

การปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงภายในห้องประชุมคณะเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

The Improvement of Acoustical Environment in Conference Room, Faculty of Technology, Khon Kaen University

กรรณิกา ภูนาพรรณ¹ และ ผศ.ดร.ชูพงษ์ ทองคำสมุทร²

¹ นักศึกษาปริญญาโทสาขา
วิชาเทคโนโลยีอาคาร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Email: Kannika-2527
@hotmail.com

² อาจารย์ประจำสาขาวิชา
เทคโนโลยีอาคาร
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Email: choopong_t@
hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงในกิจกรรมการบรรยายภายในห้องประชุมคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยมีแนวทางการศึกษาและขั้นตอนการวิจัยเริ่มต้นจากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของห้องประชุม จากนั้นทำการวัดค่าต่างๆโดยใช้เครื่องวัดและวิเคราะห์เสียง(Audio analyzer)Phonic รุ่น PAA3 และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณ ตรวจสอบเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง พร้อมทั้งได้มีการจำลองแบบทางสถาปัตยกรรมด้วยโปรแกรมจำลองผล(EASE Focus 2, Version 2.0.11)ในเครื่องประมวลผล

ผลการวิจัยพบว่าวัตถุประสงค์เพื่อการแก้ไขปัญหาดังนี้ 1. การลดความเข้มเสียงพื้นหลังที่รบกวนภายในห้องโดยการเพิ่มค่าการดูดซับเสียงของวัสดุและการลดอัตราการเป่าลมเย็นจากเครื่องปรับอากาศ 2. การปรับปรุงค่ารีเวิร์บเรชั่นใหม่ (RT60ค่าการสะท้อนก้องของเสียง) ให้มีความเหมาะสมซึ่งจากการตรวจวัดพบว่าค่าดังกล่าวนี้มีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือมีค่า NC 30 – NC 40 (Egan, 1972) ซึ่งการแก้ไขในส่วนนี้สามารถทำได้โดยการเพิ่มค่าของสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุภายใน การเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับเสียง และการลดขนาดปริมาตรของห้อง ด้วยการปรับปรุงค่ารีเวิร์บเรชั่นใหม่ (RT60ค่าการสะท้อนก้องของเสียง) ภายในห้องนี้สามารถทำให้ค่าการสะท้อนก้องของเสียงภายในห้องประชุมมีความเหมาะสมกับกิจกรรมการบรรยายได้ 3. การใช้วัสดุสะท้อนเสียงเพื่อกระจายเสียงจากบริเวณด้านหน้าของห้อง เพื่อให้เสียงบรรยายสามารถกระจายได้ทั่วทั้งพื้นที่โดยใช้การวิเคราะห์การสะท้อนของเสียงในพื้นที่ (Ray Analysis) จากผลของการปรับปรุงทั้งสามส่วนนี้สามารถนำไปใช้ปรับปรุงคุณภาพเสียงภายในห้องประชุม และพื้นที่อื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้งบประมาณในการปรับปรุงไม่เกิน 200,000 บาท

Abstract

The objective of this research is to improve the sound quality which enhances the hearing process of the audiences a conference room the Faculty of Technology, Khon Kaen University. The research methods of this research are Audio analyzer Phonic (PAA3); surveying the physical appearance of this conference room, monitoring the value is NC 30 – NC 40 (Egan, 1972) that derive from the room configurations, comparative calculations, and computer simulations to compare existing room with developed models.

The result showed, that the guidelines to improve this conference room are; firstly, minimizing the background noise by increasing the absorption value of inner materials and minimizing the flow rate of air conditioning system which generates the noise; Secondly, improving the reverberation value of this room by increase area of absorption and absorption coefficient. Otherwise, reducing the room volume was used to decrease the reverberation value by adjust the room ceiling with appropriate level and thirdly, the sound reflection materials were installed at the side of the lecturer to reflect the sound from the lecturer to all audience by ray analysis method. The three steps of improving the acoustic quality can be used to improve the acoustical environment in conference room and other place that like this room with low budgeting (200,000 baht).

คำสำคัญ: คุณภาพเสียง, ห้องประชุม, การดูดซับเสียง

Keywords: Sound Quality, Conference Room, Sound Absorption, Reverberation Time

1. บทนำ

การออกแบบห้องประชุมหรือห้องบรรยายนั้นมีความสำคัญต่อกระบวนการเรียนรู้ เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญในด้านการสื่อสารระหว่างผู้ส่งสารและผู้รับสาร ซึ่งแบ่งออกได้เป็นการสื่อสารผ่านทาง ‘ภาพ’ ซึ่งใช้การรับรู้ผ่านประสาทส่วนการมองเห็นและ ‘เสียง’ ที่ใช้การรับรู้ผ่านประสาทส่วนการได้ยิน หากไม่สามารถเกื้อหนุนการสื่อสาร ภาพและเสียงดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ก็อาจจะทำให้ผู้รับสารเกิดการเข้าใจผิดหรือได้ข้อมูลไม่ครบถ้วน จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าห้องประชุมคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่นก็เป็นพื้นที่หนึ่งที่มีปัญหาในเรื่องของสภาพแวดล้อมภายในด้านคุณภาพเสียง ไม่ว่าจะเป็นทั้งกรณีเกิดการสะท้อนก้องของเสียง และไม่สามารถกระจายเสียงได้ไปทั่วทั้งห้อง(บริเวณด้านหลังห้อง) และจึงใช้ห้องประชุมนี้เป็นกรณีศึกษาสำหรับการเข้าไปปรับปรุงพื้นที่ภายในด้านที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมของเสียง เพื่อให้ตอบสนองต่อกิจกรรมการบรรยายและการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณและคุณภาพเสียงภายในห้องประชุม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น และเพื่อเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาและสามารถออกแบบปรับปรุงสภาพแวดล้อมทางด้านเสียงภายในห้องประชุมคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้อย่างเหมาะสม ซึ่งใช้เกณฑ์ด้านเสียงและงบประมาณ โดยทำการวิเคราะห์วัสดุทั้งคุณสมบัติและราคาที่น่ามาใช้ในการออกแบบปรับปรุงเปรียบเทียบกัน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

1. สำรวจสถานที่ทางด้านกายภาพ ได้แก่ตำแหน่งที่ตั้ง ขนาดและปริมาตรของห้อง วัสดุภายใน จำนวนผู้ใช้พื้นที่ และระบบประกอบอาคาร
2. ตรวจสอบวัดค่าต่างๆ ของเสียงโดยเครื่องวัดและวิเคราะห์เสียง (Audio analyzer) PHONIC รุ่น PAA3 (ภาพที่ 1) โดยการตรวจวัดระดับค่าเสียงรบกวนพื้นหลัง (Background noise) ค่ารีเวอร์บิเรชั่นไทม์ (Reverberation time; RT60) และการสะท้อนของเสียงภายในห้องโดยการวิเคราะห์การสะท้อนก้องของเสียง (Ray analysis)
3. คำนวณค่าต่างๆตามสมการและค่ามาตรฐานที่เกี่ยวข้องเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง เพื่อทราบถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระดับของปริมาณและคุณภาพของเสียง
4. เสนอแนวทางการแก้ไขในประเด็นต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
5. ทำการจำลองแบบในโปรแกรม EASE Focus 2 Version 2.0.11
6. สรุปผลและเสนอแนวทางการปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงภายในห้องประชุม



(ก)



(ข)

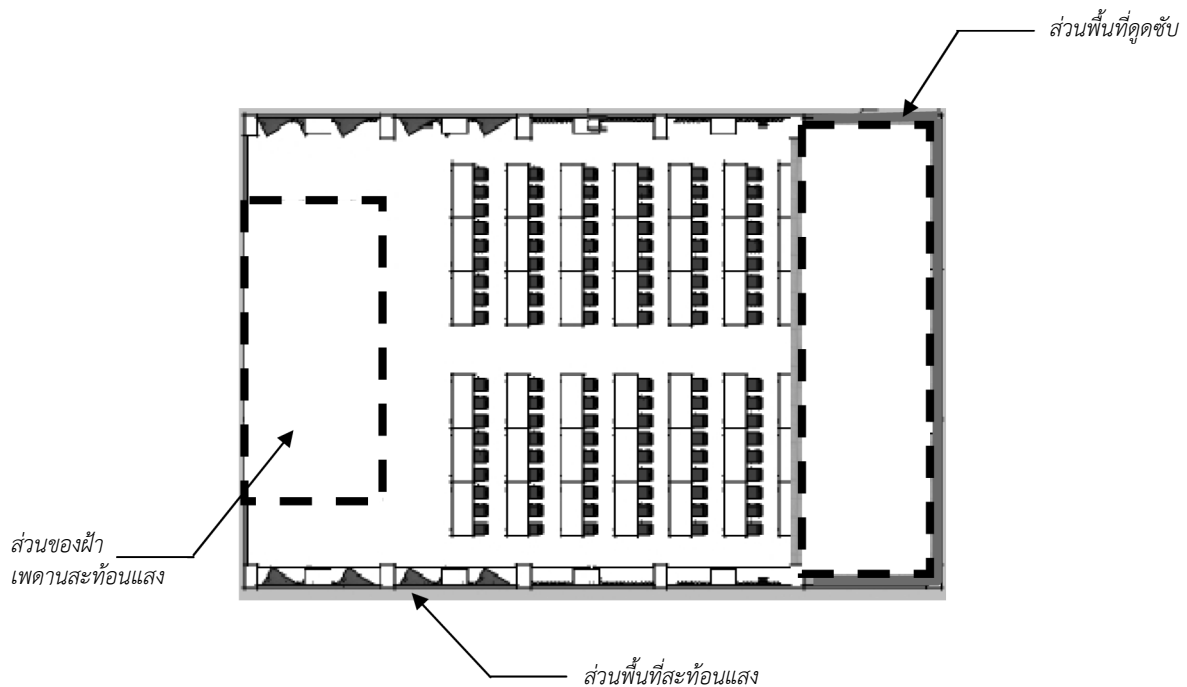
ภาพที่ 1 เครื่องวัดและวิเคราะห์เสียง (audio analyzer) PHONIC รุ่น PAA3 (ก) และขณะทำการวัดค่าในพื้นที่ (ข)

3. ผลการศึกษา

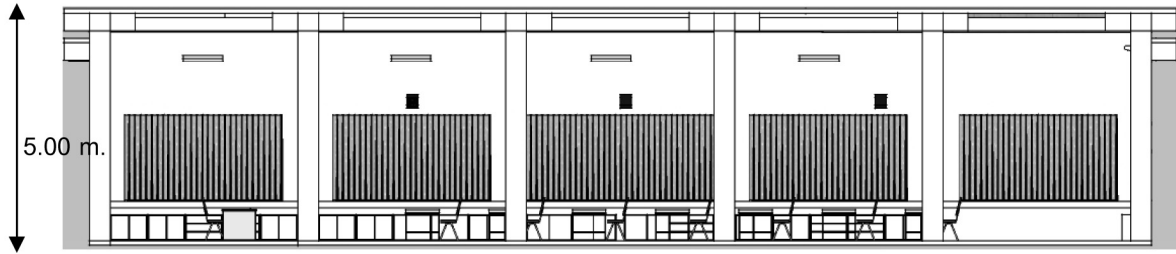
ลักษณะทางกายภาพของห้องประชุม

ตำแหน่งที่ตั้งของห้องประชุม อยู่ภายในเขตของคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยทิศเหนือติดกับคณะเกษตรศาสตร์ ทิศใต้และทิศตะวันตกติดกับสวนร่มเกล้า

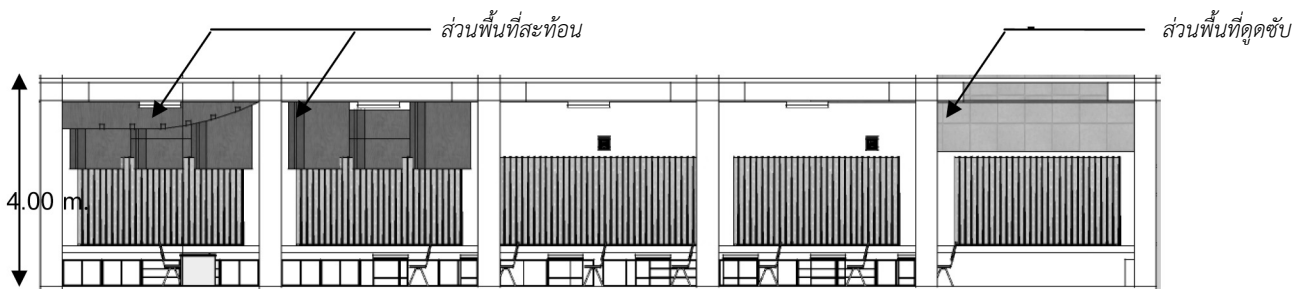
กัลปพฤกษ์ ส่วนทิศตะวันออกติดกับคณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (ภาพที่ 2) ก่อสร้างด้วยระบบเสาและคาน โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก มีพื้นที่ใช้งานรวมประมาณ 375 ตารางเมตร ระยะจากพื้นถึงเพดาน 5 เมตร



ภาพที่ 2 แสดงผังอาคารหลังการปรับปรุง



ภาพที่ 3 แสดงภาพตัดก่อนการออกแบบคริสสะท้อนเสียง



ภาพที่ 4 แสดงภาพตัดหลังการออกแบบคริสสะท้อนเสียง



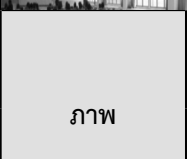




ภาพที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของห้องประชุม คณะเทคโนโลยีในกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้งานแตกต่างกัน

การใช้งานห้องประชุมมีลักษณะเป็นการบรรยาย โดยที่ห้องประชุมสามารถรองรับจำนวนผู้เข้าฟังได้สูงสุดได้ประมาณ 100 คน ในการใช้งานจริงจะมีการบรรยายตั้งแต่ 30 60 และ 90 คน

(ภาพที่5) ในส่วนของวัสดุและคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ที่ใช้ภายในห้องประชุมนั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 ต่อไปนี้

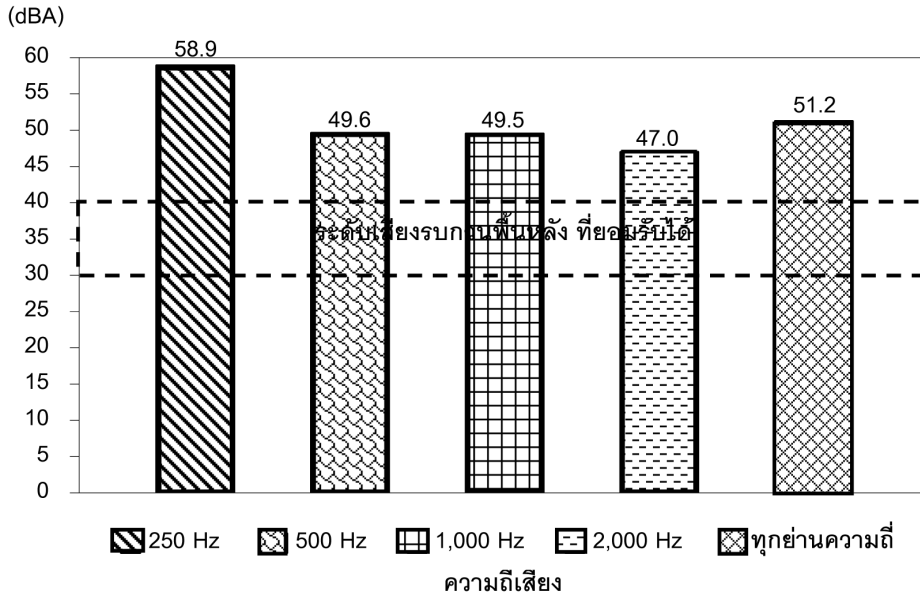
ตารางที่ 1 แสดงวัสดุในส่วนของปริมาณพื้นที่ คุณสมบัติ ของวัสดุในต่างต่าง ๆ ที่มีการใช้งานในห้องประชุมคณะเทคโนโลยี (Egan, 1972; Stein and Reynolds, 2000)

วัสดุ	พื้นที่ (ตารางเมตร)	ค่า	Sound transmission class; STC	ภาพ
		สัมประสิทธิ์การดูดซับ เสียงเฉลี่ย	ค่าการสูญเสียการส่งผ่าน ของเสียงผ่านวัสดุตัวกลาง	
พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กผิวหน้า หินขัดสีขาว	392.0	0.01	35-70	
ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบทาสี	337.0	0.35	35-70	
กระจกใส	53.2	0.04	31	
ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบทาสี	392.0	0.02	35-70	
วัสดุ	พื้นที่ (ตารางเมตร)	ค่า	Sound transmission class; STC	ภาพ
		สัมประสิทธิ์การดูดซับ เสียงเฉลี่ย	ค่าการสูญเสียการส่งผ่าน ของเสียงผ่านวัสดุตัวกลาง	
ผนังไม้อัด	31.1	0.39	32	
ผ้าม่าน	53.2	0.49	20	

ผลการศึกษาระดับเสียงรบกวนพื้นหลังภายในห้องประชุม

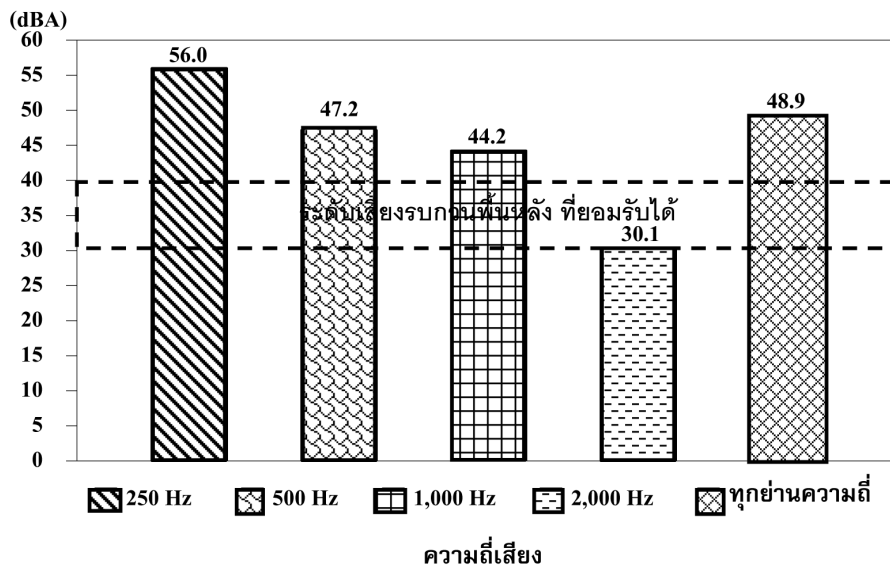
จากการสำรวจและเก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือวัด พบว่าเสียงรบกวนพื้นหลังภายในห้องประชุมสามารถแสดงได้ตามแผนภูมิที่ 1 และแผนภูมิที่ 2 ดังต่อไปนี้

ระดับความเข้มเสียง



แผนภูมิที่ 1 ค่าเฉลี่ยระดับเสียงรบกวนพื้นหลังภายในห้อง (Background Noise) ของห้องประชุมในกรณีที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศและปิดม่านกรองแสง

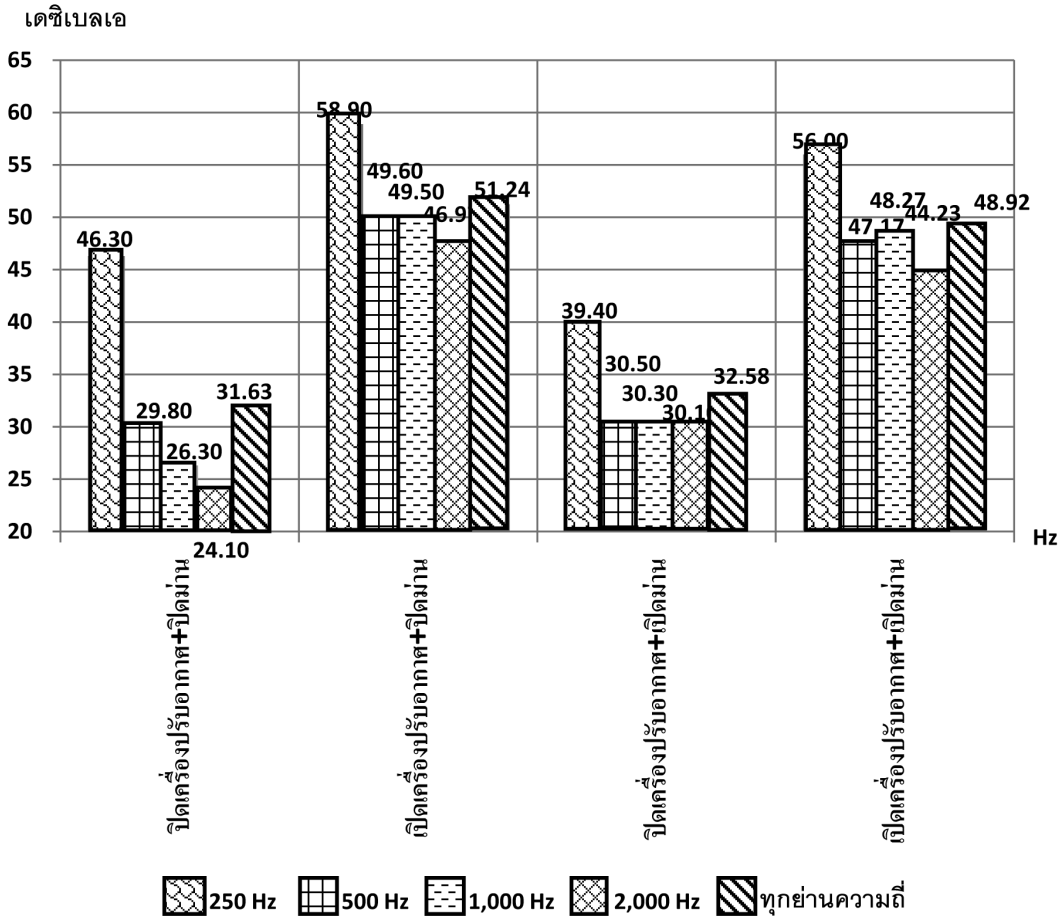
ระดับความเข้มเสียง



แผนภูมิที่ 2 ค่าเฉลี่ยระดับเสียงรบกวนพื้นหลังภายในห้อง (Background Noise) ของห้องประชุมในกรณีที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศและเปิดม่านกรองแสง

- ระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังที่ยอมรับได้และเหมาะสมของห้องประชุมมีค่าอยู่ในช่วง 30-40 dBA (Egan,1972) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ในห้องประชุม พบว่าระดับความเข้มเสียงของเสียงรบกวนพื้นหลังมีค่ามากกว่าระดับค่าที่สามารถยอมรับได้ในเกือบทุกย่านความถี่ของเสียงที่ทำการวัด

จากค่าความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังที่ทำการวัดจะพบว่าในกรณีที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศนั้น ไม่ว่าจะมีการปิดหรือเปิดม่านกรองแสง ระดับของเสียงรบกวนพื้นหลังก็ยังมีค่ามากกว่าระดับที่ยอมรับได้ ดังแผนภูมิที่ 1 และ 2

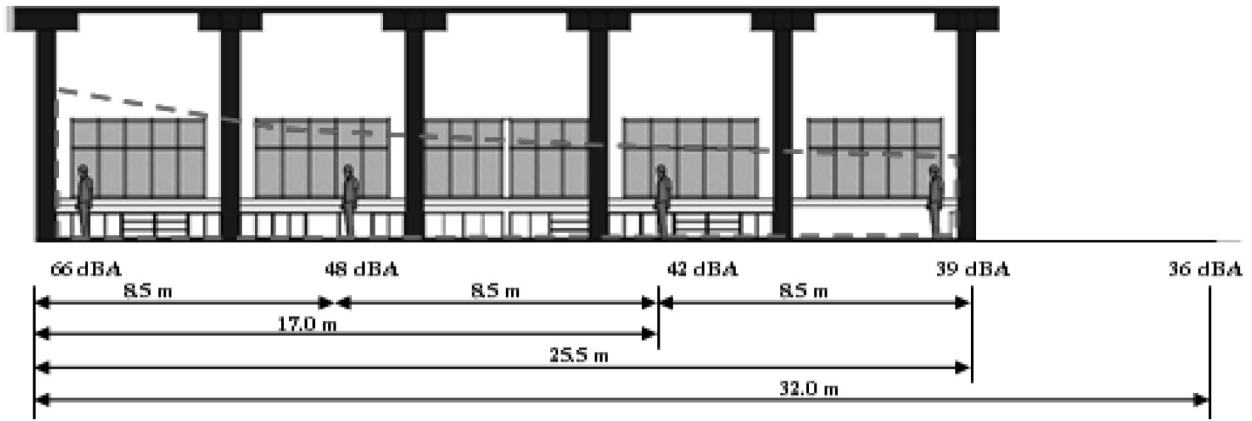


แผนภูมิที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยระดับเสียงรบกวนพื้นหลังภายในห้อง (Background Noise) ของห้องประชุม

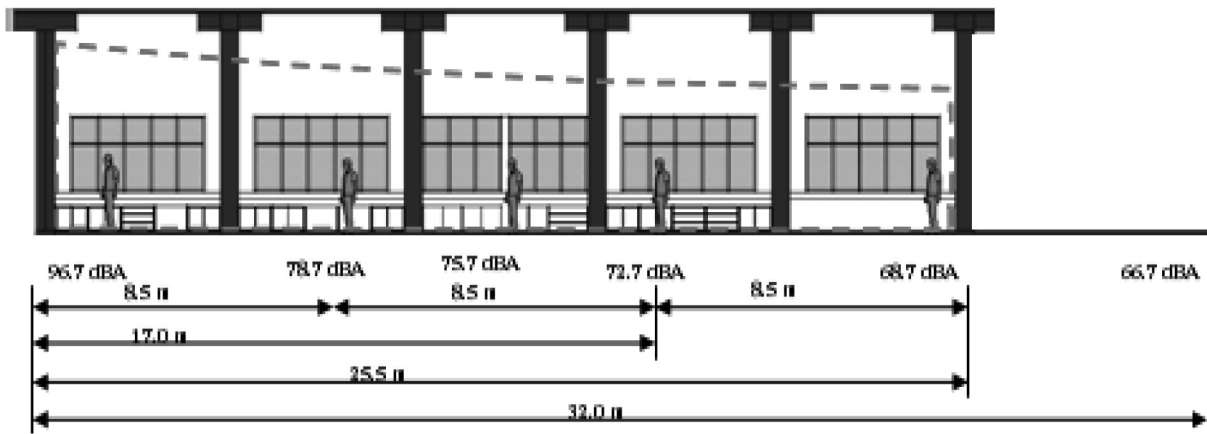
- ระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ จำนวนผู้ใช้อาคาร การเปิดและปิดเครื่องปรับอากาศ และการเปิดและปิดผ้าม่านภายใน โดยจากแผนภูมิที่ 3 แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าการใช้เครื่องปรับอากาศนั้นเป็นสาเหตุหลักในการที่ทำให้ระดับค่าความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังมีค่าสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีการปิดม่านกรองแสงด้วย ยิ่งทำให้ระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังมีค่าสูง

การวิเคราะห์ระดับความเข้มของเสียงบรรยาย

การบรรยายในห้องประชุม สามารถเลือกใช้ระบบเครื่องขยายเสียงได้ในกรณีที่มีจำนวนผู้เข้าฟังมาก ส่วนในกรณีที่มีจำนวนผู้เข้าฟังน้อยก็ไม่มีจำเป็นต้องใช้เครื่องขยายเสียง การศึกษาในส่วนนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบค่าระดับความเข้มของเสียงบรรยาย โดยไม่ใช้เครื่องขยายเสียงและกรณีที่มีการใช้เครื่องขยายเสียงเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ เพื่อตรวจสอบระดับของค่าความเข้มของเสียงที่เหมาะสม ดังภาพที่ 5 ต่อไปนี้



(ก)

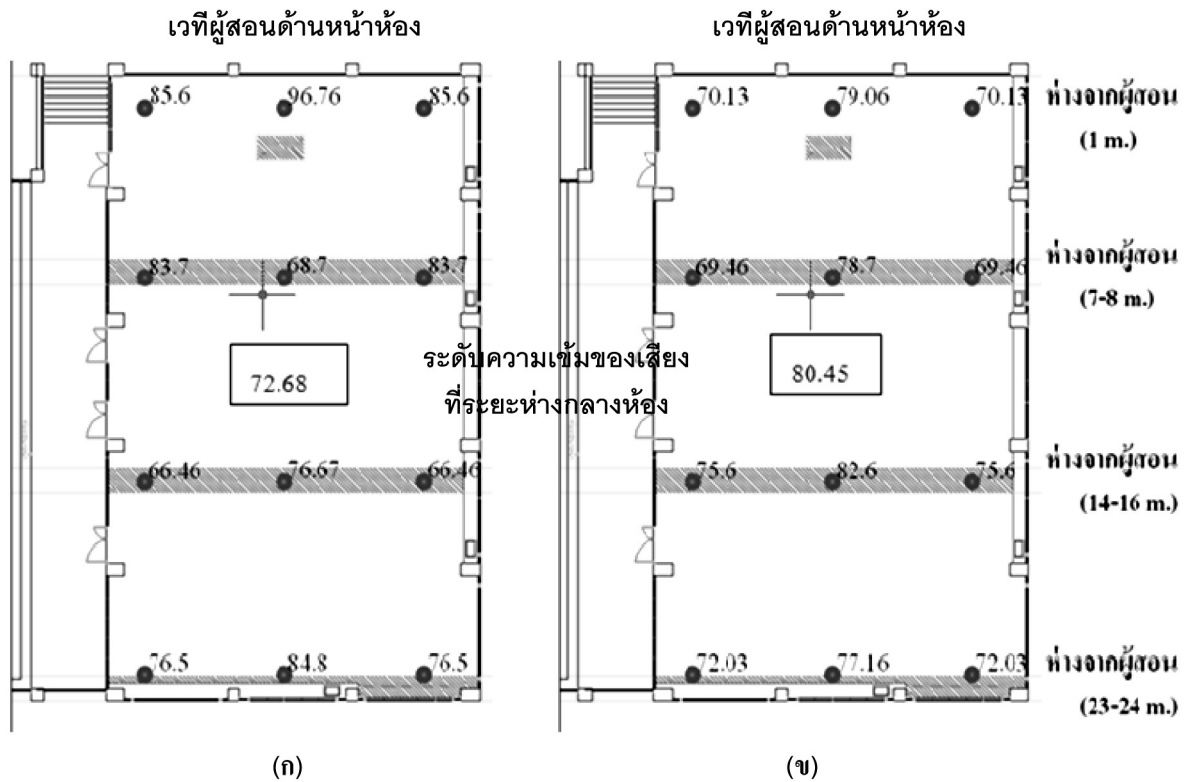


(ข)

ภาพที่ 6 ภาพตัดห้องประชุมและระดับความเข้มของเสียงบรรยาย ณ ระยะต่าง ๆ จากผู้บรรยาย ที่ได้จากการคำนวณกรณีที่ไม่มีการใช้เครื่องขยายเสียง (ก) และกรณีที่มีการใช้เครื่องขยายเสียง (ข)

โดยปกติแล้วทุกๆ ระยะทางเพิ่ม 2 เท่าจากแหล่งกำเนิดเสียงซึ่ง ความเข้มของเสียงจะลดลง 6 เดซิเบล (Egan, 1972) จากภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าในกรณีที่ไม่ใช้เครื่องขยายเสียง หากผู้บรรยายบรรยายด้วยความดังประมาณ 80 เดซิเบลเอ ผู้ฟังจะสามารถได้ยินผู้บรรยายได้ในกรณีที่อยู่ไกลจากผู้บรรยายไม่เกิน 4-5 เมตรเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากค่าระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังมีค่าสูงประมาณ 50 เดซิเบลเอ แต่ในกรณีใช้เครื่องขยายเสียง

จะพบว่าหากต้องการให้ผู้ฟังแถวหลังสุดซึ่งอยู่ห่างจากผู้บรรยายประมาณ 24 เมตร ได้ยินเสียงผู้บรรยายอย่างชัดเจนนั้นจะต้องใช้เครื่องขยายเสียงเข้ามาช่วย และจะต้องให้มีค่ามากกว่าระดับของเสียงรบกวนพื้นหลังประมาณ 16-18 เดซิเบล ด้วยเงื่อนไขนี้ทำให้ผู้ฟังที่นั่งใกล้กับลำโพงได้ยินเสียงบรรยายที่ระดับความเข้มเสียงสูง ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ฟังได้ (หากความดังของเสียงมีค่า 96.76 dBA และหากได้ยินนานเกิน 3 ชั่วโมง 30 นาทีจะเป็นอันตรายต่อผู้ฟัง)



ภาพที่ 7 แสดงค่าการวัดความเข้มของเสียงภายในห้องประชุมขณะมีการบรรยายในกรณีที่มีผู้ใช้พื้นที่ 30 คน (ชาย) และ 60 คน (ชาย)

จากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มของเสียงขณะที่ทำการบรรยายจะมีค่าค่อนข้างสูงมาก คือประมาณ 70-80 เดซิเบลเอ ทั้งนี้เกิดจากปัจจัยที่เป็นต้นเหตุสำคัญคือเสียงรบกวนพื้นหลังที่เกิดจากระบบปรับอากาศเป็นหลัก ซึ่งจะได้ทำการวิเคราะห์ในรายละเอียดต่อไป

การวิเคราะห์ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในห้องประชุม

จากการจากวัดค่าความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังที่ทำการวัดจะพบว่าการใช้เครื่องปรับอากาศนั้น ระดับของเสียงรบกวนพื้นหลังก็ยังมีค่ามากกว่าระดับที่ยอมรับได้ ดังแผนภูมิที่ 1 และ 2 ที่ได้แสดงก่อนหน้านี้ ดังนั้นเครื่องปรับอากาศ จึงเป็นสาเหตุสำคัญของระดับเสียงรบกวนพื้นหลังจึงนำมาวิเคราะห์ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเพื่อตรวจสอบความเหมาะสมระหว่างภาระการทำความเย็นกับขนาดของเครื่องปรับอากาศในพื้นที่จริง โดยจากการคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบความร้อนจากแหล่งต่างๆ ในกรณีที่มีผู้ใช้งานแตกต่างกัน

ภาระการทำความเย็น	ภาระการทำความเย็นแยกตามส่วนต่างๆ			
	ไม่มีคน	30 คน	60 คน	90 คน
จำนวนผู้ใช้ห้องประชุม				
1. ความร้อนจากผนัง	82,000	82,000	82,000	82,000
2. ความร้อนจากเพดาน	150,000	150,000	150,000	150,000
3. ความร้อนจากกระจก	44,919	44,919	44,919	44,919
4. ความร้อนจากคน	0	13,500	27,000	40,500
5. ความร้อนจากการรั่วซึมของอากาศ	65,625	65,625	65,625	65,625
6. ความร้อนอื่นๆ	14,197	14,197	14,197	14,197
รวมภาระการทำความเย็น	357,191	370,241	383,741	397,241

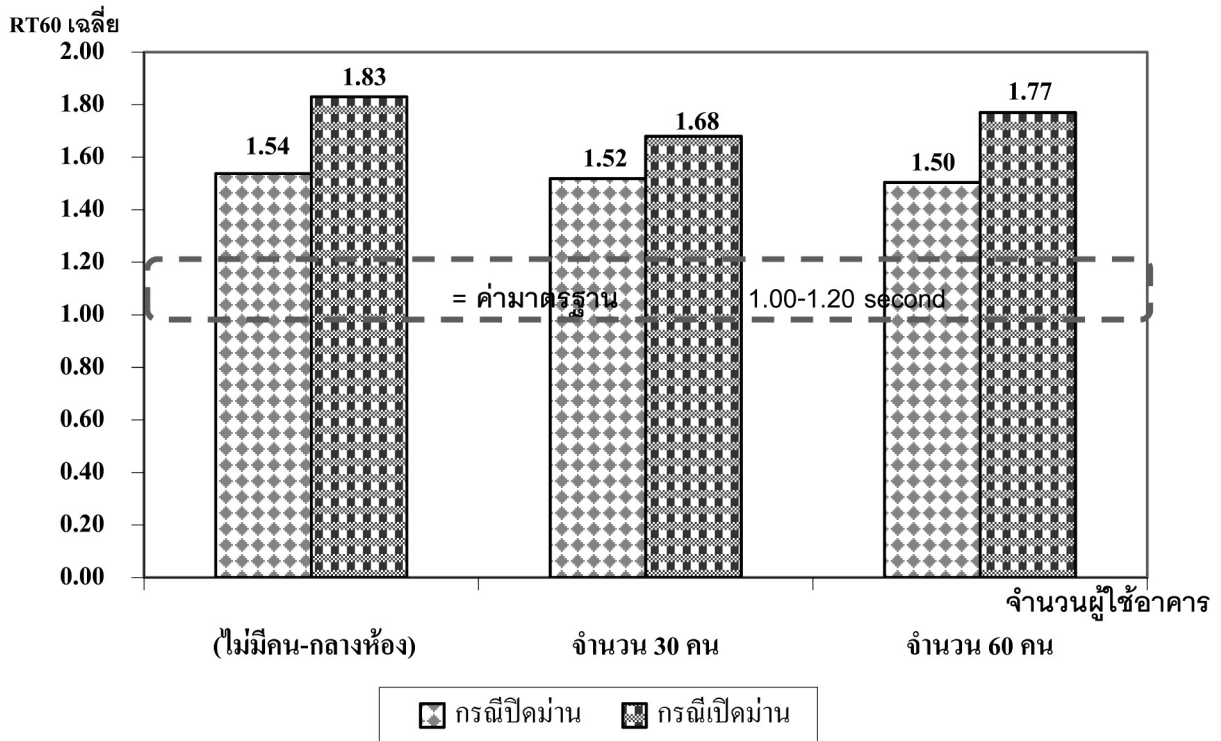
จากการสำรวจขนาดและต้นความเย็นของเครื่องปรับอากาศในพื้นที่จริง มีเครื่องปรับอากาศติดตั้งจำนวน 12 เครื่อง ติดตั้งที่ผนังด้านข้างรอบห้องสูงจากพื้นห้องที่ระดับ 4 เมตร รวมเป็น 276,000 บีทียูต่อชั่วโมง (ซึ่งเป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่าห้องประชุมนี้มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศไว้น้อยกว่าภาระการทำความเย็นที่ควรจะเป็นถึง 104,000 บีทียูต่อชั่วโมง (ยังไม่พิจารณาเกี่ยวกับการเสื่อมประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ) ดังนั้นการลดจำนวนการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อจะลดความชื้นเสียที่เกิดขึ้นจริงไม่ใช่แนวทางในการแก้ไขปัญหาเนื่องจากไปกระทบต่อปัจจัยทางด้านความสบายทางด้านร่างกายซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเรียนรู้ที่เป็นกิจกรรมที่ต้องใช้สมาธิ (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

การวิเคราะห์ค่ารีเวอร์บิเรชันไทม์ (Reverberation Time; RT60)

ค่ารีเวอร์บิเรชันไทม์คือค่าของเวลาที่เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงมีค่าลดลง 60 เดซิเบล (Stein and Reynolds, 2000) ค่านี้แสดงคุณสมบัติของห้องในด้านที่เกี่ยวข้องกับการสะท้อนก้องภายในห้อง ถ้าค่านี้มีค่าสูงหมายความว่าเสียงภายในพื้นที่นั้นมีการสะท้อนก้องของเสียงมาก (ตัวอย่างเช่นเสียงในโบสถ์) ในทางกลับกันหากค่านี้มีค่าน้อยหมายความว่าเสียงภายในพื้นที่นั้นมีการสะท้อนก้องของเสียงน้อย (ตัวอย่างเช่นเสียงในห้องอัดเสียง) โดยค่านี้มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัจจัย ได้แก่ ปริมาตรของห้องและพื้นที่ดูดซับเสียงรวมภายในห้องดังสมการต่อไปนี้ (Egan, 1972)

$$\text{ค่ารีเวอร์บิเรชันไทม์ (วินาที)} = \frac{0.16 * \text{ปริมาตรภายในของห้องที่พิจารณา (ลูกบาศก์เมตร)}}{\text{ผลรวมของ (พื้นที่ของวัสดุภายใน (ตารางเมตร) * ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง)}}$$

ค่าดังกล่าวนี้สามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิจัย และผลจากการตรวจวัดค่ารีเวอร์บิเรชันไทม์ในห้องประชุม คณะเทคโนโลยี ได้ผลดังแผนภูมิที่ 4 ต่อไปนี้



แผนภูมิที่ 4 แสดงค่ารีเวอร์บิเรชั่นใหม่ของห้องประชุมในกรณีที่มีการเปิดและปิดม่านกรองแสง

ห้องประชุมควรมีค่ารีเวอร์บิเรชั่นใหม่อยู่ในช่วง 1.0-1.2 วินาทีจึงจะเหมาะสม (Egan, 1972) เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือพบว่าค่านี้มีค่าประมาณ 1.5 วินาทีเมื่อปิดม่านกรองแสง และ 1.7 วินาทีเมื่อเปิดม่านกรองแสง ซึ่งทั้งสองกรณีมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน ดังนั้นแนวทางในการปรับปรุงค่านี้ให้ได้มาตรฐานจึงเป็นการลดขนาดปริมาตรของห้อง และ/ หรือเพิ่มพื้นที่ดูดซับเสียงภายในห้อง

การวิเคราะห์การสะท้อนและการกระจายตัวของเสียง

ในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์แนวทางเดินของเสียงจากผู้บรรยายไปสู่ผู้ฟัง โดยการกระจายของเสียงที่ดีจะต้องมีทั้งระดับความเข้มของเสียงที่เหมาะสม และการไม่เกิดเสียง 'เอคโค' (Echo Sound) โดยที่การวิเคราะห์จะกำหนดจุดพิจารณาที่ห่างจากผู้บรรยาย 3 9 12 15 และ 21 เมตร (การกำหนดระยะจากมาตราส่วนของห้องต่อแหล่งกำเนิดเสียงทั้งระนาบของฝ้าเพดานและระนาบของผนังมาจากเส้นการสะท้อนของเสียงสำหรับใช้คำนวณค่า Ray diagram (Egan, 1972) แล้วพิจารณาผลต่างของระยะทางเดินของเสียงระหว่างเสียงตรงจากผู้บรรยายกับเสียงสะท้อนจากวัสดุภายในที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดว่ามีปัญหาเสียง 'เอคโค' หรือไม่ โดยค่าความต่างนี้สามารถนำมาเทียบกับค่าในตารางที่ 3 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 แสดงความต่างระหว่างเสียงตรงกับเสียงสะท้อนจากวัสดุที่มีผลต่อคุณภาพของการได้ยินเสียง (ปรับจาก Egan, 1972)

ผลต่างระหว่างระยะทางเดินของเสียงตรงกับเสียงสะท้อน (เมตร)	คุณภาพของการได้ยินเสียง	
น้อยกว่า 8.6 เมตร	Excellent for speech and music	ดีเยี่ยมสำหรับการฟังเสียงพูดและดีเยี่ยมกับเสียงการฟังเสียงดนตรี
8.6 – 12 เมตร	Good for speech, Fair for music	ดีสำหรับการฟังเสียงพูดและพอเหมาะกับเสียงการฟังเสียงดนตรี
12 – 15 เมตร	Marginal	ได้ยินเสียงจริงเล็กน้อย,แผ่วเบา
15 – 20.4 เมตร	Negative	ไม่ได้ยินเสียงจริง
มากกว่า 20.4 เมตร	Echo if strong enough เสียง	เสียงสะท้อนตรงและดังชัดมากเกินไป

ในการคำนวณผลต่างระหว่างระยะทางเดินของเสียงตรงกับเสียงสะท้อนที่อาจเกิดปัญหาเสียงเอคโคโน้น จะต้องพิจารณาทั้งในส่วนของการสะท้อนที่ผนังและฝ้าเพดาน ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณค่าสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4 และ 5 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4 แสดงผลต่างระหว่างเสียงตรงกับเสียงสะท้อนที่ฝ้าเพดานในจุดพิจารณาต่าง ๆ

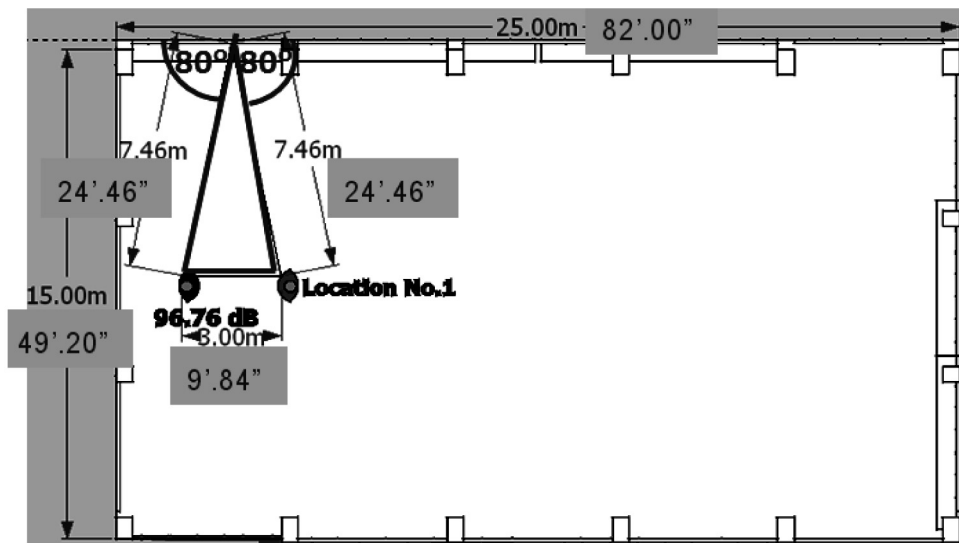
ตำแหน่งระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง(เมตร)	มุมสะท้อน (องศา)	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	คุณภาพของการได้ยินเสียง
จุดพิจารณาที่ 1 (3.00 m.)	70	5.01 m.	Excellent for speech and music (ดีเยี่ยม)
จุดพิจารณาที่ 2 (8.85 m.)	40	2.66 m.	Excellent for speech and music (ดีเยี่ยม)
จุดพิจารณาที่ 3 (10.75 m.)	35	2.28 m.	Excellent for speech and music (ดีเยี่ยม)
จุดพิจารณาที่ 4 (15.30 m.)	25	1.23 m.	Excellent for speech and music (ดีเยี่ยม)
จุดพิจารณาที่ 5 (20.40 m.)	20	1.28 m.	Excellent for speech and music (ดีเยี่ยม)

ตารางที่ 5 แสดงผลต่างระหว่างเสียงตรงกับเสียงสะท้อนที่ผนังในจุดพิจารณาต่าง ๆ

ตำแหน่งระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง(เมตร)	มุมสะท้อน (องศา)	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	คุณภาพของการได้ยินเสียง
จุดพิจารณาที่ 1 (3.00 m.)	80	12.11 m.	Marginal (ได้ยินเสียงจริงเล็กน้อย,แผ่วเบา)
จุดพิจารณาที่ 2 (9.00 m.)	60	8.59 m.	Excellent for speech and music (ดีเยี่ยม)
จุดพิจารณาที่ 3 (12.00m.)	50	8.01 m.	Excellent for speech and music (ดีเยี่ยม)
จุดพิจารณาที่ 4 (15.00 m.)	45	6.66 m.	Excellent for speech and music (ดีเยี่ยม)
จุดพิจารณาที่ 5 (21.00 m.)	36	5.01 m.	Excellent for speech and music (ดีเยี่ยม)

จากตารางที่ 4 และ 5 จะพบว่า ณ จุดพิจารณาเกือบทุกจุดนั้นไม่เกิดปัญหาเสียงเอคโค่ ยกเว้นในจุดพิจารณาที่ 1 ที่ระยะห่างจากผู้บรรยาย 3 เมตรบริเวณด้านหน้าของห้อง ผลต่างระหว่างระยะทางเดินของเสียงตรงกับเสียงสะท้อนที่ผนังที่มีค่าเป็น

ค่า marginal คือได้ยินเสียงจริงเล็กน้อย, แผ่วเบา (ภาพที่ 8) ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงสภาพแวดล้อมทางด้านเสียงจึงต้องพิจารณาจุดที่อาจจะเกิดปัญหาดังกล่าวนี้ด้วย



ภาพที่ 8 แสดงการสะท้อนเสียงที่วัสดุผนัง จุดพิจารณาที่ 1 ระยะห่างจากผู้บรรยาย 3 เมตร

การเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสภาพแวดล้อมทางด้านเสียง

ในส่วนที่กล่าวได้ทำการวิเคราะห์ให้เห็นถึงปัญหา และปัจจัยที่มีอิทธิพลในประเด็นต่าง ๆ ซึ่งปัญหาที่พบสำหรับห้องประชุมนี้สามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้คือ

1. ระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังในห้องประชุมมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน จากการการตรวจวัดได้ค่าความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังเฉลี่ยที่ 50 เดซิเบลเอ

2. ค่ารีเวอร์บิเรชั่นใหม่ของห้องมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน จากการการตรวจวัดได้ค่าอยู่ในช่วง 1.5-1.6 วินาที โดยพิจารณากรณีที่มีการปิดม่านกรองแสงเป็นกรณีหลัก เนื่องจากในการเรียนการสอนต้องใช้สมาธิและบางครั้งต้องฉายเครื่องฉายภาพที่ต้องมีการควบคุมความสว่างภายใน

3. การกระจายของเสียงภายในห้องอาจจะเกิดปัญหา 'เอคโค' ณ จุดที่พิจารณาคือด้านหน้าในระยะ 3 เมตรจากผู้บรรยายที่เกิดจากการสะท้อนที่ผนังด้านข้างของผู้บรรยายเป็นสำคัญ

จากปัญหาของห้องประชุมข้างต้น จึงได้เสนอแนะแนวทางการปรับปรุงสภาพแวดล้อมทางด้านเสียงดังต่อไปนี้

1. ลดระดับฝ้าเพดานลงจาก 5.00 เมตร เป็น 4.00 เมตร

2. การเพิ่มค่าการดูดซับเสียงภายในห้องบรรยายโดยการติดตั้งฉนวนดูดซับเสียงบริเวณหลังห้อง

3. การเพิ่มคริสสะท้อนเสียงภายในห้องบรรยายบริเวณผนังด้านหน้าห้อง

โดยในแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การลดระดับฝ้าเพดานลงจาก 5.00 เมตร เป็น 4.00 เมตร

จากสมการในการคำนวณค่ารีเวอร์บิเรชั่นใหม่ที่ผ่านมา จะพบว่าการลดระดับฝ้าเพดานจะเป็นการลดปริมาตรของห้องลง ส่งผลให้ค่าดังกล่าวนี้มีค่าลดลงด้วย โดยจากการลดระดับฝ้าเพดานจากระยะ 5 เมตรเป็น 4 เมตร จะทำให้เกิดผลดังต่อไปนี้คือ

• ค่ารีเวอร์บิเรชั่นใหม่ลดลงเหลือประมาณ 1.4 วินาที ซึ่งยังไม่อยู่ในช่วงค่ามาตรฐานของห้องบรรยายหรือห้องประชุม

• ค่าความแตกต่างของระยะระหว่างเสียงตรงกับเสียงสะท้อนกรณีเสียงสะท้อนฝ้าเพดานมีค่าลดลง ทำให้เป็นการลดปัญหาการเกิดเสียงเอคโคได้ดียิ่งกว่าเดิม

• หากต้องมีการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงเพิ่มเติม ก็จะใช้ปริมาณวัสดุดูดซับเสียงน้อยลงด้วย (ดูรายละเอียดการคำนวณพื้นที่ดูดซับเสียงในหัวข้อต่อไป)

• ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลดลง ทำให้มีโอกาสในการปรับหรือเครื่องเป่าลมเย็นลงได้¹ เพื่อลดปัญหาเสียงรบกวนพื้นหลัง

2. การเพิ่มค่าการดูดซับเสียงภายในห้องบรรยายโดยการติดตั้งฉนวนดูดซับเสียงบริเวณหลังห้อง

การพิจารณาในส่วนนี้สามารถแบ่งออกได้เป็นสามส่วนด้วยกัน ได้แก่ ชนิดของวัสดุดูดซับเสียง พื้นที่ที่ต้องใช้สำหรับการติดตั้ง และตำแหน่งของการติดตั้งฉนวนดูดซับเสียง ดังต่อไปนี้

• การเลือกวัสดุในการนำมาดูดซับเสียงเพื่อลดค่ารีเวอร์บิเรชั่นใหม่จะคำนวณโดยใช้สมการที่ผ่านมา โดยการใช้ค่ามาตรฐานสำหรับห้องประชุมแล้วคำนวณกลับเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงคูณกับพื้นที่ที่ต้องการ โดยหากวัสดุที่เลือกมาใช้นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ต่างกัน ก็จะใช้ปริมาณวัสดุต่างกันด้วย ซึ่งการพิจารณาเลือกใช้จะเลือกจากค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด และสามารถติดตั้งได้พอดีกับขนาดพื้นที่ที่ต้องการ ดังตารางที่ 6

• พื้นที่ที่ต้องใช้สำหรับการติดตั้งฉนวนดูดซับเสียงมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง หากค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมีค่าสูงก็จะใช้พื้นที่น้อย ในทางกลับกันหากค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมีค่าน้อยก็จะใช้พื้นที่มาก

• ตำแหน่งที่ใช้ในการติดตั้งฉนวนดูดซับเสียงคือ ตำแหน่งด้านหลังของห้อง ทั้งในส่วนของผนังและฝ้าเพดาน เพื่อป้องกันการสะท้อนกลับของเสียงบรรยาย (สุนทร บุญญาธิการ, 2545)

¹ อาจพิจารณาเลือกใช้ชนิดของระบบปรับอากาศที่ทำให้ระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังน้อยลงกว่านี้ได้ แต่สำหรับการวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะงานสถาปัตยกรรมภายในเท่านั้น ไม่รวมในส่วนของการเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องกล

ตารางที่ 6 แสดงชนิด คุณสมบัติ พื้นที่ที่ต้องการติดตั้ง และราคารวมของวัสดุดูดซับเสียงที่นำมาพิจารณา

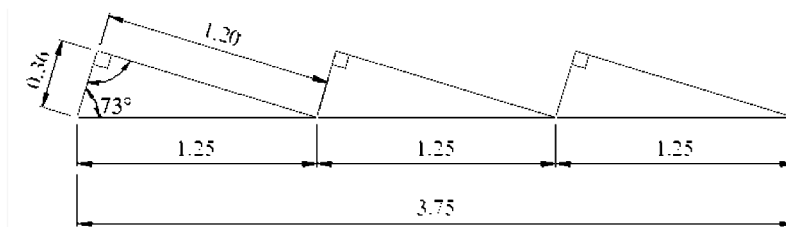
วัสดุดูดซับเสียง	ค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับเสียง	พื้นที่ที่ต้องการทำการติดตั้ง (ตารางเมตร)	ราคาวัสดุณรวม (บาท)
ฉนวนดูดซับเสียง อะคูสติก Cylence Wondery ความหนา 15 mm.	0.90	45	21,250
ฉนวนดูดซับเสียงอะคูสติก Cylence Armax ความหนา 25 mm.	0.74	55	19,097
ฉนวนดูดซับเสียง อะคูสติก Cylence Armax ความหนา 19 mm.	0.49	82	22,777

หมายเหตุ: ราคาวัสดุณรวม ณ วันที่ 1 เมษายน 2555

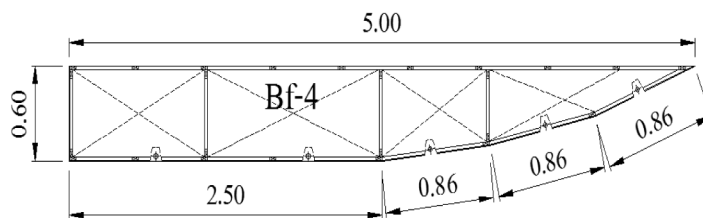
โดยการติดตั้งฉนวนดูดซับเสียงจะทำให้ค่ารีเวิร์บเรชั่นไทม์ลดลงจนถึงระดับค่ามาตรฐานที่ต้องการคือ 1.00 วินาที นอกจากนี้จากการคำนวณค่าการลดลงของเสียงรบกวนพื้นหลังเนื่องจากการมีพื้นที่ดูดซับเสียงเพิ่มขึ้น (Noise Reduction) (Egan, 1972) ยังทำให้ค่าของเสียงรบกวนพื้นหลังลดลงได้อีกประมาณ 3 เดซิเบลอีกด้วย

การเพิ่มครีบท่อนเสียงภายในห้องบรรยายบริเวณผนังข้างด้านหน้าห้องบรรยาย

การเพิ่มครีบท่อนหรืออุปกรณ์เพื่อช่วยในการสะท้อนเสียง มีเป้าหมายในการกระจายเสียงจากบริเวณด้านหน้าห้องบรรยายไปสู่ด้านหลังห้องในกรณีที่ไม่ใช่เครื่องขยายเสียง และ/หรือใช้เครื่องขยายเสียงที่มีลำโพงเฉพาะบริเวณด้านหน้าห้อง โดยลักษณะทางกายภาพของครีบท่อนหรืออุปกรณ์สะท้อนเสียงนี้จะมีพื้นที่สะท้อนเสียงที่สัมพันธ์กับค่าความยาวของคลื่นเสียงที่ต้องการให้สะท้อนดังภาพที่ 9 ต่อไปนี้



(ก)

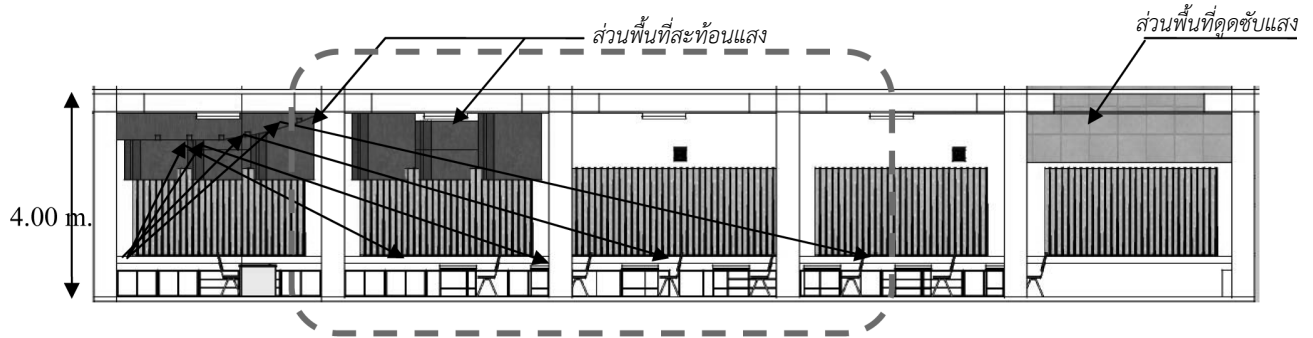


(ข)

ภาพที่ 9 แพลนของครีบท่อนเสียงแสดงระยะและมุมของการออกแบบที่มีการใช้ไม้อัดกรุผนังเพลาะโครงไม้ที่ด้านข้างของห้อง(ก)และรูปตัดแสดงครีบท่อนเสียงบริเวณด้านหน้าของห้องบรรยาย

คลื่นเสียงที่ต้องการให้สะท้อนนั้นมีความถี่ 1,000 เฮิรท์ซ์ จะมีความยาวคลื่นประมาณ 0.6 เมตร บริเวณพื้นที่ที่ต้องการให้สะท้อนคลื่นเสียงนี้ต้องมีความกว้างอย่างน้อย 4 เท่าของความยาวคลื่น (Egan, 1972; Stein and Reynolds, 2000) คือ 1.2 เมตร ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของแผ่นไม้อัดที่นำมาใช้ ส่วนมุมของ

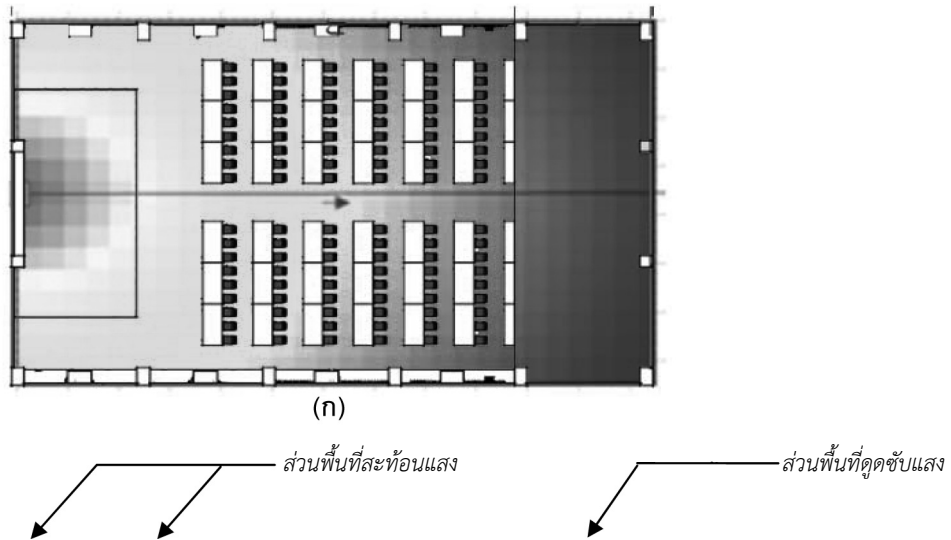
ครีบริสะท้อนเสียงนั้นจะใช้การพิจารณาค่าของมุมตามผังอาคาร กับค่ามุมตกกระทบและมุมสะท้อนของเสียงที่สามารถกระจายไปด้านหลังห้องได้อย่างทั่วถึง (ภาพที่ 10) โดยผลของการใช้ครีบริสะท้อนเสียงนี้จะช่วยลดปัญหาการเกิดเสียงเอคโค่บริเวณด้านหน้าของห้องบรรยายดังที่ได้ระบุไว้ในส่วนของปัญหาที่ต้องแก้ไข



ภาพที่ 10 แสดงการกระจายของเสียงภายในห้องประชุมจากบริเวณด้านหน้าห้องไปยังบริเวณด้านหลังห้องภายหลังการจากออกแบบและติดตั้งครีบริสะท้อนเสียง

จากผลของการปรับปรุงทั้งสามส่วนได้ทำการจำลองผลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ EASE Focus 2, Version 2.0.11 เพื่อตรวจสอบผลที่ได้จากการปรับปรุงสภาพแวดล้อมทางด้านเสียง โดย

แสดงผลออกมาในรูปแบบของผังที่แสดงการกระจายของเสียงดังภาพที่ 11 ต่อไปนี้



ภาพที่ 11 ก่อน (ก) และหลัง (ข) การจำลองผลการสะท้อนของเสียงภายในห้องโดยการใช้โปรแกรม EASE Focus 2, Version 2.0.11

สรุปผลแนวทางการปรับปรุง

จากการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพภายในห้องประชุม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ด้วยการลดระดับฝ้าเพดาน ลงจาก 5.00 เมตร เป็น 4.00 เมตร การเพิ่มค่าการดูดซับเสียง ภายในห้องโดยการติดตั้งฉนวนดูดซับเสียงบริเวณหลังห้อง และ

การเพิ่มครีบริบสะท้อนเสียงภายในห้องบรรยายบริเวณหน้าห้องพบว่าสามารถเปรียบเทียบสภาพแวดล้อมของเสียงในห้องประชุมคณะเทคโนโลยีก่อนและหลังการออกแบบปรับปรุงได้ดังตารางที่ 7 ต่อไปนี้

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบสภาพแวดล้อมของเสียงในห้องประชุมระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง

รายการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
ปริมาตรของห้อง	1,875.0 ลูกบาศก์เมตร	1,500.0 ลูกบาศก์เมตร
ความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลัง	51.0 เดซิเบลเอ	48.0 เดซิเบลเอ
ค่ารีเวอร์บิเรชั่นใหม่	1.54 วินาที	1.00 วินาที
การกระจายตัวของเสียง	มีปัญหาเสียง เอคโคบริเวณด้านหน้าห้อง	ไม่มีปัญหา



ภาพที่ 12 แสดงทัศนียภาพหลังการปรับปรุงบริเวณหน้าห้องประชุม



ภาพที่ 13 แสดงทัศนียภาพหลังการปรับปรุงบริเวณหลังห้องประชุม

ทัศนียภาพของห้องประชุมสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 12 และ 13 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลักษณะ และตำแหน่งของวัสดุดูดซับเสียง และครีบริบสะท้อนเสียงที่นำมาติดตั้งเพิ่มเติมในพื้นที่ห้องประชุม โดยได้มีการคำนวณค่าวัสดุที่ต้องมีการติดตั้งเพิ่มเติมแสดงดังตารางที่ 8 ต่อไปนี้

ตารางที่ 8 แสดงค่าใช้จ่ายและงบประมาณในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงในห้องประชุม

รายการ	พื้นที่ (ตารางเมตร)	งบประมาณ ในการก่อสร้าง (บาท)
ฝ้าเพดานฉาบเรียบใหม่ที่ระดับ 4.00 เมตร (ใช้โครงเดิม)	253	87,601.00
ฉนวนดูดซับเสียงอะคูสติค Cylence Armax ความหนา 25 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 0.74 ราคา 347.22 บาทต่อตารางเมตร	55	19,097.10
ครีบริบสะท้อนเสียงกรูแผ่นไม้อัดยางความหนา 4 มิลลิเมตร	120	72,280.00
รวม		178,978.10

ในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมทางด้านเสียงที่ได้เสนอแนวทางโดยผ่านทางการออกแบบปรับปรุง โดยใช้ห้องประชุม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่นมาเป็นกรณีศึกษาปัญหานั้นสามารถที่จะสรุปเป็นแนวทางในการออกแบบปรับปรุงที่สำคัญได้สามส่วนด้วยกันได้แก่

1. การควบคุมระดับความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลัง โดยการแก้ปัญหาที่นั้นต้องพิจารณาถึงสาเหตุที่ทำให้ความเข้มของเสียงรบกวนพื้นหลังมีระดับความเข้มของเสียงสูง ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากระบบเครื่องกลเสียงยานพาหนะ หรือเสียงรบกวนอื่น ๆ จากภายนอกอาคาร

2. การควบคุมคาร์รีเวอร์บีเรชั่นใหม่ สามารถที่จะแก้ไขได้โดยการปรับปริมาตรของห้อง และใช้การลดหรือเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับเสียง ให้ได้ค่าตามที่เหมาะสมกับกิจกรรมที่เกิดขึ้นในพื้นที่

3. การควบคุมการกระจายของเสียง มีหลักการคือพยายามให้เสียงมีการกระจายจากแหล่งกำเนิดเสียงไปยังผู้รับเสียงในระดับเสียงที่พอเหมาะ ไม่ดังหรือค่อยเกินไป รวมทั้งต้องมีการควบคุมไม่ให้เกิดปัญหาที่เกิดจากเสียงแอกโคอ์อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- วรสันท์ บุรณากาญจน์. 2553. **Acoustic Design: ศูนย์ตำราและเอกสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.**
- วิฑูรย์ สิมะโชคดี. 2537. **เทคนิคการควบคุมและลดเสียงดัง .Noise control and reduction techniques:กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.**
- สุธีวัน โสฬ์สุวรรณ. 2552. **นวัตกรรมการสร้างสรรค์ห้องเรียนคุณภาพสูงด้วยระบบธรรมชาติ. (The Innovative Design of High Quality Classroom Using Natural Systems): สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.**
- สุนทร บุญญาธิการ. 2545. **การออกแบบประสานระบบมหาวิทยาลัยชินวัตร. กรุงเทพฯ: จีเอ็มแม็ก มีเดีย.**
- สุรศักดิ์ จันทร์พญา, ธีรยุทธ เคนจันทิก. 2549. **การศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาของเสียงในอาคารกาญจนาภิเษก มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ขอนแก่น) : ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์เครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.**
- Egan, M. David. c1972. **Concepts in architectural acoustics / M. David Egan: New York: McGraw-Hill.**
- flint, Anthony. c2009. **Wrestling with Moses : how Jane Jacobs took on New York's master builder and transformed the American city, New York : Random House.**
- Simons, M.W. c2004. **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. 9thed. New York: John Wiley & Sons.**
- Acello, Barbara. c2002. **The OSHA handbook : guidelines for compliance in health care facilities and interpretive guidelines for the bloodborne pathogens standard. Australia: Delmar Learning.**
- [Http://focus.afmg.eu/index.php/fc-downloads-en.html](http://focus.afmg.eu/index.php/fc-downloads-en.html),EASE Focus 2, Version 2.0.11