

แนวทางการปรับปรุงคุณภาพเสียงภายในห้องเรียนอาคารวิศิษฐ์อักษร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

Design Guidelines for Classroom Acoustics in International Language Building, Thammasat University, Rangsit Campus

กรกมล ตันติวนิช

Kornkamon Tantiwanit

Received : August 20, 2019

Revised : September 25, 2019 Accepted : October 7, 2019

บทคัดย่อ

ในงานศึกษาชิ้นนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงคุณภาพเสียงของห้องเรียนจำนวน 30 ห้องภายในอาคารวิศิษฐ์อักษร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ห้องเรียนดังกล่าวใช้เป็นห้องเรียนภาษาต่างประเทศ ซึ่งมีการสื่อสารเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการเรียนรู้ การศึกษาจะมุ่งเน้นไปที่ดัชนีคุณภาพเสียง 3 ดัชนี ได้แก่ ค่าเสียงรบกวนพื้นหลัง (BNL) ค่าการสะท้อนก้องของเสียง (RT) และค่าการป้องกันเสียงของผนัง (STC) โดยอ้างอิงระเบียบวิธีและเกณฑ์มาตรฐานจากมาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part 1 จากผลการศึกษา พบว่าห้องเรียนที่ใช้เป็นห้องตัวอย่างมีค่าการสะท้อนก้องของเสียง (RT) ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ถึงแม้ว่าห้องดังกล่าวได้ดำเนินการตกแต่งภายในและติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงที่ผนังด้านหลังห้องเรียนแล้ว ผู้วิจัยจึงนำเสนอแนวทางการปรับปรุงคุณภาพเสียงห้องเรียนดังกล่าวด้วยการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงเหนือฝ้าเพดานยิปซัมฉลุเพิ่มเติมและยืนยันผลสำเร็จจากการติดตั้งด้วยวิธีการคำนวณจากสมการ

Abstract

This study was aimed at finding the guidelines for the improvement of sound acoustics of 30 classrooms in the International Language Building, Thammasat University, Rangsit Campus. These classrooms are used for foreign language instruction, where communication is an important part of the learning process. Only 3 sound quality indexes were focused, namely, the background noise level (BNL), the reverberation time (RT), and the sound transmission class (STC) based on the ANSI S12.60-2010/Part 1 methods and criteria. The results showed that the reverberation time (RT) of the sample classroom did not pass the standard criteria, although its interior has been finished and installed with sound-absorbing material at the back wall. Improvement of classroom acoustics, therefore, should be done by installing additional sound-absorbing materials above the perforated gypsum ceiling. The outcome of the installation can be validated by the relevant equation.

คำสำคัญ: คุณภาพเสียงในห้องเรียน ค่าการสะท้อนก้องของเสียง วัสดุดูดซับเสียง

Keywords: Classroom acoustics, Reverberation time, Sound absorbing material

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121

Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University, Pathum Thani 12121, Thailand

Corresponding author E-mail: kornkamon@ap.tu.ac.th

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในงานออกแบบสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมระบบสำหรับห้องเรียน ที่มีการพูดเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการเรียนรู้ ควรคำนึงถึงคุณภาพเสียงที่ดี หากสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนไม่ได้คำนึงถึงคุณภาพเสียง หรือมีค่าเสียงรบกวนพื้นหลัง (Background Noise Level; BNL) และค่าการสะท้อนก้องของเสียง (Reverberation Time; RT) มากเกินไป จะส่งผลให้การสื่อสารไม่สามารถทำได้เท่าที่ควร หรืออาจเกิดความเข้าใจผิดในการสื่อสารระหว่างอาจารย์และนักศึกษา ลักษณะของห้องเรียนที่มีคุณภาพเสียงที่ดีจะช่วยส่งเสริมการสื่อสารด้วยการพูดให้มีประสิทธิภาพ ลดปัญหาการถามซ้ำในการสื่อสารระหว่างอาจารย์และนักศึกษา เมื่อการพูดมีความชัดเจนจะส่งผลดีต่อการรับฟังและเข้าใจ ซึ่งส่งผลให้การเรียนการสอนมีคุณภาพ และลดความเครียดในการเรียนรู้

ในงานศึกษาชิ้นนี้เป็นการศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณภาพเสียงภายในห้องเรียนของอาคารวิเศษวิทยากร ซึ่งพระราชนิพนธ์มีความหมายว่า อาคารซึ่งเป็นแหล่งภาษาอันยอดเยี่ยม ใช้เพื่อการเรียนการสอนด้านภาษาต่างประเทศ ซึ่งการสื่อสารระหว่างอาจารย์และนักศึกษาเป็นสิ่งที่สำคัญ แต่ในปัจจุบันคุณภาพเสียงภายในอาคารมีเสียงสะท้อน (Echo) ซึ่งเป็นเสียงรบกวน (Noise) และอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการเรียนการสอน ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณภาพเสียงภายในห้องเรียนอาคารวิเศษวิทยากร ให้เหมาะสมต่อการเรียนรู้

1.2 การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทบทวนสารสนเทศ

การศึกษาคุณภาพเสียงของห้องเรียนของอาคารวิเศษวิทยากร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต อ้างอิงตามมาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part 1: Permanent Schools โดย Acoustical Society of America (ASA) ซึ่งกำหนดค่าดัชนีคุณภาพเสียงสำหรับห้องเรียนที่มีขนาดไม่เกิน 283 ลูกบาศก์เมตร ในกรณีนี้ มุ่งเน้นการศึกษาดัชนีคุณภาพเสียง 3 ดัชนี ได้แก่ เสียงรบกวนพื้นหลัง (Background Noise Level; BNL) ค่าการสะท้อนก้องของเสียง (Reverberation Time; RT) และค่าการป้องกันเสียงของผนัง (Sound Transmission Class; STC)

ค่าเสียงรบกวนพื้นหลัง (BNL) คือ ค่าแสดงระดับเสียงที่เกิดขึ้นภายในห้องที่พร้อมใช้งาน ขณะไม่มีกิจกรรมและผู้นั่งอยู่ในภายในห้อง มีหน่วยวัดเป็นเดซิเบล (เดซิเบล) ซึ่งเสียงดังกล่าวอาจเกิดจากเสียงจากภายนอก เช่น เสียงแตรรถยนต์ หรือเกิดจากเสียงภายในห้อง เช่น เสียงเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น สำหรับค่าเสียงรบกวนพื้นหลังที่เหมาะสมจะมีค่าระหว่าง 38-42 เดซิเบลเอ (Egan, 8891) และไม่เกิน 35 เดซิเบลเอ หรือไม่เกิน 55 เดซิเบลซี (ANSI S12.60, 2010)

ค่าการสะท้อนก้องของเสียง (RT) คือ ระยะเวลาที่เสียงจากแหล่งกำเนิดก้องกังวาลอยู่ภายในห้อง มีหน่วยวัดเป็นวินาที (s) ส่วนมากจะวัดที่ ระยะเวลาที่เสียงจากแหล่งกำเนิด มีค่าความเข้มเสียงลดลงไป 60 เดซิเบล (RT60) สำหรับค่าที่เหมาะสมสำหรับห้องบรรยายนั้นมีค่าอยู่ในช่วง 0.6-1.3 วินาที (Egan, 8891) และ 0.6 วินาที (ANSI S12.60, 2010) โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่า RT คือ ปริมาตรของห้อง และค่าการดูดซับเสียงรวมของห้อง สามารถคำนวณได้จากสมการซาบิน (Sabine's equation) ดังนี้

$$T = 0.161 V/a \quad (1)$$

- เมื่อ
- T คือ ค่าการสะท้อนก้องของเสียง (RT) มีหน่วยเป็นวินาที (s)
 - V คือ ปริมาตรห้อง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)
 - a คือ ค่าการดูดซับเสียงรวม มีหน่วยเป็นซาบิน (Sabins)

โดยที่ค่าการดูดซับเสียงรวม มาจากผลรวมของค่าการดูดซับเสียงของวัสดุตามแต่ละพื้นผิวในห้อง สามารถคำนวณได้จากสมการตามมาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part 1 ดังนี้

$$a = \sum S\alpha + A_R \quad (2)$$

- เมื่อ
- a คือ ค่าการดูดซับเสียงรวม มีหน่วยเป็นซาบิน (Sabins)
 - S คือ พื้นที่ผิวของวัสดุ มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m²)
 - α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ
 - A_R คือ ค่าการดูดซับเสียงของเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 15 ของพื้นที่ห้อง

ค่าการป้องกันเสียงของผนัง (Sound Transmission Class; STC) คือ ค่าการป้องกันเสียงของผนัง ที่ช่วยลดเสียงจากภายนอกให้เข้ามาสู่ภายในห้องเรียนต่ำลง เสียงดังกล่าวอาจเป็นเสียงที่มาจากห้องที่ติดกัน หรือโถงทางเดิน ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวมักมีค่าความเข้มเสียงในระดับปกติ เช่น เสียงสนทนา เป็นต้น สำหรับค่าการป้องกันเสียงของผนังที่แนะนำสำหรับห้องเรียนควรมีค่าไม่น้อยกว่า 40 (Egan, 8891) และไม่น้อยกว่า 45 (ANSI S12.60, 2010)

จากการศึกษาค่าดัชนีคุณภาพเสียงทั้ง 3 ดัชนี ในข้างต้น เมื่อนำค่ามาตรฐานของ David Egan มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part 1 ดังตารางที่ 1 พบว่าค่ามาตรฐานมีค่าแตกต่างกัน ในการนี้ผู้วิจัยเลือกอ้างอิงตามมาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part1 ซึ่งมีความเป็นปัจจุบัน อีกทั้งยังซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษแห่งประเทศไทยใช้ในการกำหนดค่ามลพิษทางเสียง สำหรับการทดลอง การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะในการศึกษา

Table 1 Standard of each sound quality index based on David Egan standard and ANSI S12.60-2010/Part1

Classroom sound quality index	Standard	
	Egan	ANSI S12.60
ค่าเสียงรบกวนพื้นหลัง (Background Noise Level; BNL)	38-42 dBA	35 dBA / 55 dBC
ค่าการสะท้อนก้องของเสียง (Reverberation Times; RT)	0.6-1.3 s	0.6 s
ค่าการป้องกันเสียงของผนัง (Sound Transmission Class; STC)	40	45

ในงานศึกษาปัญหาเกี่ยวกับมาตรฐานทางเสียงในการออกแบบห้องเรียนส่วนใหญ่มีสภาวะเสียงที่ไม่เหมาะสมเนื่องจากภายในห้องนั้นไม่ได้คำนึงถึงการติดตั้งของวัสดุดูดซับเสียง (Liniwa & Uppala, 2018) โดยหากสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนที่ไม่มีวัสดุดูดซับเสียงจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการเสียงสะท้อนก้องและเกิดเสียงรบกวนที่มากเกินไป (Larm, Karanen, Helenius, Hakala, & Hongisto, 2004) จากการศึกษางานวิจัยในด้านการปรับปรุงสภาพแวดล้อมของเสียงในห้องบรรยาย ผลที่ได้พบว่า การติดตั้งฝ้าเพดานดูดซับเสียงสามารถลดค่าการสะท้อนก้องของเสียงจาก 1.68 วินาที เป็น 1 วินาที และสามารถลดค่าเสียงรบกวนพื้นหลังประมาณ 2 เดซิเบลเอ (Thongkhamsamut, 2014) นอกจากการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงที่ฝ้าแล้ว ยังมีการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพเสียงในห้องบรรยาย ด้วยการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงที่ผนัง จะช่วยให้ค่าคุณภาพของเสียงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และการเลือกวัสดุที่มีการดูดซับเสียงที่มีประสิทธิภาพ จะช่วยลดค่าการสะท้อนของเสียงที่มากเกินไปกว่าค่ามาตรฐานให้มีค่าที่เหมาะสม (Eldakdoky &

Elkhateeb, 2017) ดังนั้นในการคำนึงถึงคุณภาพเสียงของห้องเรียน สถาปนิกและวิศวกรควรให้ความสำคัญตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ หรือขั้นตอนการปรับปรุงเพิ่มเติมด้วยวัสดุดูดซับเสียง (Madbouly, Noaman, Ragab, Khedra, & Fayoumi, 2016) จะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ผ่านความชัดเจนของเสียงที่ได้ยิน

1.3 วัตถุประสงค์

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงคุณภาพเสียงภายในห้องเรียนอาคารวิศวะอักษร (ดังแสดงในภาพที่ 1) ให้เหมาะสมกับการเรียนการสอนภาษาต่างประเทศ ซึ่งความชัดเจนของการได้ยินเสียงพูดของอาจารย์และนักศึกษาในห้องเรียนเป็นสิ่งสำคัญ โดยทำการศึกษา สำนวน และตรวจวัดค่าดัชนีคุณภาพเสียง 3 ดัชนี ได้แก่ เสียงรบกวนพื้นหลัง (BNL) ค่าการสะท้อนก้องของเสียง (RT) และค่าการป้องกันเสียงของผนัง (STC) ของห้องเรียนจำนวน 1 ห้อง ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของห้องเรียนในอาคารทั้งหมด 30 ห้อง ที่มีขนาดและลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกัน เพื่อนำเสนอแนวทางการปรับปรุงคุณภาพเสียงของห้องเรียนทั้งหมดในอาคารวิศวะอักษรให้เหมาะสมต่อการเรียนการสอนด้านภาษา โดยอ้างอิงระเบียบวิธีและค่ามาตรฐานของดัชนีคุณภาพเสียงจาก ANSI S12.60-2010/Part1



Figure 1 The International Language Building (Visit Aksorn Building)

2. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงสำรวจ ทดลองและคำนวณ เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้และปรับปรุงห้องเรียนให้มีคุณภาพเสียงที่เหมาะสมต่อการเรียนรู้มากยิ่งขึ้น โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ (1) การสำรวจลักษณะทางกายภาพและคุณภาพเสียงของห้องเรียน (2) การทดลองวัดคุณภาพเสียงของห้องเรียน (3) นำเสนอแนวทางการปรับปรุงคุณภาพเสียงภายในห้องเรียน ดังแสดงในภาพที่ 2

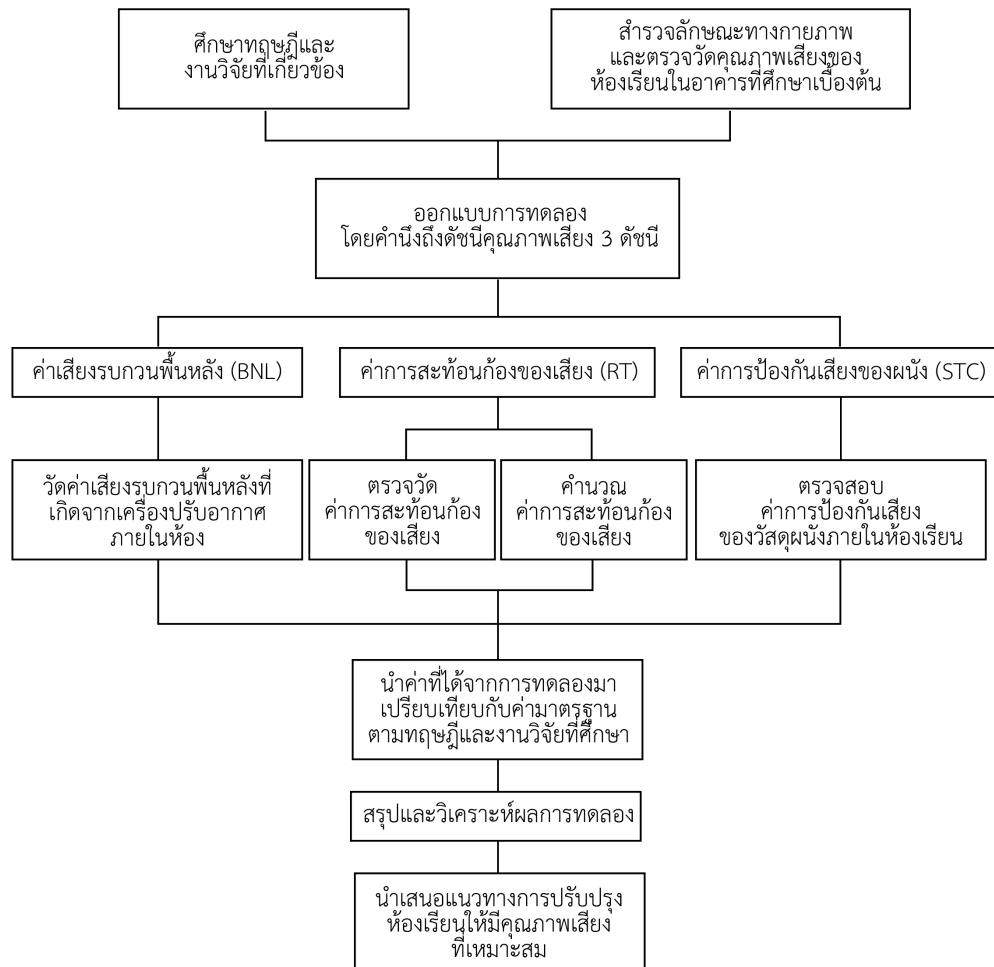


Figure 2 Research methodology and procedures

2.1 การสำรวจลักษณะทางกายภาพและตรวจวัดคุณภาพเสียงของห้องเรียนเบื้องต้น

ห้องเรียนตัวอย่างที่ทำการศึกษา เป็นห้องเรียนภายในอาคารวิศิษฐ์อักษร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต มีลักษณะทางกายภาพเป็นห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 8 เมตร ยาว 10 เมตร สูง 3 เมตร ปริมาตรรวม 240 ลูกบาศก์เมตร โดยมีพื้นที่คอนกรีตเคลือบอีพ็อกซีขนาด 80 ตารางเมตร ฝ้าเพดานขนาด 80 ตารางเมตร ประกอบด้วย ยิปซัมบอร์ดแผ่นเรียบ 37 ตารางเมตร และฝ้ายิปซัมบอร์ดฉลุ 43 ตารางเมตร สำหรับผนังทั้ง 4 ด้านมีพื้นที่รวมเท่ากับ 108 ตารางเมตร โดยมีรายละเอียดของวัสดุผนังภายในแต่ละด้าน ดังตารางที่ 2

Table 2 Details of 4 interior wall materials (prior to interior finishing)

Wall	Area	Detail
Side 1	30 m ²	Brick and mortar wall of 30 m ²
Side 2	24 m ²	Brick and mortar wall of 18.20 m ² Plywood walls of 4.17 m ² Clear glass mullion window of 1.63 m ²
Side 3	30 m ²	Brick and mortar wall of 30 m ²
Side 4	24 m ²	Brick and mortar wall of 11.35 m ² Clear glass windows of 12.65 m ²

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจคุณภาพเสียงภายในห้องเรียนเบื้องต้นก่อนการตกแต่งภายใน ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยคำนึงถึงดัชนีคุณภาพเสียง 3 ดัชนี คือ เสียงรบกวนพื้นหลัง (BNL) ค่าการสะท้อนก้องของเสียง (RT) และค่าการป้องกันเสียงของผนัง (STC) ผลการสำรวจ พบว่า ค่าการสะท้อนก้องของเสียง (RT) มีค่าเท่ากับ 1.67 วินาที ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part1 ค่าการป้องกันเสียงของผนัง (STC) ก่ออิฐฉาบปูนมีค่า 45 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part1 และเพียงพอต่อการป้องกันเสียงรบกวนระหว่างห้อง สำหรับค่าเสียงรบกวนพื้นหลัง (BNL) ยังไม่ได้ทำการตรวจวัด เนื่องจากยังไม่ได้ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ



Figure 3 Preliminary classroom acoustic investigation

ต่อมาโครงการได้ทำการตกแต่งภายใน โดยการปูพื้นกระเบื้องยาง ติดม่านปรับแสงแนวตั้งที่หน้าต่าง ติดตั้งเฟอร์นิเจอร์ กรูว์สตูดตกแต่งผนัง 2 ด้าน (ด้านที่ 1 และด้านที่ 2) และติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงด้านหลังห้อง (ด้านที่ 3) ด้วยฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 100 กก./ลบ.ม. ปิดผิวด้วยแผ่นกลาสทิชชู หุ้มทับด้วยผ้า ความหนารวม 25 มม. โดยมีรายละเอียดวัสดุผนังภายในแต่ละด้านหลังการตกแต่งภายใน ดังตารางที่ 3 และดังแสดงในภาพที่ 4-7

Table 3 Details of 4 interior wall materials (after finishing)

Wall	Area	Detail
Side 1	30 m ²	Brick and mortar wall of 8.4 m ² Plywood over laminated wall of 7.2 m ² Glass Kote 14.4 of m ²
Side 2	24 m ²	Brick and mortar wall of 10.84 m ² Plywood door of 4.17 m ² Clear glass mullion window of 1.63 m ² Clear Glass Kote 7.36 m ²
Side 3	30 m ²	Brick and mortar wall of 18.24 m ² Wall lined with sound-absorbing material of 11.76 m ²
Side 4	24 m ²	Brick and mortar wall of 11.35 m ² Vertical light-adjusting curtain of 12.65 m ²

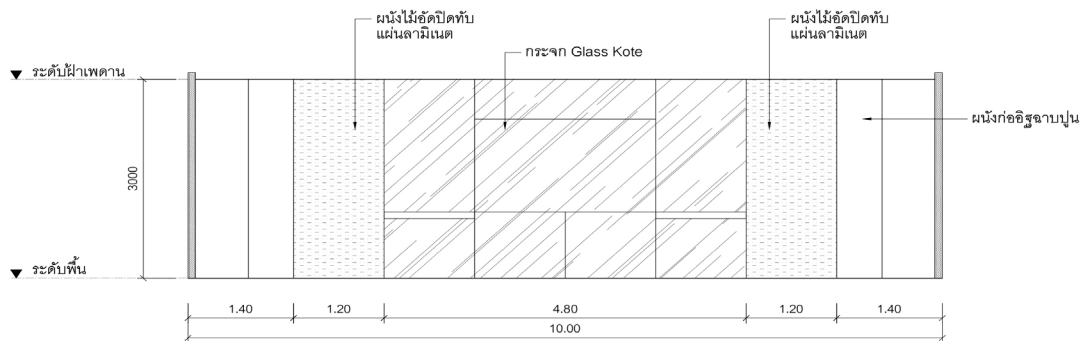


Figure 4 Interior finishing materials of Side 1

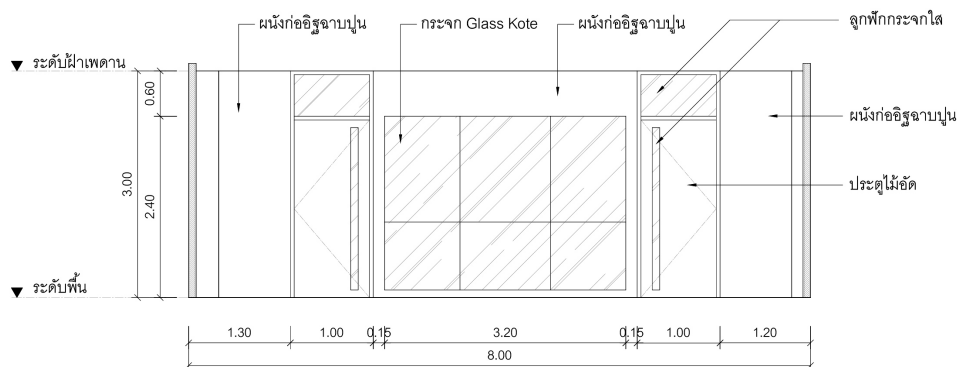


Figure 5 Interior finishing materials of Side 2

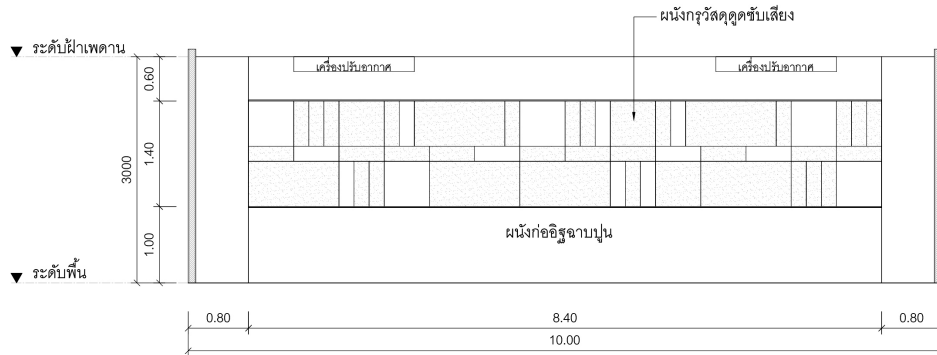


Figure 6 Interior finishing materials of Side 3

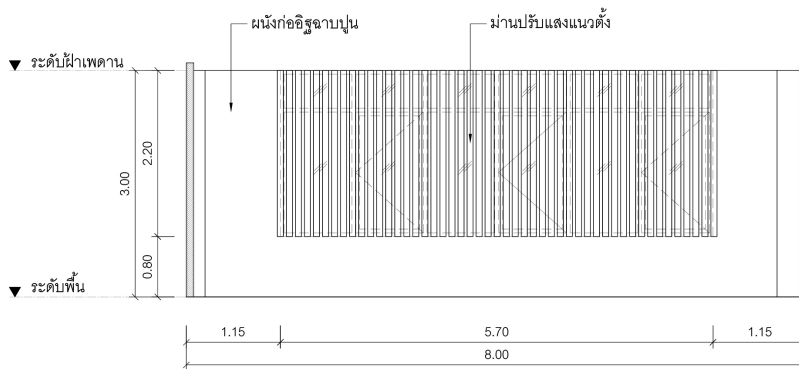


Figure 7 Interior finishing materials of Side 4

สำหรับฝ้าเพดานซึ่งเป็นฝ้าเพดานเดิม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากดำเนินการตกแต่งภายใน ประกอบด้วยยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 37 ตารางเมตร และฝ้ายิปซัมบอร์ดฉลุลู 43 ตารางเมตร รวมพื้นที่ 80 ตารางเมตร สำหรับฝ้ายิปซัมฉลุลูเป็นแผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 12 มิลลิเมตร ฉลุลูพูนสี่เหลี่ยม เส้นผ่านศูนย์กลางรูฉลุลู 1x1 เซนติเมตร พื้นที่ฉลุลูร้อยละ 13.4 รูปแบบฝ้าเพดานตามที่แสดงดังภาพที่ 8

วัสดุแต่ละชนิดมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในแต่ละความถี่ต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของเสียงภายในห้องเรียน โดยวัสดุภายในห้องเรียนหลังการตกแต่งภายในมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ดังตารางที่ 4

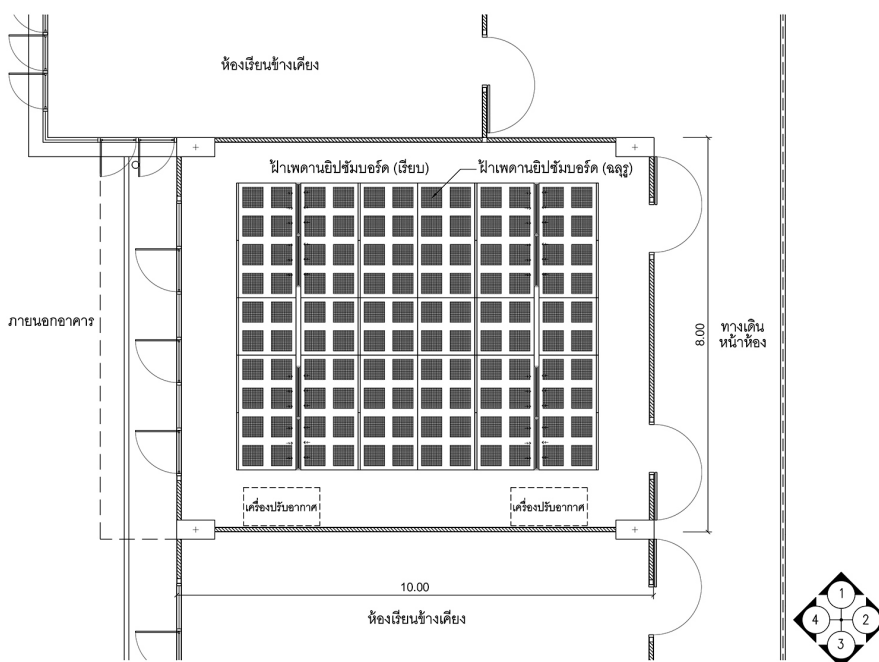


Figure 8 Smooth gypsum board and perforated gypsum board ceilings

Table 4 Sound-absorbing coefficients of classroom interior materials after finishing

Items	Installation surface (m ²)	Sound-absorbing coefficient (α) at each frequency			Remark (Source)
		500 Hz	1,000 Hz	2,000 Hz	
Rubber tile floor	80.00	0.03	0.03	0.03	Egan, 1988
Brick and mortar wall	48.83	0.02	0.03	0.04	Egan, 1988
Wall lined with sound-absorbing material	11.76	0.86	0.94	0.84	Manufacturer
Plywood wall over laminate board	7.20	0.10	0.08	0.06	Egan, 1988
Clear Glass Kote	22.76	0.18	0.12	0.07	Egan, 1988
Gypsum board ceiling (smooth)	37.00	0.05	0.04	0.07	Egan, 1988
Gypsum board ceiling (perforated)	43.00	0.30	0.30	0.30	Manufacturer
Plywood door	4.17	0.17	0.09	0.10	Egan, 1988
Clear glass mullion window	1.63	0.18	0.12	0.07	Egan, 1988
Vertical light-adjusting curtain	12.65	0.15	0.40	0.50	Egan, 1988

2.2 วิธีการทดลองวัดคุณภาพเสียงของห้องเรียน

การทดลองวัดคุณภาพเสียงของห้องเรียน เป็นการทดลองวัดคุณภาพเสียงหลังจากการตกแต่งภายใน โดยทำการตรวจวัดตามระเบียบวิธีที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part 1 ซึ่งกำหนดให้ทำการตรวจวัดดัชนีคุณภาพเสียงภายในห้องเรียนที่ไม่มีผู้ใช้งานและมีการติดตั้งเฟอร์นิเจอร์เสร็จสมบูรณ์แล้ว (Unoccupied furnished learning space) แบ่งการตรวจวัดออกเป็น 2 ส่วน คือการตรวจวัดเสียงรบกวนพื้นหลัง (BNL) และค่าการสะท้อนก้องของเสียง (RT) ด้วยเครื่องมือตรวจวัดเสียงแบบแยกความถี่ Bruel & Kjaer รุ่น 2250 และแหล่งกำเนิดเสียงมาตรฐาน หรือลำโพงทรงกลมที่ให้กำเนิดเสียงทุกทิศทาง ทุกย่านความถี่ ภายในประกอบไปด้วยลำโพง 12 ตัว สามารถควบคุมระยะเวลาในการกำเนิดเสียง ระดับความดังของแหล่งกำเนิดเสียงได้ตามความต้องการ ภาพที่ 9



Figure 9 Acoustics measuring devices

2.2.1 การตรวจวัดเสียงรบกวนพื้นหลัง (BNL) ตามระเบียบวิธีที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part 1 ทำการตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจวัดคุณภาพเสียงซึ่งติดตั้งอยู่ที่ความสูง 1.0-1.2 เมตร บริเวณกึ่งกลางห้อง (Key location) โดยห่างจากผนังห้องทุกด้านอย่างน้อย 1 เมตร และห่างจากเฟอร์นิเจอร์หรือช่องลมของเครื่องปรับอากาศอย่างน้อย 0.5 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 10 โดยทำการวัดค่าเสียงรบกวน 2 กรณี คือ ขณะปิดเครื่องปรับอากาศ และขณะเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ ในแต่ละกรณีทำการวัดค่าเสียงที่เดซิเบลเอ และเดซิเบลซี ที่คลื่นความถี่ 63 Hz-8,000 Hz นาน 60 วินาที ติดต่อกัน 5 ครั้ง แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยเสียงรบกวนพื้นหลัง (Average of five consecutive 60-second measurements)

2.2.2 การตรวจวัดค่าการสะท้อนก้องของเสียง (RT) ทำการตรวจวัด 2 วิธี คือ การคำนวณจากสมการ และการตรวจวัดจริง เพื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณและการวัดค่าจริงมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

- การคำนวณจากสมการของซาบิน (Sabin's equation) ตามสมการที่ 1 โดยคำนวณจากปริมาตรห้อง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุภายในห้อง (ตารางที่ 4) พื้นที่ของวัสดุ และค่าการดูดซับเสียงของเฟอร์นิเจอร์ภายในห้อง เพื่อให้ทราบค่าการสะท้อนก้องของเสียง สำหรับความถี่ 500 1,000 และ 2,000 Hz

- การตรวจวัดจริงตามระเบียบวิธีที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part 1 โดย

วัดค่าการสะท้อนก้องของเสียงในแต่ละความถี่ทั้งหมด 6 ค่า จากเครื่องตรวจวัดเสียง 3 ตำแหน่ง และแหล่งกำเนิดเสียงมาตรฐาน 2 ตัว (Six combinations of three microphone positions and two source options) เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ในการทดลองนี้ ใช้แหล่งกำเนิดเสียงมาตรฐาน 1 ตัว สลับกัน 2 ตำแหน่ง และทำการวัดด้วยเครื่องตรวจวัดคุณภาพเสียงแบบแยกความถี่ 1 ตัว ที่ทำการวัดเสียง 3 ตำแหน่ง ดังแสดงในภาพที่ 11

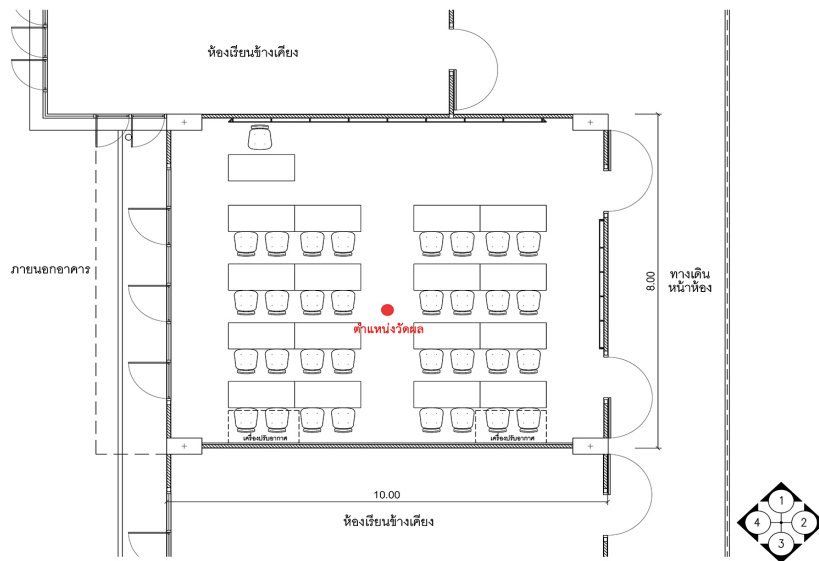


Figure 10 Installation position of the background noise level measuring device on the classroom plan

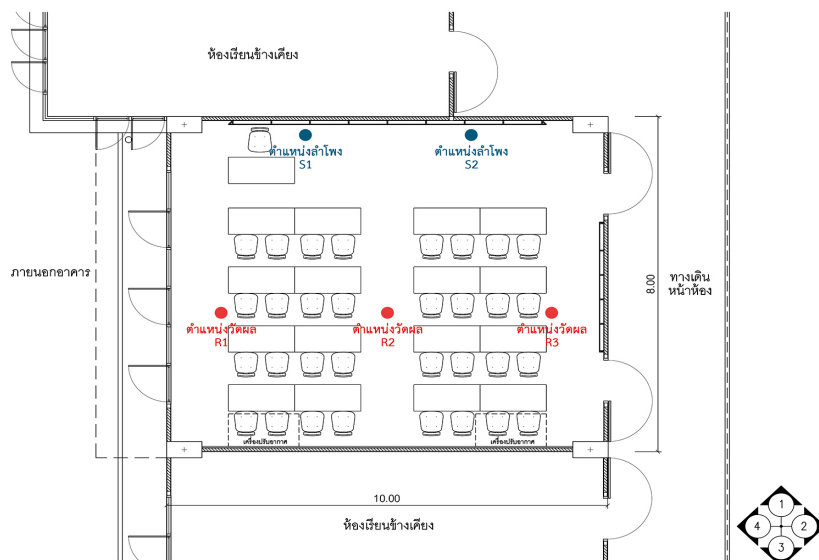


Figure 11 Installation positions of reverberation measuring devices on the classroom plan

2.3 นำเสนอแนวทางการปรับปรุงคุณภาพเสียงภายในห้องเรียน

นำเสนอแนวทางที่จะปรับปรุงคุณภาพเสียงภายในห้องเรียนเพื่อให้ผ่านมาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part 1 จากผลการศึกษาดัชนีคุณภาพเสียงห้องเรียนหลังตกแต่งภายใน

3. ผลการศึกษา

จากการสำรวจและตรวจวัดค่าเสียงรบกวนพื้นหลัง (BNL) และค่าการสะท้อนก้องของเสียง (RT) หลังการตกแต่งภายใน ได้ผลการศึกษา ดังนี้

3.1 ผลการทดลองการวัดค่าเสียงรบกวนพื้นหลัง (BNL)

จากการทดลอง ได้ทำการวัดค่าเสียงรบกวนพื้นหลัง 2 กรณี คือ วัดขณะที่ปิดเครื่องปรับอากาศ และวัดขณะที่เปิดเครื่องปรับอากาศ พบว่า หลังการตกแต่งภายใน มีค่าเสียงรบกวนพื้นหลังที่เดซิเบลเอเท่ากับ 30.04 และ 46.84 ในกรณีที่ปิดและเปิดเครื่องปรับอากาศ ตามลำดับ และมีค่าเสียงรบกวนพื้นหลังที่เดซิเบลซีเท่ากับ 46.87 และ 54.11 ในกรณีที่ปิดและเปิดเครื่องปรับอากาศ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งค่าที่เดซิเบลเอ ในกรณีที่เปิดเครื่องปรับอากาศ มีค่าเท่ากับ 46.84 เดซิเบลเอ ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part 1 ที่มีค่าเสียงรบกวนพื้นหลังเท่ากับ 35 เดซิเบลเอ

Table 5 Comparison of background noise levels (BNL) after interior finishing with ANSI S12.60-2010 standard

Detail	Background noise level (BNL)			
	Decibel A		Decibel C	
ANSI S12.60-2010 Standard	35 dBA		55 dBC	
	Air-conditioner turned off	Air-conditioner turned on	Air-conditioner turned off	Air-conditioner turned on
After finishing	30.04 dBA	46.84 dBA	46.87 dBC	54.11 dBC

3.2 ผลการทดลองการวัดค่าการสะท้อนก้องของเสียง (RT)

จากการทดลอง ได้ทำการทดลองในรูปแบบการคำนวณจากสมการ และจากการวัดค่าจริง โดยมีผลในแต่ละการทดลอง ดังนี้

3.2.1 การคำนวณค่าการสะท้อนก้องของเสียงจากสมการ

จากการคำนวณตามสมการของซาบิน (Sabin's equation) ได้ค่าการสะท้อนก้องของเสียงในห้องหลังตกแต่งภายในเท่ากับ 0.81 0.78 และ 0.72 วินาที ที่ความถี่ 500 1,000 และ 2,000 Hz ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part 1 ที่มีค่าการสะท้อนก้องของเสียงเท่ากับ 0.60 วินาที

Table 6 Comparison of reverberation times after interior finishing with ANSI S12.60-2010 standard

Items	Reverberation time at each frequency (Second)		
	500 Hz	1,000 Hz	2,000 Hz
ANSI S12.60-2010 Standard	0.60 s	0.60 s	0.60 s
After finishing	0.81 s	0.78 s	0.72 s

3.2.2 การวัดค่าการสะท้อนก้องของเสียง

จากการตรวจวัดจริงจากเครื่องตรวจวัดเสียง 3 ตำแหน่ง และแหล่งกำเนิดเสียงมาตรฐาน 2 ตัว ดังภาพที่ 12 ได้ค่าการสะท้อนก้องของเสียงในแต่ละความถี่ทั้งหมด 6 ค่า และค่าเฉลี่ย ดังตารางที่ 7 โดยมีค่าเฉลี่ยการสะท้อนก้องของเสียงในห้องเรียนหลังตกแต่งภายในเท่ากับ 0.88 0.83 และ 0.76 วินาที ที่ความถี่ 500 1,000 และ 2,000 Hz ตามลำดับ ซึ่งยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ANSI S12.60-2010 ที่มีค่าการสะท้อนก้องของเสียงเท่ากับ 0.60 วินาที

Table 7 Reverberation time (RT) measured at each position after interior finishing

Loudspeaker position	Position of measuring device	Reverberation time at each frequency (Second)		
		500 Hz	1,000 Hz	2,000 Hz
Position S1	Position R1	0.82	0.80	0.77
	Position R2	0.92	0.86	0.76
	Position R3	0.94	0.81	0.82
Position S2	Position R1	0.81	0.89	0.74
	Position R2	0.88	0.85	0.76
	Position R3	0.91	0.76	0.72
Mean		0.88	0.83	0.76

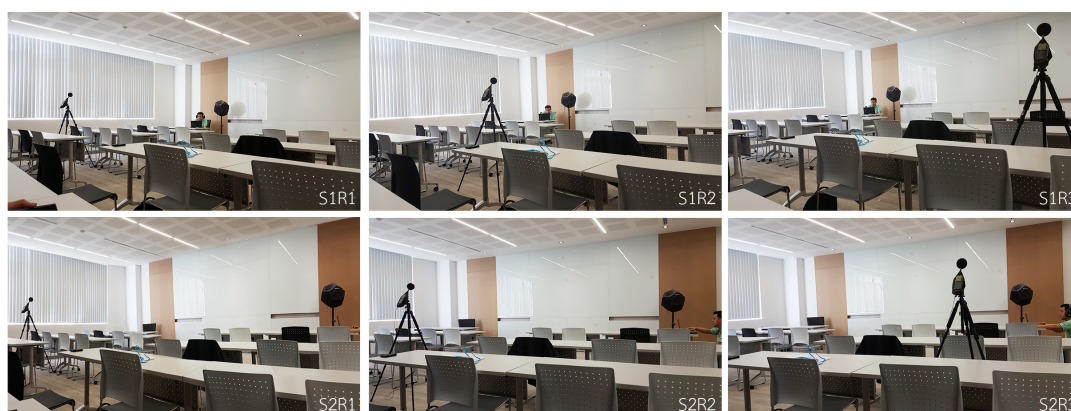


Figure 12 Pictures showing reverberation measuring operation

4. การอภิปรายผล

จากการศึกษาคุณภาพทางเสียงของห้องเรียนในอาคารวิศวะอักษรทั้ง 3 ดชั้น พบว่า ค่าเสียงรบกวนพื้นหลัง (BNL) ผ่านมาตรฐาน ยกเว้น ค่าเสียงรบกวนพื้นหลังที่เดซิเบลเอ ขณะเปิดเครื่องปรับอากาศ จึงอาจกล่าวได้ว่าเครื่องปรับอากาศซึ่งเป็นงานวิศวกรรมระบบ เป็นแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนพื้นหลังภายในห้อง และเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบและติดตั้ง ส่วนค่าการสะท้อนก้องของเสียง (RT) มีค่าไม่ผ่านมาตรฐานทั้งก่อนและหลังการตกแต่งภายใน และค่าการป้องกันเสียงของผนัง (STC) มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังตารางที่ 8 ทั้งนี้ รายละเอียดการติดตั้งเครื่องปรับอากาศและผนังกรุวัสดุซับเสียงตามที่แสดงในภาพที่ 13

Table 8 Three indexes of International Language Building classroom acoustics

Detail	ANSI S12.60-2010 standard criteria		
	BNL	RT	STC
Before finishing	N/A	Not pass	Pass
After finishing	Decibel A	Not pass	Pass
	Not pass		



Figure 13 Air conditioner positions and sound-absorbing material installation after interior finishing

ในการตรวจวัดค่าการสะท้อนก้องของเสียงก่อนและหลังตกแต่งภายใน เมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับพบว่า หลังการตกแต่งภายใน มีค่าการสะท้อนก้องของเสียงลดลง มีค่าที่ใกล้เคียงค่ามาตรฐานมากขึ้น แต่ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part 1 โดยค่าการสะท้อนก้องของเสียงที่ความถี่ 500 Hz มีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็น 1,000 Hz และที่ความถี่ 2,000 Hz มีค่าน้อยที่สุด ดังตารางที่ 9

เมื่อนำค่าการสะท้อนก้องของเสียงที่ได้จากการคำนวณและการตรวจวัดจริงมาเปรียบเทียบกับ พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าเข้าใกล้ค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ดังตารางที่ 10 โดยผลต่างของค่าที่ได้มีค่าความต่างเพียง 0.07 วินาที ซึ่งไม่ส่งผลต่อการรับรู้ทางเสียงของมนุษย์ หรือกล่าวได้ว่าค่าจากการคำนวณในการทดลองนี้มีความแม่นยำและสามารถเชื่อถือได้

Table 9 Comparison of reverberation times (RT) before and after finishing with ANSI S12.60-2010 standard

Detail	Reverberation time at each frequency (Second)		
	500 Hz	1,000 Hz	2,000 Hz
ANSI S12.60-2010 standard	0.60 s	0.60 s	0.60 s
Before finishing	1.67 s	1.15 s	1.16 s
After finishing	0.88 s	0.83 s	0.76 s
Difference between before and after finishing	0.79 s	0.32 s	0.40 s

Table 10 Comparison of reverberation times (RT) from calculation and measurement

Source of reverberation time	Reverberation time at each frequency (Second)		
	500 Hz	1,000 Hz	2,000 Hz
From calculation	0.81 s	0.78 s	0.72 s
From measurement	0.88 s	0.83 s	0.76 s
Difference of RT between calculation and measurement	0.07 s	0.05 s	0.04 s

5. ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย จะเห็นได้ว่าค่าการสะท้อนก้องของเสียง ภายในห้องเรียนอาคารวิศิษฐ์อักษรมีค่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part 1 จึงควรทำการปรับปรุงให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จากการศึกษาวัสดุดูดซับเสียงเพิ่มเติม พบว่า ฝ้ายปัมฉลुरुที่ติดตั้งในห้องเรียนดังกล่าว จะมีประสิทธิภาพการดูดซับเสียงที่ดีขึ้นเมื่อติดตั้งร่วมกับฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 48 กก./ลบ.ม. เหนือฝ้าเพดาน โดยจะส่งผลให้ฝ้ายปัมฉลुरुดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 11 ในกรณีนี้ เสนอให้ติดตั้งฉนวนใยแก้วเหนือบริเวณฝ้ายปัมฉลुरुทั้งหมด ซึ่งมีพื้นที่ 43.00 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 54 ของพื้นที่ฝ้าเพดาน

Table 11 Sound-absorbing coefficients of perforated gypsum board and with fiber glass

Material	Sound-absorbing coefficient (α) at each frequency		
	500 Hz	1,000 Hz	2,000 Hz
Perforated gypsum board With fiber glass	0.72	0.60	0.49

จากผลจากการทดลองข้างต้น พบว่า การคำนวณค่าการสะท้อนก้องของเสียง มีค่าใกล้เคียงกับค่าวัดจริง จึงทำการคำนวณหาการสะท้อนก้องของเสียง ในกรณีติดตั้งฉนวนใยแก้วเหนือฝ้าเพดานฝ้ายปัมฉลुरुเพิ่มเติม เพื่อตรวจสอบค่าการสะท้อนก้องของเสียงที่ได้

ผลจากการคำนวณ ค่าการสะท้อนก้องของเสียงหลังติดตั้งฉนวนใยแก้วเหนือฝ้าเพดานฉลुरु มีค่าลดลงเท่ากับ 0.59 0.62 และ 0.67 วินาที ที่ความถี่ 500 1,000 และ 2,000 Hz ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 12 ทั้งนี้ ตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part 1 ว่าค่าการสะท้อนก้องของเสียงมากหรือน้อยไป 0.1 วินาที ให้ถือว่าค่าดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐาน

Table 12 Reverberation times (RT) after installation of fiber glass above the ceiling and ANSI S12.60-2010 standard

Detail	Reverberation time at each frequency (Second)		
	500 Hz	1,000 Hz	2,000 Hz
ANSI S12.60-2010 standard	0.60±0.1 s	0.60±0.1 s	0.60±0.1 s
After installation of fiber glass above the perforated gypsum ceiling	0.59 s	0.62 s	0.67 s
Outcome	Pass	Pass	Pass

ในการนี้ จึงสามารถกล่าวสรุปได้ว่า การติดตั้งฉนวนใยแก้วเหนือฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉนวน จะส่งผลให้ค่าการสะท้อนก้องของเสียงผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ANSI S12.60-2010/Part 1 ซึ่งทางโครงการจะนำผลการวิจัยห้องตัวอย่างดังกล่าวไปเป็นแนวทางปรับปรุงห้องเรียนภาษาต่างประเทศทั้ง 30 ห้องภายในอาคารวิเศษวิทยุอักษร ที่มีขนาดและลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกันต่อไป เพื่อให้ห้องเรียนมีคุณภาพเสียงที่เหมาะสม

สำหรับค่าเดซิเบลของเสียงรบกวนพื้นหลัง (BNL) ที่เกินค่ามาตรฐาน เป็นผลมาจากเสียงการทำงานของเครื่องปรับอากาศซึ่งติดตั้งในห้องเรียน ผู้วิจัยจึงศึกษาและนำเสนอแนวทางการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ที่ช่วยลดเสียงรบกวนพื้นหลังภายในห้องเรียน (Long, 2006) โดยการติดตั้งเครื่องปรับอากาศไว้บริเวณโถงทางเดิน ภายนอกห้องเรียน และเดินท่อจ่ายลมไปยังห้องเรียน ดังภาพที่ 14

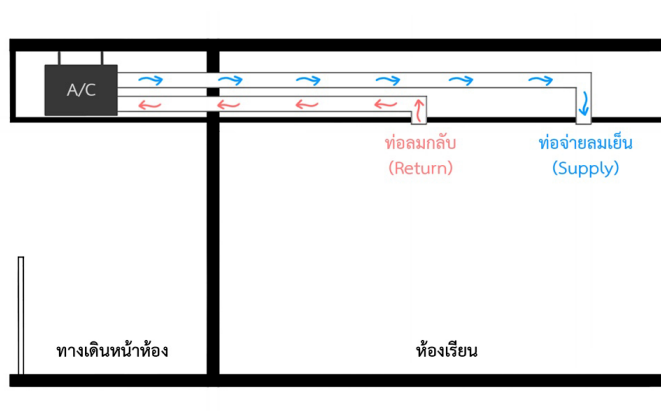


Figure 14 Guideline for air-conditioner installation that reduces background noise level

ทั้งนี้ การออกแบบห้องเรียนที่ประสิทธิภาพของการสื่อสารเป็นสิ่งสำคัญ สถาปนิกต้องคำนึงถึงคุณภาพเสียง โดยต้องทำการศึกษา ออกแบบและเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติดูดซับเสียง การเลือกใช้ฝ้าเพดานดูดซับเสียงเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอต่อคุณภาพของเสียงที่เหมาะสม สถาปนิกควรศึกษาข้อมูลวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงเพิ่มเติม เพื่อเตรียมพื้นที่เช่นผนัง เพดาน หรือพื้น ให้เพียงพอสำหรับติดตั้งวัสดุดูดซับเสียง นอกจากนี้การเลือกใช้และติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ไม่มีเสียงรบกวนยังเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลให้ห้องเรียนมีคุณภาพเสียงที่ดี ไม่ลดทอนประสิทธิภาพของการสื่อสารระหว่างอาจารย์กับนักศึกษา และส่งเสริมให้การการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท สยามไฟเบอร์กลาส จำกัด ที่สนับสนุนเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพเสียงในการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นจนวิจัยเสร็จสมบูรณ์ ทำให้ผู้วิจัยได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ สามารถนำมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองได้อย่างครบถ้วน

เอกสารอ้างอิง

- American National Standard. (2010). *Acoustical performance criteria, design, and guidelines for schools, part 1: permanent schools*. New York: Acoustical Society of America
- Egan, M. D. (1988). *Architectural acoustics*. New York: Mc Graw-Hill.
- Eldakdoky S., & Elkhateeb, A. (2017). Acoustic improvement on two lecture auditoria: Simulation and experiment. *Frontiers of Architectural Research*, (6), 1-16.
- Larm, P., Karanen, J., Helenius, R., Hakala, J., & Hongisto, V. (2004). Acoustics in open-plan offices- A laboratory study. *Proceeding of Forum Acusticum 2005*, pp. 2021-2025.
- Liniwa, P., & Uppala P. (2018). phonkrathop khōng kändūtsapsāng thīmītī khunnaphāpsāng phāinai hōnggrān. (in Thai) [Effects of sound absorption on acoustics quality in classroom]. *The Journal of King Mongkuts University of Technology North Bangkok*, (28), 361-372.
- Long, M. (2006). *Architectural acoustics*. California: Elsevier Academic Press.
- Losuwan, S. (2009). *nawattakam kānsāngsan hōnggrān khunnaphāpsūng dūai rabop thammachāt*. (in Thai) [The innovation design of high quality classroom using natural system] (Unpublished doctoral dissertation). Faculty of Architecture, Chulalongkorn University, Bangkok.
- Madbouly, A. I., Noaman, A.Y., Ragab, A. H. M., Khedra, A. M., & Fayoumi, A. G. (2016). Assessment model of classroom acoustics criteria for enhancing speech intelligibility and learning quality. *Applied Acoustics*, (114), 147-158.
- Thongkhammut, C. (2014). *kānprapprung saphāpwætām khōngsāng naihōng banyāi khana sathāpattayakammasāt mahāwitthayālai Khōn Kān*. (in Thai) [An improvement of acoustical environment in lecture room, Faculty of architecture, KhonKaen university]. *Journal of the Faculty of Architecture King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang*, (19), 38-50.
- Thunaphon K., & Thongkhammut C. (2012). *kān prapprung saphāpwætām khōng sāng phāinai hōng prachum khana theknōlōyī mahāwitthayālai Khōn Kān*. (in Thai) [The improvement of acoustical environment in conference room, Faculty of technology, Khon Kaen university], *Built Environment Inquiry Journal*, (11), 33-51.

