DOI : 10.14456/bei.2021.5

การปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียง กรณีศึกษา: โรงละครคณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

An Improvement of Acoustical Environment: A Case Study of the Theater of Faculty of Fine and Applied Arts, Khon Kaen University

สุรพัฒน์ ตรีรัตน์วิชชา* และชูพงษ์ ทองคำสมุทร**

Surapat Threeratwichcha* and Choopong Thongkamsamut**

Received: March 1, 2021 Revised: April 8, 2021 Accepted: April 12, 2021

บทคัดย่อ

คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มีนโยบายในการปรับปรุงพื้นที่อาคารจัดแสดงนิทรรศการทางศิลปะเดิมให้เป็นโรงละคร เพื่อใช้สำหรับรองรับกิจกรรมการใช้งานที่หลากหลาย ทั้งการแสดงละคร ดนตรี นาฏศิลป์ การประชุมสัมมนา รวมทั้งใช้เป็นห้องบรรยายสำหรับการเรียนการสอน โดยที่งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบปรับปรุงสภาพแวดล้อมในอาคารเดิมให้สภาพแวดล้อมของเสียงมีความเหมาะสมกับกิจกรรมใหม่ โดยทำการสำรวจเก็บข้อมูลภายในอาคารด้วยเครื่องวัดและวิเคราะห์เสียง (Audio Analyzer) รุ่น Phonic PAA3 เพื่อการวิเคราะห์ตัวแปรและปัญหา คำนวณค่าคุณภาพเสียงของสภาพแวดล้อมภายในอาคาร เสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารเพื่อการใช้งานเป็นโรงละคร จากนั้นจึงทำการตรวจวัดค่าต่างๆ เพื่อประเมินผลอีกครั้ง ผลการวิจัยพบว่าตัวแปรที่มีผลทำให้เกิดปัญหาของเสียงทั้งหมดของพื้นที่เดิม ได้แก่ปริมาตรห้องที่มากเกินไป มีระยะหลังคาที่สูง แนวผนังที่ขนานกัน ค่าการดูดซับเสียงของพื้นผิววัสดุภายในห้องที่น้อยเกินไป วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างไม่สามารถป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจากการตรวจวัดค่าการสะท้อนก้องภายในมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00 วินาที และค่าความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังจากภายนอกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 47.03 dBA ผลการคำนวณค่าระดับการลดลงของเสียงตรงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจากจุดที่ผู้ฟังด้านหลังสุดของห้อง พบว่ามีค่าเสียงกรณีทดสอบด้วยเสียงปกติเท่ากับ 39.00 dBA ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลัง ผลการวิเคราะห์การกระจายของเสียงด้วยวิธี Ray Diagram Analysis จำนวน 5 จุดที่ระยะต่างๆ กัน พบว่าจุดตรวจวัดของที่นั่งด้านหน้านั้นมีค่าการวิเคราะห์โอกาสในการเกิดปัญหาการเกิดเอคโค่ของเสียง ที่ระดับดีสำหรับการบรรยายและปานกลางสำหรับการแสดงดนตรี

---

* นักศึกษาหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

** อาจารย์ประจำหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

* Master of Architecture Program in Building Technology, Faculty of Architecture, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand, 40002

** Master of Architecture Program in Building Technology, Faculty of Architecture, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand, 40002

Corresponding author E-mail : threeratwichcha@gmail.com* , choopong7@gmail.com**

จากนั้นจึงได้ทำการคำนวณค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด โดยการลดปริมาตรของพื้นที่ให้มีความเหมาะสม กั้นพื้นที่ผนังภายใน ปรับปรุงเปลือกอาคารภายนอก ติดตั้งฝ้าเพดานที่ทำองศาในการสะท้อนและดูดซับเสียงภายใน พร้อมติดตั้งระบบไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศและเครื่องขยายเสียงในตำแหน่งที่สามารถกระจายเสียงได้ดี ภายหลังการก่อสร้างได้เข้าทำการตรวจวัดค่าต่างๆ พบว่าค่าการสะท้อนก้องมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.92 วินาที ลดลงจากเดิมเฉลี่ยร้อยละ 4 และมีค่าเฉลี่ยความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังจากภายนอกเท่ากับ 42.20 dBA ลดลงจากเดิมเฉลี่ยร้อยละ 10.27 ผลการคำนวณค่าระดับการลดลงของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น จากจุดที่ผู้ฟังด้านหลังสุดของห้อง พบว่ามีค่าเสียงกรณีทดสอบด้วยเสียงปกติและกรณีใช้เครื่องขยายเสียงเพิ่มขึ้นจากเดิมเฉลี่ยร้อยละ 6.4 และผลการวิเคราะห์ Ray diagram Analysis จำนวน 4 จุดพบว่าจุดตรวจวัดทั้งหมดมีค่าการวิเคราะห์โอกาสการเกิดปัญหาการเกิดเอคโค่ของเสียงที่ระดับดีเยี่ยมทั้งการบรรยายและการแสดงดนตรี ซึ่งแสดงให้เห็นในภาพรวมว่าการปรับปรุงอาคารนี้ ทำให้เกิดสภาพแวดล้อมของเสียงที่มีความเหมาะสมต่อกิจกรรมที่จะเกิดขึ้นใหม่มากยิ่งขึ้น

Abstract

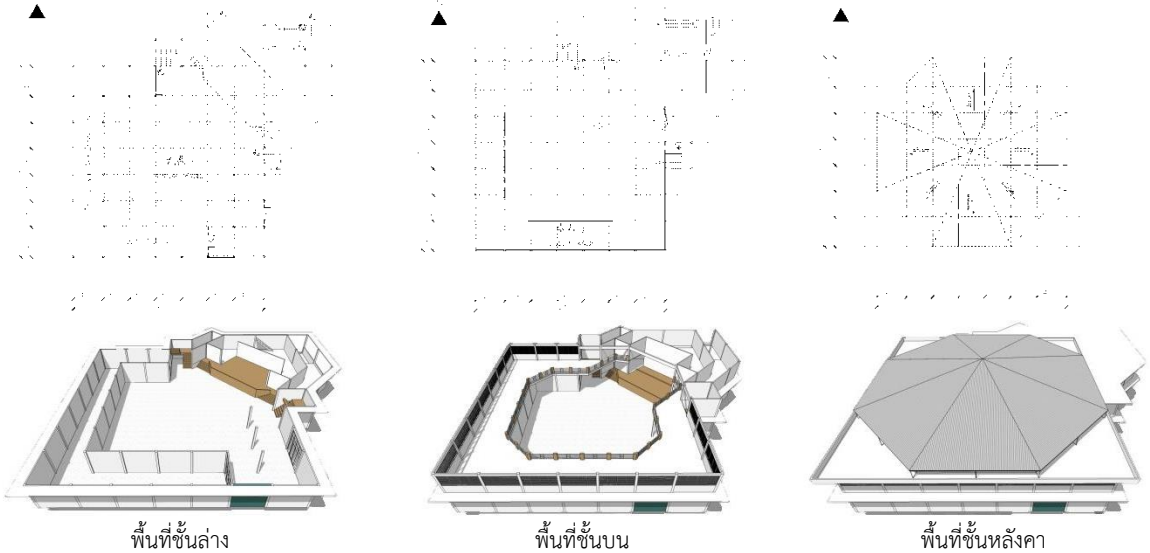
The Faculty of Fine and Applied Arts, Khon Kaen University has a policy to renovate the original art exhibition building into a theater. It can be used for a wide range of activities including theatrical performances, music, dance, conferences, and lecture halls. The research aims to improve the environment in the original building to make the sound environment suitable for new activities. The survey was conducted with the Phonic PAA3 Audio Analyzer for analysis of variables and problems. Calculate the sound quality of indoor environments propose guidelines for building renovation for theater use. The measurements are then re-evaluated. The results showed that variables that resulted in all noise problems of the original area where excessive room volume. High roofing distance Parallel walls the sound absorption value of the material surface inside the room is too small. The materials used in the construction do not effectively prevent external noise. The internal echo measurement averaged 2.00 seconds, and the intensity of external background noise was 47.03 DBA. It was found that the normal sound test case was 39.00 DBA, which is less than the background noise intensity value. The results of a 5-point ray diagram analysis of the sound distribution at different stages showed that the measurement points of the front seats were worth analyzing the likelihood of sound echo at good levels for lectures and moderate for musical performances. The relevant values are then calculated to meet all benchmarks. By reducing the volume of space appropriately. Interior wall partitions, renovation of exterior building shells installs ceilings that make degrees to reflect and absorb sound inside, and install electrical and air conditioning systems and amplifiers in a position where broadcasting is good. After construction, the measurements showed an average of 1.92 seconds, down from an average of 4 percent, and an average external background noise intensity of 42.20 DBA, down from an average of 10.27 percent. From where the listener is at the back of the room. The average sound value of the sound test case and the use of amplifiers increased by an average of 6.4%, and the results of the 4 Ray diagram analysis showed that all measurement points were worth analyzing the likelihood of audio echo

problems at excellent levels in both lectures and musical performances. This shows the overall renovation of this building. This creates a sound environment that is more suitable for upcoming events.

คำสำคัญ: สภาพแวดล้อมของเสียง การดูดซับเสียง คุณภาพเสียง
Keywords: Acoustical Environment, Sound Absorption, Sound Quality

บทนำ

คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มีนโยบายและแผนในการปรับปรุงพื้นที่ห้องจัดนิทรรศการทางศิลปะ เพื่อปรับเปลี่ยนการใช้งานให้เป็นโรงละคร ที่ใช้สำหรับการจัดกิจกรรมทางการแสดงดนตรี นาฏศิลป์ ละคร การประชุม สัมมนา รวมทั้งใช้เป็นห้องบรรยายสำหรับการเรียนการสอนของทางคณะฯ และมหาวิทยาลัย โดยอาคารจัดแสดงนิทรรศการเดิมมีลักษณะเป็นห้องโถงโล่งขนาดใหญ่ จำนวนสองชั้น พื้นที่กลางเป็นพื้นที่โล่งตั้งแต่ชั้นล่างถึงชั้นบน ใช้ประตูทางเข้าหลักทางเดียว การใช้งานมีทั้งการบรรยายโดยเสียงปกติและการใช้เครื่องขยายเสียง จากผลการสำรวจลักษณะทางกายภาพและการสำรวจปัญหาที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมของเสียงในเบื้องต้นนั้น พบว่า มีปัญหาการใช้งานในเรื่องของเสียงรบกวนจากภายนอกโดยเฉพาะในบริเวณที่ใกล้กับทางสัญจร เสียงสะท้อนก้องภายในที่มากเกินไป ปริมาตรพื้นที่ภายในอาคารที่มากและมีระยะความสูงจากพื้นถึงหลังคาที่มาก ทำให้เกิดการมีเสียงสะท้อนก้อง (Reverberation Time: RT60) ภายในที่สูงตามมา (ธีรวุฒิ ทองดี และชูพงษ์ ทองคำสมุทร, 2561) การมีช่องเปิดภายในอาคารทำให้เสียงรบกวนจากภายนอกผ่านเข้ามาได้โดยง่าย ทำให้เกิดปัญหาทางด้านเสียงดังรบกวนพื้นหลังมีผลต่อการได้ยินเสียง และทำให้การสื่อสารไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลต่อการรับรู้และอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพในทางอ้อมได้



ภาพที่ 1 แสดงผังอาคารและแบบอาคารสามมิติอาคารจัดแสดงนิทรรศการ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วัตถุประสงค์

เพื่อนำเสนอแนวทางการออกแบบและปรับปรุงแก้ไขของเสียงในห้องจัดนิทรรศการทางศิลปะ เพื่อให้สภาพแวดล้อมของเสียงมีความเหมาะสมกับกิจกรรมใหม่สำหรับการเปลี่ยนแปลงประโยชน์ใช้สอยมาเป็นโรงละครของคณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงสำรวจและทดลอง โดยใช้การสังเกต สำรวจ ตรวจวัดค่า และคำนวณค่าเพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้และปรับปรุงอาคารจัดแสดงนิทรรศการให้เป็นโรงละครที่มีคุณภาพเสียงที่เหมาะสมสำหรับรองรับกิจกรรมการใช้งานที่หลากหลาย ทั้งการแสดงดนตรี ละคร นาฏศิลป์ การประชุมสัมมนา ปาฐกถา รวมทั้งใช้เป็นห้องบรรยายทั่วไปสำหรับการเรียนการสอนของทางคณะฯ และมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติของเสียง การศึกษาการวิจัยและทฤษฎีต่างๆที่มีความเกี่ยวข้อง การศึกษาเกี่ยวกับการใช้งานอุปกรณ์ คุณสมบัติของวัสดุ ระบบทางวิศวกรรม และการออกแบบสถาปัตยกรรมด้านสภาพแวดล้อมของเสียง ที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงในพื้นที่ต่อไป

2. การศึกษาสภาพปัญหาด้านสภาพแวดล้อมของเสียงที่เกิดขึ้นจริง ของห้องจัดนิทรรศการทางศิลปะ คณะศิลปกรรมศาสตร์ ทั้งสาเหตุและผลกระทบที่เกิดจากการสะท้อนของเสียงภายในอาคาร

2.1 การสำรวจสถานที่ ทิศทาง บริเวณโดยรอบ สภาพแวดล้อม เปลือกอาคาร วัสดุพื้น ผนัง เพดาน ประตูและ หน้าต่าง ชนิด ตำแหน่ง ลักษณะการใช้เครื่องขยายเสียงระยะต่างๆ ของห้องและพื้นที่ภายใน ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมของเสียง

2.2 สังเกตการณ์การใช้งานจริง เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการใช้งาน

2.3 สังเกตปัญหาสภาพแวดล้อมของเสียงทั้งในด้านปริมาณ (ความเข้มของเสียง) และคุณภาพ (การสะท้อนก้องของเสียงและการกระจายของเสียง)

3. ทำการตรวจวัดค่าต่างๆที่เกี่ยวข้อง จากเครื่องวัดและวิเคราะห์เสียง (Audio analyzer) รุ่น PHONIC PAA3 มาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการเพื่อพิจารณาการปรับแก้ค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

3.1 การวัดค่าความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลัง (Background Noise) มีหน่วยเป็น เดซิเบลเอ (dBA)

3.2 การวัดค่าจากสถานที่จริงและคำนวณค่าการสะท้อนก้องของเสียง (Reverberation Time: RT60) มีหน่วยเป็น วินาที (s)

3.3 การคำนวณค่าการกระจายของเสียงด้วยวิธีตรวจสอบแบบ Ray Diagram Analysis

3.4 การคำนวณค่าการลดลงของเสียงเนื่องจากระยะทางเพิ่มขึ้น (Sound Decay) เพื่อเปรียบเทียบกับเสียงรบกวนพื้นหลังที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงพื้นที่ เพื่อประกอบการใช้งานเครื่องขยายเสียง

4. วิเคราะห์ ประเมินผล และสรุปผลแนวทางการปรับปรุงคุณภาพเสียงภายในพื้นที่นิทรรศการ คณะศิลปกรรมศาสตร์ เพื่อปรับปรุงมาเป็นโรงละคร

5. ทำการตรวจวัดค่าทั้งหมดภายหลังการปรับปรุงแล้วเสร็จ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าต่างๆ ก่อนและภายหลังการปรับปรุง

การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียง

เสียงเป็นคลื่นตามยาวที่มีคุณสมบัติที่สำคัญ 7 ข้อด้วยกันได้แก่ การสะท้อน การดูดซับ การส่งผ่าน การฟุ้งกระจาย การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด (Stein and Reynolds, 2000) ซึ่งด้วยคุณสมบัติเหล่านี้เราสามารถที่จะปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงให้เหมาะสมได้ด้วยกลวิธีต่างๆ สามวิธีหลักที่มีความสำคัญ (Egan, 1972) ได้แก่

1. การป้องกันการส่งผ่านของเสียงจากภายนอกอาคาร จากคุณสมบัติของเสียงที่สามารถส่งผ่านได้นั้น เสียงรบกวนจากภายนอกนั้นเป็นปัจจัยที่ทำให้สภาพแวดล้อมของเสียงภายในไม่เหมาะสมกับการแสดงดนตรี นาฏศิลป์ หรือการบรรยาย เนื่องจากเมื่อเสียงเหล่านี้มีการส่งผ่านกรอบอาคารเข้ามาภายในแล้วก็จะเกิดเป็นเสียงรบกวนพื้นหลัง (Background Noise) ทำให้ต้องมีการเพิ่มระดับของเสียงดนตรี ผู้ขับร้อง และ/หรือเสียงผู้บรรยายให้มีความเข้มสูงขึ้น เพื่อให้เกิดความแตกต่างกับเสียงรบกวนพื้นหลังที่เพียงพอในการสื่อสาร (กรรณิกา ถุนาพรรณ์ และชูพงษ์ ทองคำสมุทร, 2555) แนวทางในส่วนนี้ได้แก่ การใช้กรอบอาคารที่มีมวลสารมาก การใช้ฉนวนป้องกันเสียงเพื่อดูดซับเสียงก่อนส่งผ่านเข้ามาในอาคาร การใช้ผนังสองชั้น และการปิดช่องและรอยแตกต่างๆ ของกรอบอาคารให้สนิท

2. การดูดซับเสียงภายใน จากคุณสมบัติของเสียงที่สามารถถูกดูดซับได้ การดูดซับเสียงภายในคือการใช้วัสดุที่มีความพรุนสูง และ/หรือ มีช่องว่างอากาศภายในเนื้อวัสดุ มาติดตั้งเพื่อลดการสะท้อนเสียงภายในของห้อง ทั้งนี้เนื่องจากห้องที่มีการสะท้อนก้องของเสียงที่มากเกินไปจะทำให้ไม่สามารถสื่อสารได้ เพราะไม่สามารถฟังเสียงออกเป็นถ้อยคำได้ชัดเจน ในขณะที่ห้องที่มีการสะท้อนก้องภายในที่น้อยเกินไป จะทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงที่มีความแห้ง หางเสียงสั้น และแบน โดยที่ค่าการสะท้อนก้องภายในจะแปรผกผันกับพื้นที่วัสดุดูดซับเสียงของห้อง ค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ และพื้นที่ของวัสดุดูดซับเสียงแต่ละวัสดุรวมกัน (ชูพงษ์ ทองคำสมุทร, 2557)

3. การสะท้อนและการปรับทิศทางของเสียง คือการใช้วัสดุที่มีพื้นผิวลักษณะต่างๆ เพื่อปรับแนวของการสะท้อนของคลื่นเสียงไปในจุดหรือพื้นที่ที่ต้องการ ทั้งนี้การใช้พื้นผิวที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันจะส่งผลให้การสะท้อนของคลื่นเสียงมีความแตกต่างกันออกไป เช่นการใช้พื้นผิวที่มีลักษณะโค้งนูน (Convex Surface) ผิวเรียบจะทำให้เสียงมีการกระจายตัวออกรอบทิศ ในขณะที่การใช้พื้นผิวโค้งเว้า (Concave Surface) ผิวเรียบจะทำให้เสียงที่สะท้อนเกิดการรวมกันเป็นจุดที่มีความเข้มเสียงมากกว่าปกติ ส่วนการใช้พื้นผิวที่ขรุขระหรือไม่เรียบนั้นจะทำให้การสะท้อนของเสียงเป็นไปอย่างไร้ระเบียบและไม่มีทิศทาง (Simons, 2004)

ค่าระดับความเข้มของเสียง

ค่าระดับความเข้มของเสียงสามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือวัดเสียง มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) ในกรณีที่พิจารณาเฉพาะค่าความเข้มของเสียงที่หูของมนุษย์สามารถรับฟังเสียงได้จะกำหนดมีหน่วยเป็นเดซิเบลเอ (dBA) โดยระดับของความเข้มเสียงใน Scale นี้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1 แสดงค่าระดับความเข้มของเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต่างๆ (Stein and Reynolds, 2000)

ค่าระดับความเข้มของเสียง (dBA)	แหล่งกำเนิดเสียง
0	ระดับความเข้มของเสียงน้อยที่สุดที่มนุษย์สามารถได้ยิน
20	เสียงกระซิบ เสียงพื้นหลัง (Noise Criteria) ของในป่าตอนกลางดึก
40	ระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังในสำนักงานทั่วไป[1]
60	เสียงสนทนาและเสียงบรรยายปกติ
70	เสียงเครื่องของรถยนต์ เสียงจากถนนที่มีการจราจรคับคั่ง
90	เสียงรถบรรทุก เสียงรถบัส เสียงเครื่องตัดหญ้า
110	เครื่องบินสองเครื่องยนต์ เสียงเลื่อยยนต์
120	เสียงฟ้าร้อง
130	เสียงจากการก่อสร้างอาคาร เครื่องสกัดคอนกรีต โรงงานที่มีเครื่องจักรขนาดใหญ่
160	เสียงจากเครื่องบินไอพ่น

คุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุ

คุณสมบัติของวัสดุในกรณีที่ใช้สำหรับการนำมาคำนวณเพื่อหาค่าต่างๆ สำหรับที่จะนำมาใช้ในการออกแบบปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงที่สำคัญได้แก่ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับเสียง (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
อิฐมอญไม่ทาสี หรือทาสี	0.005
พรมหนาปูบนคอนกรีต	0.29
พรมหนาปูบนโฟมยางแผ่น	0.55
คอนกรีตบล็อกผิวหยาบ	0.35
คอนกรีตบล็อกทาสี	0.05
ผ้าม่านผิวบาง	0.15
ผ้าม่านผิวปานกลาง	0.55
ผ้าม่านผิวหนา	0.60
พื้นกระเบื้อง พื้นคอนกรีตขัดมัน	0.005
พื้นกระเบื้องยาง พื้นยางมะตอย	0.05
พื้นไม้	0.10
กระจกผืนใหญ่	0.05

วัสดุ	ค่า NRC
หน้าต่างกระจกขนาดเล็ก	0.15
แผ่นยิปซั่ม	0.05
หินอ่อน	0.005
ปูนฉาบ	0.05
ผนังเบาจากไม้อัดต่างๆ	0.15
ฉนวนใยแก้ว	0.80-0.90
แผ่นยิปซั่มชนิดดูดซับเสียง	0.50
Celotex Mineral Fiber Tiles	0.60-0.70
Solitude Panels	0.50-0.60
Perforated Asbestos Panels	0.60-0.65
Perforated Metal Panels	0.90
Sound Blocks	1.68

ค่าการสะท้อนก้องของห้อง

ค่าการสะท้อนก้องของคลื่นเสียงภายในห้องสามารถวัดค่าได้เป็นค่ารีเวอบีเรชั่นไทม์ (Reverberation Time: RT60) มีหน่วยเป็นวินาที นิยามความหมายของค่านี้คือระยะเวลาที่เสียงจากต้นกำเนิดเสียงภายในห้องลดลงจากเดิม 60 dBA (Meritt and Embrose, 1990) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

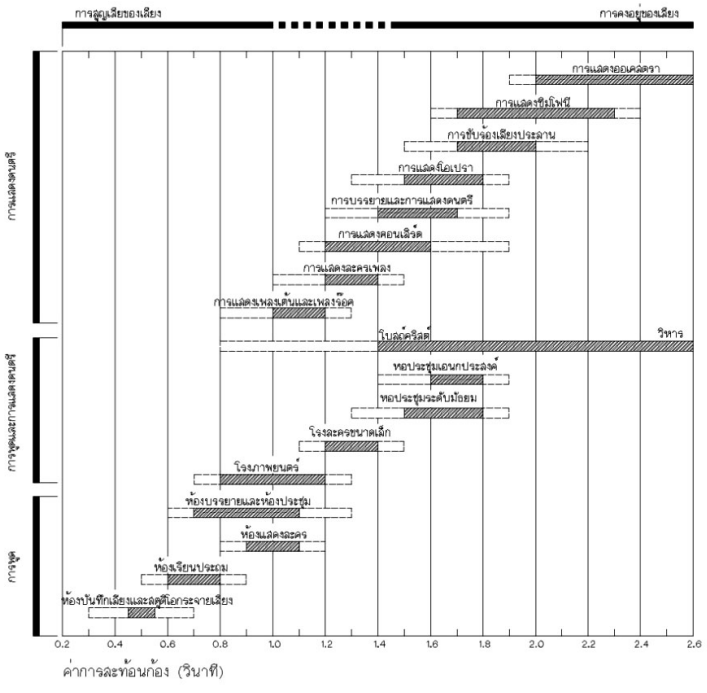
เมื่อ T คือ ค่ารีเวอบีเรชั่นไทม์ (Reverberation Time: RT60) มีหน่วยเป็นวินาที
V คือ ปริมาตรห้อง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)
a คือ การดูดซับเสียงรวมของห้อง มีหน่วยเป็นซาบิน (Sabins)

โดยที่ค่าการดูดซับเสียงรวมเกิดจากผลรวมของค่าการดูดซับของทุกพื้นที่ผิวภายในห้องคูณกับพื้นที่ผิวของวัสดุนั้นดังสมการที่ 2 ต่อไปนี้

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

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

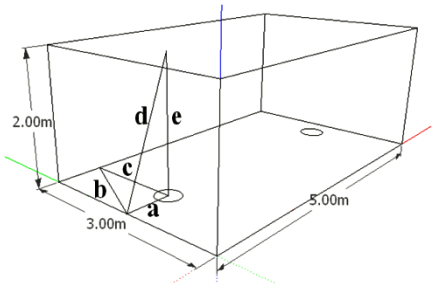
ในกรณีที่ค่านี้มีค่ามากจะทำให้เสียงภายในห้องนั้นมีความก้องกังวาน หางเสียงยาว เหมาะสำหรับพื้นที่ที่ต้องการให้เกิดความกังวานของเสียงเช่นในพื้นที่โบสถ์ของชาวคริสต์ และหากค่านี้มีค่าน้อยจะทำให้เสียงสั้นและแบนเช่นในห้องบันทึกเสียงเป็นต้น สำหรับค่าที่เหมาะสมสำหรับห้องบรรยายและประชุมนั้นมีค่าอยู่ในช่วง 0.8-1.4 วินาที ส่วนในการแสดงดนตรีจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1.4-2.0 วินาที (Egan, 1972) ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 2 แสดงค่าระดับเสียงสะท้อนก้องที่เหมาะสมกับกิจกรรมต่างๆ ย่านความถี่ของเสียง 500-1,000 Hertz (Egan, 1972)

การวิเคราะห์การกระจายของเสียงด้วยวิธี Ray Diagram Analysis

การวิเคราะห์ด้วยวิธี Ray Analysis คือการวิเคราะห์ปัญหาสภาพแวดล้อมของเสียงในส่วนของปัญหาการได้ยินเสียงตรงจากแหล่งกำเนิด (Direct Sound) แยกจากเสียงสะท้อน (Reflected Sound) ซึ่งหากมนุษย์ได้ยินเสียงที่มีความแตกต่างกันเกิน 1 ใน 17 ส่วนของวินาที จะทำให้เกิดปรากฏการณ์การได้ยินเสียง ‘เอคโค่’ (ชูพงษ์ ทองคำสมุทร, 2557)



ภาพที่ 3 แสดงการวิเคราะห์การกระจายของเสียงด้วยวิธี Ray Diagram Analysis

จากภาพที่ 3 ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะเป็นการคำนวณความแตกต่างระยะทางเดินของเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงไปยังจุดรับเสียง ในกรณีที่เสียงการสะท้อนฝ้าเพดานจะเป็นการหาความแตกต่างระหว่างระยะเสียงตรงได้แก่ระยะ a เปรียบเทียบกับเสียงสะท้อนได้แก่ระยะ d รวมกับ e (ในกรณีสะท้อนผนังคือระยะ b รวมกับ c) ค่าความต่างนี้จะสามารถบอกได้ถึงการเกิดปรากฏการณ์เอคโค่ของเสียง ดังตารางที่ 3 ต่อไปนี้

ตารางที่ 3 แสดงความแตกต่างระหว่างระยะเสียงตรงกับเสียงสะท้อนสัมพันธ์กับการเกิดเสียงเอคโค่ในจุดที่พิจารณา (Egan, 1972)

ความแตกต่างระหว่างระยะเสียงตรงกับเสียงสะท้อน	สภาพที่เกิดขึ้น
น้อยกว่า 8.5 เมตร	เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการบรรยาย ห้องประชุม หรือแสดงดนตรี
8.5-12.2 เมตร	เหมาะสมสำหรับการบรรยายและการแสดงดนตรี
12.2-15.2 เมตร	เริ่มเกิดปรากฏการณ์เสียงเอคโค่
15.2-20.8 เมตร	เกิดปรากฏการณ์เสียงเอคโค่มากขึ้น
มากกว่า 20.8 เมตร	เกิดปรากฏการณ์เสียงเอคโค่มากที่สุด

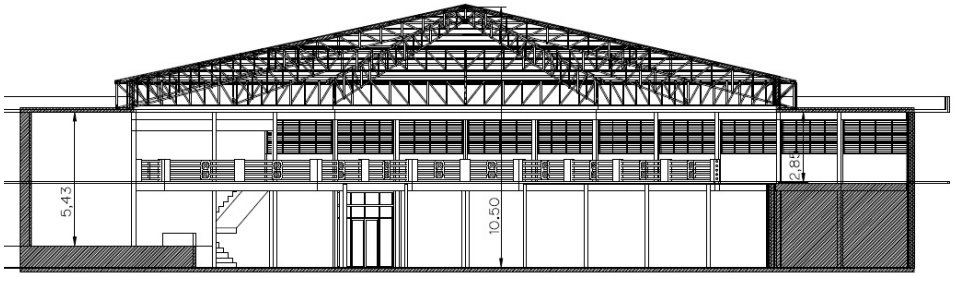
อุปกรณ์วัดระดับความเข้มของเสียง และวัดการสะท้อนก้องของเสียง

PHONIC PAA3 เป็นเครื่องมือสำหรับวัดค่าของสภาพแวดล้อมของเสียง (Sound Level Meter) โดยสามารถวัดค่าระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังที่ระดับความถี่ตั้งแต่ 31.5 เฮิร์ตซ ไปจนถึง 4000 เฮิร์ตซได้ โดยสามารถตั้งค่าระดับความเข้มของเสียงที่ต้องการวัดค่าได้เป็น 3 ช่วง สามารถวัดค่าการสะท้อนก้องของเสียงหรือค่ารีเวอบีเรชั่นไทม์ สามารถต่อพ่วงเข้ากับเครื่องประมวลผลสำหรับนำมาใช้ในการเก็บข้อมูล คำนวณ และหาค่าเฉลี่ยของค่าต่างๆ ได้

ภาพที่ 4 แสดงเครื่องวัดและวิเคราะห์เสียง (Audio Analyzer) รุ่น PHONIC PAA3

ผลการศึกษา

ในส่วนของการศึกษาทางด้านกายภาพของห้องจัดแสดงนิทรรศการ คณะศิลปกรรมศาสตร์ที่ทำการศึกษาเดิมก่อนการปรับปรุงมีลักษณะเป็นห้องโถงโล่งขนาดใหญ่จำนวนสองชั้น มีพื้นที่ใช้สอย 480 ตารางเมตรความสูงจากพื้นถึงหลังคาเหล็กรีด ส่วนที่สูงที่สุดที่ 10.50 เมตร ไม่มีฝ้าเพดาน โดยมีพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กผิวหินขัดขนาด 690 ตารางเมตร ไม่มีฝ้าเพดาน ผนังก่ออิฐฉาบปูนทาสี 660 ตารางเมตร ปริมาตรของห้องโดยรวม 3,690 ลูกบาศก์เมตร ดังภาพที่ 5 ต่อไปนี้



ภาพที่ 5 แสดงรูปตัดของอาคารห้องจัดแสดงนิทรรศการ คณะศิลปกรรมศาสตร์

จากการตรวจวัดค่าคุณภาพเสียงพร้อมทั้งคำนวณค่าต่างๆ ภายในอาคารนิทรรศการคณะศิลปกรรมศาสตร์ก่อนการปรับปรุง เพื่อเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้อง โดยคำนึงถึงการวิเคราะห์มี 4 ประเด็นดังนี้

1. ผลการตรวจวัดระดับความเข้มของเสียงพื้นหลังที่รบกวนภายในพื้นที่ (Background Noise) พบว่าระดับเสียงพื้นหลังที่รบกวนภายในห้องในย่านความถี่ 500-1,000 Hz มีค่าอยู่ในช่วงความเข้มของเสียง 37.3-42.2 dBA และจะมีค่าความเข้มของเสียงรบกวนสูงในบริเวณพื้นที่ที่ติดกับทางสัญจรซึ่งมีค่าเกินระดับของความเข้มเสียงรบกวนพื้นหลังที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน ดังตารางที่ 4 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4 แสดงผลระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลัง (Background Noise) ก่อนปรับปรุงที่ได้จากการตรวจวัด

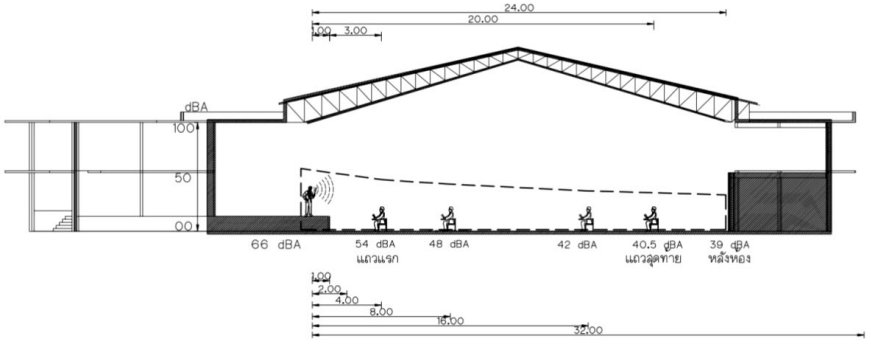
กรณีเงื่อนไข	ย่านความถี่				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	ALLHz
ปิดประตู	48.3	37.3	39.7	35.2	68.1
เปิดประตู	53.8	37.5	42.2	37.0	71.2

2. ผลการตรวจวัดค่าการสะท้อนก้องของเสียง (Reverberation Time, RT60) พบว่าค่าของการสะท้อนก้องเฉลี่ยทั้งในกรณีปิดช่องเปิดและเปิดช่องเปิดอยู่ในช่วง 1.90-2.00 วินาที ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานสำหรับห้องประเภทการบรรยายและแสดงดนตรีทั้งสองประเภทตามกิจกรรมที่จะเกิดขึ้นใหม่ภายหลังการปรับปรุง ดังตารางที่ 5 ต่อไปนี้

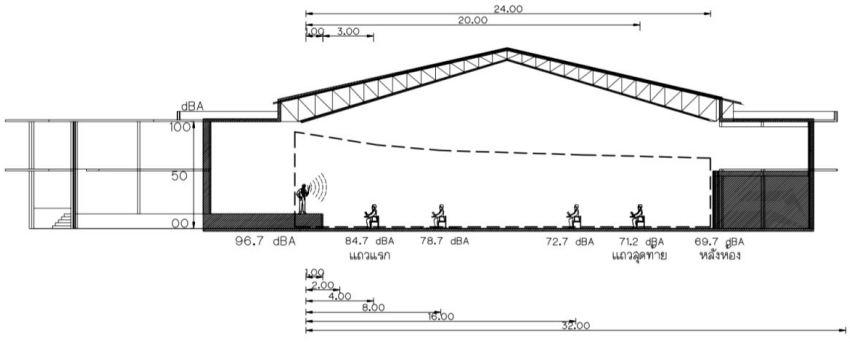
ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการสะท้อนก้องของเสียงก่อนปรับปรุง

ตัวแปร	Reverberation Time: RT60 หน่วยเป็นวินาที (s)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย (Mean)
ปิดประตู	2.32	1.94	1.89	2.10	1.98	2.04
เปิดประตู	1.97	1.88	1.86	2.02	1.99	1.95

3. ผลการคำนวณค่าการลดลงของความเข้มของเสียงต้นกำเนิดเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น (Sound Decay) จากตำแหน่งด้านหน้าสุดไปยังตำแหน่งผู้ฟังด้านที่ด้านหลังสุดของห้อง พบว่ามีค่าเสียงกรณีทดสอบด้วยเสียงปกติเท่ากับ 39.00 dBA และกรณีใช้เครื่องขยายเสียงเท่ากับ 69.70 dBA ซึ่งในกรณีที่ไม่มีการใช้เครื่องขยายเสียงนั้นพบว่าระดับของความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังจะทำให้ผู้ฟังที่อยู่แถวตอนกลางไปจนถึงตอนหลังไม่สามารถรับรู้ถึงเสียงที่ต้องการสื่อสารได้ เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังกับเสียงที่ต้องการได้ยินนั้นมีความแตกต่างกันน้อยเกินไป ส่วนในกรณีที่มีการใช้เครื่องขยายเสียงที่มีอยู่เดิมนั้น ถึงแม้จะทำให้ผู้ฟังที่อยู่แถวตอนกลางไปจนถึงตอนหลังสามารถรับฟังเสียงจากบริเวณเวทีได้อย่างชัดเจนแล้วก็ตาม แต่ก็จะทำให้ผู้ฟังบริเวณด้านหน้าเวทีได้รับฟังเสียงที่มีระดับความเข้มของเสียงสูงที่มากเกินไป ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ ดังภาพที่ 6 และ 7 ต่อไปนี้

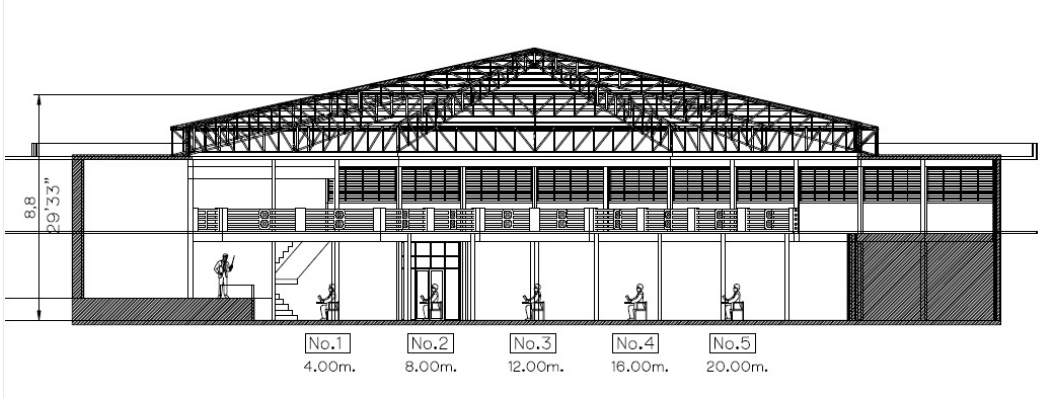


ภาพที่ 6 แสดงการคำนวณค่าการลดลงของความเข้มของเสียงต้นกำเนิดจากแหล่งกำเนิดเสียงบริเวณพื้นที่เวทีโดยไม่มีการใช้เครื่องขยายเสียง

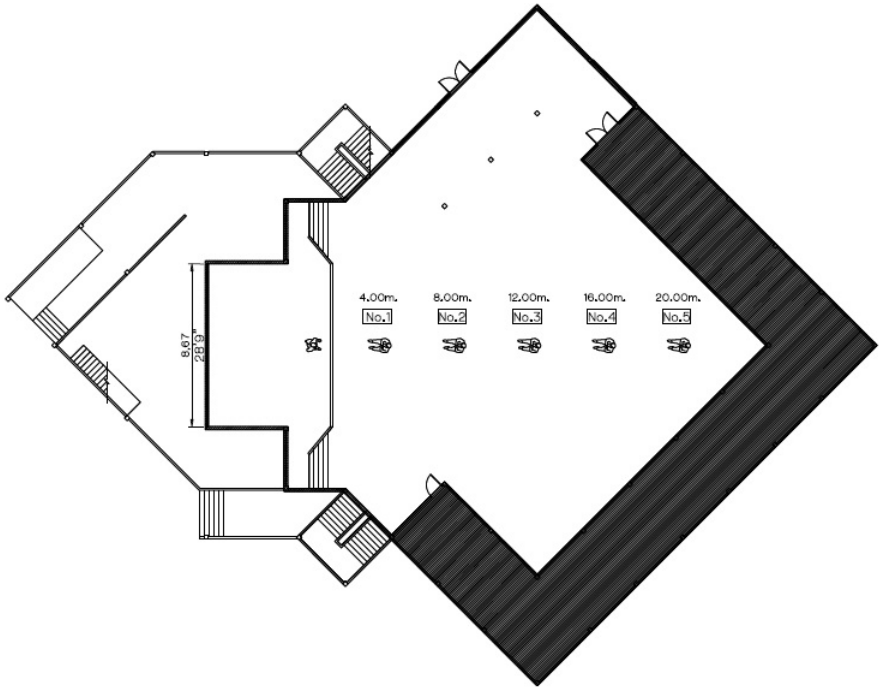


ภาพที่ 7 แสดงการคำนวณค่าการลดลงของความเข้มของเสียงต้นกำเนิดจากแหล่งกำเนิดเสียงบริเวณพื้นที่เวทีโดยการใช้เครื่องขยายเสียง

4. ผลการวิเคราะห์การกระจายและการสะท้อนของเสียงด้วยวิธี Ray Diagram Analysis โดยการกำหนดตำแหน่งเพื่อการคำนวณการสะท้อนและการกระจายของเสียง จากเวทีสะท้อนเพดานเพดานไปยังผู้ฟังในตำแหน่งต่างๆ จำนวน 5 จุด พบว่า จุดที่อาจเกิดปัญหาเสียงเอคโค่ได้แก่บริเวณผู้ฟังทางด้านหน้า ส่วนจุดอื่นนั้นไม่พบแนวโน้มในการเกิดเสียงเอคโค่ และจากการวิเคราะห์การสะท้อนและการกระจายของเสียงจากระนาบผนัง จำนวน 5 จุด พบว่า จุดที่ 1 และ 2 บริเวณด้านหน้าอยู่ที่ระดับมีระดับของการเกิดปัญหาเสียงเอคโค่สูงจุดที่ 3 บริเวณตรงกลางระดับของการเกิดปัญหาสูงมากจุดที่ 4 อยู่ที่ระดับดีสำหรับการบรรยายแต่ปานกลางสำหรับการแสดงดนตรี และจุดที่ 5 อยู่ที่ระดับดีเยี่ยมทั้งในกรณีการบรรยายและการแสดงดนตรีดังภาพที่ 8 และ 9 ต่อไปนี้



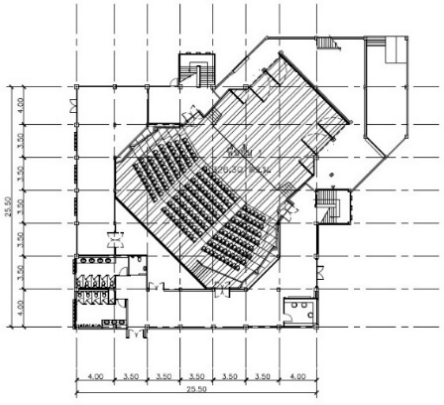
ภาพที่ 8 แสดงการสะท้อนของเสียงด้วยวิธี Ray Diagram Analysis ที่จุดพิจารณาที่ 1-5 ในระยะต่างๆ จากความสูงเพดานที่ระยะ 4 เมตร 8 เมตร12 เมตร 16 เมตร และ 20 เมตร ตามลำดับ



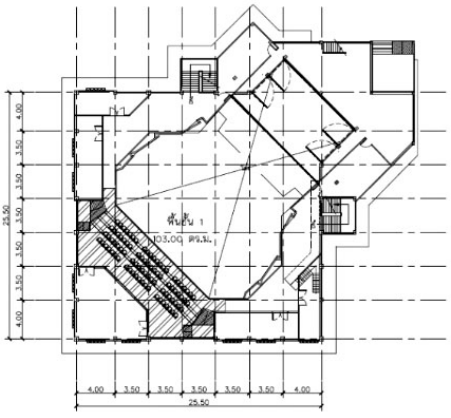
ภาพที่ 9 แสดงภาพตัดห้องประชุมอเนกประสงค์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ ที่จุดพิจารณาที่ 1-5 ในระยะต่าง ๆ จากวัสดุผนังที่ระยะ 4 เมตร 8 เมตร 12 เมตร 16เมตร และ 20 เมตร ตามลำดับ

สรุปแนวทางสำหรับการปรับปรุงพื้นที่เพื่อการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการตรวจวัดค่าและการคำนวณก่อนการปรับปรุงที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ข้อได้แก่ (1) การลดปริมาตรของห้องเพื่อลดการสะท้อนก้องของเสียง (2) การปรับเปลี่ยนรูปร่างภายในของห้องให้มีลักษณะกระจายของเสียงให้ไปสู่พื้นที่ด้านหลังห้องให้ได้มากยิ่งขึ้น (3) การเพิ่มการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงที่บริเวณพื้นที่ผนังและฝ้าเพดานส่วนด้านหลังของห้องเพื่อลดการสะท้อนก้องของเสียง และ (4) การออกแบบให้มีลักษณะเป็น Double Skin หรือ ‘กล่องในกล่อง’ (Box in Box) เพื่อลดการส่งผ่านของเสียงรบกวนภายนอกลง และเป็นการป้องกันเสียงจากภายในไปรบกวนพื้นที่ภายนอกด้วย

จากนั้นทางคณะศิลปกรรมศาสตร์ได้มีการเสนอรูปแบบของการปรับเปลี่ยนการใช้งานพื้นที่ โดยปรับเปลี่ยนที่นั่งให้เป็นแบบโรงละคร (Theater) ขนาดความจุ 314 ที่นั่ง พื้นที่ใช้สอย 326.30 ตารางเมตร ความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 3.25-7.25 เมตร โดยปรับเปลี่ยนฝ้าเพดานเป็นวัสดุกันเสียงที่มีค่าการกันเสียง (Sound Transmission Class: STC) เท่ากับ 50 พื้นที่รวม 393.79 ตารางเมตร ติดตั้งทำองศาในการสะท้อนบริเวณด้านหน้าและดูดซับเสียงภายในบริเวณด้านหลัง เปลี่ยนวัสดุพื้นห้องเป็นกระเบื้องยางลายไม้พื้นที่ 318.35 ตารางเมตร พื้นเวที 116.20 ตารางเมตร เปลี่ยนวัสดุผนังแบบกันเสียงที่มีค่า STC 50 พื้นที่ 60.84 ตารางเมตร และแบบที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงที่มีค่า NRC เท่ากับ 0.75 พื้นที่ 58.07 ตารางเมตร และผนังไม้อัดลามิเนตเพื่อการสะท้อนเสียงความหนา 6 มิลลิเมตร ปิดผิวด้วยลามิเนตพื้นที่ 186.50 ตารางเมตร สำหรับประตูทางเข้าเป็นโครงไม้เนื้อแข็ง กรุไม้อัดยาง 4 มิลลิเมตร ภายในบุฉนวนกันเสียงกรุทับด้วยลามิเนต และภายในโครงการติดตั้งระบบไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศและเครื่องขยายเสียง ปริมาตรห้องโดยรวมประมาณ 2,640 ลูกบาศก์เมตร



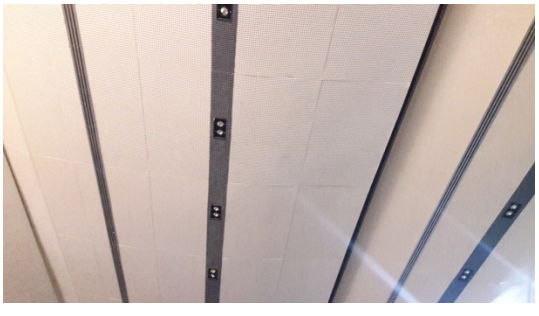
ภาพที่ 10 แสดงผังพื้นชั้นที่ 1



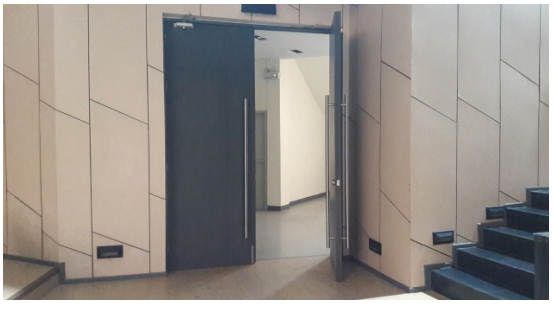
ภาพที่ 11 แสดงผังพื้นชั้นที่ 2

ภาพที่ 12 แสดงบรรยากาศภายในโรงละคร

ภาพที่ 13 แสดงบรรยากาศภายในโรงละคร



ภาพที่ 14 แสดงลักษณะของฝ้าเพดานภายในโรงละคร



ภาพที่ 15 แสดงรายละเอียดของวัสดุภายในโรงละคร

จากการสำรวจคุณภาพเสียงภายในโรงละครด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดค่าหลังการปรับปรุงแล้วพบว่า

1. จากการตรวจวัดระดับความเข้มเสียงพื้นหลังที่รบกวนภายในห้อง (Background Noise) ในย่านความถี่ 500-1,000 Hz มีค่าเท่ากับ 29.2–48.0 dBA ดังตารางที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่า เสียงรบกวนพื้นหลังที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญนั้นเกิดจากระบบปรับอากาศ ดังนั้นหากมีการปรับปรุงระบบปรับอากาศให้มีความเหมาะสมด้วยระบบอื่นจะทำให้ลดระดับของความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังลงได้

ตารางที่ 6 แสดงผลระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลัง (Background noise) หลังปรับปรุง

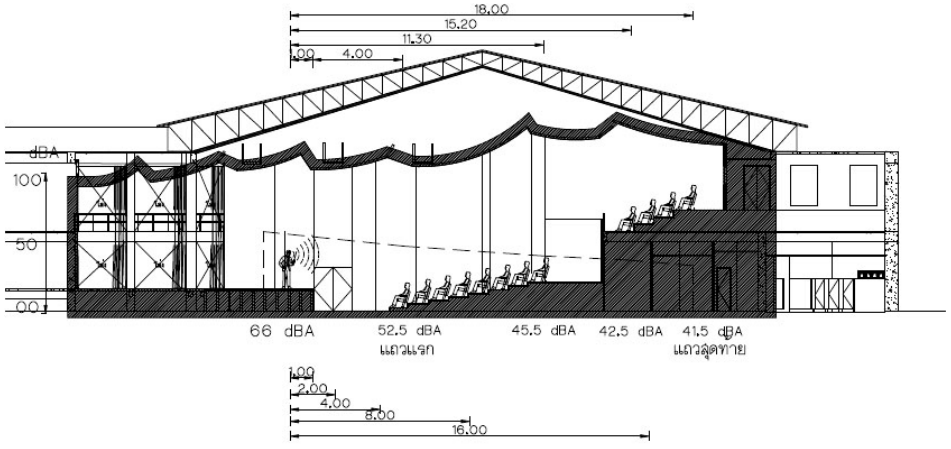
เงื่อนไข	ย่านความถี่				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	ALLHz
ไม่ใช้ระบบปรับอากาศ	32.7	29.7	29.2	18.2	55.9
ใช้ระบบปรับอากาศ	52.8	48.0	46.5	39.9	69.1

2. ผลการตรวจวัดระดับของค่าการสะท้อนก้อง (Reverberation Time, RT60) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.92 วินาที ดังตารางที่ 7 แต่ในการตรวจวัดค่านั้นเป็นกรณีห้องที่ไม่มีผู้ใช้งาน หากมีการใช้งานจริงจะทำให้มีค่าการดูดซับเสียงที่มากขึ้น เนื่องจากค่าการดูดซับเสียงของผู้ใช้งานมีค่าประมาณ 0.35 (ชูพงษ์ ทองคำสมุทร, 2557)

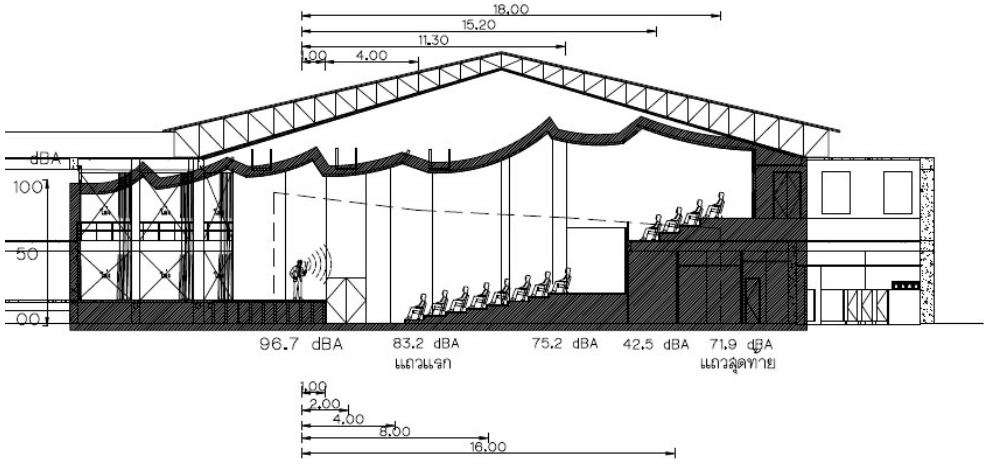
ตารางที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าการสะท้อนกลับของเสียง (Reverberation Time, RT60) หลังปรับปรุง

ตัวแปร	Reverberation Time, RT60					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย (Mean)
ปิดประตู	2.16	2.01	1.79	2.14	2.15	2.05
เปิดประตู	1.66	1.96	2.00	1.79	1.61	1.80

3. ผลการวัดระดับการลดลงของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจากจุดที่ผู้ฟังด้านหลังสุดของห้อง พบว่ามีค่าเสียงกรณีทดสอบด้วยเสียงปกติเท่ากับ 41.50 dBA และกรณีใช้เครื่องขยายเสียงเท่ากับ 71.90 dBA แสดงให้เห็นได้ว่ามีโอกาสในการใช้งานในกิจกรรมปกติที่ไม่ต้องมีการใช้เครื่องขยายเสียงได้ แต่ทั้งนี้ควรต้องมีการปรับปรุงระบบปรับอากาศให้มีระดับความเข้มเสียงรบกวนพื้นหลังที่ลดลงด้วย ในส่วนของตำแหน่งติดตั้งลำโพงขยายเสียงนั้นมีการติดตั้งโดยไม่ทำให้เกิดเสียงสะท้อนไปยังไมโครโฟน เพื่อลดปัญหาการเกิด Feed Back ของระบบ ในกรณีที่ต้องมีการใช้เครื่องขยายเสียง

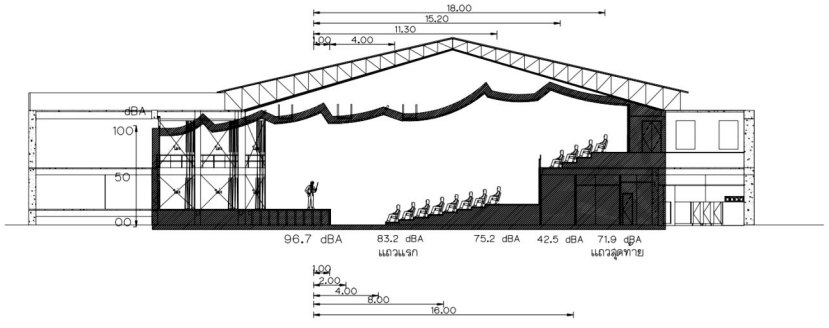


ภาพที่ 16 แสดงการคำนวณค่าการลดลงของความเข้มของเสียงต้นกำเนิดจากแหล่งกำเนิดเสียง บริเวณพื้นที่เวที โดยไม่มีการใช้เครื่องขยายเสียง

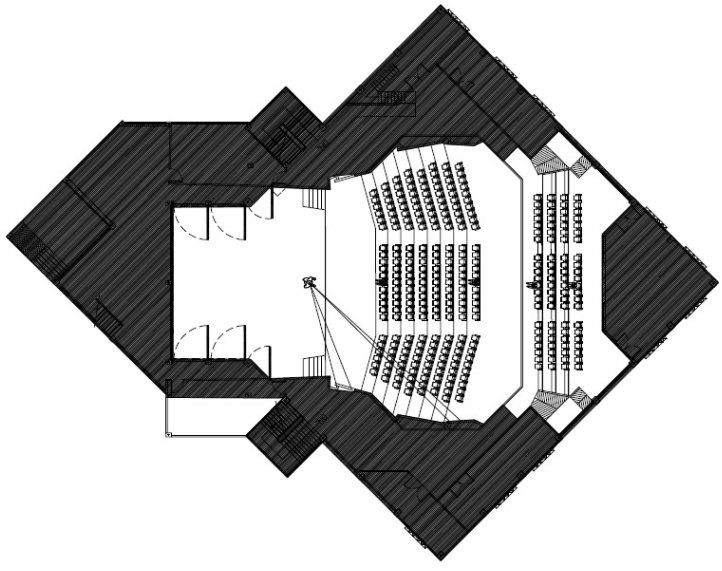


ภาพที่ 17 แสดงการคำนวณค่าการลดลงของความเข้มของเสียงต้นกำเนิดจากแหล่งกำเนิดเสียง บริเวณพื้นที่เวที โดยมีการใช้เครื่องขยายเสียง

ผลการวิเคราะห์การสะท้อนและการกระจายของเสียงด้วยวิธี Ray diagram Analysis โดยคำนวณจากระยะสะท้อนจากฝ้าเพดานจำนวน 4 จุด พบว่า ทุกจุดไม่มีปัญหาการเกิดเสียงเอคโค่ และวิเคราะห์จากการสะท้อนระนาบของวัสดุผนัง จำนวน 4 จุด พบว่าทุกจุดไม่มีปัญหาการเกิดเสียงเอคโค่ ทั้งนี้จากการสังเกตและตรวจวัดค่าที่ได้พบว่า ปัญหาดังกล่าวนั้นได้รับการแก้ไขเนื่องจาก (1) จากการลดปริมาตรของห้องจากการใช้ระบบฝ้าเพดาน (2) การออกแบบพื้นที่สะท้อนของเสียงให้มีลักษณะโค้งนูน เพื่อการกระจายของเสียงไปยังจุดที่อาจเกิดปัญหาให้ได้มากยิ่งขึ้น ดังภาพที่ 18 และ 19 ต่อไปนี้



ภาพที่ 18 แสดงการวิเคราะห์การสะท้อนและการกระจายของเสียงด้วยวิธี Ray Diagram Analysis จำนวน 4 จุด จากการสะท้อนของเสียงในส่วนของฝ้าเพดานที่มีการออกแบบปรับปรุงใหม่



ภาพที่ 19 แสดงการวิเคราะห์การสะท้อนและการกระจายของเสียงด้วยวิธี Ray Diagram Analysis จำนวน 4 จุด จากการสะท้อนของเสียงในส่วนของผนังภายในที่มีการออกแบบปรับปรุงใหม่

การอภิปรายและสรุปผลการวิจัยเพื่อการออกแบบปรับปรุง

จากการเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงพื้นที่จากห้องแสดงนิทรรศการทางศิลปะ เพื่อเป็นโรงละคร ด้วยแนวทางในการปรับปรุงได้แก่ (1) การลดปริมาตรของห้องเพื่อลดการสะท้อนก้องของเสียง (2) การปรับเปลี่ยนรูปร่างภายในของห้องให้มีลักษณะกระจายของเสียงให้ไปสู่พื้นที่ด้านหลังห้องให้ได้มากยิ่งขึ้น (3) การเพิ่มการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงที่บริเวณพื้นที่ผนังและฝ้าเพดานส่วนด้านหลังของห้องเพื่อลดการสะท้อนก้องของเสียง และ (4) การออกแบบให้มีลักษณะเป็น Double Skin หรือ ‘กล่องในกล่อง’ (Box in Box) เป็นการออกแบบผนังให้มีสองชั้นโดยใช้ทางเดินภายในอาคารเป็นระยะเว้นห่างของผนังภายนอกและภายใน เพื่อลดการส่งผ่านของเสียงรบกวนภายนอกลงนั้น สามารถที่จะแก้ไขปัญหาสภาพแวดล้อมของเสียงลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่

1. การลดปริมาตรของห้องลงโดยการออกแบบฝ้าเพดาน จะเป็นปัจจัยที่ช่วยลดทั้งในส่วนของการลดการสะท้อนก้องของเสียงภายในพื้นที่และยังช่วยในส่วนของการลดเสียงรบกวนพื้นหลังลงได้ด้วย

2. การปรับเปลี่ยนรูปร่างและรูปทรงของพื้นที่ภายในจะช่วยในการกระจายของเสียง ทั้งในส่วนของการลดปัญหาระดับความเข้มของเสียงที่มากขึ้นและลดลงในบางจุด และในช่วยในเรื่องของการแก้ไขปัญหาของเสียงเอคโค่อีกด้วย

3. การเพิ่มการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงนั้นจะสามารถแก้ไขปัญหาการสะท้อนก้องของเสียงที่มากเกินไปในทางตรง และแก้ไขปัญหาเสียงรบกวนพื้นหลังจากภายนอกอาคารได้ในทางอ้อม

4. การออกแบบให้มีลักษณะเป็น Double Skin หรือ ‘กล่องในกล่อง’ (Box in Box) ของการออกแบบปรับปรุงนั้นเป็นการแก้ไขปัญหาในส่วนของเสียงรบกวนพื้นหลังจากภายนอกอาคาร อีกทั้งยังเป็นการแก้ไขปัญหาเสียงรบกวนจากภายในอาคารลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ดี ในการปรับปรุงอาคารโดยเฉพาะอาคารที่ต้องพิจารณาเรื่องนี้เป็นเกณฑ์สำคัญ เพื่อให้มีสภาพแวดล้อมของเสียงที่มีประสิทธิภาพ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยความร่วมมือจากทั้งผู้ออกแบบ สถาปนิก วิศวกรระบบที่เกี่ยวข้อง รวมถึงเจ้าของอาคารเพื่อการออกแบบปรับปรุงที่ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ปัญหาน้อยที่สุด และด้วยงบประมาณที่ต่ำที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะศิลปกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลและประสานงาน

เอกสารอ้างอิง

American National Standard. (2010). Acoustical performance criteria Design and guideline for school, part 1 : permanent school. New York : Acoustical Society of American

Egan, M.D. (1972). *Architectural acoustics.* New York: McGraw-Hill.

Egan, M.D. (1983). *Concepts inArchitectural acoustics.* New York: McGraw-Hill.

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

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

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

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

Thongdee, T. and Thongkamsamut, C. (2018). *An Improvement of Acoustical Environment: A Case Study of Auditorium building Udon Thani Province.*

ธีรวุฒิ ทองดี และชูพงษ์ ทองคำสมุทร (2561). *การปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียง กรณีศึกษา: อาคารหอประชุม 194 อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี.* ผลงานวิจัยในโครงการประชุมวิชาการระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 9 พ.ศ.2561. หน้า 194-206.

Thongkamsamut, C. (2014). *An Improvement of Acoustical Environment in Lecture Room, Khon Kaen: Faculty of Architecture, Khon Kaen University.*

ชูพงษ์ ทองคำสมุทร, (2557).*โครงการวิจัยเพื่อการออกแบบปรับปรุงอาคารเรียนเพื่อเป็นต้นแบบการประหยัดพลังงานและอาคารเขียวทางด้านสภาพแวดล้อมของเสียงภายในอาคาร กรณีศึกษา: ห้องประชุมและบรรยายคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, ทุนวิจัยคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Thongkamsamut, C. (2014). *Global Warming and the Design for Sustainable Architecture, Khon Kaen: Faculty of Architecture, Khon Kaen University.*

ชูพงษ์ ทองคำสมุทร. (2557). *ภาวะโลกร้อนกับการออกแบบสถาปัตยกรรมยั่งยืน*, ขอนแก่น: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Tunapan, K. (2011). *The Improvement of Acoustical Environment in Conference Room, Faculty of Technology, Khon Kaen University*. (master's thesis). Master Of Architecture in Building Technology Graduate School, Khon Kaen University.

กรรณิกา ถุนาพรรณ์. (2554). *โครงการปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงภายในห้องประชุมคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.* วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.