห้องประชุมมีลักษณะเป็น รูปพัด (Fan Shape) ดังนั้น ค่าระดับที่ได้ เท่ากับ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2.4 การวิเคราะห์ค่าคะแนนรวมค่าระดับตัวแปรหอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ ม.มหิดล



รูปที่ 4.6 การประเมินค่าคุณภาพอะคูสติกส์ของหอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์

หอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ NC มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.6 หมายความว่า มีค่าระดับเกณฑ์เสียงรบกวนในระดับดัง และ RT มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.6 หมายความว่า มีค่าระดับค่าความก้องกังวานที่มาก และ Shape Form มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 หมายความว่า มีรูปทรงของห้องประชุมที่เหมาะสม ดังนั้น เมื่อคิดคะแนนโดยรวมเท่ากับ 2.20 หมายความว่า เป็นห้องประชุมที่มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับพอใช้เท่านั้น

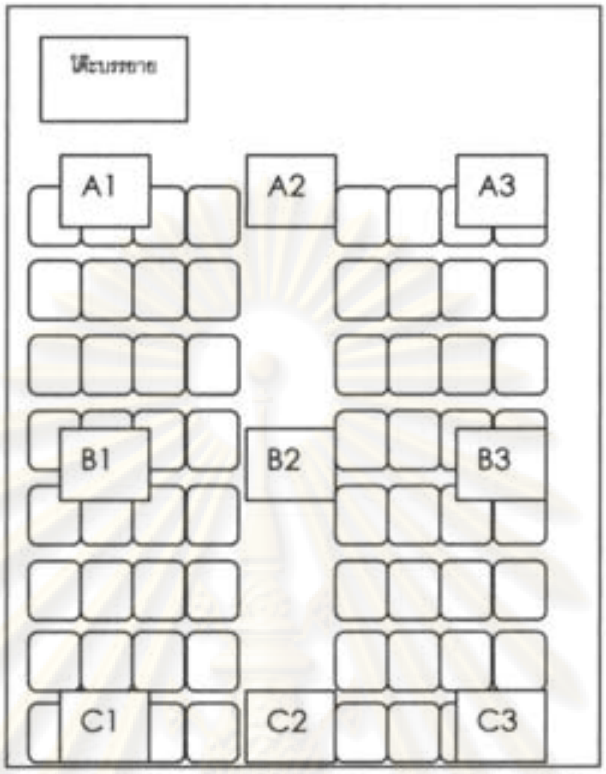
4.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลค่าระดับตัวแปรกับห้องบรรยาย 208 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลห้องบรรยาย 208 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นห้องสำหรับบรรยาย โดยใช้เครื่องขยายเสียง

4.1.3.1 ค่าเกณฑ์เสียง Noise Criteria (NC) ทำการวัดด้วยอุปกรณ์วัดเสียง Phonic # PAA3 โดยมีวิธีการวัดค่า ดังนี้

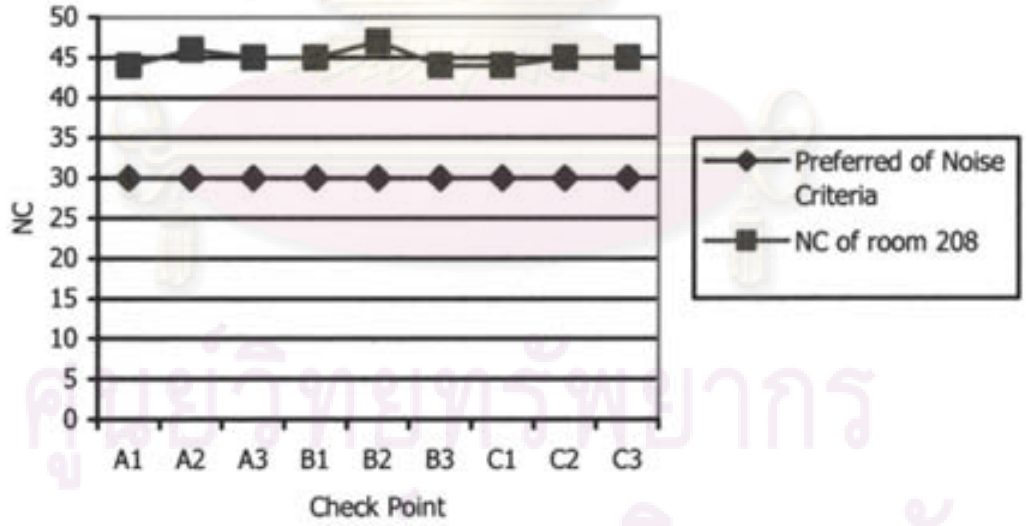
- กำหนดจุดการวัดค่าทั้งหมด 9 จุด
- ติดตั้งอุปกรณ์ และตรวจสอบการทำงาน
- ติดตั้งไมโครโฟน ในระดับหูของผู้ฟัง
- วัดค่า NC และบันทึกผล
- วิเคราะห์ข้อมูล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 แสดงการกำหนดจุดวัด NC ห้องบรรยาย 208 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิ 4.5 แสดงผลการวัด NC ห้องบรรยาย 209 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

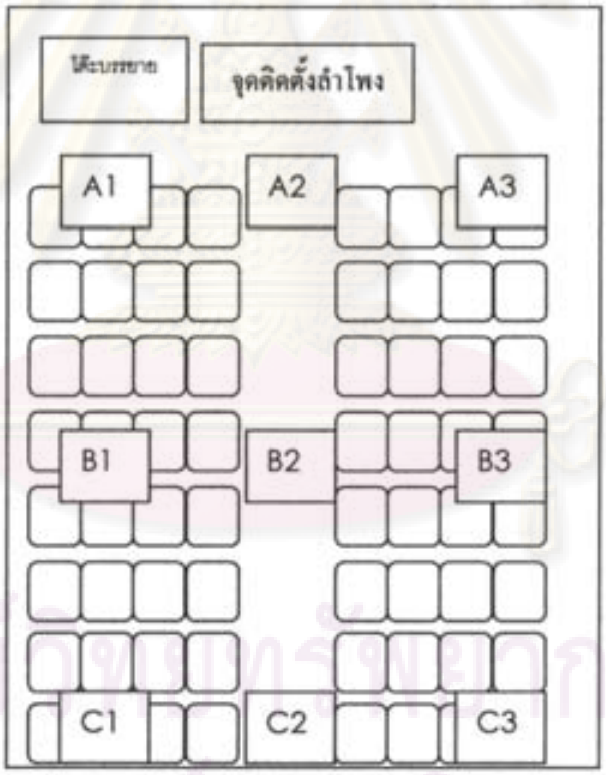
เปรียบเทียบกับค่า NC ที่ยอมรับได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพิจารณาค่าตัวแปรเกณฑ์เสียงที่วัดได้ NC ฉลี่ยเท่ากับ 45 เป็นระดับที่มีเสียงรบกวนที่ใช้ไม่ได้ กล่าวคืออยู่ในเกณฑ์ตั้งแต่ 36 ขึ้นไป ค่าระดับที่ได้ เท่ากับ 0.2

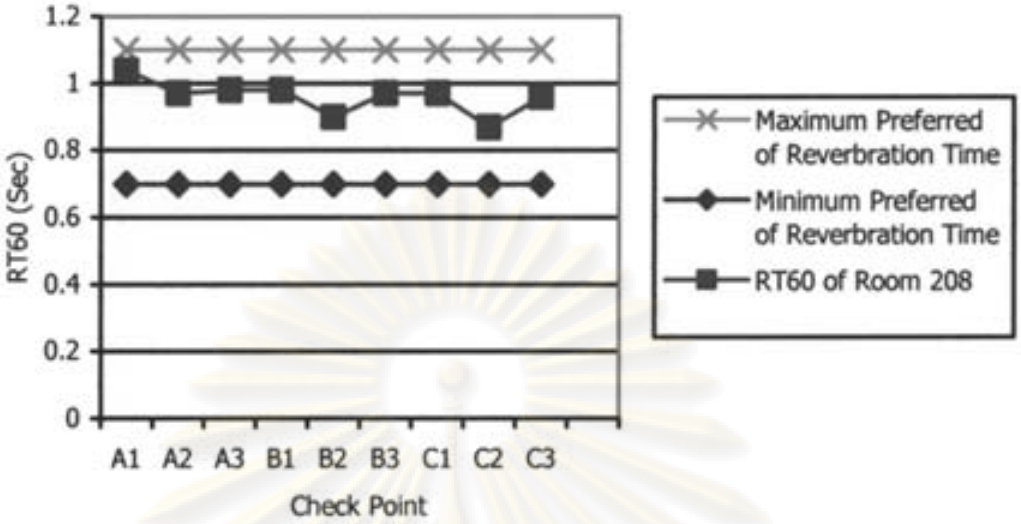
4.1.3.2 ค่าความก้องของเสียง Reverberation Time (RT) ทำการวัดด้วย เครื่องมือวัดเสียง SIA-Smaart Acoustic Tools โดยมีวิธีการวัดดังนี้

1. กำหนดจุดวัดค่า
2. ติดตั้งอุปกรณ์การวัด คือ SIA-Smaart Acoustic Tools และทดสอบการทำงาน
3. ตั้งไมโครโฟนบริเวณจุดที่กำหนดไว้ทั้งสิ้น 9 จุด และติดตั้งลำโพง เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดเสียงบริเวณจุดที่ใช้งานจริงบนเวที
4. วัดค่า RT และบันทึกผล
5. วิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 4.8 แสดงการกำหนดจุดวัด RT และจุดติดตั้งลำโพง ห้องบรรยาย 208 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



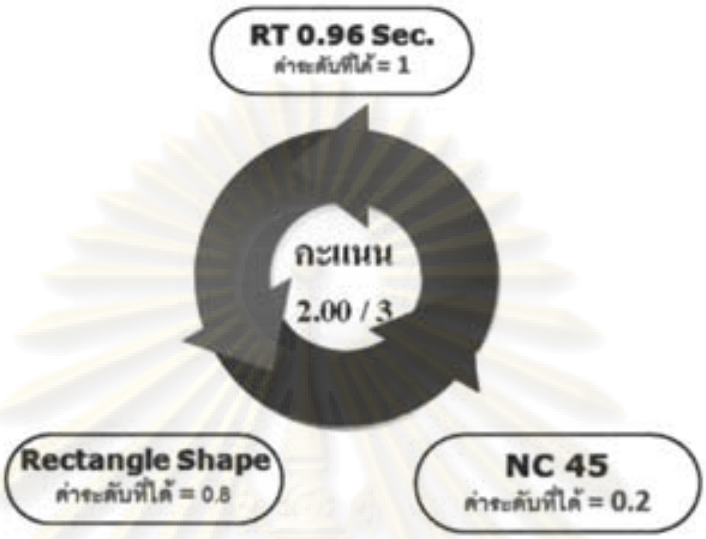
แผนภูมิ 4.6 แสดงผลการวัด RT60 ห้องบรรยาย 208 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เปรียบเทียบกับค่า RT60 ที่ยอมรับได้

การพิจารณาค่าตัวแปรความก้องของเสียง ที่วัดได้ RT60 เท่ากับ 0.96 กล่าวคือ RT ตั้งแต่ 0.70 แต่น้อยกว่า 1.1 วินาที ค่าระดับที่ได้ เท่ากับ 1

4.1.3.3 รูปร่างของห้องประชุม Shape Form การพิจารณาค่าตัวแปรรูปร่างของพบว่า รูปร่างของห้องบรรยาย 208 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีลักษณะเป็น รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังนั้น ค่าระดับที่ได้ เท่ากับ 0.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3.4 การวิเคราะห์ค่าคะแนนรวมค่าระดับตัวแปร ห้องบรรยาย 209 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 การประเมินค่าคุณภาพอะคูสติกส์ของห้องบรรยาย 208 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้องบรรยาย 208 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย NC มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.2 หมายความว่า มีค่าระดับเกณฑ์เสียงรบกวนในระดับที่ใช้ไม่ได้ และ RT มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 หมายความว่า มีค่าระดับค่าความก้องกังวานที่เหมาะสม และ Shape Form มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 08 หมายความว่า มีรูปทรงของห้องประชุมที่พอใช้ ดังนั้น เมื่อคิดคะแนนโดยรวมเท่ากับ 2.00 หมายความว่า เป็นห้องประชุมที่มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับค่อนข้างมีปัญหา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

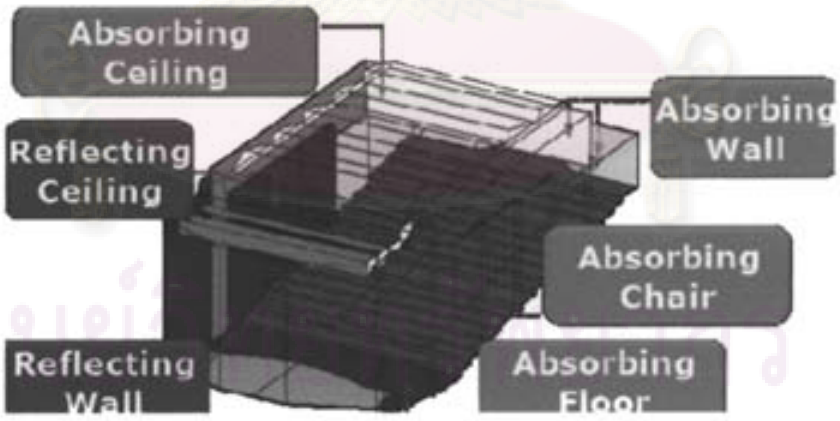
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

5.1.1 หลักการในการออกแบบห้องประชุม

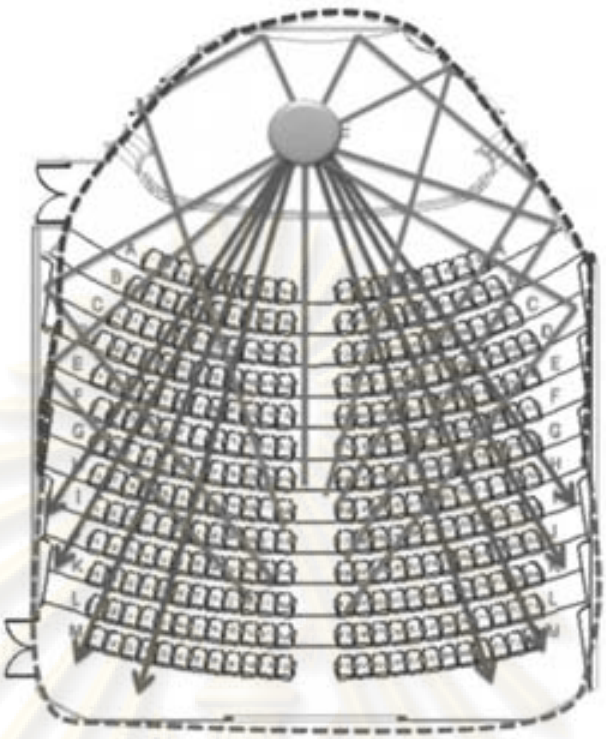
5.1.1.1 การเลือกรูปแบบของห้องประชุม รูปร่างห้องที่เหมาะสมควรเป็น รูปพัด(Fanshape) เนื่องจากลักษณะของห้อง ผนังจะไม่ขนานกันเพื่อลดการสะท้อนเสียง ในการออกแบบควรหลีกเลี่ยงการขนานกันของพื้นและฝ้าเพดาน ซึ่งเป็นการทำลายการได้ยินเสียงที่ดี โดยการทำที่นั่งฟังเป็นขั้นบันไดหรือการออกแบบเพดานเป็นส่วนๆ ย่อยจะช่วยในการกระจายเสียงที่สม่ำเสมอ รูปร่างที่ควรหลีกเลี่ยง คือ รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square) รูปวงกลม (Circular) และวงรี (Oval Shape) เพราะพื้นที่โค้งกว้าง (Large curved area) จะเป็นเขตรวมเสียงเป็นจุด

5.1.1.2 การออกแบบทิศทางการกระจายของเสียง และดูดซับเสียง ภายในห้องประชุม โดยใช้วัสดุที่แตกต่างกันในการช่วยการกระจาย และดูดซับเสียง โดย 2 ใน 3 ส่วนด้านหน้าของห้องประชุมจะเป็นพื้นที่สะท้อนเสียงเสียงโดยมุมสะท้อนจะเข้าหาบริเวณกลางห้องประชุม และอีก 1 ใน 3 ส่วนด้านท้ายของห้องประชุมจะเป็นพื้นที่ดูดซับเสียงเพื่อป้องกันไม่ให้เสียงสะท้อนกลับเข้ามาอีก



รูปที่ 5.1 แสดงการกำหนดทิศทางการกระจายเสียงด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 แสดงทิศทาง และพื้นที่ การสะท้อน และดูดซับเสียง

รูปที่ 5.3 ภาพแสดงทิศทางการกระจาย และดูดซับเสียง

5.1.1.3 ออกแบบโดยควบคุมเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก และภายในห้องประชุม สำหรับเสียงรบกวนจากภายนอกนั้น นอกเหนือจากการออกแบบเปลือกอาคารเพื่อเป็นฉนวนกันเสียงแล้วนั้น พบว่าระยะทางในการส่งผ่านของเสียงก่อนถึงห้องประชุมมีความสัมพันธ์กับระดับของเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นได้ ระยะทางดังกล่าวทำให้เกิดการดูดซับเสียงและสะท้อนเสียง ที่ส่งผ่านแผงกั้นเสียง ต้นไม้ที่มีพุ่มเป็นบริเวณกว้าง หรือสนามหญ้า ฯลฯ จากอิทธิพลของสภาพแวดล้อมบริเวณห้องประชุมต่างๆ ที่กล่าวมานั้นสามารถลดระดับเสียงรบกวนได้มากถึง +/-15 เดซิเบล (Cowan, James, 2000:48) และยังสามารถสร้างองค์ประกอบที่สวยงามอื่นๆ ให้กับพื้นที่ห้องประชุมได้ ส่วนเสียงรบกวน

ภายในห้องประชุม ให้ควบคุมระดับเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากระบบปรับอากาศอาคาร และเครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ในห้องประชุมให้เหมาะสม

5.1.1.4 หลักการในการออกแบบห้องประชุมสำหรับกิจกรรมบรรยายที่ใช้เครื่องขยายเสียงและไม่ใช้เครื่องขยายเสียง หลักการโดยทั่วไปไม่แตกต่างจากข้อเสนอแนะในข้างต้น 5.1.1.3 หากแต่ยินยอมให้ระดับ NC ที่ยอมรับได้อยู่ในระดับ 30 – 35 ที่ระดับเสียง 38 -42 dBA (M.David Egan, Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1988:233)

5.1.2 หลักการในการประเมินผล

จากการศึกษาทฤษฎีและเทคนิคต่าง ๆ ในการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี สามารถจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพเสียงของห้องประชุม ผู้วิจัยจึงได้สรุปเป็นรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

5.1.2.1 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการควบคุมคุณภาพอะคูสติกส์ และการเดินทางของเสียงภายในห้องประชุม เรียงลำดับตามความสำคัญ ดังนี้

ความสำคัญลำดับที่ 1 รูปร่างของห้องประชุม (Shape Form)

ความสำคัญลำดับที่ 2 Reverberation Time (RT60)

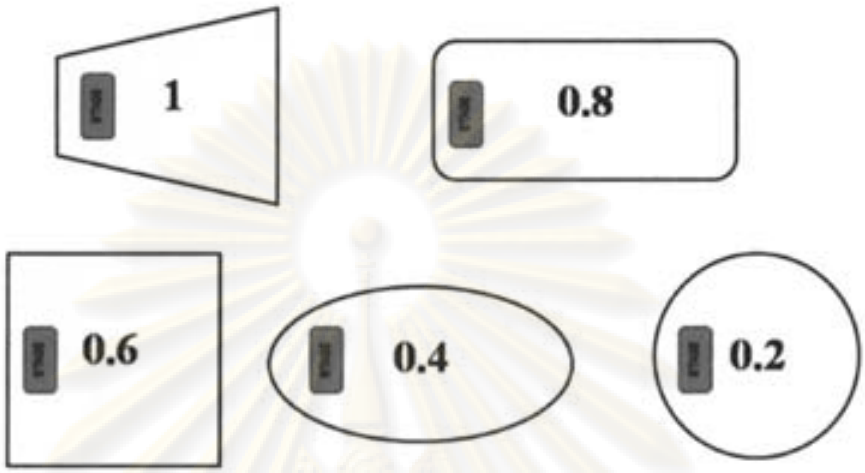
ความสำคัญลำดับที่ 3 Noise Criteria (NC)

5.1.2.2 จากการศึกษาอิทธิพลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี ซึ่งได้ทำการศึกษาตัวแปรต่างๆ ผู้ทำการศึกษาจึงได้นำเอาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดี ได้แก่ ค่าเกณฑ์เสียงที่เหมาะสมกับกิจกรรมต่างๆ (Noise Criteria, NC), ค่าความก้องของเสียง (Reverberation Time, RT) และ รูปร่างของห้องประชุม (Shape Form) มาประกอบในการประเมินคุณภาพเสียงที่ดีของห้องประชุม ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

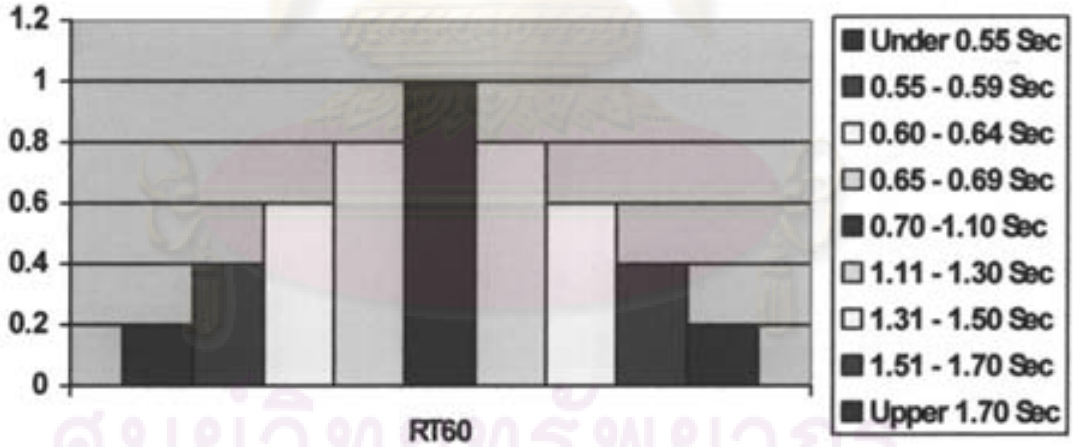
การพิจารณาค่าระดับของตัวแปร

ตัวแปรที่ 1 รูปร่างของห้องประชุม



รูปที่ 5.4 แสดงค่าระดับคะแนนรูปร่างของห้องประชุม

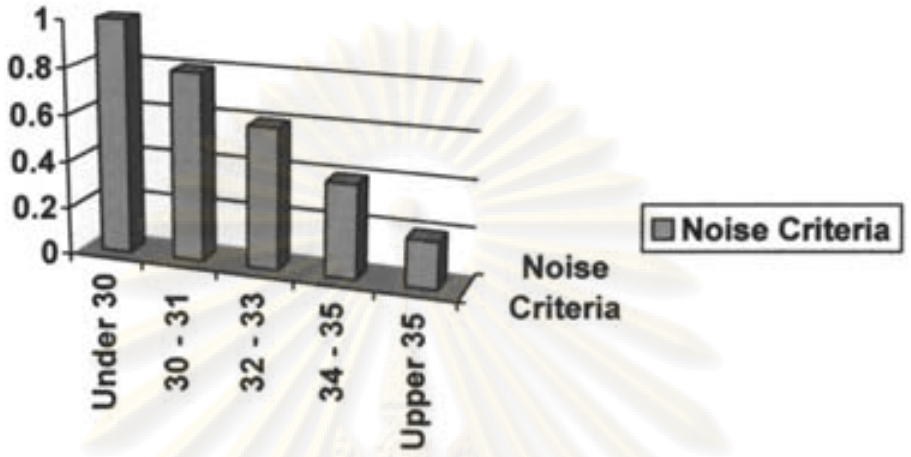
ตัวแปรที่ 2 ค่าความก้องของเสียง



แผนภูมิ 5.1 แสดงค่าระดับคะแนนค่าความก้องของเสียง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

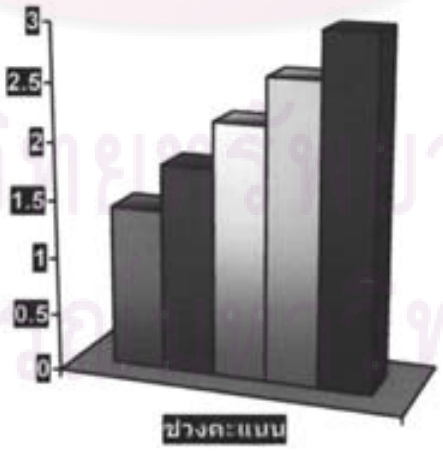
ตัวแปรที่ 3 เกณฑ์ระดับเสียงรบกวน



แผนภูมิ 5.2 แสดงค่าระดับคะแนนเกณฑ์ระดับเสียง

5.1.2.3 ในการศึกษาเพื่อหาตัวแปรที่ใช้ในการประเมินค่าการออกแบบห้องประชุมที่ส่งผลต่อคุณภาพเสียงที่ดีครั้งนี้ จากการวิเคราะห์ผลการวัดค่าอะคูสติกส์ พบว่า อิทธิพลในการควบคุมคุณภาพเสียงมีสัดส่วนของตัวแปรเรียงลำดับตามความสำคัญ ได้แก่ ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบห้องประชุม ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับค่าความก้องของเสียง (RT60) และตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์เสียง (NC) จากนั้นจึงหาเกณฑ์ที่เหมาะสมในการประเมินค่าตัวแปรต่างๆ และสร้างระดับที่เป็นตัวชี้วัดถึงคุณภาพเสียงที่ดี โดยแบ่งเป็นเกณฑ์ ที่ดีที่สุด (0.0-3.0)

ช่วงคะแนนสำหรับประเมินคุณภาพอะคูสติกส์ของห้องประชุม



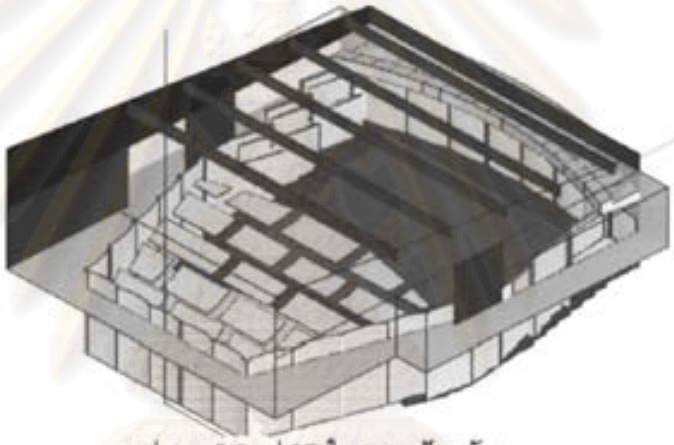
แผนภูมิ 5.3 แสดงช่วงคะแนนสำหรับประเมินคุณภาพอะคูสติกส์ของห้องประชุม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

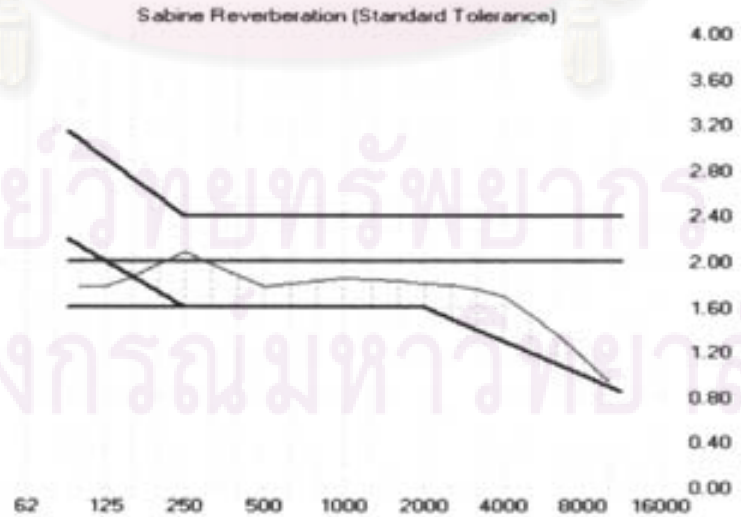
5.1.3 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง

ห้องประชุมที่ได้ทำการวัดประเมินผล ประกอบด้วย 2 ตัวอย่าง แต่ตัวอย่างที่มีคุณภาพเสียงด้อยกว่า คือ หอแสดงดนตรีวิทยาลัยดุริยางคศิลป์ มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งมีปัญหาในส่วนของเสียงรบกวน และเสียงก้อง โดยการปรับลดเสียงรบกวนที่อยู่ในระดับเกณฑ์รบกวนปานกลาง สามารถดำเนินการตามแนวทางที่กำหนดในหมวดของการควบคุมเสียงรบกวนจากระบบปรับอากาศได้ แต่เสียงก้องกังวานจะต้องทำการแก้ไขวัสดุกรุผิวห้อง โดยมีแนวทางดังนี้

จากการกำหนดเกณฑ์ในการประเมินผลห้องประชุมที่ดี และผลการวัดสภาพหน้างานในกลุ่มตัวอย่างที่มีสภาพของปัญหาด้านความก้องกังวานของเสียง ได้ดำเนินการคำนวณค่าความก้องกังวานด้วยโปรแกรม EASE 3.0 ใหม่ โดยทดสอบใช้วัสดุในแนวผนังหลังคนดูผนังแบบดูดซับเสียง โดยติดตั้งผ้าม่านขนาด 18oz/y^2 ซึ่งการทดสอบการคำนวณดังกล่าว ได้ผลดังนี้



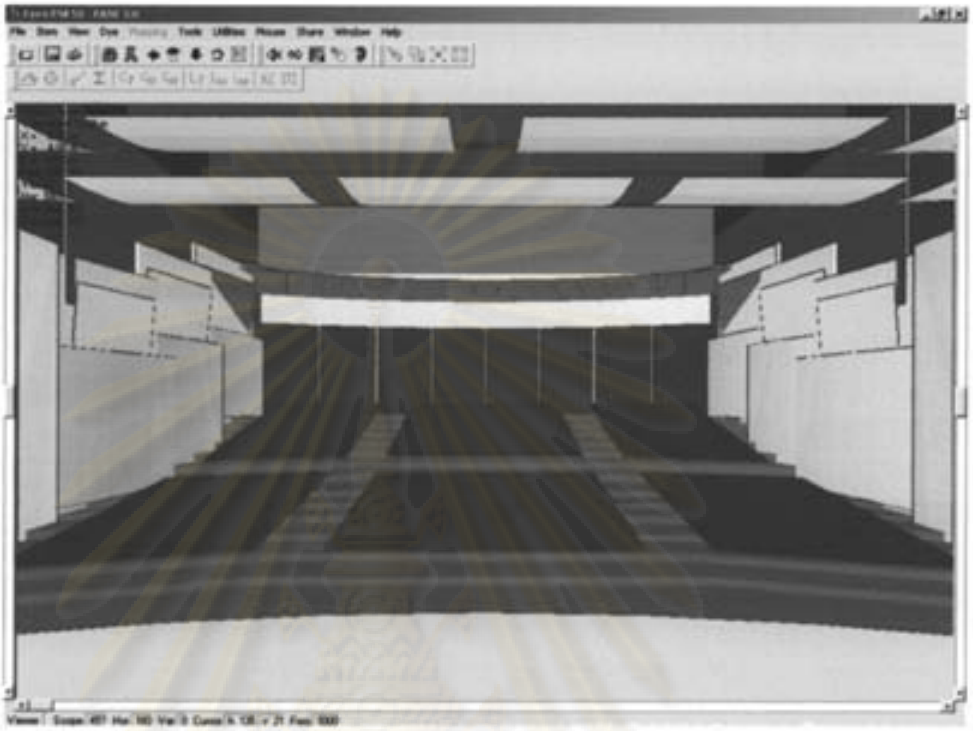
รูปภาพ 5.5 รูป 3D ในสภาพปัจจุบัน



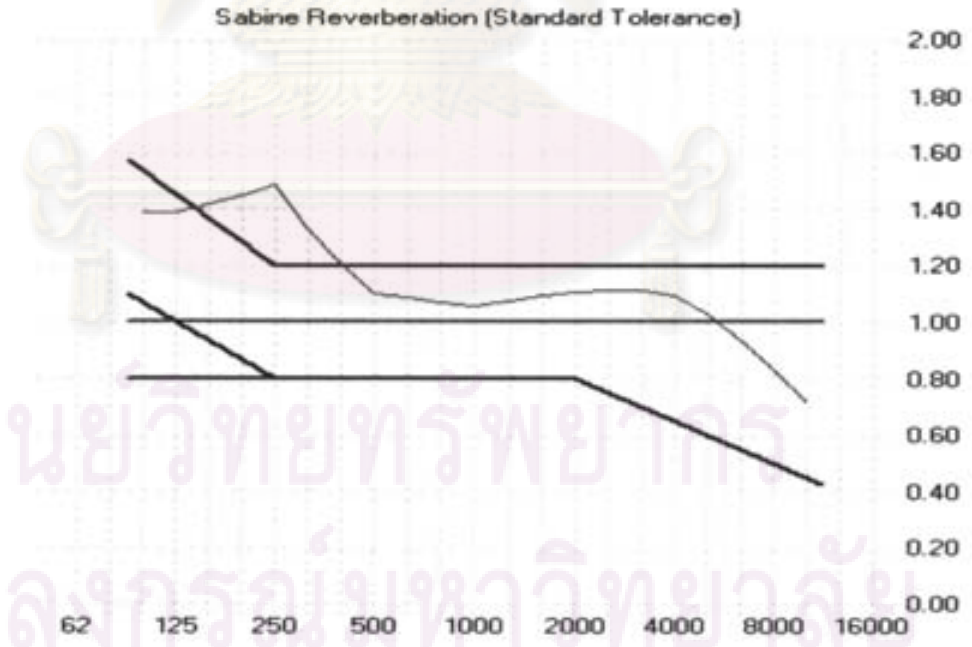
แผนภูมิ 5.4 แสดงค่าความก้องกังวานในสภาพปัจจุบัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.3.1 แนวทางการแก้ปัญหา โดยการเปลี่ยนแนวผนังโค้งด้านหลังเป็นวัสดุดูดซับเสียง



รูปที่ 5.6 รูป 3D ในสภาพแก้ไขผนังด้านหลังแบบซับเสียง



แผนภูมิ 5.5 กราฟแสดงค่าความก้องกังวานจากโปรแกรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

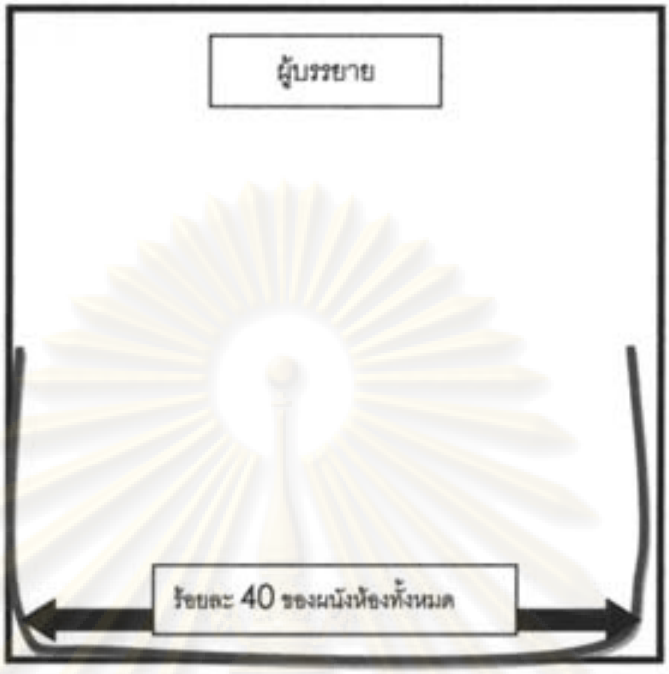
ค่าความกังวานลดลงจาก 2.0 วินาที เหลือ 1.1 วินาที ถือว่าเป็นค่าที่ลดลงเริ่มต้นอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ดีสำหรับการพูด แต่สำหรับเสียงดนตรีก็ถือว่าพอใช้

5.1.3.2 เมื่อนำตัวแปรสำหรับประเมินคุณภาพเสียงไปทดสอบประเมิน ห้องบรรยาย 208 ซึ่งเป็นห้องบรรยายทั่วไป สำหรับคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ พบว่า ห้องบรรยาย 208 ได้ค่าคะแนนเท่ากับ 2.00 เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าคะแนนของแต่ละกลุ่มตัวแปรเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุง พบว่า มีปัญหาจาก NC ซึ่งอยู่ในระดับที่ใช้ไม่ได้ ดังนั้น ควรปรับปรุงระบบปรับอากาศภายในห้อง เนื่องจากพบว่าเป็นแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนภายในห้อง และอุดรอยรั่วซึมของเสียงตามจุดต่างๆ เพื่อเพิ่มความเป็นฉนวนกันเสียงให้กับผนัง

5.1.3.3 การทดสอบประเมินเพื่อวิเคราะห์แนวทางการแก้ไขปัญหาสำหรับห้องเรียน โรงเรียนพูลเจริญ ซึ่งตั้งอยู่ที่ 16 ม.1 ถ.บางนา-ตราด กม.16 ต.บางโฉลง อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ จากการแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาขณะมีการสอบวิทยานิพนธ์

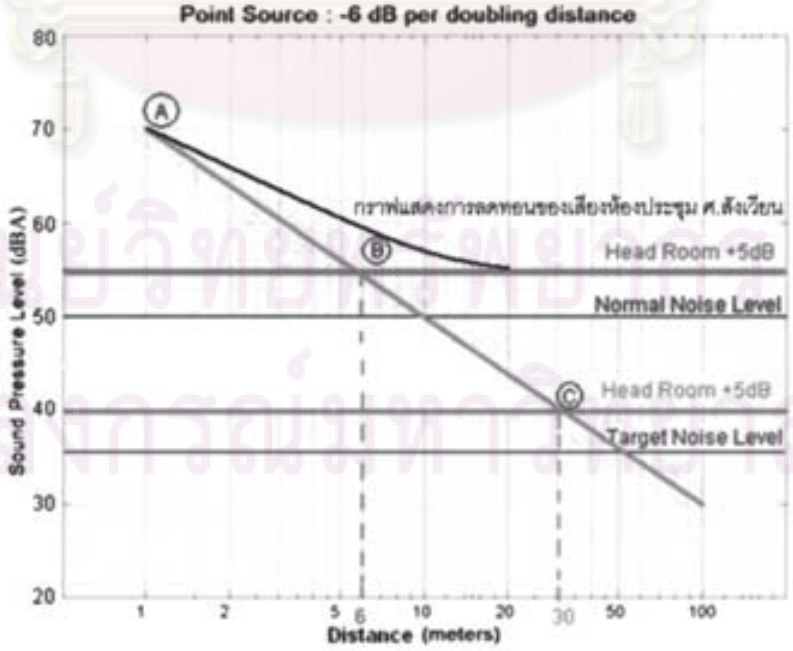
รูปภาพ 5.7 อาคารเรียน โรงเรียนพูลเจริญ

จากการตรวจวัดเสียงพบว่ามีค่า RT60 อยู่ที่ประมาณ 2.5 Sec ซึ่งใกล้เคียงกับการคำนวณแทนค่าด้วยสูตรซึ่งได้ค่าประมาณ 2.6 Sec สำหรับห้องขนาด 8 x 8 x 4 ม. จากการศึกษาวิจัยพบว่า วิธีการแก้ไขค่า RT60 สำหรับห้องเรียนขนาด 8 x 8 x 4 ม. ให้ได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมในห้องคือ RT60 ที่ 1.0 Sec จะต้องแก้ไขด้วยการกรุวัสดุดูดซับเสียงที่มีค่าสัมประสิทธิ์ที่ 0.6 เช่น Shredded-wood fiberboard, 2 in thick on concrete (mtg. A) หรือ Heavyweight drapery, 18 oz/ yd², draped to half area บริเวณผนังด้านตรงข้ามกับผู้บรรยาย ร้อยละ 0.40 ของผนังทั้งหมด



รูปภาพ 5.8 แสดงตำแหน่งการแก้ไขอะคูสติกส์ของห้องเรียน โรงเรียนพูลเจริญ

5.1.3.4 เพื่อเป็นการพิสูจน์หลักการในการออกแบบผนังสะท้อนเสียงที่ใช้ในกลุ่มตัวอย่าง หอประชุม ศ. สังเวียน จึงดำเนินการทดสอบข้อเท็จจริงในส่วนของบทนำที่ว่า เสียงที่เกิดจากจุดกำเนิด 1 จุดมีความดังลดลง ทุก ๆ 6 dBA เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น 2 เท่านั้น เมื่อเราควบคุมทิศทางการกระจายและการสะท้อนของเสียงที่เหมาะสมแล้ว โดยวัดระดับเสียงจากกลุ่มตัวอย่าง ตลาดหลักทรัพย์ ได้ผลดังนี้



แผนภูมิ 5.6 แสดงการลดทอนของเสียงในอากาศ ห้องประชุม ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย

จากการทดสอบตามหลักการการสะท้อนเสียงของผนังของห้อง จากผลการลดทอนของเสียงที่มีค่าลดลงจากสภาพที่ไม่มีการสะท้อนเสียง -6 dBA ทุกๆ 2 เท่าของระยะทางที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีการออกแบบวัสดุช่วยในการสะท้อนของเสียงภายในห้องประชุม ศ.สังเวียนแล้วพบว่าช่วยลดการลดทอนของเสียงลงเหลือเพียง -3 dBA ทุกๆ 2 เท่าของระยะทางที่เพิ่มขึ้นเท่านั้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาปัจจัยสำคัญในการออกแบบห้องประชุมเพื่อสร้างคุณภาพเสียงที่ดีในครั้งนี้ เป็นการรวบรวมตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบห้องประชุมเพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมและควบคุมเสียงภายในห้องประชุม เพื่อนำผลการวิจัยมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดแนวทางการออกแบบหอประชุมให้มีสภาพอะคูสติกส์ที่ดี แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในการศึกษาหลายประการ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่สนใจจะทำการศึกษาครั้งต่อไป ดังนี้

5.2.1 ผลการทดสอบวัสดุ ทั้งด้านการสะท้อนเสียง และการดูดซับเสียงที่มีการอ้างอิงถึงในรายงานนี้ เป็นผลที่ได้มาจากตำรา และข้อมูลจากต่างประเทศ ในขณะที่ประเทศไทยเรามีวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดีอยู่มาก ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ หากได้มีการศึกษาเห็นความสำคัญของการออกแบบห้องประชุมที่ต้องการคุณภาพเสียงที่ดีแล้ว การสร้างแหล่งข้อมูลสำหรับวัสดุในประเทศเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปออกแบบ หรือการนำไปใช้งานก็มีความสำคัญ และช่วยประเทศชาติได้อีกมากมาย

5.2.2 การออกแบบที่เกี่ยวข้องกับการลดเสียงรบกวนนั้น ได้มีการอ้างอิงถึงการประหยัดพลังงานที่ได้ผลมาจากการออกแบบเปลือกอาคาร หรือผนังห้องประชุม และยังได้กล่าวถึงการใช้พลังเสียงธรรมชาติจากผู้พูดมาใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดนั้น เป็นต้นคิดในแนวทางการประหยัดพลังงานต่อเนื่องอีกมากมาย กล่าวคือ หากเราลดการใช้เครื่องขยายเสียงสำหรับห้องประชุม หรือห้องเรียนได้แล้ว การนำเข้าเครื่องขยายเสียงที่มียอดการนำเข้าถึงปีละกว่า 2,000 ล้านก็จะสามารถลดลงได้ เพื่อช่วยดุลการค้าระหว่างประเทศได้ และยังช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย หากมีการนำเอาแนวทางไปออกแบบห้องเรียนสำเร็จรูป และใช้ได้ทั่วประเทศได้

5.2.3 การออกแบบห้องประชุม มิได้มีเฉพาะเรื่องเสียงเท่านั้น เรื่องแสงสว่างภายในหอประชุม, แสงสว่างสำหรับการแสดง, ระบบสื่อนำเสนอต่างๆสำหรับห้องประชุม, การออกแบบมุมมองตำแหน่งที่นั่งก็มีความสำคัญสำหรับห้องประชุม หรือหอประชุมเช่นกัน ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นหมวดหมู่ของเรื่องที่ต้องนำเข้ามาออกแบบร่วมกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์.ระเบียบวิธีวิจัยทางสังคมศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยมหิดล, 2535.

ปรีชญา รังสิรักษ์. การควบคุมเสียงภายในอาคาร. กรุงเทพมหานคร: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.

วิมลสิทธิ์ หรยางกูร.. พฤติกรรมมนุษย์กับสภาพแวดล้อม มูลฐานเพื่อการออกแบบและวางแผน. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

สุนทร บุญญาธิการ, ศ.ดร.. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุธิระ ประเสริฐสรรพ์. การควบคุมเสียงแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: ภาควิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2525.

ภาษาอังกฤษ

Barron, Michael. Auditorium Acoustics and Architectural Design. London: E&FN Spon, 1993.

Cavanaugh, William J; and Wilkes, Joseph A. Architectural Acoustics: Principles and Practice. New York: John Wiley & Sons, 1998.

Cowan, James. Architectural Acoustics Design Guide. New York: McGraw-Hill, 2000.

Egan, M. David. Architectural Acoustics. New York: McGraw-Hill, 1972.

Mashall Long. Architectural Acoustics. Elsevier Academic Press,1988.

Miller, Richard K; and Montone, Wayne V. Handbook Acoustical Enclosures and Barriers. The United States of America: The Fairmont Press, 1978.

Moore, John Edwin. Design for Good Acoustical and Noise Control. London; the Macmillan Press, 1978.

SRL. Sound Research Laboratories Limited. Practice Building Acoustics. New York: John Wiley & Sons, 1976.

Stein, B; and Reynolds, J. S. Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. 8th Edition. New York: John Wiley & Sons, 1992.

Templeton, Duncan. Acoustics Built Environment: In the Advice for the Design Team. London: Butter Worth-Heinemann, 1993.

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางเสียงและความสั่นสะเทือน ของประเทศไทยและต่างประเทศ

1. มาตรฐานด้านเสียงของประเทศไทย

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ โดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมเรื่องอากาศและเสียง กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้แต่งตั้งคณะอนุกรรมการวิชาการสิ่งแวดล้อมเรื่องเสียงขึ้น เพื่อศึกษาและกำหนดมาตรฐานระดับเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงที่สำคัญซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหามลพิษทางเสียงขึ้นและคณะอนุกรรมการฯ ได้ดำเนินการพิจารณากำหนดและปรับปรุงมาตรฐานระดับเสียงจากยานพาหนะทางบก และกำหนดมาตรฐานระดับเสียงในย่านที่อยู่อาศัย ดังนี้

1. ค่ามาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่องกำหนดมาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไปโดยมีหลักการและเหตุผลในการป้องกันผลกระทบต่อการได้ยินของประชาชนได้ทั้งบริเวณภายในอาคาร และภายนอกอาคาร ซึ่งมีใจความสำคัญ คือ

- มาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไปเป็นค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชม. ต้องไม่เกิน 70 เดซิเบล (เอ)
- มาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไปเป็นค่าระดับเสียงสูงสุดขณะใดขณะหนึ่งต้องไม่เกิน 115 เดซิเบล (เอ)

2. ค่ามาตรฐานระดับเสียงในย่านที่อยู่อาศัย

สำหรับมาตรฐานระดับเสียงในย่านที่อยู่อาศัยและค่ามาตรฐานระดับเสียงจากยานพาหนะทางบก คณะอนุกรรมการวิชาการสิ่งแวดล้อมได้กำหนดค่าระดับเสียงที่เป็นมาตรฐานไว้ ดังนี้

- ระดับเสียงในย่านที่อยู่อาศัยในขณะใดขณะหนึ่งในเวลากลางวันต้องไม่เกิน 60 เดซิเบล (เอ)
- ระดับเสียงในย่านที่อยู่อาศัยในขณะใดขณะหนึ่งในเวลากลางคืนต้องไม่เกิน 55 เดซิเบล (เอ)

3. นโยบายและมาตรการควบคุมปัญหาเรื่องมลพิษทางเสียง

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้ตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาเรื่องมลพิษทางเสียง ไม่น้อยไปกว่าปัญหาความเป็นพิษของสิ่งแวดล้อมด้านอื่นๆ เช่น มลพิษทางอากาศ มลพิษทางน้ำ ฯลฯ จึงได้กำหนดรวมไว้ในนโยบายและมาตรการพัฒนาสิ่งแวดล้อมของชาติ ซึ่งคณะรัฐมนตรีได้ลงมติเห็นชอบให้กำหนดเป็นนโยบายของรัฐในการพัฒนาสิ่งแวดล้อมของชาติ เมื่อวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2524 สำหรับมาตรการในการปฏิบัติ เพื่อให้เป็นไปตามนโยบายก็ให้ยึดถือเป็นแนวทางในการดำเนินการ

นโยบายและมาตรการพัฒนาสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ในเรื่องที่เกี่ยวกับเสียงซึ่งได้รวบรวมเอาความสั่นสะเทือนไว้ด้วยกันนั้น มีดังนี้

1. เร่งรัดให้มีระเบียบและกฎหมาย พระราชบัญญัติกฎกระทรวงประกาศและระเบียบข้อบังคับ
2. เร่งรัดหน่วยงานที่มีหน้าที่ในการควบคุมเสียง และความสั่นสะเทือน ดำเนินการตามกฎหมายอย่างเคร่งครัด
3. ปรับปรุงอำนาจหน้าที่ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ให้สอดคล้องและไม่ซ้ำซ้อนกัน
4. กำหนดและบังคับใช้มาตรฐานระดับเสียง และความสั่นสะเทือน
5. จัดให้มีการสำรวจ ตรวจสอบเสียง และความสั่นสะเทือน ตามแหล่งกำเนิดเสียงและย่านต่างๆ เป็นประจำ
6. แก้ไข ปรับปรุง มาตรฐานและวิธีการตรวจสอบเสียง และความสั่นสะเทือนให้สอดคล้องกับภาวะแวดล้อมและกาลเวลา
7. สนับสนุนให้บริษัทเอกชนที่ส่วนราชการที่เกี่ยวข้องรับรองว่า มีความสามารถและมีเครื่องมือทันสมัย มีส่วนในการตรวจสอบระดับเสียงจากยานพาหนะ
8. เสนอแนะการป้องกันสถานที่สาธารณะ เช่น มหาวิทยาลัย โรงงาน โรงพยาบาล ฯลฯ เพื่อลดเสียงและความสั่นสะเทือน
9. กำหนดมาตรการป้องกันเสียงรบกวน และความสั่นสะเทือนที่เกิดจากสถานประกอบการงานก่อสร้าง ซ่อมแซมหรือรื้อถอน
10. สนับสนุน ส่งเสริมให้มีการศึกษาเผยแพร่ความรู้ดังกล่าวให้ประชาชน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ค่ามาตรฐานระดับเสียงในชุมชนของต่างประเทศ

พื้นที่เป้าหมาย	ธนาคารโลก	องค์การอนามัยโลก	องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา	ญี่ปุ่น
1. พื้นที่อุตสาหกรรม				
-กลางวัน	75 dB (A)	-	-	60 dB (A)
-กลางคืน	70 dB (A)	-	-	50 dB (A)
2. พื้นที่ชุมชน/เมือง				
ภายนอกอาคาร			Ldn 55 dB Leq (24) 55 dB	
-กลางวัน	55 dB (A)	Leq 55 dB (A)	-	50 dB (A)
-กลางคืน	45 dB (A)	Leq 45 dB (A)	-	40 dB (A)
ภายในอาคาร			Ldn 45 dB Leq (24) 45 dB	
-กลางวัน	-	Leq 45 dB (A)	-	-
-กลางคืน	-	Leq 35 dB (A)	-	-
3. พื้นที่พาณิชยกรรม				
-กลางวัน	65 dB (A)	-	-	60 dB (A)
-กลางคืน	55 dB (A)	-	-	50 dB (A)
4. พื้นที่ที่ต้องการความสงบ				
-กลางวัน	-	-	-	45 dB (A)
-กลางคืน	-	-	-	35 dB (A)
5. ทุกพื้นที่	-	-	(24) 70 dB	-

หมายเหตุ - ระดับเสียงเฉลี่ยกลางวัน-กลางคืน (Ldn)

- ระดับเสียงต่อเนื่อง 24 ชั่วโมงที่มีพลังเสียงเฉลี่ยเทียบเท่า (Equivalent Energy Sound Level, Leq)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช

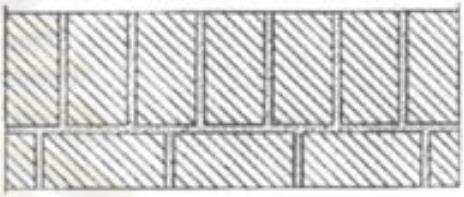
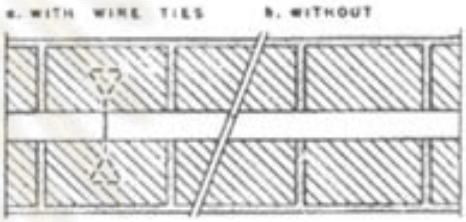
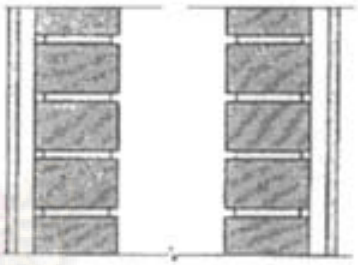
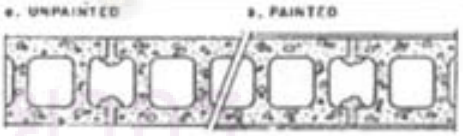
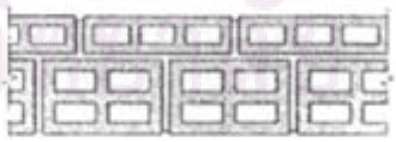
Sound Transmission Loss และ Sound Transmission Class สำหรับผนัง

Designation	Weight (lb/ft^2)	Transmission Loss (dB)						STC
		125Hz	250Hz	500Hz	1K	2K	4K	
W1	55	34	34	41	50	66	-	42
W2	100	41	43	49	55	57	-	52
W3	121	45	45	53	58	60	61	56
W4a	100	37	41	48	60	60.5	-	49
W4b	100	40	44	55	67.5	70	-	54
W5	120	48	54	58	64	69	-	62
W6a	34	32	33	40	47	51	48	43
W6b	34	37	36	42	49	55	58	45
W7	79	46.5	44	46	52	54	56	48
W8	21.5	39	34	38	43	48	46	40
W9	23.4	37	42	39	44	49	49	42
W10	280	50	53	52	58	61	-	56
W11	39	35	40	44	52	58	64	47
W12	80	39	42	50	58	64	-	53
W13a	-	-	-	-	-	-	-	26
W13b	-	-	-	-	-	-	-	28
W13c	-	-	-	-	-	-	-	29
W14	10.2	34	34	37	38	39	45	36
W15a	6	21	28	35	42	45	41	39
W15b	12	27	37	43	52	56	-	47
W16	6.2	36	36	40	47	52	45	44
W17	13.4-15.7	32	37	42	47	47	63	46
W18	13.4-15.7	32	37	42	48	48	63	46
W19	13.8	39	40	42	47.5	55	51.5	46
W20	6	29	36	40	46	40	46	41
W21	5.4	34	40	47	50	53	54	50

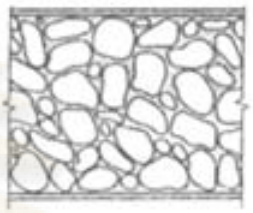
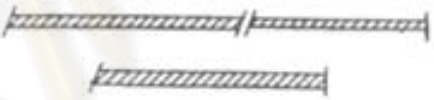
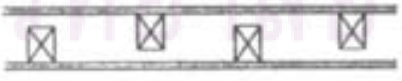
ที่มา: Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992), P. 1514-1533.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงองค์ประกอบต่างๆ ของผนังแต่ละชนิด

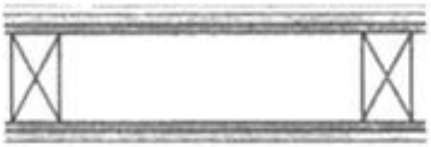
Designation	Description	Section Sketch
W1	4½-in.-thick brick wall with ½-in.-thick layer of plaster on each side.	
W2	9-in.-thick brick wall with ½-in.-thick layer of plaster on each side.	
W3	12-in.-thick brick wall.	
W4a	Double wall with 4½-in.-thick brick leaves separated by a 2-in. cavity (wire ties between leaves); ½-in. plaster on exposed sides.	
W4b	Similar to W4a but no wire ties between the leaves.	
W5	Double wall with 4½-in.-thick brick leaves, 6-in. cavity (no ties); on exposed sides, ½-in. plaster on 1-in.-thick wood-wool slabs mortared to the brick walls.	
W6a	6-in. hollow concrete blocks constructed with vertical mortar joints staggered.	
W6b	Similar to W6a except wall painted.	
W7	12-in. wall made of hollow 8 × 8 × 12 in. and 8 × 4 × 16 in. concrete blocks.	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

W8	3-in. hollow gypsum blocks cemented together with ⅜-in. mortar joints; on each side, ½-in. sanded gypsum plaster.	
W9	4-in. hollow gypsum blocks cemented together with ⅜-in. mortar joints; on each side, ½-in. sanded gypsum plaster.	
W10	24-in.-thick stone wall with ½-in.-thick layer of plaster on both sides.	
W11	3-in.-thick solid concrete wall poured in situ in test opening. All surface cavities were sealed with thin mortar mix.	
W12	6-in.-thick concrete wall with ½-in.-thick layer of plaster on both sides.	
W13a	3/8-in.thick gypsum wallboard.	
W13b	1/2-in.thick gypsum wallboard.	
W13c	5/8-in.thick gypsum wallboard.	
W14	24-in.-wide panels constructed of 1 × 24 in. gypsum core board offset 1½ in. at edges to form tongue-and-groove edge; ⅛-in. vinyl-faced gypsum wallboard laminated to both sides of core board. Panels inserted into two-piece metal floor and ceiling tracks. Gypsum to gypsum screws at ¼ and ½ points along vertical edges of face boards.	
W15a	2 × 4 in. wooden studs, 16 in. on centers, ½-in. gypsum wallboard nailed to each side. All joints taped and finished.	
W15b	Similar to W15a except a layer of lead, 2.95 lb/ft^2 was laminated to each side of panel.	
W16	2 × 3 in. wooden studs, 16 in. on centers, staggered 8 in. on centers, attached to 2 × 4 in. wooden plates at ceiling and floor; ½-in. gypsum wallboard nailed / in	

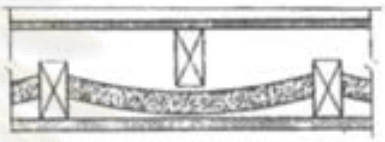
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

W17 2 × 4 in. wooden studs, 16 in. on centers, ⅜-in. gypsum lath nailed to studs on both sides, ½-in. sanded plaster with white-coat finish.

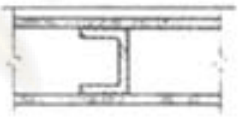


W18 2 × 4 in. wooden studs, 16 in. on centers, attached to 2 × 4 in. wooden floor and ceiling plates, ⅜-in. gypsum lath nailed to studs on both sides, ½-in. sanded plaster with white-coat finish.

W19 2 × 4 in. wooden studs, 16 in. on centers, staggered 8 in. on centers, attached to 2 × 4¼ in. wooden floor and ceiling plates; ½-in. gypsum wallboard nailed on both sides to studs, 0.9-in. wood-fiber wool blanket stapled on the inside of one side of the wall. All joints taped and finished.



W20 3⅝-in. metal channel studs, 24 in. on centers, set into 3⅝-in. metal floor and ceiling runners; ⅝-in. gypsum wallboard screwed to studs on both sides. All joints taped and finished.



W21 2½-in. metal channel studs, 24 in. on centers, set in 2½-in. metal floor and ceiling runners; ½-in. vinyl-coated gypsum wallboard adhesively attached and screwed to studs on both sides. All joints sealed with caulking compound. Aluminum batten strips screwed 12 in. on centers to gypsum board at joints; top and bottom finished with aluminum ceiling and base trim. 2-in. mineral fiber blankets hung between studs.

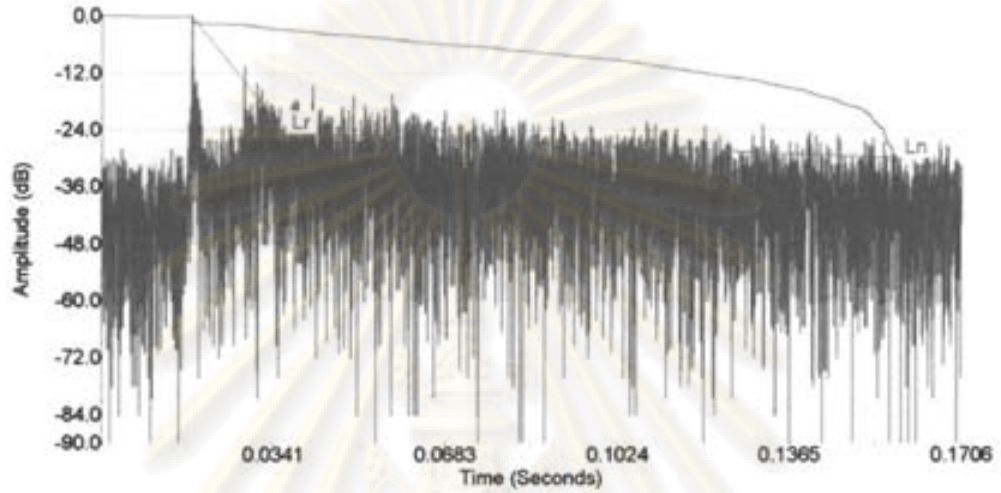
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลการวัดเสียง ห้องประชุมกลุ่มตัวอย่าง

หอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ มหาวิทยาลัยมหิดล

Collage of Mucic, Mahidol University A1 : Room Acoustics Testing

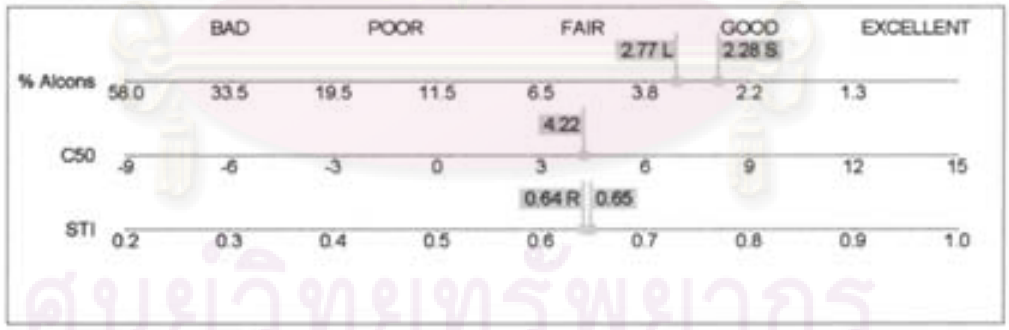


Band: Broadband

Ld: 0.018 s (6 m), -0.0 dB
Lr: 0.036 s (12 m), -24.8 dB
Ln: 0.158 s (54 m), -29.9 dB

Relative T: 1.43 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.04 Seconds
Direct To Reverb: 25 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 4.22 dB

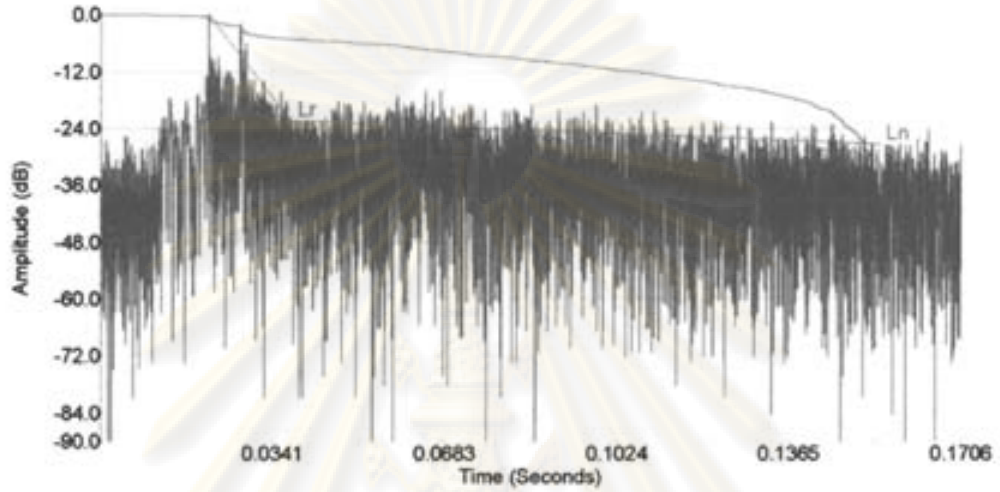
STI=0.65 RSTI=0.64



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Collage of Mucic, Mahidol University : Room Acoustics Testing
Created By Maple Solution Using SIA-Smaart Acoustic Tools

Collage of Mucic, Mahidol University A2 : Room Acoustics Testing

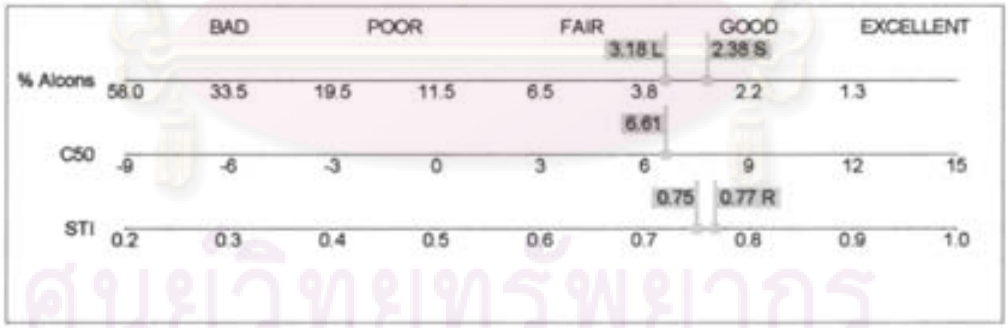


Band: Broadband

Ld: 0.021 s (7 m), -0.0 dB
Lr: 0.038 s (13 m), -22.3 dB
Ln: 0.154 s (53 m), -27.3 dB

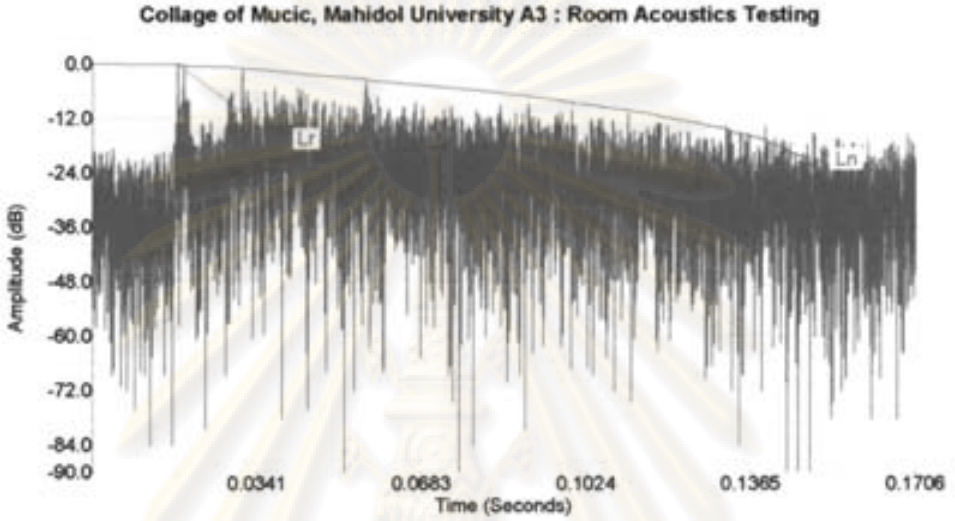
Relative T: 1.42 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.04 Seconds
Direct To Reverb: 22 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 6.61 dB

STI=0.75 RSTI=0.77



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Collage of Mucic, Mahidol University : Room Acoustics Testing
Created By Maple Solution Using SIA-Smaart Acoustic Tools

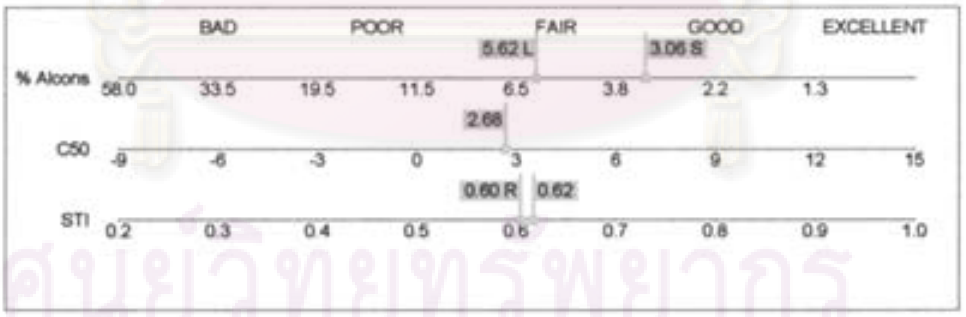


Band: Broadband

Ld: 0.018 s (6 m), -0.0 dB
Lr: 0.041 s (14 m), -18.8 dB
Ln: 0.153 s (52 m), -23.4 dB

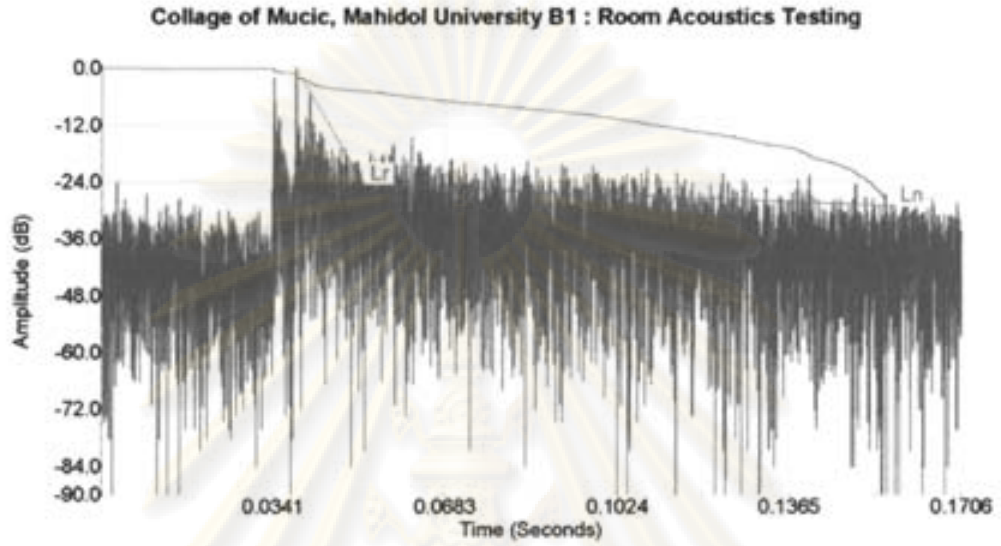
Relative T: 1.47 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.07 Seconds
Direct To Reverb: 19 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 2.68 dB

STI=0.62 RSTI=0.60



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Collage of Mucic, Mahidol University : Room Acoustics Testing
Created By Maple Solution Using SIA-Smaart Acoustic Tools

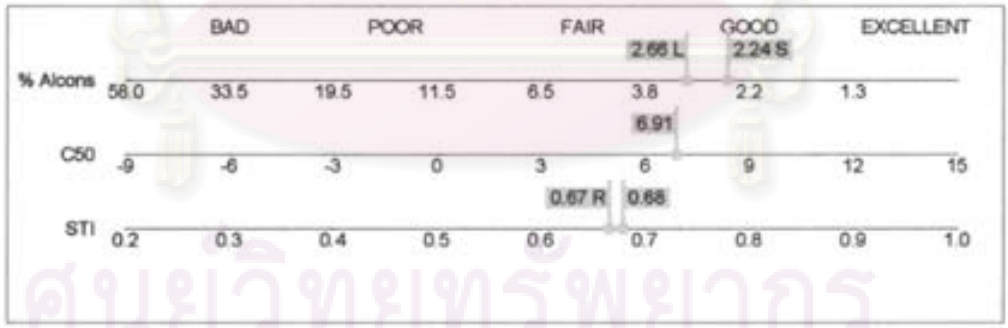


Band: Broadband

Ld: 0.039 s (13 m), -0.0 dB
Lr: 0.052 s (18 m), -24.6 dB
Ln: 0.157 s (54 m), -29.1 dB

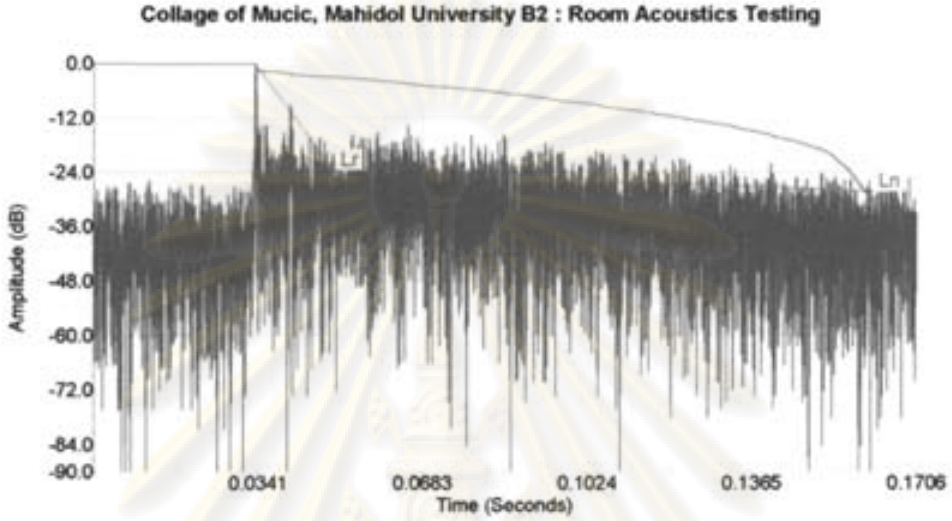
Relative T: 1.39 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.03 Seconds
Direct To Reverb: 25 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 6.91 dB

STI=0.68 RSTI=0.67



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Collage of Mucic, Mahidol University : Room Acoustics Testing
Created By Maple Solution Using SIA-Smaart Acoustic Tools

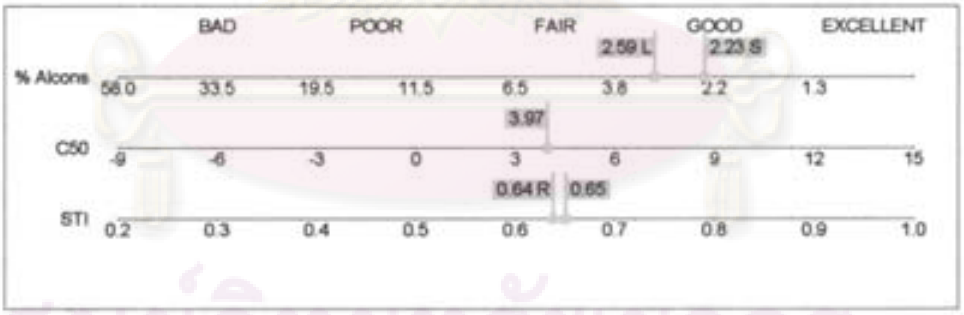


Band: Broadband

Ld: 0.034 s (12 m), -0.3 dB
Lr: 0.050 s (17 m), -23.5 dB
Ln: 0.161 s (55 m), -28.3 dB

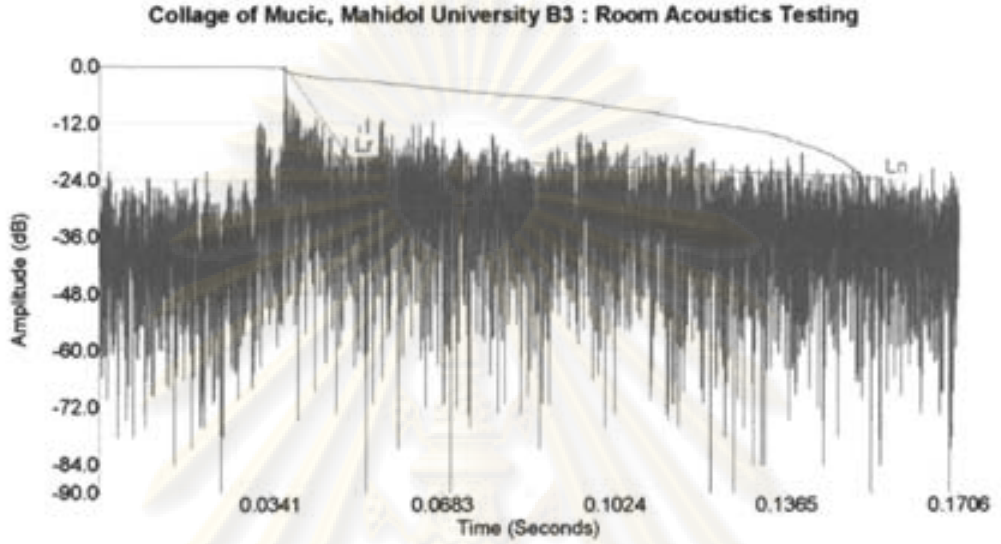
Relative T: 1.40 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.04 Seconds
Direct To Reverb: 23 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 3.97 dB

STI=0.65 RSTI=0.64



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Collage of Mucic, Mahidol University : Room Acoustics Testing
Created By Maple Solution Using SIA-Smaart Acoustic Tools



Band: Broadband

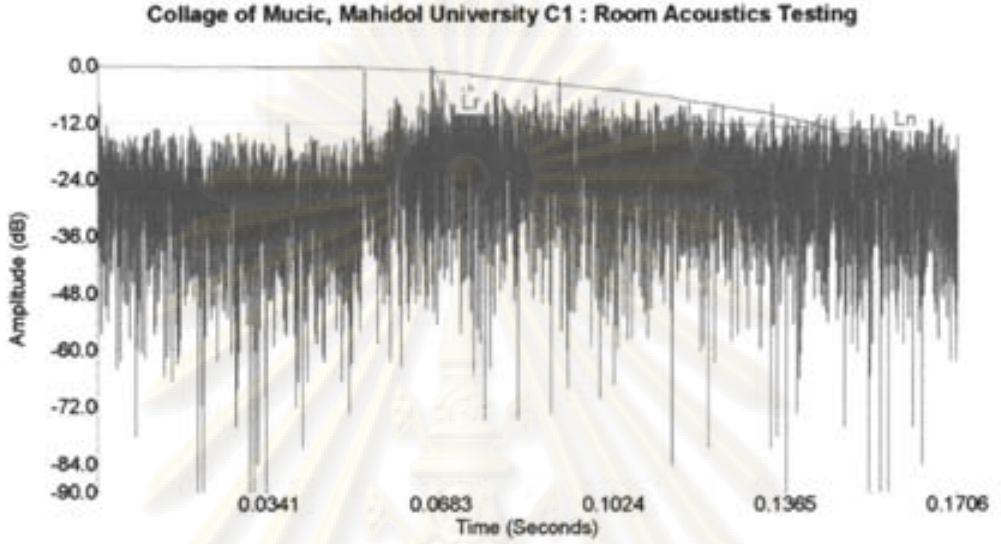
Ld: 0.037 s (13 m), -0.0 dB
Lr: 0.049 s (17 m), -19.0 dB
Ln: 0.155 s (53 m), -23.6 dB

Relative T: 1.39 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.04 Seconds
Direct To Reverb: 19 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 4.88 dB

STI=0.63 RSTI=0.64

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Collage of Mucic, Mahidol University : Room Acoustics Testing
Created By Maple Solution Using SIA-Smaart Acoustic Tools

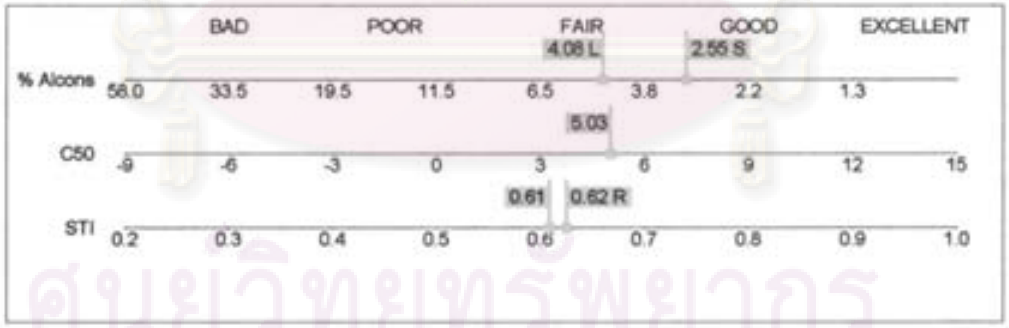


Band: Broadband

Ld: 0.066 s (23 m), -0.0 dB
Lr: 0.071 s (24 m), -10.3 dB
Ln: 0.157 s (53 m), -13.8 dB

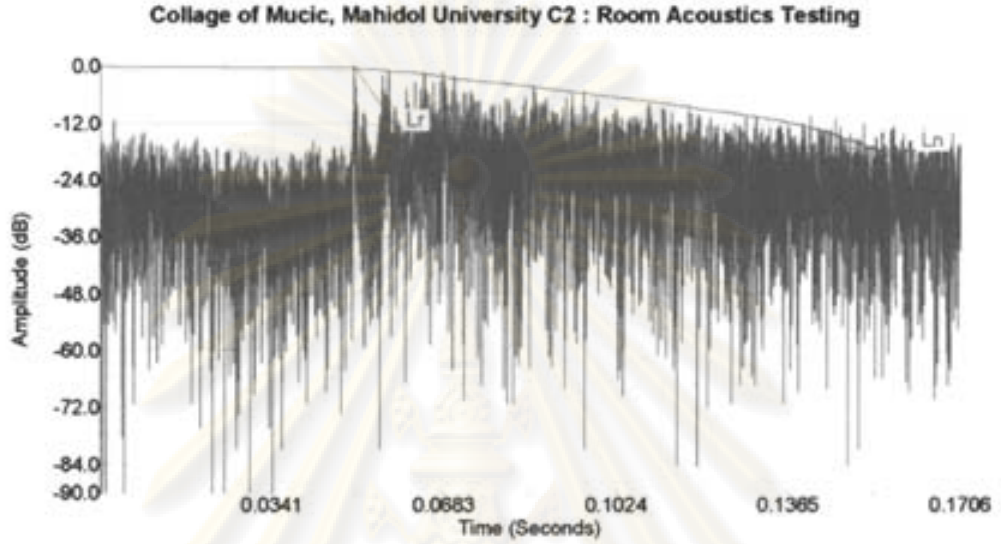
Relative T: 1.46 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.03 Seconds
Direct To Reverb: 10 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 5.03 dB

STI=0.61 RSTI=0.62



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Collage of Mucic, Mahidol University : Room Acoustics Testing
Created By Maple Solution Using SIA-Smaart Acoustic Tools

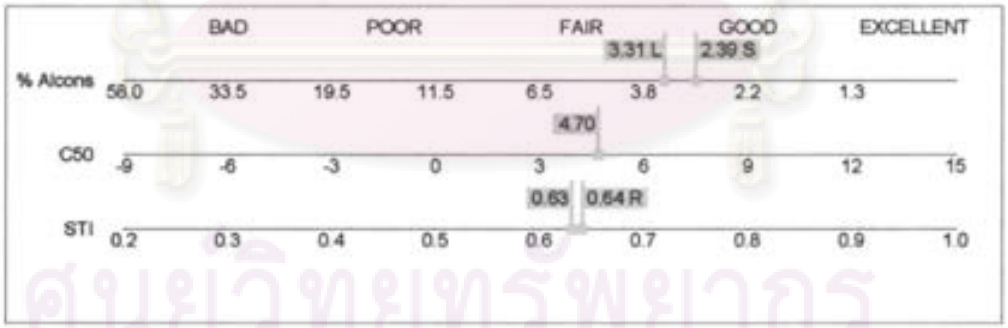


Band: Broadband

Ld: 0.050 s (17 m), -0.0 dB
Lr: 0.059 s (20 m), -13.6 dB
Ln: 0.162 s (55 m), -17.8 dB

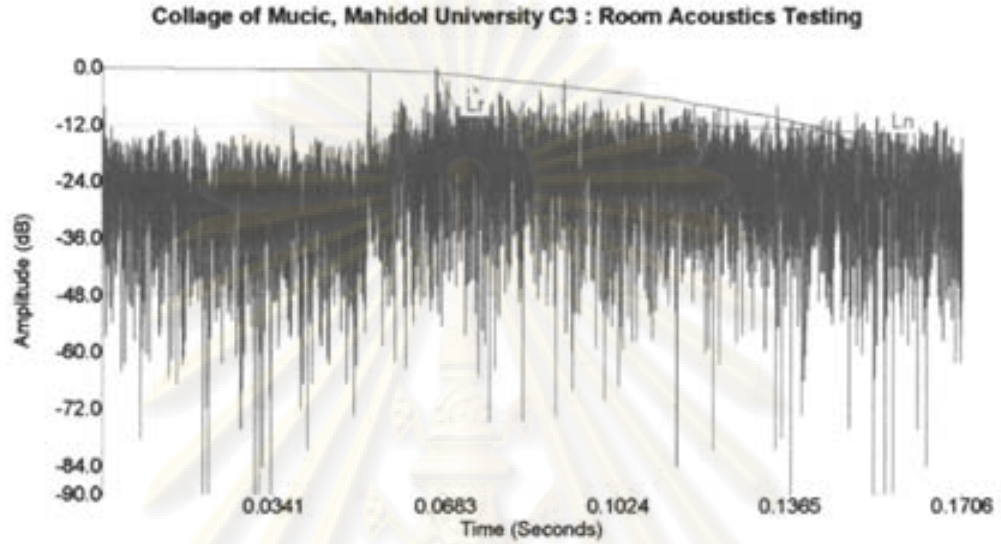
Relative T: 1.46 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.04 Seconds
Direct To Reverb: 14 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 4.70 dB

STI=0.63 RSTI=0.64



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Collage of Mucic, Mahidol University : Room Acoustics Testing
Created By Maple Solution Using SIA-Smaart Acoustic Tools

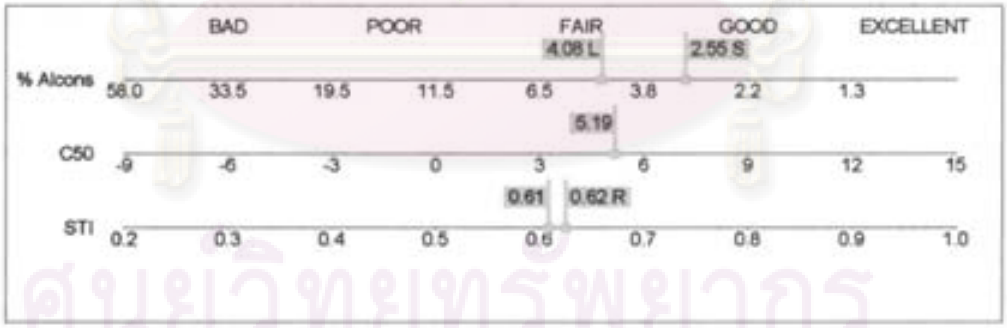


Band: Broadband

Ld: 0.066 s (23 m), -0.0 dB
Lr: 0.071 s (24 m), -10.3 dB
Ln: 0.155 s (53 m), -13.8 dB

Relative T: 1.43 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.03 Seconds
Direct To Reverb: 10 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 5.19 dB

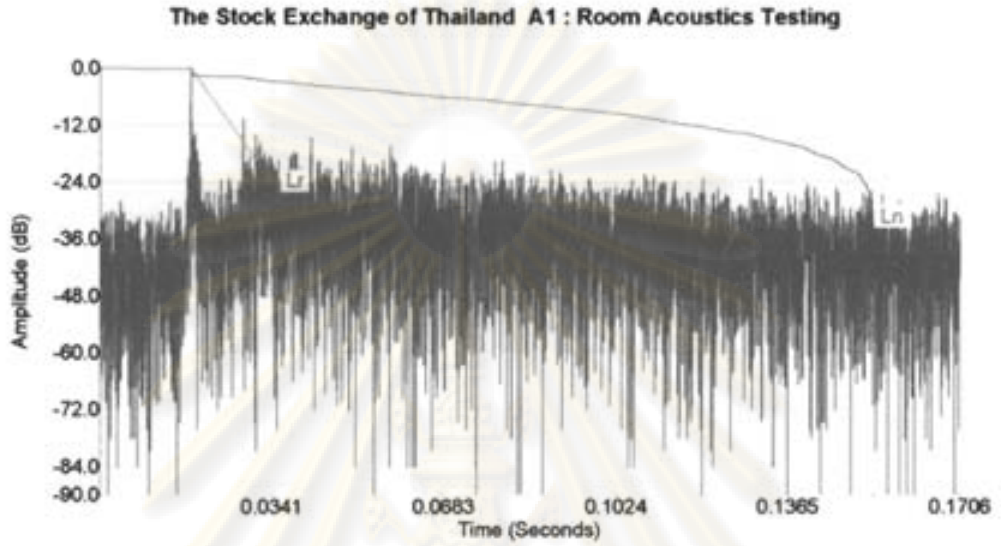
STI=0.61 RSTI=0.62



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Collage of Mucic, Mahidol University : Room Acoustics Testing
Created By Maple Solution Using SIA-Smaart Acoustic Tools

ห้องประชุม ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย

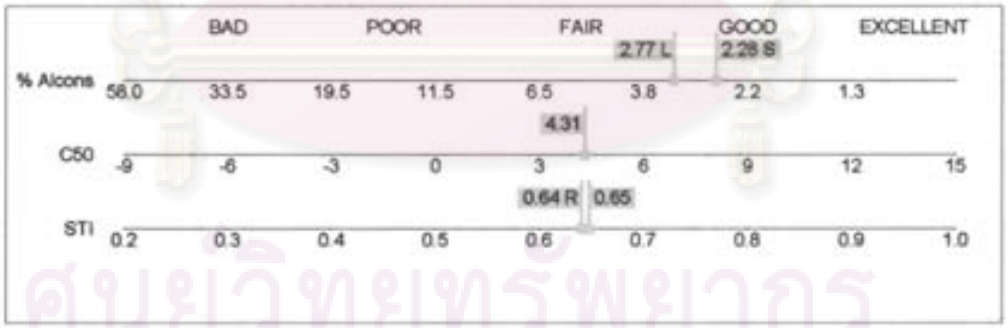


Band: Broadband

Ld: 0.018 s (6 m), -0.0 dB
Lr: 0.036 s (12 m), -26.2 dB
Ln: 0.154 s (52 m), -33.6 dB

Relative T: 0.95 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.04 Seconds
Direct To Reverb: 26 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 4.31 dB

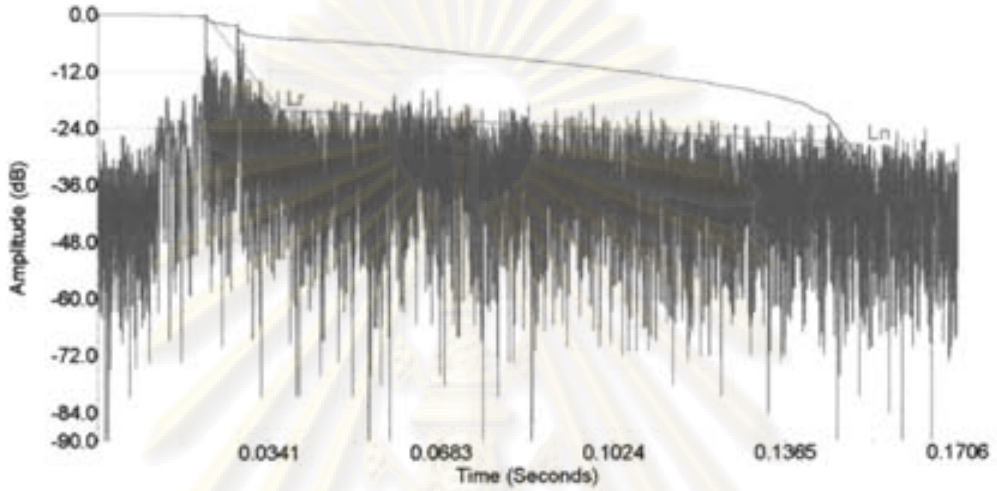
STI=0.65 RSTI=0.64



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The Stock Exchange of Thailand : Room Acoustics Testing
Created By Maple Solution Using SIA-Smaart Acoustic Tools

The Stock Exchange of Thailand A2 : Room Acoustics Testing

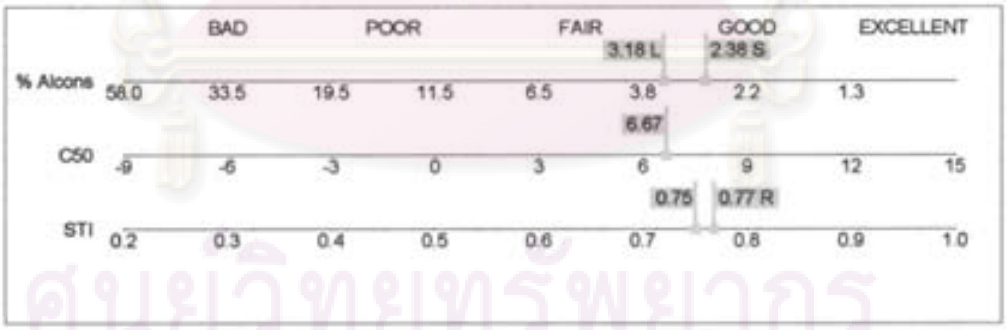


Band: Broadband

Ld: 0.021 s (7 m), -0.0 dB
Lr: 0.036 s (12 m), -20.2 dB
Ln: 0.151 s (52 m), -27.5 dB

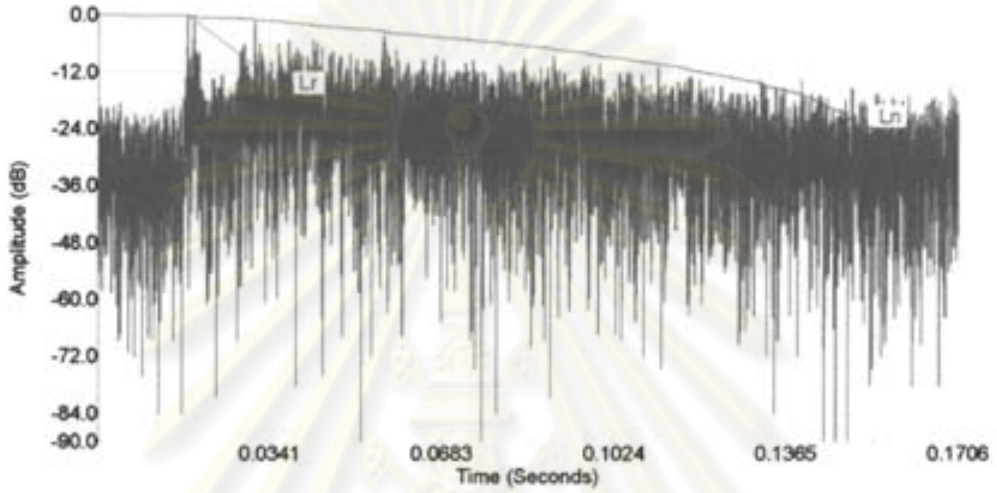
Relative T: 0.94 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.04 Seconds
Direct To Reverb: 20 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 6.67 dB

STI=0.75 RSTI=0.77



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The Stock Exchange of Thailand A3 : Room Acoustics Testing

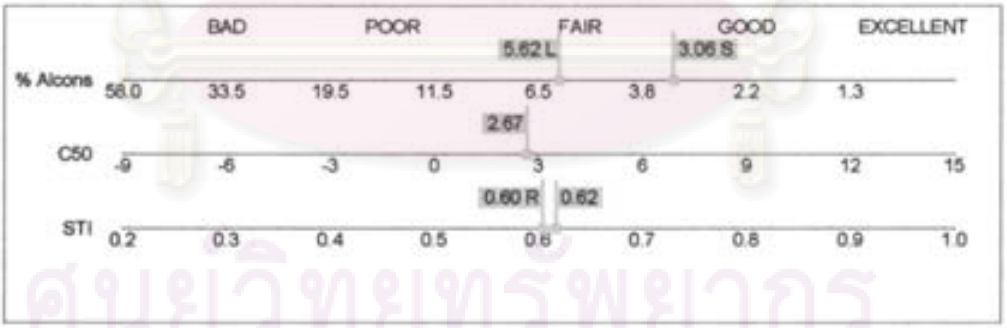


Band: Broadband

Ld: 0.018 s (6 m), -0.0 dB
Lr: 0.038 s (13 m), -16.7 dB
Ln: 0.153 s (52 m), -23.6 dB

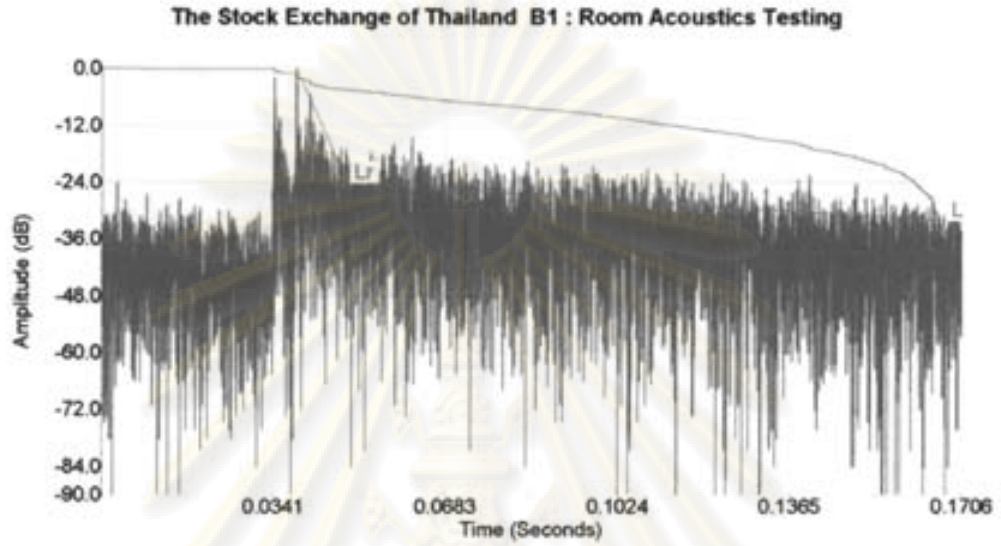
Relative T: 0.99 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.07 Seconds
Direct To Reverb: 17 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 2.67 dB

STI=0.62 RSTI=0.60



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The Stock Exchange of Thailand : Room Acoustics Testing
Created By Maple Solution Using SIA-Smaart Acoustic Tools

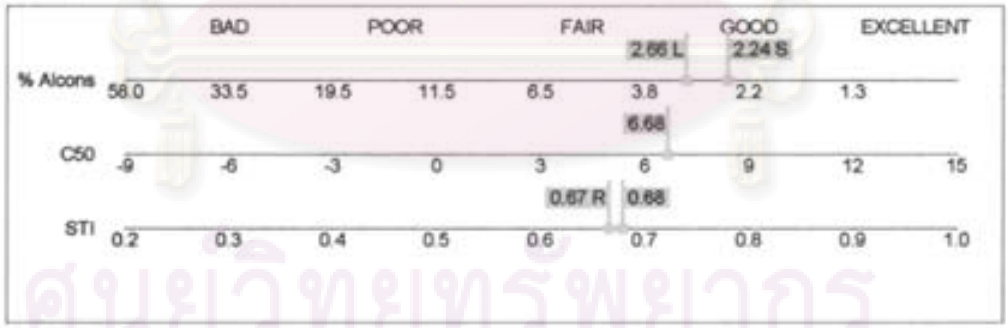


Band: Broadband

Ld: 0.039 s (13 m), -0.0 dB
Lr: 0.049 s (17 m), -24.3 dB
Ln: 0.167 s (57 m), -32.2 dB

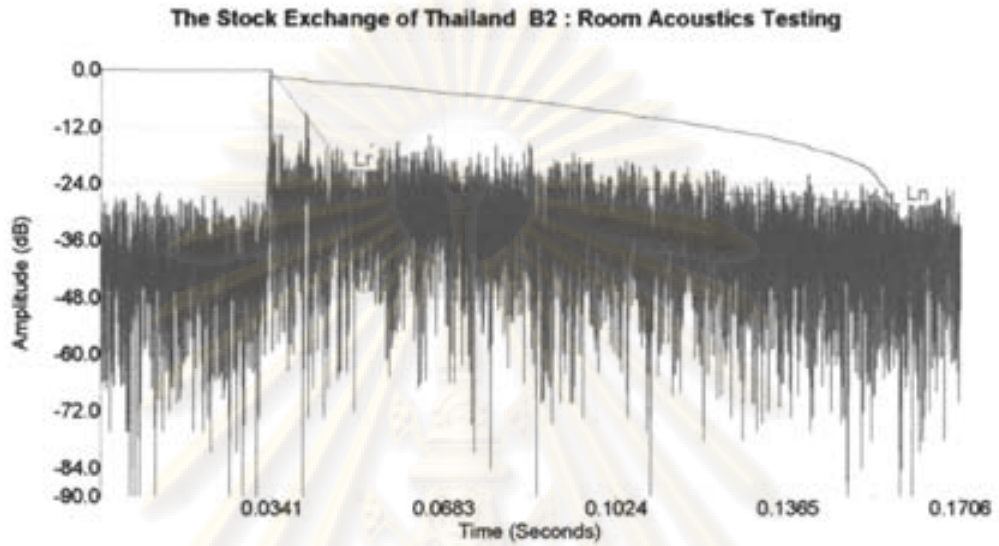
Relative T: 0.91 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.03 Seconds
Direct To Reverb: 24 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 6.68 dB

STI=0.68 RSTI=0.67



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The Stock Exchange of Thailand : Room Acoustics Testing
Created By Maple Solution Using SIA-Smaart Acoustic Tools



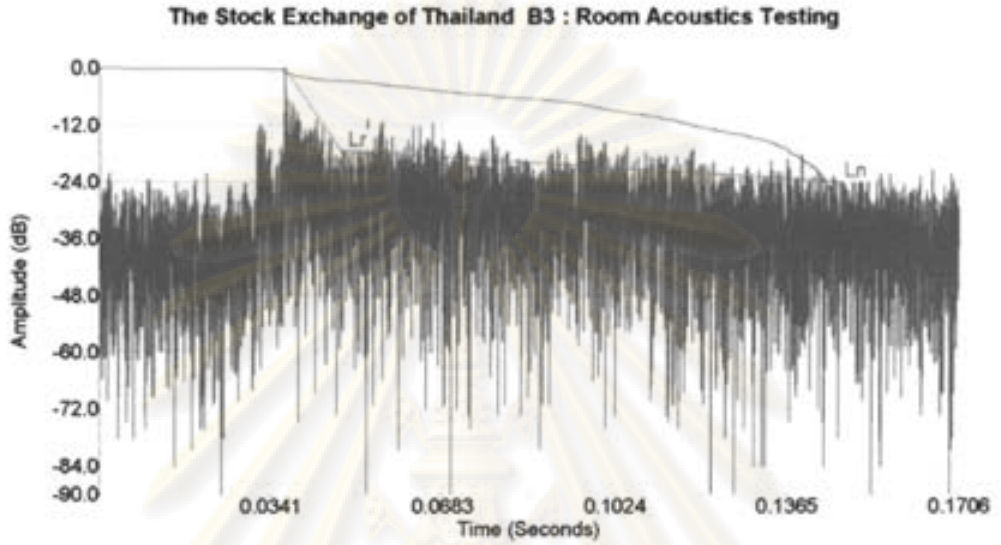
Band: Broadband

Ld: 0.034 s (12 m), -0.0 dB
Lr: 0.049 s (17 m), -21.2 dB
Ln: 0.158 s (54 m), -28.3 dB

Relative T: 0.92 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.04 Seconds
Direct To Reverb: 21 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 4.02 dB

STI=0.65 RSTI=0.64

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Band: Broadband

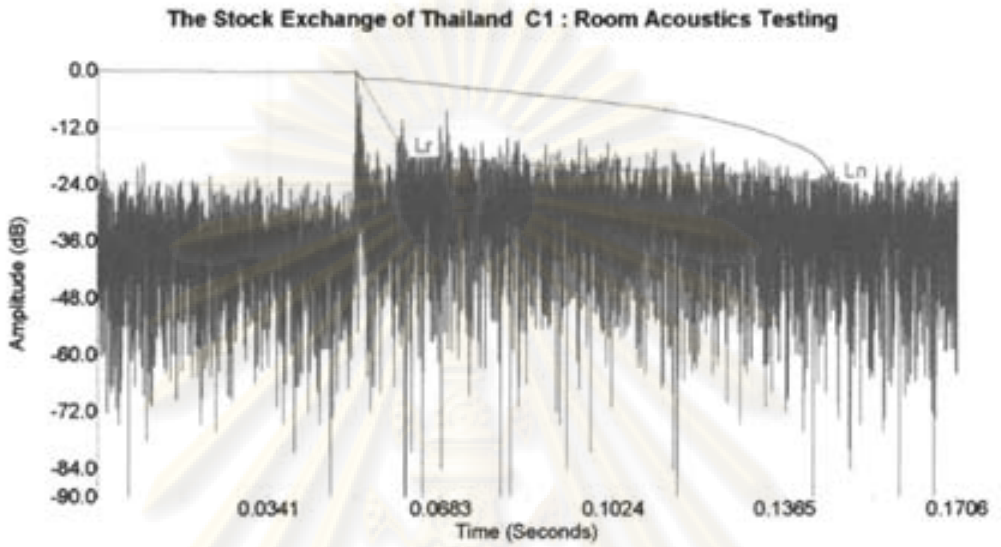
Ld: 0.037 s (13 m), -0.0 dB
Lr: 0.048 s (16 m), -17.5 dB
Ln: 0.147 s (50 m), -24.0 dB

Relative T: 0.91 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.04 Seconds
Direct To Reverb: 17 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 5.09 dB

STI=0.63 RSTI=0.64

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The Stock Exchange of Thailand : Room Acoustics Testing
Created By Maple Solution Using SIA-Smaart Acoustic Tools



Band: Broadband

Ld: 0.051 s (18 m), -0.0 dB
Lr: 0.062 s (21 m), -18.3 dB
Ln: 0.147 s (50 m), -23.6 dB

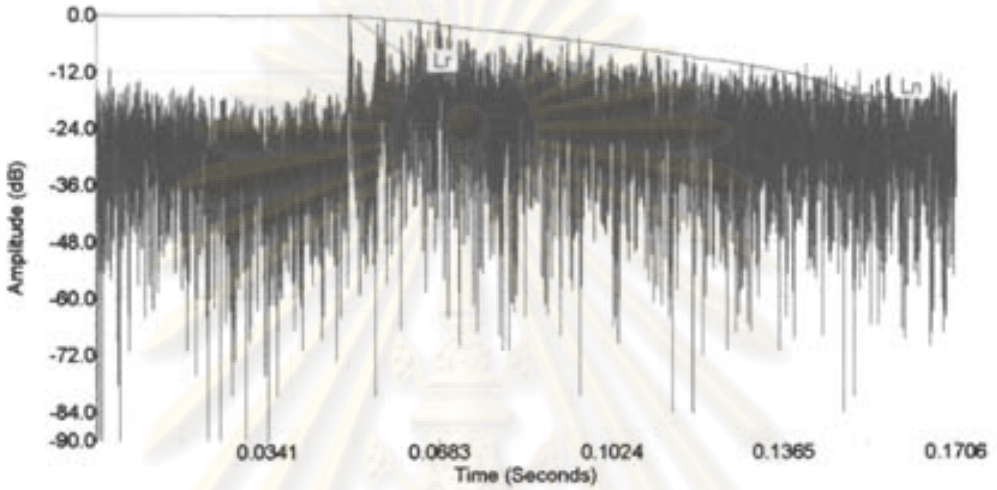
Relative T: 0.98 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.03 Seconds
Direct To Reverb: 18 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 5.37 dB

STI=0.62 RSTI=0.63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The Stock Exchange of Thailand : Room Acoustics Testing
Created By Maple Solution Using SIA-Smaart Acoustic Tools

The Stock Exchange of Thailand C2 : Room Acoustics Testing



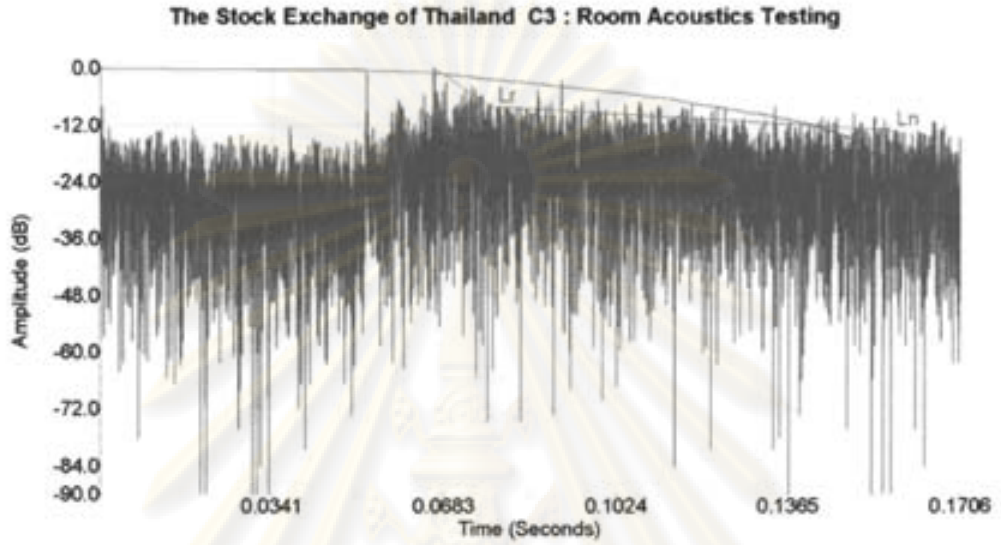
Band: Broadband

Ld: 0.050 s (17 m), -0.0 dB
Lr: 0.066 s (22 m), -12.2 dB
Ln: 0.158 s (54 m), -17.8 dB

Relative T: 0.96 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.08 Seconds
Direct To Reverb: 12 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 4.82 dB

STI=0.63 RSTI=0.64

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Band: Broadband

Ld: 0.066 s (23 m), -0.0 dB
Lr: 0.078 s (27 m), -8.2 dB
Ln: 0.157 s (53 m), -13.2 dB

Relative T: 0.95 Seconds
Relative Early Decay Time: 0.08 Seconds
Direct To Reverb: 8 dB
Standard T (20): NA dB
Standard T (30): NA dB
Standard EDT: NA dB
Clarity (50 ms): 5.03 dB

STI=0.61 RSTI=0.62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The Stock Exchange of Thailand : Room Acoustics Testing
Created By Maple Solution Using SIA-Smaart Acoustic Tools

ภาคผนวก ง

ภาพห้องประชุมกลุ่มตัวอย่าง

หอแสดงดนตรี วิทยาลัยดุริยางคศิลป์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้องประชุม ศ.สังเวียน ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-นามสกุล	นายสราวุฒิ โสนะมิตร (MR.SARAWUT SONAMIT)
ปีเกิด	24 พฤศจิกายน 2513

2550 – 2552	นิสิตปริญญาโท คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2547 – ปัจจุบัน	กรรมการผู้จัดการ บริษัท Maple Solution จำกัด
2534 – 2547	กรรมการผู้จัดการ บริษัท AVL Consult And Design จำกัด
2531 – 2534	วิศวกรระบบแสง เสียง ภาพ บริษัท Systech Audio & Visual จำกัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย