การปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงในห้องบรรยายคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

An Improvement of Acoustical Environment in Lecture Room, Faculty of Architecture, Khon Kaen University

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูพงษ์ ทองคำสมุทร
ภาควิชาเทคโนโลยีอาคาร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

ในการเรียนการสอนในปัจจุบันมีการใช้ห้องบรรยายเป็นสถานที่ในการสื่อสารและการเรียนการสอน โดยที่สภาพแวดล้อมภายในห้องมีส่วนในการที่จะส่งเสริมให้การสื่อสารนั้นมีประสิทธิภาพหรือไม่ เนื่องจากมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการสื่อสาร การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงในห้องบรรยายคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งจากการสำรวจห้องบรรยายขนาดต่างๆ ภายในสถาบันนี้แล้วพบว่า ห้องบรรยายที่มีปัญหาสภาพแวดล้อมของเสียงได้แก่ ห้องที่มีขนาดใหญ่จำนวน 200 ที่นั่ง โดยปัญหาจากการสำรวจและคำนวณค่าเบื้องต้นได้แก่ (1) การสะท้อนก้องภายในที่มีค่ามากเกินไป (2) ระดับของเสียงรบกวนพื้นหลังที่มีค่าสูง และ (3) การกระจายของเสียงไม่สม่ำเสมอกัน แนวทางในการวิจัยใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงสำรวจและเชิงทดลองโดยการวัดค่าด้วยอุปกรณ์วัดระดับความเข้มของเสียงและการสะท้อนก้องของเสียง ผลการวิจัยพบว่าการแก้ไขปัญหาของห้องบรรยายใช้วิธีการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงเพิ่มบริเวณฝ้าเพดาน ทำให้ค่าการสะท้อนก้องภายในห้องอยู่ในระดับมาตรฐาน อีกทั้งยังทำให้ระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังลดลง ส่วนการแก้ไขการกระจายของเสียงมีการใช้ครีบสะท้อนเสียงทางด้านข้าง และการปรับเปลี่ยนรูปแบบฝ้าเพดาน ซึ่งทำให้การกระจายตัวของเสียงมีความสม่ำเสมอมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการแก้ไขปัญหาเรื่องของการได้ยินเสียงเอคโคในตำแหน่งที่นั่งแถวหน้าของห้องบรรยายที่ทำการปรับปรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: สภาพแวดล้อมของเสียง อาคารเขียว การปรับปรุงอาคาร

Abstract

A current learning process always use the lecture room for communication, an interior environment like acoustical environment is important factor to enhance an efficacy of learning process. An objective of this research is to improve the acoustical environment for lecture rooms in Faculty of Architecture, Khon Kaen University. By the surveying of the variety of size of lecture rooms, the acoustical problems apparently occur in 200-seats lecture room. The acoustical environment problems are; excessive reverberation, high range of background noise, and uniformity of sound diffusion. The experimental, and calculation methods are used to solve the problems in this research. The results show, by adding the absorption panels on ceiling of lecture room can bring the reverberation condition become stay to standard range and can simultaneously decrease the background noise. The reflected panel and improvement of ceiling configuration can uniform the sound and effectively solve the echo problem in the front row of selected lecture room.

Keywords: Acoustical Environment Green Building Building Improvement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

'เสียง' เป็นปัจจัยสำคัญที่ผลต่อการรับรู้ การสื่อสาร และการศึกษาในปัจจุบัน หากคุณภาพเสียงไม่ได้คุณภาพ ไม่ชัดเจน หรือไม่สมบูรณ์แล้วจะส่งผลให้การสื่อสารจากผู้ส่งสารถึงผู้รับสารไม่สามารถทำได้เท่าที่ควร หรืออาจเกิดความเข้าใจผิดในการสื่อสารได้ สภาพแวดล้อมของเสียงสามารถเป็นไปได้ทั้งปัจจัยที่ส่งเสริมและขัดขวางการรับรู้และเรียนรู้ โดยสภาพแวดล้อมของเสียงที่ไม่เหมาะสมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ **สภาพแวดล้อมของเสียงเชิงปริมาณ** ได้แก่ ระดับความเข้มของเสียงบรรยาย และเสียงรบกวนพื้นหลัง **สภาพแวดล้อมของเสียงเชิงคุณภาพ** ได้แก่การสะท้อนก้องของเสียงภายในห้องบรรยาย สภาพแวดล้อมของเสียงจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบอาคารหรือพื้นที่สำหรับการบรรยาย การเรียนการสอน หรือการประชุมสัมมนา ซึ่งใช้การสื่อสารด้วยเสียงเป็นหลัก โครงการวิจัยเพื่อการออกแบบปรับปรุงอาคารเรียนเพื่อเป็นต้นแบบการประหยัดพลังงานและอาคารเขียวทางด้านสภาพแวดล้อมของเสียงภายในอาคาร กรณีศึกษา: ห้องบรรยาย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น นี้ได้จัดทำขึ้นภายใต้แนวคิดของการบูรณาการการออกแบบ การวิจัย การปรับปรุงสภาพแวดล้อมทางกายภาพของทางสถาบัน และการเรียนการสอนเข้าด้วยกัน ทั้งนี้เพื่อเป็นการนำผลการวิจัยที่ได้ไปทำการปรับปรุงอาคารอย่างเป็นรูปธรรม และเป็นการการประสานประโยชน์ในองค์รวม

2. การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทบทวนวรรณกรรม

เสียงเป็นคลื่นตามยาวที่มีคุณสมบัติที่สำคัญได้แก่ การสะท้อน (Reflection) ดูดซับ (Absorption) ส่งผ่าน (Transmission) ฟุ้งกระจาย (Diffusion) หักเห (Refraction) เลี้ยวเบน (Diffraction) และการแทรกสอด (Interference) (Stein and Reynolds, 2000) ซึ่งด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ เราสามารถที่จะปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงให้เหมาะสมได้ด้วยกลวิธีต่าง ๆ สามวิธีหลักที่มีความสำคัญ ได้แก่การป้องกันการส่งผ่านของเสียงจากภายนอก การดูดซับเสียงภายใน และการสะท้อนและการปรับทิศทางของเสียง (Egan, 1972)

2.1 ระดับความเข้มของเสียง สามารถวัดค่าได้ด้วยเครื่องมือวัดเสียง มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) ในกรณีที่พิจารณาเฉพาะช่วงค่าระดับความเข้มของเสียงที่หูของมนุษย์สามารถรับฟังเสียงได้โดยกำหนดให้มีหน่วยเป็นเดซิเบลเอ (dBA) โดยระดับของความเข้มเสียงช่วงดังกล่าวนี้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าระดับความเข้มของเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต่าง ๆ (Stein and Reynolds, 2000)

ค่าระดับความเข้มของเสียง	แหล่งกำเนิดเสียง
0	ระดับความเข้มของเสียงน้อยที่สุดที่ได้ยิน
20	เสียงกระซิบ เสียงพื้นหลังของในป่าตอนกลางดึก
40	ระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังในสำนักงานทั่วไป[1]
60	เสียงสนทนาและเสียงบรรยายปกติ
70	เสียงเครื่องของรถยนต์ เสียงจากถนนที่มีการจราจรคับคั่ง
90	เสียงรถบรรทุก เสียงรถบัส เสียงเครื่องตัดหญ้า
110	เครื่องบินสองเครื่องยนต์ เสียงเลื่อยยนต์
120	เสียงฟ้าร้อง
130	เสียงจากการก่อสร้างอาคาร เครื่องสกัดคอนกรีต โรงงานที่มีเครื่องจักรขนาดใหญ่
160	เสียงจากเครื่องบินไอพ่น

[1] ในห้องบรรยายหรือห้องประชุม เสียงรบกวนพื้นหลังที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 30-50 dBA (Egan, 1972) เนื่องจากหากเสียงรบกวนพื้นหลังมีค่ามากกว่าช่วงดังกล่าวนี้จะเป็นการรบกวนการสื่อสาร แต่หากมีค่าน้อยกว่านี้จะทำให้เกิดความรู้สึกวังเวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุ สามารถนำมาคำนวณเพื่อหาค่าต่างๆ สำหรับที่จะนำมาใช้ในการออกแบบปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงที่สำคัญได้แก่**ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง** (Noise Reduction Coefficient: NRC) ซึ่งมีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละวัสดุ โดยคุณสมบัตินี้เกิดจากคุณสมบัติของวัสดุในการดูดซับเสียงเฉลี่ยที่ความถี่ของเสียงต่างๆ ดังตารางที่ 2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 แสดงค่า Noise Reduction Coefficient: NRC ของวัสดุต่างๆ (ปรับจาก Stein and Reynolds, 2000; Flynn and Segil, 1970)

วัสดุ	ค่า NRC	วัสดุ	ค่า NRC
อิฐมอญไม่ทาสี หรือทาสี	0.005	หน้าต่างกระจกขนาดเล็ก	0.15
พรมหนาปูบนคอนกรีต	0.29	แผ่นยิปซั่ม	0.05
พรมหนาปูบนโฟมยาง	0.55	หินอ่อน	0.005
คอนกรีตบล็อกผิวหยาบ	0.35	ปูนฉาบ	0.05
คอนกรีตบล็อกทาสี	0.05	ผนังเบาจากไม้อัดต่างๆ	0.15
ผ้าม่านผิวบาง	0.15	ฉนวนใยแก้ว	0.80-0.90
ผ้าม่านผิวปานกลาง	0.55	แผ่นยิปซั่มชนิดดูดซับเสียง	0.50
ผ้าม่านผิวหนา	0.60	Celotex Mineral Fiber Tiles	0.60-0.70
พื้นกระเบื้อง พื้นคอนกรีตขัดมัน	0.005	Solitude Panels	0.50-0.60
พื้นกระเบื้องยาง พื้นยางมะตอย	0.05	Perforated Asbestos Panels	0.60-0.65
พื้นไม้	0.10	Perforated Metal Panels	0.90
กระจกผืนใหญ่	0.05	Sound Blocks	1.68

2.3 ค่าการสะท้อนก้องของห้อง ค่านี้สามารถวัดค่าได้เป็นค่า**รีเวอบีเรชั่นไทม์** (Reverberation Time: RT60) มีหน่วยเป็นวินาที นิยามความหมายของค่านี้คือระยะเวลาที่เสียงจากต้นกำเนิดเสียงภายในห้องลดลงจากเดิม 60 dBA (Meritt and Embrose, 1990) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$T = 0.161 \frac{V}{a} \quad \text{.....(สมการที่ 1)}$$

เมื่อ T คือ รีเวอบีเรชั่นไทม์ (Reverberation Time: RT60) มีหน่วยเป็นวินาที
V คือ ปริมาตรห้อง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)
a คือ การดูดซับเสียงรวมของห้อง มีหน่วยเป็นซาบิน (Sabins)

โดยที่ค่าการดูดซับเสียงรวมเกิดจากผลรวมของค่าการดูดซับของทุกพื้นที่ผิวภายในห้องคูณกับพื้นที่ผิวของวัสดุนั้นๆ ดังสมการที่ 2

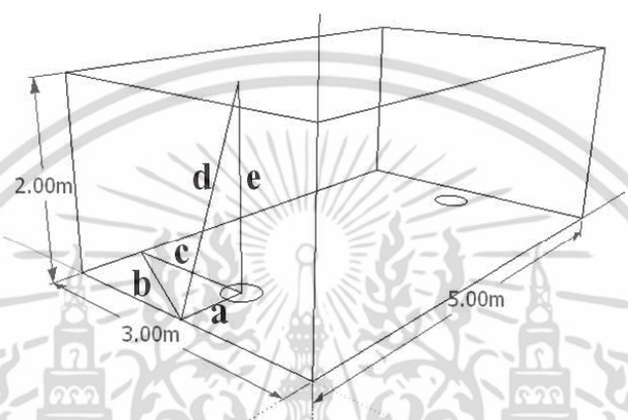
$$a = \sum S\alpha \quad \text{.....(สมการที่ 2)}$$

เมื่อ a คือ การดูดซับเสียงรวมของห้อง มีหน่วยเป็นซาบิน (Sabins)
S คือ พื้นที่ผิวของวัสดุในห้อง มีหน่วยเป็นตารางเมตร
α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเฉลี่ยของผิววัสดุที่ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีค่านี้มีค่ามากจะทำให้เสียงภายในห้องนั้นมีความก้องกังวาน หางเสียงยาว เหมาะสำหรับพื้นที่ที่ต้องการให้เกิดความกังวานของเสียงเช่นในพื้นที่โบสถ์ของชาวคริสต์ และหากค่านี้มีค่าน้อยจะทำให้เสียงสั้นและแบน เช่นในห้องบันทึกเสียง เป็นต้น สำหรับค่าที่เหมาะสมสำหรับห้องบรรยายและประชุมนั้นมีค่าอยู่ในช่วง 0.8-1.4 วินาที (Egan, 1972)

2.4 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Ray Analysis คือการวิเคราะห์ปัญหาสภาพแวดล้อมของเสียงในส่วนของปัญหาการได้ยินเสียงตรงจากแหล่งกำเนิด (Direct Sound) แยกจากเสียงสะท้อน (Reflected Sound) ซึ่งหากมนุษย์ได้ยินเสียงที่มีความแตกต่างกันเกิน 1 ใน 17 ส่วนของวินาที จะทำให้เกิดปรากฏการณ์เสียง 'เอคโค่'



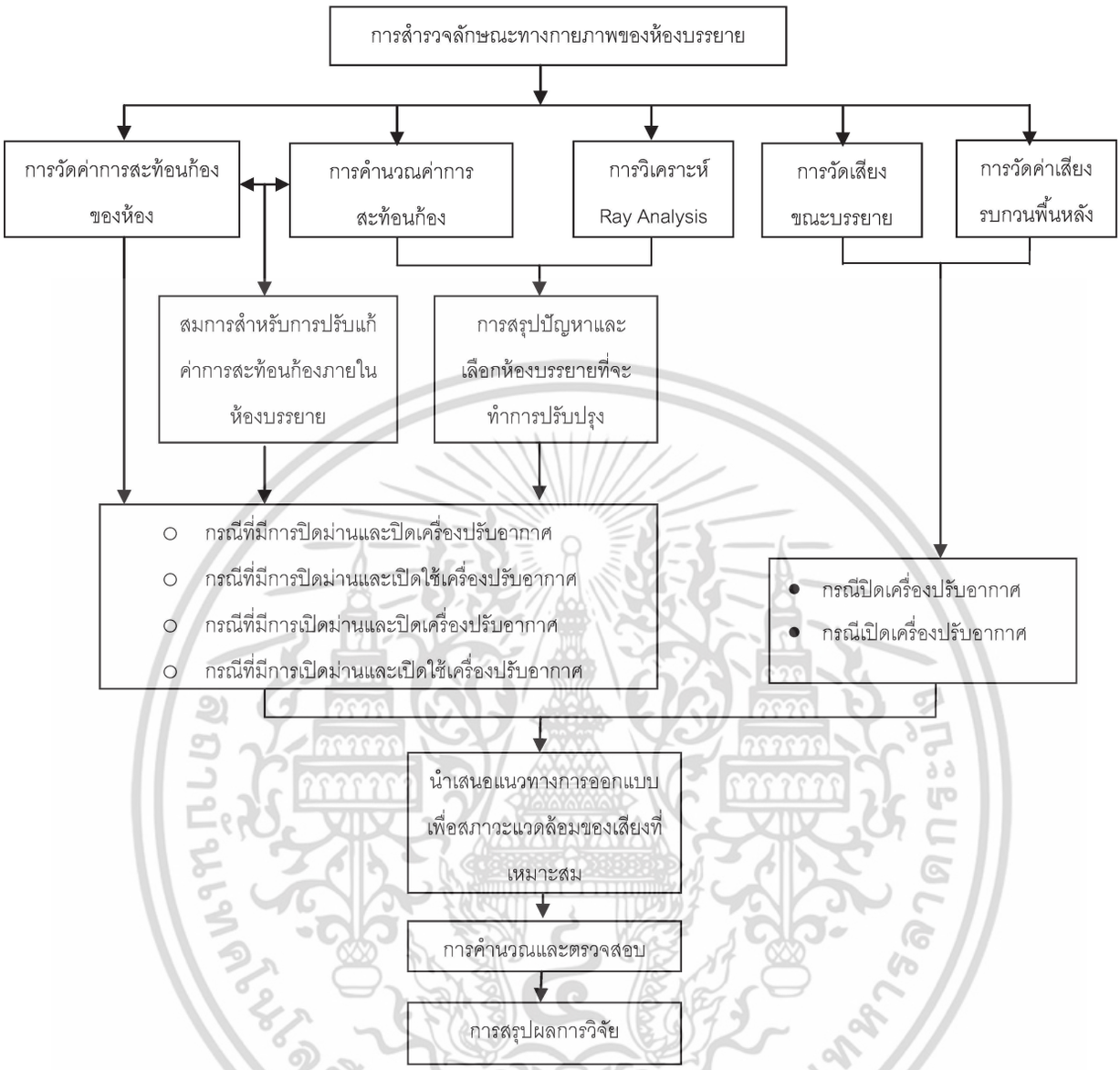
รูปที่ 1 แสดงการวิเคราะห์การสะท้อนของเสียงด้วยวิธี Ray Analysis

จากรูปที่ 1 ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะเป็นการคำนวณความแตกต่างระยะทางเดินของเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงไปยังจุดรับเสียง ในกรณีที่เสียงการสะท้อนฝ้าเพดานจะเป็นการหาความแตกต่างระหว่างระยะเสียงตรงได้แก่ระยะ a เปรียบเทียบกับเสียงสะท้อนได้แก่ระยะ d รวมกับ e (ในกรณีสะท้อนผนังคือระยะ b รวมกับ c) ค่าความต่างนี้จะสามารถบอกได้ถึงการเกิดปรากฏการณ์เอคโค่ของเสียง กรณีที่ความต่างของระยะมีค่า 12.2-15.2 เมตร จะเริ่มเกิดปรากฏการณ์นี้และจะเกิดปัญหามากที่สุดเมื่อความต่างมีค่ามากกว่า 20.8 เมตร (Egan, 1972)

3. ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงสำรวจ ทดลอง และคำนวณเพื่อนำไปสู่การออกแบบปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียง โดยเริ่มต้นจากการสำรวจปัญหาด้านสภาพแวดล้อมของเสียงในห้องประชุมขนาดต่างๆ ของทางสถาบัน ทำการวิเคราะห์ถึงสภาพปัญหา ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดระดับความเข้มของเสียงโดยใช้เครื่องมือ PHONICS รุ่น PAA3 ที่สภาพห้องในกรณีที่มีสภาวะในการใช้งานแบบต่างๆ จากนั้นจึงทำการคำนวณสมการปรับแก้ค่าจากการคำนวณกับค่าที่วัดได้จริง เพื่อนำไปปรับปรุงกายภาพของห้องบรรยายที่มีปัญหาต่อไป โดยขั้นตอนการวิจัยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 ต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

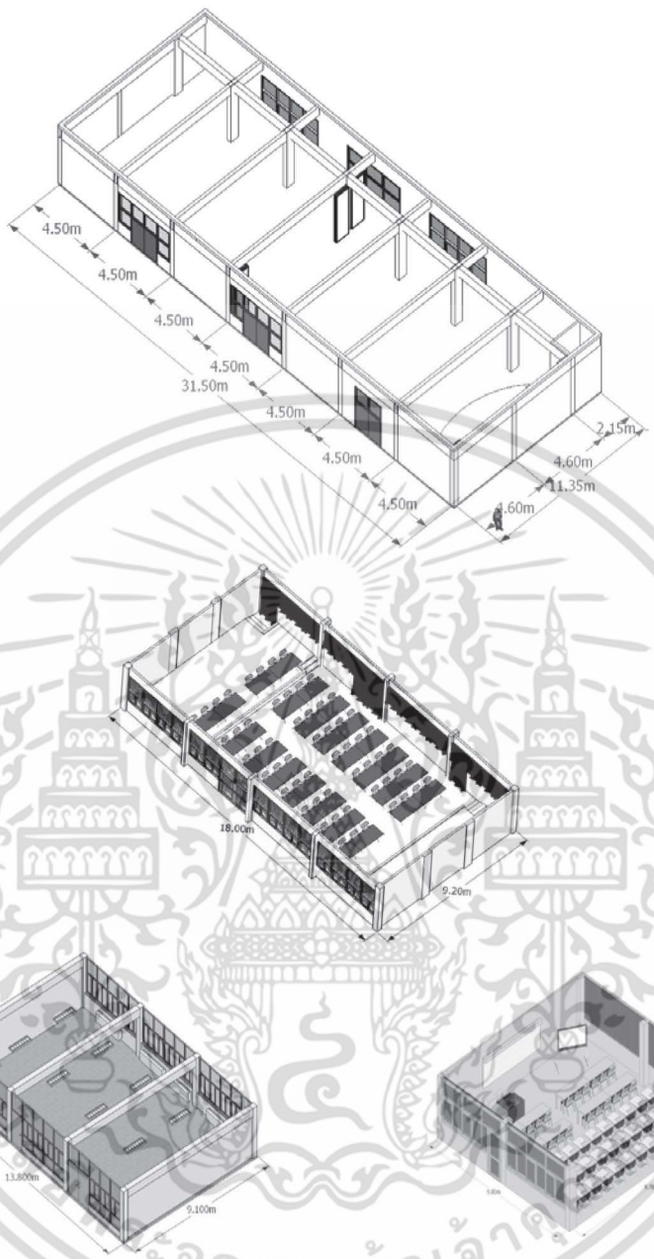


รูปที่ 2 แสดงระเบียบวิธีและขั้นตอนในการวิจัย

4. ผลการศึกษา

ส่วนที่ 1 การสำรวจห้องบรรยาย คำนวณ และการระบุปัญหา ได้ทำการสุ่มเลือกห้องบรรยายขนาดต่าง ๆ ได้แก่ ห้องบรรยายขนาด 200 ที่นั่ง ห้องบรรยายขนาด 100 ที่นั่ง ห้องบรรยายขนาด 50 ที่นั่ง และห้องบรรยายขนาด 30 ที่นั่ง จากการสำรวจด้านกายภาพนั้นจะมีความแตกต่างกันในเรื่องของระยะและขนาดของห้อง ด้านวัสดุก่อสร้างจะมีการเลือกใช้วัสดุที่คล้ายคลึงกัน โดยผนังทึบโดยรอบจะมีการก่อสร้างด้วยระบบผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนเรียบทาสี หรือก่ออิฐโชว์แนว ส่วนผนังกั้นระหว่างห้องเป็นผนังไม้อัดโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี ในส่วนของผนังโปร่งแสงจะมีลักษณะเป็นหน้าต่างบานกระจกใสหนา 6 มิลลิเมตรขนาดโดยรอบของห้อง โดยมีการติดตั้งม่านปิดทับบริเวณที่เป็นผนังกระจกเกือบทั้งหมด ระบบฝ้าเพดานแผ่นยิปซั่มทาสีขาวโครงคร่าวเหล็ก (ในห้องบรรยายขนาด 200 ที่นั่ง ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน) พื้นกรุกระเบื้องยางบริเวณที่นั่งผู้ฟัง ดังรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 แสดงลักษณะทางกายภาพของห้องบรรยายขนาดต่างๆ ได้แก่ห้องบรรยายขนาด 200 ที่นั่ง (บน) 100 ที่นั่ง (กลาง) 50 ที่นั่ง (ล่างซ้าย) และ30 ที่นั่ง (ล่างขวา)

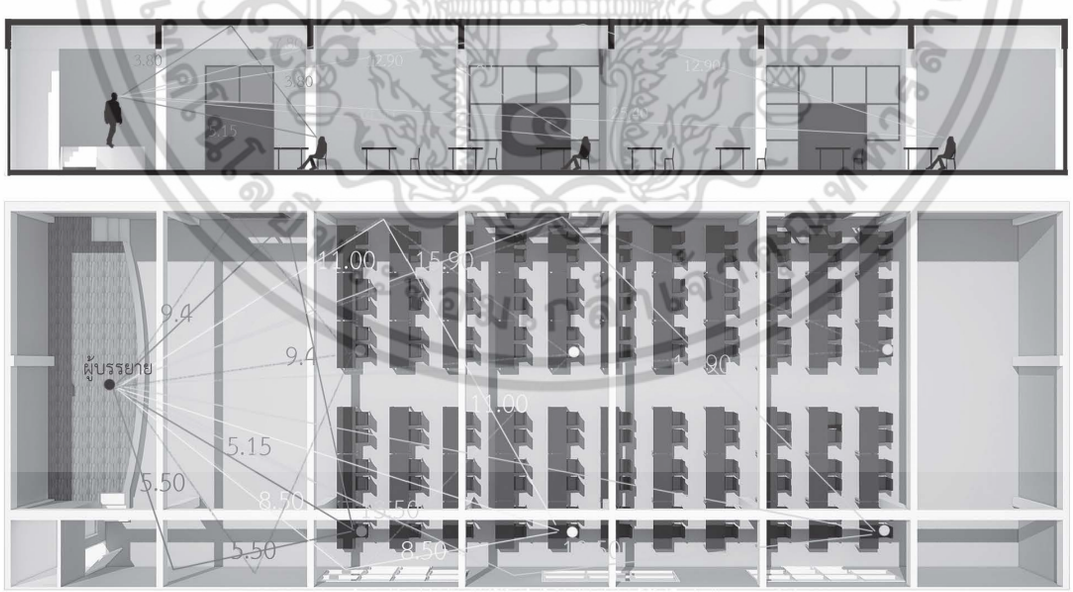
จากการสำรวจลักษณะทางกายภาพทั่วไป ผนวกรวมกับที่ได้จากการประมาณค่าการสะท้อนก้องของห้องโดยการพิจารณาค่ารีเวอบีเรชั่นไทม์ (RT60) ของห้องบรรยายในกรณีต่างๆ สามารถแสดงดังตารางที่ 3 ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงผลการสำรวจ รังวัด และคำนวณค่า ของห้องบรรยายขนาดต่างๆ

ประเด็นพิจารณา	ห้องบรรยาย 200 ที่นั่ง	ห้องบรรยาย 100 ที่นั่ง	ห้องบรรยาย 50 ที่นั่ง	ห้องบรรยาย 30 ที่นั่ง
ขนาดห้องบรรยาย (กว้าง*ยาว*สูง) (เมตร)	12.0*30.0*4.2	9.0*17.7*3.4	8.8*13.5*3.0	9.0*9.7*3.0
พื้นที่ (ตารางเมตร)	360 ตารางเมตร	159.3	118.8	87.3
ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)	1,512 ลูกบาศก์เมตร	514.6	356.4	261.9
กิจกรรมการใช้งาน	บรรยาย ประชุม กิจกรรมเอนกประสงค์	บรรยาย ประชุม กิจกรรมเอนกประสงค์	บรรยาย ประชุมย่อย	บรรยาย ประชุมย่อย
คำนวณค่ารีเวอบีเรชั่นไทม์กรณีเปิดม่าน (วินาที)	3.54	1.75	1.40	1.31
คำนวณค่ารีเวอบีเรชั่นไทม์กรณีปิดม่าน (วินาที)	3.31	1.10	0.95	1.02
ผลการวิเคราะห์ระยะของเสียงด้วยวิธี Ray Analysis	เกิดปัญหาของเสียงเอคโค่ค่อนข้างสูงที่บริเวณแถวหน้า	เริ่มเกิดปัญหาของเสียงเอคโค่ที่บริเวณแถวหน้า	ไม่มีปัญหาเสียงเอคโค่	ไม่มีปัญหาเสียงเอคโค่
อื่นๆ	มีเวที 2 ด้าน สามารถแยกเป็นสองห้องย่อยได้	มีการใช้งานค่อนข้างเอนกประสงค์	-	-

จากตารางจะเห็นได้ว่าห้องบรรยายที่มีปัญหาสภาพแวดล้อมของเสียงน้อย ได้แก่ห้องบรรยายที่มีขนาดเล็กได้แก่ ขนาด 30 และ 50 ที่นั่ง ในส่วนของห้องบรรยายขนาดใหญ่ 200 และ 100 ที่นั่งนั้น จะพบปัญหาแบบเดียวกันได้แก่ ปัญหาในเรื่องของการสะท้อนก้องจากผลการคำนวณที่เกินช่วงค่ามาตรฐานสำหรับห้องบรรยาย

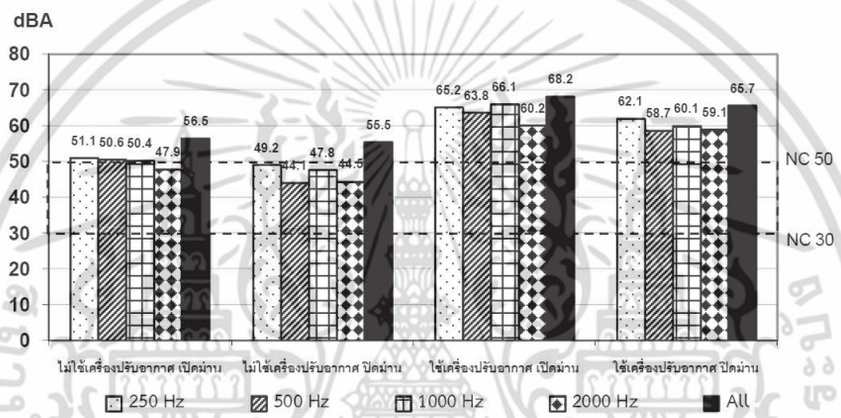


รูปที่ 4 แสดงการวิเคราะห์การเกิดเอคโค่ของเสียงโดยวิธี Ray Analysis ของห้องบรรยายและประชุมขนาด 200 ที่นั่ง โดยการพิจารณาตำแหน่งของผู้ฟัง 6 จุด ได้แก่หน้าห้องกลางแถว หน้าห้องริมแถว กลางห้องกลางแถว กลางห้องริมแถว หลังห้องกลางแถว และกลางห้องริมแถว โดยการสะท้อนจากผนังและฝ้าเพดาน

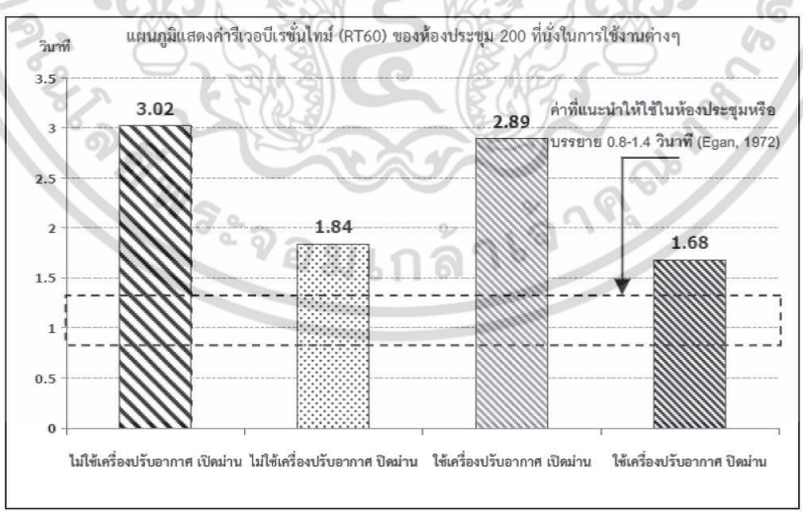
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการวิเคราะห์การเกิดเอคโค่ของห้องด้วยวิธี Ray Analysis พบว่าห้องบรรยายขนาดใหญ่อาจเกิดปัญหาในเรื่องของเสียงเอคโค่ได้ในบริเวณส่วนแถวหน้าของห้องเรียน (รูปที่ 4) ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยทางด้านขนาดของห้องที่มีขนาดใหญ่ วัสดุภายในมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงค่อนข้างต่ำ และมีพื้นที่ดูดซับเสียงน้อย ดังนั้นจึงเข้าทำการตรวจวัดค่าและสำรวจเพิ่มเติมในส่วนของพื้นที่ห้องบรรยายและประชุมขนาด 200 ที่นั่ง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีแนวโน้มในการเกิดปัญหาสภาพแวดล้อมของเสียงมากที่สุดเพื่อทำการปรับปรุงและแก้ไขต่อไป

ส่วนที่ 2 การตรวจวัดค่า ทำการตรวจวัดความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังระหว่างกรณีที่มีการเปิดใช้ระบบปรับอากาศ และกรณีที่มีการปิดหรือเปิดม่านที่ระดับความถี่ของเสียงต่างๆ ตั้งแต่ความถี่ 250 500 1000 2000 เฮิรตซ์ และทุกย่านความถี่รวมกัน จากนั้นจึงทำการวัดค่ารีเวอบีเรชั่นไทม์ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณเพื่อสร้างสมการปรับแก้ ทั้งในกรณีที่มีการปิดม่านและเปิดม่านกรองแสง ดังแผนภูมิที่ 1 และ 2 ต่อไปนี้



แผนภูมิที่ 1 แสดงระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังเฉลี่ย (Background Noise) ของห้องบรรยายขนาด 200 ที่นั่ง

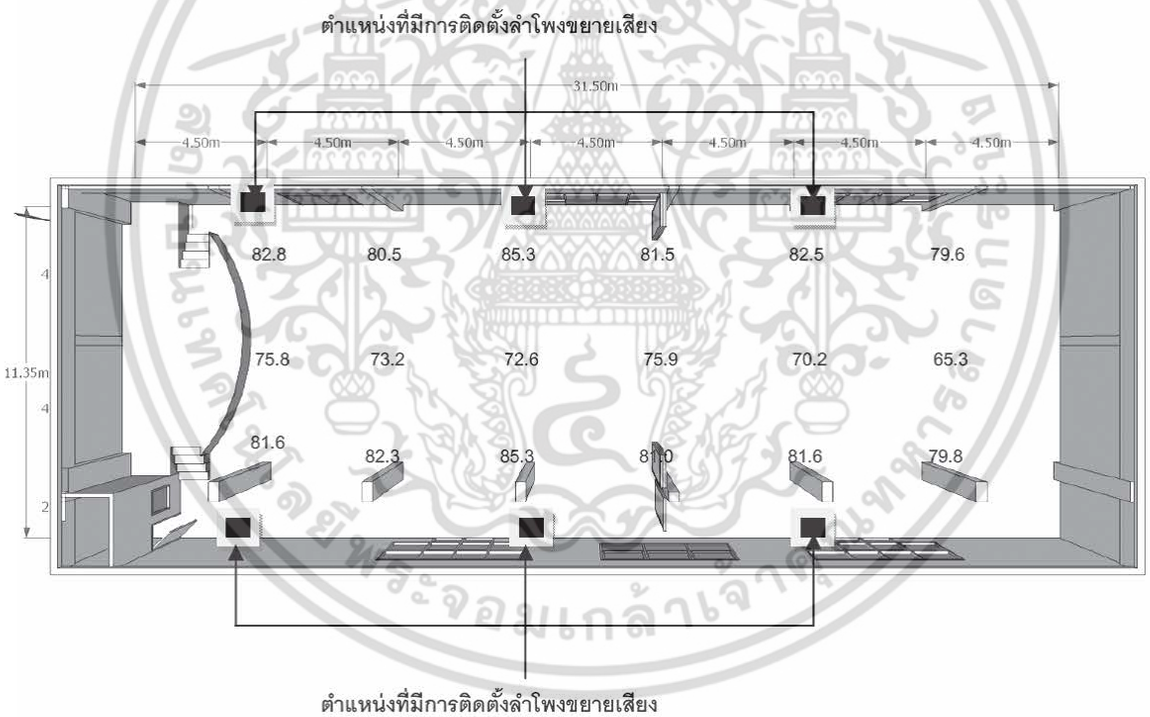


แผนภูมิที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยของรีเวอบีเรชั่นไทม์ (RT60) หน่วยเป็นวินาที ของห้องบรรยายขนาด 200 ที่นั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภูมิที่ 1 ในกรณีที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ ค่าของเสียงรบกวนพื้นหลังจะมีค่าสูงกว่าค่ายอมให้ (30-50 เดซิเบลเอ) ในทุกย่านความถี่และทุกย่านความถี่รวมกัน ถึงแม้จะไม่มีการใช้เครื่องปรับอากาศค่าของเสียงรบกวนพื้นหลังก็เกือบที่จะเกินค่ามาตรฐาน และจากข้อมูลนี้แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าเครื่องปรับอากาศเป็นปัจจัยหลักสำคัญในการทำให้เกิดเสียงรบกวนพื้นหลังของห้อง และจากแผนภูมิที่ 2 พบว่าการใช้ม่านกรองแสงมีผลต่อการสะท้อนก้องของเสียงภายในห้องบรรยายค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของม่านและพื้นที่การติดตั้งม่านที่มีพื้นที่ค่อนข้างกว้าง ส่งผลให้ค่าความแตกต่างของการสะท้อนก้องภายใน กรณีที่มีการใช้ม่านเปรียบเทียบกรณีที่ไม่มีการใช้ม่านมีความแตกต่างค่อนข้างสูงทั้งในกรณีที่มีการใช้และไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ โดยทั้ง 4 กรณีที่ทำการวัดมีค่าเกินค่ามาตรฐานที่แนะนำ ทั้งนี้กรณีที่จะนำไปพิจารณาในการออกแบบจะเป็นการนำกรณีที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศและติดม่านกันแสงเป็นเกณฑ์ในการออกแบบปรับปรุงพื้นที่ เนื่องจากเป็นกรณีที่ใช้งานเป็นส่วนใหญ่ โดยจากการคำนวณและวัดค่า จะสามารถนำค่าที่ได้นี้มาสร้างสมการเพื่อเป็นการปรับแก้ค่าในกรณีที่ได้จากการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับการวัดค่าจริงมากที่สุด โดยที่สมการปรับแก้กรณีของห้องประชุม 200 ที่นั่งที่มีการปิดม่านได้แก่สมการ **RT60 (คำนวณ) = RT60 (วัดได้จริง) * 1.972**

การวัดค่าระดับความเข้มของเสียงผู้บรรยาย ได้ทำการตรวจวัดค่าระดับความเข้มของเสียงบรรยายในขณะที่มีการบรรยายจริงโดยใช้เครื่องขยายเสียง ปิดม่าน และเปิดการใช้เครื่องปรับอากาศ ได้ข้อมูลดังรูปต่อไปนี้

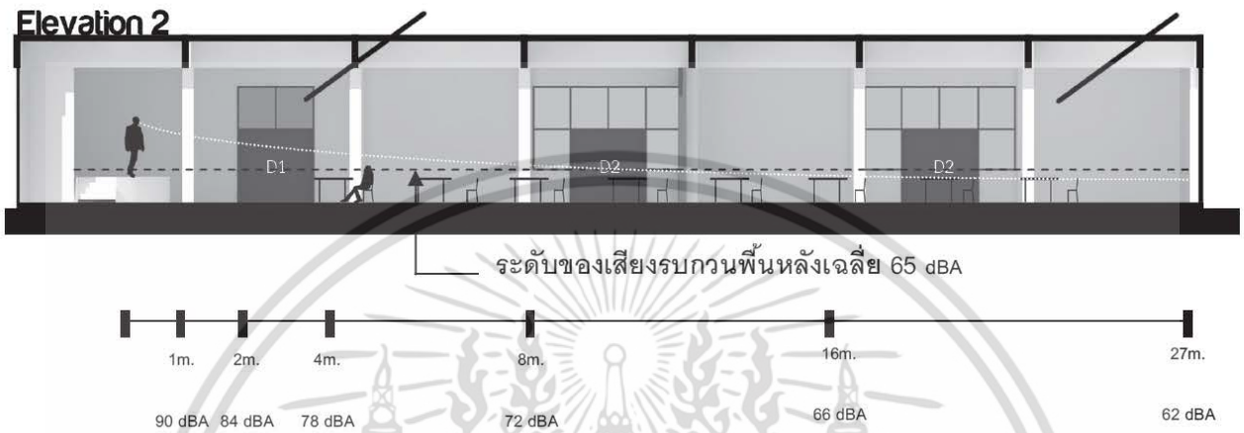


รูปที่ 5 แสดงค่าระดับความเข้มของเสียงบรรยายในขณะที่มีการเรียนการสอน ณ จุดต่างๆ ของพื้นที่ห้องบรรยาย

จากรูปที่ 5 แสดงระดับความเข้มของเสียงบรรยาย ณ จุดต่างๆ โดยการตรวจวัดค่าจะพบว่า ระดับความเข้มของเสียงบรรยายจะมีค่าประมาณ 75-80 เดซิเบลเอ โดยที่จะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออยู่ใกล้กับลำโพงขยายเสียง ค่าความแตกต่างของเสียงบรรยายกับเสียงรบกวนพื้นหลังขณะที่มีการปิดม่านและเปิดเครื่องปรับอากาศมีค่า 10-15 เดซิเบลเอ (ขึ้นอยู่กับการปรับค่าระดับเสียงของเครื่องขยายเสียงด้วย) ซึ่งมากพอที่จะสื่อสารระหว่างผู้บรรยายกับผู้ฟังได้ อย่างไรก็ดีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงที่สามารถลดค่าระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังลงได้จะทำให้สามารถลดค่าระดับความเข้มของเสียงบรรยายจากเครื่องขยายเสียงลงได้ด้วย ทำให้ผู้ฟังไม่ต้องรับฟังเสียงที่มีความเข้มเสียงสูงได้อีกทางหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาระยะของเสียงตรงจากผู้บรรยาย (Direct Sound Distance) เมื่อระยะระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับแหล่งรับเสียงเพิ่มขึ้น 2 เท่า ระดับความดังเสียงจะลดลง 6 เดซิเบลเอ (Flynn and Segil, 1970) ดังนั้นเมื่อพิจารณาระยะความยาวของห้องนี้จะพบว่าเสียงผู้บรรยายกรณีที่ไม่ใช้เครื่องขยายเสียงนั้นจะสามารถส่งไปถึงผู้ฟังได้ที่ระยะ 7-8 เมตร เมื่อหักลบกับเสียงรบกวนพื้นหลังในกรณีปิดม่านและใช้เครื่องปรับอากาศดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 6 แสดงระดับความดังของเสียงบรรยาย (เสียงตรง) เมื่อพิจารณาร่วมกับระยะความยาวของห้อง

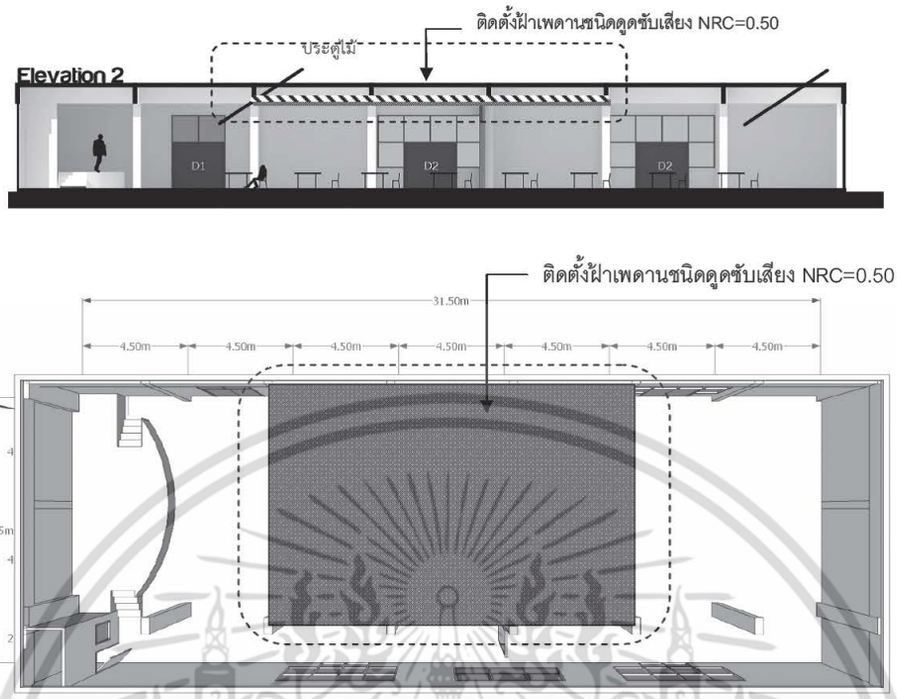
กรณีที่ใช้เสียงจากผู้บรรยายโดยไม่มีการใช้เครื่องขยายเสียงช่วยนั้น เสียงตรงสามารถที่จะใช้ในการบรรยายได้ที่ระยะประมาณ 7-8 เมตรเท่านั้นหากมีการใช้เครื่องปรับอากาศและปิดม่าน ดังนั้นในกรณีของการใช้งานปกติที่เป็นอยู่ในปัจจุบันจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการใช้เครื่องขยายเสียงเพื่อช่วยกระจายเสียงและเพิ่มระดับความเข้มของเสียงสูงขึ้นเพื่อทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างเสียงผู้บรรยายกับเสียงรบกวนพื้นหลังอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ อย่างไรก็ดีในกรณีที่เป็นการบรรยายกลุ่มเล็กนั้นอาจจะยังสามารถใช้เพียงเสียงตรงจากผู้บรรยายเพียงอย่างเดียวได้ โดยที่ระยะผู้ฟังห่างจากผู้บรรยายต้องไม่เกิน 8 เมตร ในการนี้หากไม่ใช้เครื่องขยายเสียงจำเป็นที่จะต้องลดระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังลงให้อยู่ในช่วงประมาณ 45-50 เดซิเบลเอ ผู้ฟังแถวหลังสุดจึงยังจะสามารถได้ยินเสียงบรรยายที่ต้องการแยกจากเสียงรบกวนพื้นหลังอย่างชัดเจน

ส่วนที่ 3 การเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุง

การเพิ่มการดูดซับเสียงรวมของห้อง สามารถทำได้ด้วยวิธีการเพิ่มค่าการดูดซับเสียงของม่าน ซึ่งจากการสำรวจพบว่าม่านที่ใช้ในห้องเดิมเป็นม่านบางที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับเสียงค่อนข้างน้อยคือประมาณ 0.3 ดังนั้นหากทำการเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวจะส่งผลให้ค่าการดูดซับเสียงของห้องเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาจากค่ารีเวอบีเรชั่นไทม์จากการคำนวณเดิมที่มีค่า 3.31 วินาที เมื่อเปลี่ยนแปลงลักษณะของม่านเป็นค่าใหม่ที่มีการเปลี่ยนม่านเป็นม่านหนาที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 0.6 (Stein and Reynolds, 2000) จะได้ค่ารีเวอบีเรชั่นไทม์ใหม่ที่ **2.91** วินาที เทียบเป็นค่าที่จะวัดได้จริงในกรณีที่มีการเปลี่ยนวัสดุนี้ตามสมการปรับแก้คือ **1.48** วินาที ซึ่งยังคงเกินค่ามาตรฐาน

การเพิ่มค่าการดูดซับเสียงโดยไม่ทำให้การใช้ห้องเปลี่ยนแปลงไปและยังสามารถใช้เป็นห้องบรรยายอีกฝั่งหนึ่งได้โดยไม่กระทบกับการสะท้อนของเสียงบริเวณผนังในอีกแนวทางหนึ่งคือการเพิ่มการติดตั้งฝ้าเพดานจากเดิมเป็นฝ้าเพดานแบบดูดซับเสียงจะเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกรณีไม่มีฝ้าเพดาน (ท้องพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป) จากเดิม 0.10 เป็น 0.50 ซึ่งจะส่งผลให้ค่าการสะท้อนก้องของเสียงลดลงจากเดิม อีกทั้งในกรณีนี้ยังเป็นการลดปริมาตรของห้องลงโดยไม่กระทบต่อการมองเห็นจอภาพ เนื่องจากมีการก่อสร้างฝ้าเพดานเพิ่มเติมใต้ท้องคานของห้องดังรูปที่ 7 ซึ่งจะส่งผลให้การสะท้อนก้องของห้องบรรยายลดลงในอีกทางหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

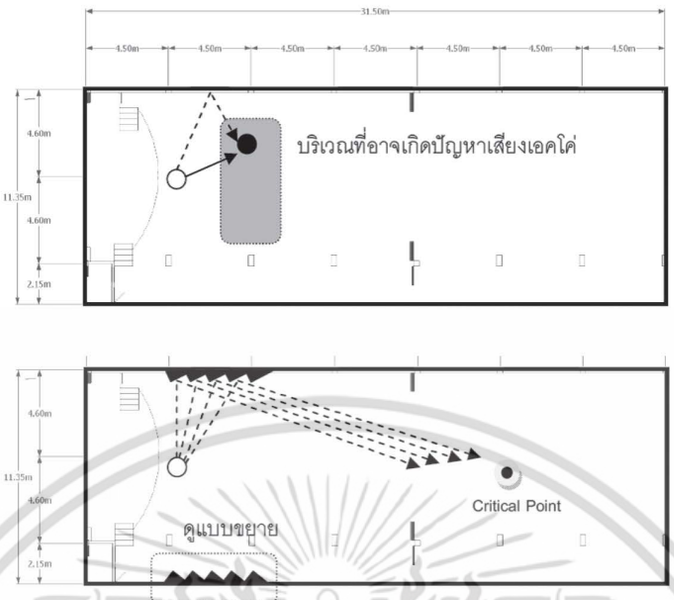


รูปที่ 7 แสดงการติดตั้งฝ้าเพดานชนิดดูดซับเสียงที่บริเวณใต้ท้องคานของห้องบรรยาย

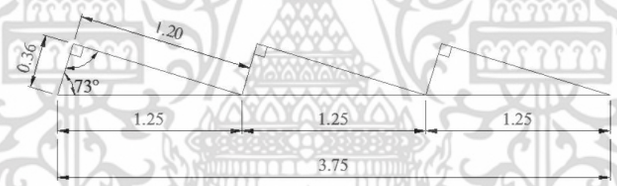
เมื่อคำนวณค่ารีเวอบีเรชั่นไทม์จะมีค่า **1.975 วินาที** ซึ่งสามารถเทียบเป็นค่าที่จะวัดได้จริงในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงนี้ตามสมการปรับแก้ได้ค่า **1.00 วินาที** ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของห้องบรรยายโดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนม่าน ในกรณีของการเพิ่มวัสดุซับเสียงที่ฝ้าเพดานนี้จะช่วยลดระดับของเสียงรบกวนพื้นหลังลงได้ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ดูดซับเสียงรวมหลังการปรับปรุงต่อพื้นที่ดูดซับเสียงรวมเดิม ซึ่งสามารถคำนวณได้ค่าประมาณ 1.6 ซึ่งจะลดระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังจากเดิมลงได้ 2 เดซิเบลเอ (จากเดิม 65.7 เดซิเบลเอ เหลือ 63.7 เดซิเบลเอ) ทำให้สามารถลดระดับความเข้มของเครื่องขยายเสียงลงได้ 2 เดซิเบลเอด้วย และด้วยการติดตั้งฝ้าเพดานชนิดดูดซับเสียงในรูปแบบนี้เองยังสามารถทำให้ห้องบรรยายนี้สามารถแบ่งเป็นห้องบรรยายแบบแยกเป็นห้องย่อยได้ ฝ้าเพดานที่ทำการติดตั้งใหม่จะอยู่ในช่วงประมาณ 1 ใน 3 จากระยะฝ้าเพดานจากด้านหลังห้องพอดี ซึ่งเป็นบริเวณที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงอย่างเหมาะสมของทั้งสองห้องบรรยายย่อย (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

การเพิ่มกระจายของเสียงจากบริเวณหน้าเวที ส่วนหนึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาการสะท้อนของเสียงบริเวณด้านหน้าเวทีแถวหน้า ซึ่งมักจะเกิดปัญหาเสียงสะท้อนหรือเสียงเอคโค่ โดยการติดตั้งแผงสะท้อนเสียงบริเวณด้านข้างของผนังห้องบรรยายดังรูปที่ 8 ต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

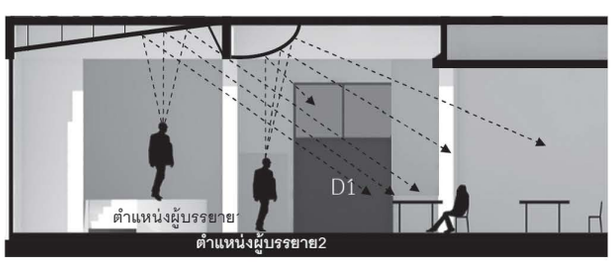


รูปที่ 8 แสดงการแก้ปัญหาเสียงสะท้อนหรือเสียงเอคโค่โดยใช้ครีบสะท้อนเสียงด้านข้างเพื่อกระจายเสียงไปยังจุดที่มักจะไม่ได้ยินเสียงบรรยายคือจุดกึ่งกลางห้องจากด้านหลังระยะ 1 ใน 3 ของห้อง (Critical Point) (สุนทร บุญญาธิการ, 2545) และเพื่อแก้ปัญหาเสียงเอคโค่บริเวณแถวหน้า



รูปที่ 9 แสดงรายละเอียดระยะของครีบสะท้อนเสียงทางด้านข้างของห้องบรรยาย

จากรูปที่ 9 ขนาดพื้นที่หน้าสะท้อนเสียงของครีบต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4 เท่าของความยาวคลื่นเสียงที่ต้องการให้สะท้อน (Egan, 1972) ดังนั้นจากที่ได้ทำการเก็บข้อมูลการบรรยายจะพบว่าคลื่นเสียงนั้นมีค่าความถี่ประมาณ 1000 เฮิรตซ์ เมื่อคำนวณกลับโดยการใช้ความเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิปรับอากาศ 25 องศาเซลเซียสมาคำนวณจะพบว่าความยาวช่วงคลื่นเสียงมีค่าประมาณ 0.3 เมตร ทำให้พื้นที่หน้าสะท้อนเสียงน้อยที่สุดที่ใช้ได้เท่ากับ 1.2 เมตร (4 เท่าของความยาวคลื่นเสียงที่ต้องการสะท้อน) ส่วนบริเวณฝ้าเพดานระยะเหนือผู้บรรยาย หรือระยะประมาณ 1 ใน 3 จากทางด้านหน้าห้อง ในส่วนฝ้าเพดาน เสนอให้มีการปรับรูปแบบฝ้าเพดานให้มีลักษณะดังรูปที่ 10 ทั้งนี้เพื่อเพิ่มการสะท้อนเสียงจริงของผู้บรรยาย เพิ่มการกระจายเสียงให้ทั่วถึง รวมทั้งเป็นการแก้ไขปัญหาเสียงสะท้อนหรือเสียงเอคโค่อีกด้วย



รูปที่ 10 แสดงรายละเอียดของฝ้าเพดานสะท้อนเสียงทางด้านบนเพดานของห้องบรรยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สรุปผลแนวทางการออกแบบปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงของห้องบรรยายขนาด 200 ที่นั่ง

จากแนวทางการปรับปรุงกายภาพเพื่อปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงในห้องบรรยายขนาด 200 ที่นั่ง โดยวิธีการต่างๆ จะทำให้สามารถแก้ไขปัญหาได้โดยการเพิ่มฝ้าเพดานที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 0.5 พื้นที่ 108 ตารางเมตร ช่วยทำให้ค่าการสะท้อนก้องในห้องบรรยายนี้ ลดลงจากเดิม 3.31 วินาที เป็น 1.95 วินาทีในการคำนวณ และจาก 1.68 วินาที เป็น 1.00 วินาทีในการวัดค่าจริง ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของห้องบรรยาย อีกทั้งการเพิ่มฝ้าเพดานนี้จะทำให้ค่าความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังเฉลี่ยลดลงประมาณ 2 เดซิเบลเอ ในส่วนของการเพิ่มแผงหรือครีบสะท้อนเสียงทางด้านข้างผนังจะช่วยทำให้เสียงจากบริเวณด้านหน้าของห้องบรรยาย กระจายไปสู่ผู้ฟังได้มากยิ่งขึ้น ส่วนการเพิ่มฝ้าเพดานสะท้อนเสียงทางด้านบนของเพดาน จะช่วยทำให้เสียงจากบริเวณด้านหน้าของห้องบรรยาย กระจายไปสู่ผู้ฟังได้มากยิ่งขึ้นและในส่วนของการแก้ปัญหาระยะยาว ควรเป็นการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงระบบปรับอากาศเครื่องกลในการที่จะลดเสียงรบกวนพื้นหลังลงให้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากเสียงรบกวนพื้นหลังที่เป็นสาเหตุหลักของปัญหาสภาพแวดล้อมของเสียงเกิดจากระบบปรับอากาศระบบเก่าที่เริ่มเสื่อมสภาพ

เอกสารอ้างอิง

กรรณิกา ถุนาพรรณ์ และชูพงษ์ ทองคำสมุทร, "การปรับปรุงสภาพแวดล้อมของของเสียงภายในห้องประชุมคณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยขอนแก่น", **วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2555**, ปีที่ 11, หน้า 33-51, 2555.

ชูพงษ์ ทองคำสมุทร, "แนวทางการออกแบบอาคารเรียนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ กรณีศึกษา: อาคาร 40 ปี สาธิตศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น", **วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2553**, ปีที่ 9, หน้า 1-13, 2553.

สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ. **นวัตกรรมการสร้างสรรค์ห้องเรียนคุณภาพสูงด้วยระบบธรรมชาติ.** (THE INNOVATIVE DESIGN OF HIGH QUALITY CLASSROOM USING NATURAL SYSTEMS): สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

สุนทร บุญญาธิการ.**การออกแบบประสานระบบ มหาวิทยาลัยชินวัตร**. กรุงเทพฯ: จีเอ็มแม็ก มีเดีย, 2545.

Egan, M. D. **Concepts in Architectural Acoustics**. New York: McGraw-Hill, 1972.

Flynn, J. E. and Segil, A. W. **Architectural Interior System**. New York: McGraw-Hill, 1970.

Merritt, S. F. and Ambrose, J. **Building Engineering and System Design**. United States of America: Van Nostrand Reinhold, 1990.

Simons, M. W. Sound Control in Buildings: **a guide to part E of the building regulations** / M. W. Sinmons and J. R. Waters, Oxford: Blackwell Pub., 2004.

Stein, B. and Reynolds, J. S. **Mechanical and electrical equipment for Buildings**. 9th ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้