



การลดเสียงรบกวนจากภายนอกเข้าสู่อาคารเรียนที่ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ข ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การลดเสียงรบกวนจากภายนอกเข้าสู่อาคารเรียนที่ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ข ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

REDUCTION OF EXTERIOR NOISE ENTERING NATURALLY VENTILATED
CLASSROOM.



A Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Architecture (Architecture)
Department of Architecture
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2017
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การลดเสียงรบกวนจากภายนอกเข้าสู่อาคารเรียนที่ระบายอากาศ ด้วยวิธีธรรมชาติ
โดย	อภิญญา จารุศิริสมบัติ
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์ แผนก ข ระดับปริญญาโท
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชญา มัทธนทวี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พันธดา พุฒิปาโรจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชญา มัทธนทวี)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทรนันท์ ทักขนนท์)

56054207 : สถาปัตยกรรม แผน ข ระดับปริญญามหาบัณฑิต

คำสำคัญ : เสียงรบกวน, โรงเรียน, การจราจร, การวัดเสียง

นางสาว อภิญญา จารุศิริสมบัติ: การลดเสียงรบกวนจากภายนอกเข้าสู่อาคารเรียนที่ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชญา มหัทธนทวี

วัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้ (1) เพื่อศึกษาแนวทางการลดเสียงรบกวนสำหรับอาคารที่ตั้งอยู่ริมถนนที่มีการจราจรหนาแน่น โดยการออกแบบภูมิทัศน์และองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม (2) เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมของอาคารเรียนกรณีศึกษาที่ใช้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติที่ตั้งอยู่ริมถนน และประสิทธิภาพด้านเสียงของห้องเรียน (3) เสนอแนะแนวทางการลดเสียงรบกวนสำหรับอาคารเรียนที่เป็นกรณีศึกษา

อาคารเรียนกรณีศึกษาตั้งอยู่ริมถนนในกรุงเทพมหานคร ประสิทธิภาพด้านเสียงของห้องเรียนที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความสามารถในการลดเสียงผ่านผนัง (Sound Transmission Class, STC) เวลากังวาน (Reverberation Time, RT) และระดับเสียงพื้นหลัง (Background Noise) ภายในห้องเรียน เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่าระดับเสียง คือสมาร์ตโฟนที่มีการติดตั้งแอปพลิเคชันที่ใช้สำหรับวัดเสียงรบกวน

ผลการศึกษาพบว่า (1) ผนังห้องเรียนด้านที่หันสู่ถนน มีค่า STC 10 เดซิเบล ซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้คือ 60 เดซิเบล (2) ค่าเวลากังวานภายในห้องเรียน กรณีที่ปิดประตู มีค่า RT 3.91 วินาที และกรณีที่เปิดประตู มีค่า RT 2.24 วินาที ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้คือ 0.6 วินาที และ (3) ระดับเสียงพื้นหลังภายในห้องเรียน พบว่า มีค่าระดับความดันเสียงเฉลี่ยระหว่าง 56.5-61.2 เดซิเบลเอ ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 35 เดซิเบลเอ

ข้อเสนอแนะในการลดปัญหาเรื่องเสียงรบกวนของอาคารเรียนกรณีศึกษา เช่น การปลูกต้นไม้โตอินเดียวบริเวณแนวรั้วโรงเรียน ติดตั้งผ้าเพดานดูดซับเสียงที่บริเวณระเบียงหน้าห้องเรียน ปรับปรุงผนังภายนอกด้านที่ติดกับระเบียงโดยก่อผนังทับแทนการใช้คอนกรีตบล็อกแบบโปร่ง ใช้บานประตูแบบบานเกล็ดระบายอากาศชนิดกันเสียง และภายในห้องเรียนติดตั้งแผ่นผ้าเพดานที่เป็นวัสดุดูดซับเสียง

56054207 : Major (Architecture)

Keyword : Noise, School, Traffic, Sound Measurement

MISS APINYA JARUSIRISOMBHAT : REDUCTION OF EXTERIOR NOISE ENTERING NATURALLY VENTILATED CLASSROOM. THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. PRECHAYA MAHATTANATAWE, Ph.D.

Objectives of this research on a public building located near heavy traffic roads include first, to review methods of reducing noise by designing landscape and architectural elements. Second is to study the architectural elements and classroom acoustic performance of a case study which is a public school building using natural ventilation Third is to propose methods of reducing noise of the case study.

The case study is a public school building in Bangkok. Acoustic performance of classrooms include sound transmission class (STC), reverberation time (RT), and average background noise level. Tools used for measuring noise levels are smartphones with noise measurement applications.

Results of this study are: (1) sound transmission class (STC) of classroom walls that face the road is 10 dB, which is lower than the standards with requirement of 60 dB; (2) classroom reverberation time (RT) is 3.91 seconds (with doors closed) and 2.24 seconds (with doors opened) which are higher than standards with the requirement of 0.6 seconds; (3) average background noise levels inside the classrooms are 56.5-61.2 dBA, which are higher than the standards with the requirement 35 dBA.

Suggestions to reduce noise of the case study are planting False Ashoka along the perimeter of the school, installing of acoustic ceiling panels along the corridors in front of the classrooms, changing the corridor side walls by using solid materials instead of hollow concrete blocks, using louvered acoustic doors, and installing acoustic ceiling tiles inside the classrooms.

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชญา มัทธนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง แก่ผู้วิจัย รวมทั้งประธานกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ รองศาสตราจารย์ ดร.พันธุ์ดา พุฒิไพโรจน์ และผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภทรนันท์ ทักขนนท์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย ส่งผลให้การค้นคว้าอิสระเล่มนี้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม (การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร) ทุกท่านที่ให้ความรู้และประสบการณ์อันมีค่ายิ่ง ขอบพระคุณเจ้าของหนังสือ รายงาน วารสาร และวิทยานิพนธ์ทุกเล่ม ที่ทำให้ข้อมูลในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอบพระคุณผู้บริหารและครูโรงเรียนมัธยมวัดดุสิตารามที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่เก็บข้อมูล และขอขอบคุณ นางสาวชุตินิพนธ์ ศิริติกุล เพื่อนร่วมหลักสูตรที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ พี่ชาย และบุคคลในครอบครัวทุกท่าน สำหรับการสนับสนุน ด้านทุนการศึกษา พาหนะในการเดินทาง ค่าแนะนำในการเรียนและกำลังใจ อันเป็นต้นทุนสำคัญที่ทำให้การศึกษาระดับปริญญาโทครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ คุณค่าหรือประโยชน์อันใดที่เกิดจากการค้นคว้าอิสระเล่มนี้ ผู้วิจัยขอน้อมอุทิศให้ผู้เกี่ยวข้องทุกท่านมีความสุขความเจริญในหน้าที่การงานและชีวิตยิ่งขึ้นไป ตลอดไป

อภิญา จารุศิริสมบัติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ท
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
ขอบเขตของการศึกษา.....	3
วิธีและขั้นตอนการศึกษา.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2	4
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1. ความรู้เบื้องต้นของเสียง.....	4
2.1.1. กายภาพของเสียง.....	4
2.1.2. คุณสมบัติของคลื่นเสียง.....	8
2.1.3. ระดับความดันเสียง.....	12
2.1.4. ระดับความเข้มเสียง.....	13

2.1.5. การถ่วงน้ำหนักระดับเสียง.....	14
2.1.6. แหล่งกำเนิดเสียงและการแผ่กระจาย	16
2.2. การรับรู้เสียงของมนุษย์.....	19
2.2.1. ขอบเขตการรับเสียง	19
2.2.2. ผลกระทบของเสียง.....	21
2.2.3. แหล่งกำเนิดเสียงจากการจราจรบนถนน	22
2.3. เสียงรบกวน	25
2.3.1. ระดับเสียงพื้นหลังและค่าเกณฑ์เสียง	25
2.3.2. ระดับการรบกวนและการตรวจวัด	28
2.4. การควบคุมเสียงรบกวน	32
2.4.1. ความสามารถในการดูดกลืนเสียง.....	34
2.4.2. ความสามารถในการลดเสียงผ่านผนัง	43
2.5. แนวความคิดในการควบคุมเสียงรบกวน.....	51
2.5.1. การลดเสียงด้วยระยะทาง.....	52
2.5.2. การปลูกต้นไม้เป็นแนวกันเสียง.....	53
2.5.3. กำแพงกันเสียง	55
2.5.4. การจัดกลุ่มพื้นที่ใช้สอย.....	62
2.5.5. ระเบียบและผังยื่นนอกรอาคารเพื่อการกันเสียง	63
2.5.6. การออกแบบรูปทรงอาคารเพื่อหลีกเลี่ยงเสียงรบกวน.....	70
2.5.7. ช่องระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพในการลดเสียง	71
2.6. อาคารเรียน สาเหตุ และผลกระทบสภาพแวดล้อมทางเสียงจากถนน.....	75
2.6.1. แบบมาตรฐานอาคารเรียน.....	75
2.6.2. ปัญหาเสียงรบกวนของโรงเรียนเนื่องจากการจราจรบนถนนและผลกระทบ.....	81
บทที่ 3	85

วิธีดำเนินการวิจัย	85
3.1. กรณีศึกษา: โรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม	86
3.1.1. ข้อมูลทั่วไป.....	86
3.1.2. สภาพแวดล้อมและบริบทโดยรอบ	87
3.1.3. แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนภายนอกโรงเรียน	88
3.1.4. ผังบริเวณโรงเรียน	91
3.1.5. ลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างของอาคารกรณีศึกษา (อาคาร 2)	93
3.2. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านเสียง และการตรวจวัด ค่าระดับความดันเสียง	106
3.2.1. ความสามารถในการลดเสียงผ่านผนัง (STC).....	108
3.2.2. ค่าเวลาดังวานในห้องเรียนกรณีศึกษา.....	112
3.2.3. การตรวจวัดค่าระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level, SPL).....	115
บทที่ 4	123
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	123
4.1. ผลการวิเคราะห์ค่า Sound Transmission Class (STC)	123
4.2. ผลการวิเคราะห์ค่า Reverberation time (RT)	127
4.3. ผลการตรวจวัดค่าระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level, SPL).....	131
4.3.1. ระดับความดันเสียงที่ริมการจราจรบนถนน.....	131
4.3.2. ระดับความดันเสียงเฉลี่ยภายในห้องเรียน	133
4.3.3. ระดับความดันเสียงเฉลี่ยบนระเบียงทางเดิน	134
4.4. สรุปผลการวิเคราะห์และสำรวจอาคารกรณีศึกษา.....	136
บทที่ 5	138
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	138
5.1. สรุปผลการศึกษา	138
5.2. ข้อเสนอแนะการปรับปรุงสภาพแวดล้อมและสถาปัตยกรรม	139

5.3. ข้อเสนอแนะจากการศึกษา.....	142
รายการอ้างอิง.....	143
ประวัติผู้เขียน.....	147



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ตัวอย่างความเร็วเสียงในตัวกลางชนิดต่างๆ	5
2 การแบ่งช่วงความถี่และความถี่กึ่งกลางแบบ Octave Bands	7
3 ขนาดความยาวคลื่นเสียงตามช่วงกึ่งกลางความถี่ Octave Bands.....	8
4 ตัวอย่างระดับความดันเสียงในสภาพแวดล้อมต่างๆและความรู้สึกจากการรับฟัง.....	13
5 ตัวอย่างการถ่วงน้ำหนักระดับเสียงแบบ A จากค่าระดับความดันเสียง (SPL) แยกตามช่วง กึ่งกลางความถี่	16
6 ค่าการดูดซับเสียงในชั้นบรรยากาศจำแนกตามความถี่ต่างๆ	17
7 การรับรู้ความต่างของเสียงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับความดันเสียง	
8 ผลกระทบต่อร่างกายเมื่อได้รับระดับความดันเสียงต่างๆ.....	21
9 ระยะเวลาที่ยอมให้คนรับฟังเสียงในระดับความดันเสียงต่างๆ.....	22
10 ระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่ได้จากสถานีตรวจวัดระดับเสียงบริเวณริมถนนในเขตกรุงเทพฯ ปี พ.ศ. 2559.....	23
11 ระดับเสียงพื้นฐาน (Background noise) ที่เหมาะสมกับห้องเรียน.....	26
12 ค่าเกณฑ์เสียง (NC) และระดับความดันเสียงเฉลี่ย ที่เหมาะสมกับพื้นที่ใช้สอยประเภทต่างๆ	27
13 ตารางปรับค่าระดับเสียงสำหรับการหาค่าระดับเสียงรบกวน.....	32
14 คุณลักษณะที่บ่งชี้ตามค่า NRC ที่แตกต่างกัน และตัวอย่างวัสดุ	34
15 ตัวอย่างค่า NRC ของวัสดุก่อสร้างทั่วไป.....	40
16 ค่า Reverberation time สำหรับห้องเรียน	42
17 ประสิทธิภาพการกันเสียงของวัสดุเทียบกับค่า STC	45
18 ค่า STC สำหรับห้องเรียนที่เหมาะสมเมื่ออยู่ติดกับพื้นที่และสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน.....	45
19 ตัวอย่างค่า STC ของวัสดุและโครงสร้างชนิดต่างๆ.....	46

20	ตัวอย่างน้ำหนักวัสดุ/โครงสร้างผนัง (กิโลกรัมต่อตารางเมตร) และค่า TL.....	48
21	ประสิทธิภาพการลดระดับเสียงของต้นไม้ที่นิยมปลูกริมถนนในประเทศไทย 10 ชนิด	55
22	ระดับเสียงที่กำพังกั้นเสียงสามารถลดจากแหล่งกำเนิดตามระยะของ Path Difference แจกแจงความถี่คลื่น	58
23	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดระดับเสียงที่ขึ้นกับรูปร่างของขอบบนกำพังกั้นเสียง.....	60
24	ตัวอย่างค่า TL และ STC ของบาน Acoustic Louver	74
25	(ดัดแปลง) ค่าระดับเสียงต่างๆจากการตรวจวัดและคำนวณของโรงเรียนวัดเถรพลาย (ถ.พ.) และโรงเรียนวัดมูลจินดาราม (ม.จ.) (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2553).....	82
26	แสดงห้องเรียนที่มีอยู่ในอาคารเรียนกรณีศึกษา (อาคาร 2) จำแนกตามการใช้ เครื่องปรับอากาศ	93
27	รายละเอียดวัสดุอาคารกรณีศึกษา	103
28	ค่า STC ที่ใช้อ้างอิงมาตรฐานการวิเคราะห์ผนังห้องเรียนกรณีศึกษา (ANSI, 2002).....	108
29	รายการค่า STC ของโครงสร้างและวัสดุของผนังห้องเรียนกรณีศึกษา (เทียบตารางที่ 19).....	110
30	พื้นที่ของผนังผสมและโครงสร้างแต่ละชนิดห้องเรียนกรณีศึกษา: ด้านที่ 1.....	110
31	พื้นที่ของผนังผสมและโครงสร้างแต่ละชนิดห้องเรียนกรณีศึกษา: ด้านที่ 2.....	111
32	พื้นที่ของผนังผสมและโครงสร้างแต่ละชนิดห้องเรียนกรณีศึกษา: ด้านที่ 3 และ 4	111
33	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของพื้นที่ผิววัสดุภายในของห้องเรียนกรณีศึกษา	114
34	ขนาดพื้นที่ผิววัสดุภายในห้องเรียนกรณีศึกษา	114
35	ผลการเทียบระดับเสียงเฉลี่ย (LAeq) ที่วัดได้ระหว่างเครื่องวัดมาตรฐาน และแอปพลิเคชัน บนสมาร์ตโฟน ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 นาที.....	120
36	รายละเอียดการวิเคราะห์ค่า STC แบบแยกส่วนของผนังด้านที่ 1.....	124
37	รายละเอียดการวิเคราะห์ค่า STC แบบแยกส่วนของผนังด้านที่ 2.....	125
38	รายละเอียดการวิเคราะห์ค่า STC แบบแยกส่วนของผนังด้านที่ 3 และ 4	125
39	ตารางแสดงผลการคำนวณค่า RT ของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบแจกแจงตามความถี่: กรณี ปิดประตู-หน้าต่าง	128

40	ตารางแสดงผลการคำนวณค่า RT ของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบแจกแจงตามความถี่: กรณี เปิดประตู.....	129
41	ตารางแสดงผลการคำนวณค่า RT ของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบแจกแจงตามความถี่: กรณี ปิดประตู + ติดตั้งแผ่นฝ้าฉนวนใยแก้ว.....	130
42	ตารางแสดงผลการคำนวณค่า RT ของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบแจกแจงตามความถี่: กรณี เปิดประตู-หน้าต่าง + ติดตั้งแผ่นฝ้าฉนวนใยแก้ว.....	131
43	ค่าระดับเสียงบนทางเดินริมสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า	132
44	ค่าระดับเสียงริมถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้าน	132
45	รายละเอียดผลการตรวจวัดระดับเสียงอาคารเรียนกรณีศึกษา (อาคาร 2).....	135
46	สรุปผลการคำนวณค่า STC ของผนังห้องเรียนกรณีศึกษาเทียบกับค่ามาตรฐาน.....	136
47	สรุปผลการคำนวณค่า RT ของผนังห้องเรียนกรณีศึกษาเทียบกับค่ามาตรฐาน	136



สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
1 การเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง	4
2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อความเร็วเสียง	6
3 การแบ่งช่วงความถี่และความถี่กึ่งกลางแบบ 1/3 Octave Bands และความถี่ที่ถูกนำมาทดสอบระดับเสียงที่ลดลงเมื่อเสียงทะลุผ่านผนัง (Cavanaugh & Wilkes, 1999)	7
4 การสะท้อนของคลื่นเสียงบนพื้นผิวเรียบ	9
5 การสะท้อนของคลื่นเสียงบนพื้นผิวโค้ง	10
6 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านช่องว่างขนาดต่างๆ	11
7 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียงเมื่อกระทบขอบกำแพง	11
8 การแทรกสอดของคลื่นเสียง	12
9 การแผ่ของพลังงานเสียงของแหล่งกำเนิดในพื้นที่โล่ง	14
10 กราฟการถ่วงน้ำหนักในการวัดระดับเสียง แบบ A, B และ C	15
11 ระดับความดันเสียงที่ลดลงตามระยะทางของแหล่งกำเนิดเสียงแบบจุดในพื้นที่โล่ง	18
12 ระดับความดันเสียงที่ลดลงตามระยะทางของแหล่งกำเนิดเสียงแบบเส้นในพื้นที่โล่ง	18
13 ขอบเขตการได้ยินของมนุษย์	19
14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดันเสียงกับความถี่ และระดับความดัง	20
15 ระดับเสียงเฉลี่ยของยานพาหนะประเภทต่างๆในประเทศไทย	24
16 ตัวอย่างการหาค่าเกณฑ์เสียงจากกราฟ NC	27
17 ชุดอุปกรณ์การตรวจวัดเสียง	29
18 ระยะเวลาในการติดตั้งเครื่องวัดระดับเสียง	30
19 พฤติกรรมของเสียงเมื่อเดินทางเข้าสู่อาคาร	33
20 กราฟการดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงประเภทต่างๆ	36
21 ลักษณะของวัสดุดูดซับเสียงประเภท Porous Absorbers	36

22	โพรงดูดซับเสียงตามหลักการของ Helmholtz.....	38
23	คอนกรีตบล็อกชนิดมีโพรงดูดซับเสียง.....	38
24	ลักษณะวัสดุดูดซับเสียงประเภท Perforated absorbers.....	38
25	ลักษณะวัสดุดูดซับเสียงประเภท Panel absorbers.....	40
26	ลักษณะของห้องที่ใช้ทดสอบค่า TL ของวัสดุ.....	43
27	การหาค่า STC จากการเทียบกราฟ TL ของวัสดุกับกราฟ STC Contour.....	44
28	การหาค่า TL ของผนังประกอบ (Combined Elements Wall) โดยใช้กราฟ.....	50
29	การหาค่า STC ของผนังประกอบ (Combined Elements Wall) โดยใช้กราฟ.....	51
30	ระดับความดันเสียงเมื่อจุดรับเสียงอยู่ห่างจากถนนทางหลวงที่ระยะต่างกัน.....	53
31	ตำแหน่งเครื่องวัดเสียงในการทดสอบประสิทธิภาพการลดระดับเสียงของต้นไม้.....	54
32	การหักเหของคลื่นเสียงเนื่องจากกำแพงกั้นเสียง.....	55
33	ภาพความสัมพันธ์ของระยะห่างต่างๆของกำแพงกั้นเสียงที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีความสูงของ กำแพงกั้นเสียงของ Fresnel.....	57
34	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Fresnel Number และระดับเสียงที่กำแพงกั้นเสียงสามารถ ลดจากแหล่งกำเนิดเสียงได้ในหน่วยเดซิเบล.....	57
35	ความยาวกำแพงที่มีประสิทธิภาพการป้องกันเสียง.....	59
36	ประสิทธิภาพของกำแพงกั้นเสียงเนื่องจากระยะตำแหน่งการติดตั้ง.....	59
37	การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกั้นเสียงเนื่องจากรูปร่างขอบบนของกำแพงกั้นเสียง ขอบบนกำแพงเป็นรูป 8 เหลี่ยม (ข) และ ตัว T (ค).....	61
38	การจัดผังบริเวณกลุ่มอาคารในโรงเรียน.....	62
39	การสะท้อนของคลื่นเสียงเนื่องจากรูปแบบการจัดกลุ่มอาคาร.....	62
40	พฤติกรรมของคลื่นเสียงเมื่อเดินทางมากระทบระเบียงของอาคาร.....	63
41	STC Contour ของระดับเสียงที่เกิดขึ้นภายในระเบียง.....	64
42	การเกิดพื้นที่เงาเสียง และเสียงสะท้อนบนเปลือกอาคารเนื่องจากแผงบังแดดและระเบียง.....	65

43	เปรียบเทียบการเกิดพื้นที่เงาเสียง และเสียงสะท้อนที่เกิดขึ้นภายในระเบียงเนื่องจาก ระยะ ยื่นของระเบียง.....	65
44	ความสามารถในการสะท้อนเสียงเนื่องจากการเอียงมุมของระนาบเพดาน	66
45	เปรียบเทียบการเกิดพื้นที่เงาเนื่องจากการเอียงมุมออกของกำแพงระเบียง	67
46	เปรียบเทียบการสะท้อนคลื่นเสียงเนื่องจากเพดานเอียงทำมุมและเพดานรูปโค้ง	67
47	การลดระดับเสียงภายในระเบียงเนื่องจากตำแหน่งติดตั้งวัสดุดูดซับเสียง	68
48	การลดเสียงท่อนจากเพดานเนื่องจากการติดตั้งแผงดูดซับเสียงแบบแขวนเพดาน	69
49	ตัวอย่างการติดตั้งแผงดูดซับเสียงแบบแขวนเพดาน	69
50	STC Contour ของระดับเสียงที่เกิดขึ้นบนอาคารเปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ไม่มีการถอย ร่น กับอาคารที่มีการถอยร่นออกจากแหล่งกำเนิดเสียง	70
51	ช่องระบายอากาศที่ใช้การบิดรูปร่างทางเดินเสียงเพื่อลดระดับเสียงก่อนถึงจุดรับเสียง.....	71
52	ตัวอย่างคอนกรีตบล็อกแบบช่องโพร่งที่มีจำหน่ายทั่วไป	72
53	ประสิทธิภาพการลดเสียงของคอนกรีตบล็อกชนิดช่องลมเข้าออกเอียงกัน.....	72
54	ประสิทธิภาพการกันเสียงของคอนกรีตบล็อกแบบมีโพร่ง	73
55	องค์ประกอบของ Acoustic louver.....	74
56	ผังพื้นที่ 1 (ภาพบน) และชั้น 2 และ 3 (ภาพล่าง) ของแบบอาคารเรียนตัวอย่างของ สพฐ.77	
57	รูปด้านที่ 1 (ภาพบน) และด้านที่ 3 (ภาพล่าง) ของแบบอาคารเรียนตัวอย่างของ สพฐ.....	78
58	รูปด้านที่ 2 (ซ้าย) และด้านที่ 4 (ขวา) ของแบบอาคารเรียนตัวอย่างของ สพฐ.	79
59	รูปตัดขวางผ่านห้องเรียนของแบบอาคารเรียนตัวอย่างของ สพฐ.	80
60	รูปด้านขยายผนังประตู-หน้าต่างและช่องระบายอากาศของแบบอาคารเรียนตัวอย่าง.....	80
61	ตัวอย่างลักษณะอาคารเรียนและผังบริเวณที่ตั้งของโรงเรียนที่ได้รับผลกระทบเสียงรบกวน จากการจราจรบนถนน	81
62	ค่าเกณฑ์เสียงของโรงเรียนที่ได้รับผลกระทบเสียงรบกวนจากการจราจรบนถนน	83
63	ตัวอย่างการใช้ผนังกระจกกันเสียงบนโครงสร้างผนังภายนอกของอาคาร.....	84
64	ภาพถ่ายทางอากาศแสดงที่ตั้งและสภาพแวดล้อมรอบโรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม	86

65	ผังแสดงตำแหน่งที่ตั้งของอาคารเรียนและพื้นที่โดยรอบ.....	87
66	แหล่งกำเนิดเสียงจากสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า.....	88
67	แหล่งกำเนิดเสียงจากถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้าน.....	89
68	ผังแสดงแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนภายนอกโรงเรียน.....	90
69	ภาพตัดขวางแสดงแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน.....	90
70	ลักษณะรั้วกั้นเขตที่ดินโรงเรียน.....	91
71	อาคารภายในโรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม.....	92
72	อาคารกรณีศึกษา: ผังพื้นที่ 1.....	94
73	อาคารกรณีศึกษา: ผังพื้นที่ 2.....	95
74	อาคารกรณีศึกษา: ผังพื้นที่ 3.....	96
75	อาคารกรณีศึกษา: ผังพื้นที่ 4.....	97
76	อาคารกรณีศึกษา: ผังพื้นที่ 5.....	98
77	อาคารกรณีศึกษา: รูปด้าน A.....	99
78	อาคารกรณีศึกษา: รูปด้าน B.....	100
79	อาคารกรณีศึกษา: รูปด้าน C และ D.....	101
80	อาคารกรณีศึกษา: รูปตัดขวางผ่านห้องเรียน.....	102
81	อาคารกรณีศึกษา: ขยายระเบียงทางเดินอาคารกรณีศึกษาและรูปด้าน.....	102
82	วัสดุที่ใช้ของอาคารกรณีศึกษา.....	104
83	ผนังทั้ง 4 ด้าน ภายในห้องเรียนกรณีศึกษา.....	105
84	แบบขยายรูปด้านภายในห้องเรียนกรณีศึกษา.....	106
85	เปรียบเทียบการคำนวณค่า STC ของผนังผสมด้วยกราฟและโปรแกรมของ Terry Montlick..	109
86	โปรแกรมการคำนวณค่า RT ภายในห้อง โดย สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์	113
87	ตำแหน่งตรวจวัดเสียงริมถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้าน.....	115

88	ตำแหน่งตรวจวัดระดับเสียงบนสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า	116
89	ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเสียงวัดระดับเสียง.....	117
90	การจัดวางอุปกรณ์ตรวจวัดระดับเสียงในห้องเรียน และระเบียงทางเดิน	118
91	ตัวอย่างรายการผลการตรวจวัดระดับเสียงของแอปพลิเคชัน Decibel X Pro	119
92	การเปรียบเทียบค่าระดับเสียงระหว่างเครื่องวัดมาตรฐานและแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน	121
93	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกั้นเสียงจากภายนอกของผนังห้องเรียน	123
94	ค่า STC ของผนังห้องกรณีศึกษาด้านที่ 1 เปรียบเทียบระหว่าง เปิด และปิดประตู	126
95	เปรียบเทียบค่า STC เฉลี่ยของผนังห้องกรณีศึกษาด้านที่ 1 หลังได้รับการปรับปรุง	127
96	ตัวอย่างการติดตั้งแผ่นผ้าดูดซับเสียง.....	129
97	ระดับเสียงที่ตรวจวัดได้ในแต่ละจุดริมถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้าน	132
98	แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบระดับความดันเสียงเฉลี่ยที่ตรวจวัดภายในห้องเรียนกรณีศึกษา ระหว่างกรณีปิดประตูห้อง และเปิดประตูห้อง	133
99	แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบระดับความดันเสียงเฉลี่ยระหว่างภายในห้องเรียนขณะปิดประตู และในระเบียงทางเดินของอาคารกรณีศึกษา.....	134
100	การปลูกต้นไม้โตอินเดียมรรู้โรงเรียนเพื่อเป็นแนวกันเสียงจากการจราจรบนถนน.....	141
101	รูปตัดอาคารกรณีศึกษาแสดงข้อเสนอแนะการปรับปรุงเพื่อการลดเสียงของอาคารกรณีศึกษา	141

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การออกแบบอาคารในภูมิภาคเขตร้อนชื้นเพื่อควบคุมและป้องกันเสียงนั้นมีความยุ่งยากกว่าการออกแบบอาคารในเขตภูมิอากาศแบบปานกลางและหนาวเย็น เนื่องจากอาคารในเขตร้อนชื้นมีความจำเป็นต้องอาศัยกระแสลมในการระบายความชื้นออกจากอาคาร ส่งผลให้รูปแบบอาคารโดยส่วนใหญ่จำเป็นต้องมีช่องเปิดจำนวนมากเพื่อรับลม ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นคือการแพร่ผ่านของเสียงรบกวนจากภายนอกเข้ามาสู่อาคารนั่นเอง

เมื่อการขยายตัวของเมืองมาพร้อมกับการขยายตัวของกิจกรรมโดยรถยนต์ ถนนเพิ่มจำนวนและขนาดอย่างรวดเร็ว อาคารและชุมชนริมถนนที่ได้รับผลกระทบมลภาวะทางเสียงทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้อาคาร คือมีการปิดหน้าต่างเพื่อหลีกเลี่ยงเสียงรบกวนภายนอกและติดตั้งระบบปรับอากาศเพื่อทดแทนการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ การปรับตัวดังกล่าวนอกจากจะเป็นการแก้ไขปัญหาก็ไม่ถูกต้องตามวัตถุประสงค์แล้ว ยังเป็นการเพิ่มภาระการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศอีกด้วย

อาคารเรียนโรงเรียนรัฐบาลส่วนใหญ่ยังคงรูปแบบการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ โดยเฉพาะโรงเรียนที่ตั้งอยู่ริมถนนในกรุงเทพมหานคร ได้ประสบปัญหาด้านมลภาวะทางเสียงโดยแหล่งกำเนิดเสียงจากการจราจรบนท้อง นอกจากนี้นี้ระดับค่าเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ณ สถานีวัดเสียงริมถนนในกรุงเทพมหานครกว่าร้อยละ 70 ยังมีค่ามากกว่า 70 เดซิเบลเอ (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) ซึ่งเป็นระดับเสียงที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพการได้ยินที่อ้างอิงตามองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งอเมริกา (U.S.EPA)

จากรายงานการวิจัยเรื่อง “การศึกษาผลกระทบของเสียงรบกวนต่อการรับรู้จากการฟัง” โดย กรมส่งเสริมสุขภาพและสิ่งแวดล้อม (2553) ได้สุ่มทำการทดสอบโรงเรียนที่ตั้งอยู่ใกล้เคียงกับทางจราจรทางราบ ได้แก่ โรงเรียนเรียนวัดเทพพลาย และโรงเรียนวัดมูลจินดาราม ที่ตั้งอยู่ริมทางหลวงหมายเลข 304 และทางยกระดับกาญจนาภิเษก ตามลำดับ พบว่า โรงเรียนดังกล่าวมีระดับค่าเกณฑ์เสียงรบกวนของสถานที่ (Noise Criteria, NC) คือ 53 และ 57 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าค่า NC ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมการเรียนการสอนควรมีค่าไม่เกิน 30 (ASHRAE, 2011) นอกจากนี้ระดับเสียงที่เพิ่มขึ้นทุก 5-10 เดซิเบลเอ ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพการฟังของเด็กนักเรียนลดลงถึง

ร้อยละ 7-20 (ชนาวุฒิ โนราช, 2547) สามารถกล่าวได้ว่าเสียงรบกวนจากการจราจรส่งผลต่อการเรียนการสอนในโรงเรียนที่ตั้งอยู่ริมถนนจริง

อาคารเรียนระดับประถม-มัธยมศึกษาเป็นหนึ่งในกลุ่มอาคารประเภทสถานศึกษาที่มีจำนวนมากที่สุด ซึ่งภายในหลายสิบปีข้างหน้าจะเป็นกลุ่มประเภทอาคารที่มีแนวโน้มการใช้พลังงานแบบก้าวกระโดดมากที่สุดจากประเภทอาคารทั้งหมด จาก 420 กิโลวัตต์ต่อปีมาเป็น 19,869 วัตต์ต่อปี เนื่องจากการปรับเปลี่ยนจากการใช้ระบบระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติมาเป็นระบบปรับอากาศทั้งหมด (เฉลิมวัฒน์ ต้นสวัสดิ์, 2554)

ในการค้นคว้าอิสระครั้งนี้ ผู้ศึกษาจึงมีความเห็นว่าควรทำการศึกษาเรื่องการลดเสียงรบกวนจากภายนอกเข้าสู่ห้องเรียนที่ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบสถาปัตยกรรมเพื่อการลดเสียงรบกวนสำหรับอาคารเรียนที่ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในประเทศไทย และก่อให้เกิดอาคารเรียนที่พึงพาธรรมชาติที่มีความยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาแนวทางการลดเสียงรบกวนสำหรับอาคารที่ตั้งอยู่ริมทางจราจรบนถนนที่มีการจราจรหนาแน่นในเขตเมืองโดยการออกแบบภูมิทัศน์ และองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมเพื่อการป้องกันเสียง
2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม และประสิทธิภาพด้านเสียงที่ของห้องเรียนในโรงเรียนรัฐบาล ที่ตั้งอยู่ริมถนนในเขตเมืองซึ่งเป็นอาคารที่ใช้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ
3. เสนอแนวทางการลดเสียงรบกวนสำหรับอาคารเรียนที่ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติที่ได้รับผลกระทบสภาพแวดล้อมทางเสียงจากการจราจรบนถนน ด้วยการออกแบบภูมิทัศน์และงานสถาปัตยกรรม

สมมุติฐานของการศึกษา

การออกแบบสภาพแวดล้อมและองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม ได้แก่ ผนังอาคารช่องเปิด ระเบียงทางเดินนอกอาคาร และแผงบังแดด สามารถช่วยป้องกันและลดเสียงรบกวนจากถนนที่มีการจราจรหนาแน่นในเขตเมืองให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมการเรียนการสอนในโรงเรียนได้

ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาปัญหามลภาวะทางเสียงของอาคารเรียนที่ตั้งอยู่ริมถนนที่มีการจราจรหนาแน่นในเขตกรุงเทพมหานคร
2. ศึกษาอาคารเรียนโรงเรียนรัฐบาลระดับประถม-มัธยมศึกษา ที่ใช้ระบบการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ โดยพิจารณารูปแบบอาคารเรียนชนิดทางเดินเดี่ยวริมด้านใดด้านหนึ่งของอาคาร ซึ่งเป็นรูปแบบที่พบได้ในอาคารเรียนรัฐบาล
3. ศึกษาการป้องกันเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงภายนอกอาคาร ด้วยองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม ได้แก่ วัสดุและโครงสร้างผนัง ช่องเปิด ระเบียงทางเดิน และแผงบังแดด

วิธีและขั้นตอนการศึกษา

1. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับธรรมชาติของเสียงและการป้องกันเสียงรบกวนในงานสถาปัตยกรรม ที่มีสาเหตุจากแหล่งกำเนิดเสียงการจราจรบนถนน
2. ศึกษาปัญหาสภาพแวดล้อมทางเสียง ของอาคารเรียนโรงเรียนรัฐบาลที่มีรูปแบบการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ และลักษณะทางสถาปัตยกรรมตามแบบมาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.)
3. ศึกษาสภาพแวดล้อมทางเสียงจากอาคารเรียนกรณีศึกษา โดยแบ่งประเด็นการวิเคราะห์เป็น 3 ประเด็น ได้แก่ ความสามารถในการลดเสียงผ่านผนัง ค่าเวลากังวานภายในห้อง และระดับความดันเสียงภายในห้องเรียนและระเบียงทางเดินริมอาคาร ด้วยอุปกรณ์วัดเสียงจากแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน
4. สรุป อภิปรายผล และให้ข้อเสนอแนะการศึกษา และแนวทางการแก้ไขปัญหาสภาพแวดล้อมทางเสียงแก่อาคารเรียนที่ระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ และได้รับผลกระทบเสียงรบกวนจากการจราจรบนถนน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผู้ออกแบบอาคารมีความตระหนักถึงปัญหาสภาพแวดล้อมทางเสียงที่ผู้ใช้อาคารเรียนโรงเรียนรัฐบาลที่ตั้งอยู่ริมทางจราจรบนถนนที่มีการจราจรหนาแน่นในเขตเมืองต้องประสบในปัจจุบัน และทราบแนวทางการลดเสียงรบกวนจากภายนอกอาคารเรียนโรงเรียนรัฐบาล ที่มีการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ โดยการออกแบบและปรับปรุงสภาพแวดล้อมและงานสถาปัตยกรรม

บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1. ความรู้เบื้องต้นของเสียง

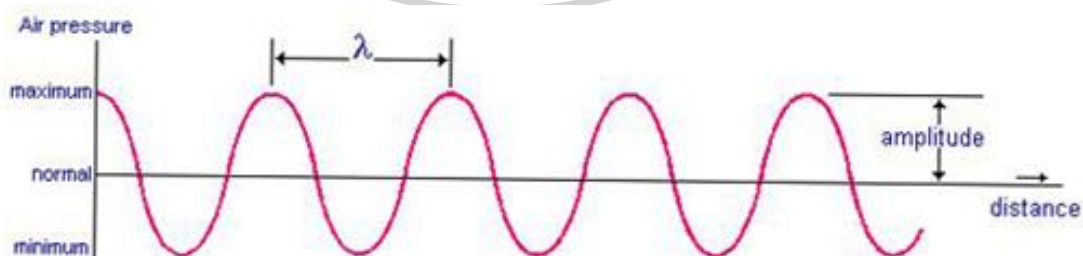
2.1.1. กายภาพของเสียง

เสียง เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งในรูปของคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของอนุภาค การเคลื่อนที่ของอนุภาคทำให้เกิดความดันอัด (Compression) และความดันคลาย (Rarefaction) (ปรีชญา รังสิริกซ์, 2541)

การสั่นสะเทือน เกิดเป็นคลื่นแผ่ออกไปโดยรอบคล้ายการโยนหินลงไปในน้ำ ถ้าก้อนหินมีขนาดเล็กคลื่นจะมีขนาดเล็กและสลายไปอย่างรวดเร็ว หากก้อนหินมีขนาดใหญ่คลื่นจะมีขนาดใหญ่และใช้เวลาในการสลายไปนานกว่า ลักษณะเช่นนี้ เรียกว่า แอมพลิจูด (Amplitude) (สมรรถ บุญยรัตพันธุ์, ม.ป.ป.) ลักษณะทางกายภาพของคลื่นเสียง (รูปที่ 1) สามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวคลื่น (Wavelength, " λ ") ความถี่ (Frequency, f) และความเร็ว (Velocity, V) ดังสมการที่ 1 ดังนี้

$$\lambda = v / f \quad (\text{สมการที่ 1})$$

เมื่อ λ = ความยาวคลื่น (เมตร)
 v = ความเร็วเสียง (เมตร/วินาที)
 f = ความถี่ (เฮิรตซ์)



รูปที่ 1 การเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง

(ที่มา: www.miniphysics.com/what-is-wave.html เข้าถึงเมื่อ 29/3/2018)

ลักษณะทางกายภาพของคลื่นเสียงสามารถอธิบายได้ 2 ลักษณะ คือ

- ความเร็วเสียง (Sound Velocity)
- ความถี่เสียง (Sound Frequency)

(1) ความเร็วเสียง

คลื่นเสียงจำเป็นต้องอาศัยตัวกลางต่างๆในการเคลื่อนที่ได้แก่ ของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซ ความเร็วการเคลื่อนที่ของเสียง (Sound Velocity) ในตัวกลาง ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพของตัวกลาง ดังแสดงใน ตารางที่ 1 (ปรีชญา รังสิรักษ์, 2541)

ตารางที่ 1 ตัวอย่างความเร็วเสียงในตัวกลางชนิดต่างๆ (ปรีชญา รังสิรักษ์, 2541)

ตัวกลาง		ความเร็วเสียง (เมตร/วินาที)	ตัวกลาง		ความเร็วเสียง (เมตร/วินาที)
อากาศที่	30°C	349.6	ของแข็ง	อลูมิเนียม	5,820
	20°C	343.8		แก้ว	5,000
	0°C	331.8		ดีบุก	4,900
	-20°C	319.3		เหล็ก	4,800
ก๊าซ	ไฮโดรเจน	1,284	ทองแดง	4,500	
	แอมโมเนีย	415	สังกะสี	3,750	
	ออกซิเจน	316	คอนกรีต	3,700	
	คาร์บอนไดออกไซด์	259	อิฐ	3,600	
ของเหลว	น้ำจืด	1,437	ไม้	3,300	
	น้ำทะเล	1,541	ตะกั่ว	1,260	
	น้ำมัน	1,166			

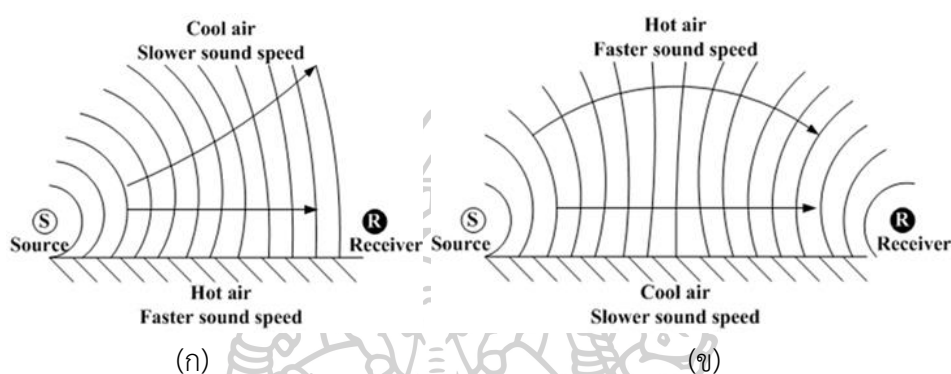
สำหรับเสียงที่เดินทางไปในตัวกลางที่เป็นอากาศ ความเร็วเสียงจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ ตามสมการที่ 2 (พิชัย ปมาณิกบุตร, 2552)

$$V = 331.4 + 0.6t \quad (\text{สมการที่ 2})$$

เมื่อ V = ความเร็วเสียงในอากาศ (เมตร/วินาที, m/s)

t = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส, °C)

เมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นเสียงจะมีความเร็วมากขึ้น และเมื่ออุณหภูมิต่ำลงเสียงจะมีความเร็วที่ลดลง ดังนั้น ในเวลากลางวันที่อุณหภูมิเหนือพื้นดินสูงกว่าในชั้นบรรยากาศ ความเร็วลมเหนือพื้นดินมีมากกว่าในบรรยากาศ ทำให้แนวการเคลื่อนที่ของคลื่นจึงมีทิศทางโค้งขึ้น (รูปที่ 2-ก) ในทางตรงกันข้าม เมื่อเวลากลางคืนที่อุณหภูมิในชั้นบรรยากาศสูงกว่าอุณหภูมิเหนือพื้นดิน ความเร็วลมในชั้นบรรยากาศมากกว่าเหนือพื้นดิน ทำให้แนวการเคลื่อนที่ของคลื่นจึงมีทิศทางโค้งลง (รูปที่ 2-ข) (ปรีชญา รังสิริรักษ์, 2541)



รูปที่ 2 ผลกระทบของอุณหภูมิในอากาศที่ส่งผลต่อความเร็วเสียง (ที่มา: wikibooks.org/wiki/Engineering_Acoustics/Outdoor_Sound_Propagation เข้าถึงเมื่อ 29/3/2018)

คุณลักษณะความเร็วเสียงที่ขึ้นกับอุณหภูมิอากาศ ที่มีผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียงที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา ส่งผลต่อปริมาณเสียงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ใกล้เคียงแหล่งกำเนิดเสียง ยกตัวอย่างอาคารที่ตั้งอยู่ริมถนน ในเวลากลางวันเสียงรบกวนจะสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งของอาคารที่ระดับชั้นสูงขึ้นไปได้มากกว่าช่วงเวลากลางคืน

(2) ความถี่เสียง

ความถี่เสียง (Sound Frequency) คือ รอบการสะท้อนกลับไปมาของคลื่นเสียงในเวลา 1 วินาที สำหรับประสาทการได้ยินของมนุษย์จะสามารถรับรู้เสียงได้ตั้งแต่ 20-20,000 รอบต่อวินาที หรือเรียกว่า เฮิรตซ์ (Hertz, Hz) ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่กว้างมาก ดังนั้นในการศึกษาเกี่ยวกับเสียงของดนตรีจึงมีการแบ่งแถบความถี่ออกเป็นช่วง โดยความถี่ต่ำสุดและสูงสุดของแต่ละช่วงจะห่างกันเป็น 2 เท่า และมีความถี่กึ่งกลาง (f_c) คือค่าของรากที่สองของผลคูณระหว่างความถี่ต่ำสุด (f_1) และความถี่สูงสุด (f_2) ของช่วงความถี่นั้นเป็นตัวแทนของแต่ละช่วงความถี่ ได้แก่ 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 เฮิรตซ์ เรียกว่า การแบ่งช่วงความถี่แบบ Octave Bands ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การแบ่งช่วงความถี่และความถี่กึ่งกลางแบบ Octave Bands (วิธีวิธี ลีลาศิริวงศ์, 2558)

ความถี่ต่ำสุดของช่วงความถี่ f_1	ความถี่กึ่งกลางของช่วงความถี่ $f_c = \sqrt{f_1 \times f_2}$	ความถี่สูงสุดของช่วงความถี่ $f_2 = f_1 \times 2$
22	31.5	44
44	63	88
88	125	177
177	250	355
355	500	710
710	1,000	1,420
1,420	2,000	2,840
2,840	4,000	5,680
5,680	8,000	11,360
11,360	16,000	22,720

ในการศึกษาประสิทธิภาพเกี่ยวกับเสียงของวัสดุนั้น จะนิยมใช้การแบ่งความถี่ที่แบ่งย่อยจากแบบแรกเพิ่มอีก 3 แถบ เรียกว่า 1/3 Octave Bands โดยความถี่ที่ถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันเสียงของวัสดุมีทั้งหมด 6 ความถี่ ได้แก่ 125, 250, 500, 1000, 2000 และ 4000 (Cavanaugh & Wilkes, 1999) ดังรูปที่ 3

Laboratory testing for sound transmission loss and sound absorption of typical building components and materials falls in this range																														
1/3 Octave	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1,000	1,250	1,600	2,000	2,500	3,150	4,000	6,000	7,300	8,000	10,000	12,500	16,000	20,000
Octave	31.5		63		125		250		500		1,000		2,000		4,000		8,000		16,000											

รูปที่ 3 การแบ่งช่วงความถี่และความถี่กึ่งกลางแบบ 1/3 Octave Bands และความถี่ที่ถูกนำมาทดสอบระดับเสียงที่ลดลงเมื่อเสียงทะลุผ่านผนัง (Cavanaugh & Wilkes, 1999)

ความถี่เสียงมีความสัมพันธ์ต่อขนาดความยาวคลื่น คือ เสียงความถี่ต่ำจะมีความยาวคลื่นมาก และเสียงความถี่สูงจะมีขนาดความยาวคลื่นสั้น ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขนาดความยาวคลื่นเสียงตามช่วงกึ่งกลางความถี่ Octave Bands (Irvine & Richards, 1998)

ช่วงกึ่งกลางความถี่ (Hz)	ความยาวคลื่น (m.)
31.5	10.9
63	5.46
125	2.76
250	1.38
500	0.69
1000	0.34
2000	0.17
4000	0.09
8000	0.04

2.1.2. คุณสมบัติของคลื่นเสียง

ในสภาพแวดล้อมจริงคลื่นเสียงไม่ได้เดินทางออกจากแหล่งกำเนิดเป็นวงกลมที่สม่ำเสมอตลอดไป หากแต่ต้องผ่านการเปลี่ยนแปลงในตัวนำชนิดต่างๆ และอาจกระทบวัตถุที่ขวางระหว่างทางที่มีผลทำให้คลื่นมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปตามคุณสมบัติของคลื่นเสียง 4 ประการ ได้แก่

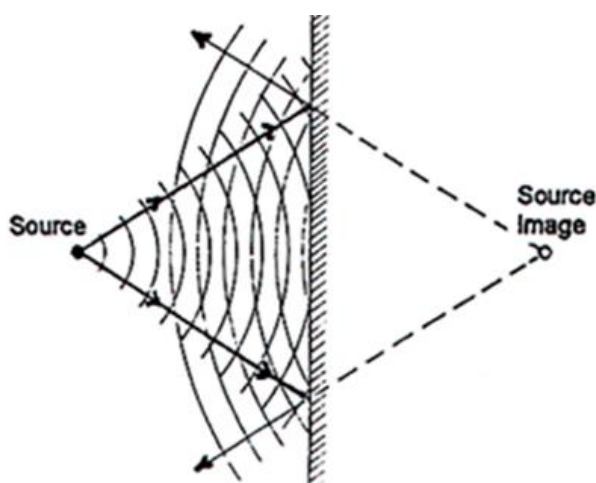
- การสะท้อน (Reflection)
- การหักเห (Refraction)
- การเลี้ยวเบน (Diffraction)
- การแทรกสอด (Interference)

(1) การสะท้อน

การสะท้อน (Reflection) เกิดจากการที่คลื่นเสียงเดินทางกระทบกับวัตถุ และเกิดการสะท้อนกลับเสมือนว่ามีแหล่งกำเนิดเสียงเพิ่มขึ้นอีกตำแหน่ง โดยที่ขนาดมุมที่เสียงตกกระทบกับพื้นผิวต้องมีขนาดเท่ากับมุมที่สะท้อนออกจากพื้นผิว (รูปที่ 4)

ข้อสังเกตในการเกิดการสะท้อนของเสียง (พิพัฒน์ ละอองศรี, 2556)

- เกิดขึ้นเมื่อเดินทางไปกระทบตัวกลางที่มีมวลหนาแน่นมากกว่า
- เกิดขึ้นได้ดีกับวัตถุที่มีลักษณะผิวเรียบและแข็ง
- ขนาดของวัตถุต้องมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นเสียง
- คลื่นความถี่สูงสะท้อนได้ดีกว่าคลื่นความถี่ต่ำ เนื่องจากคลื่นความถี่สูงมีความยาวคลื่นสั้น และสามารถสะท้อนได้ง่ายแม้กับวัตถุที่มีขนาดเล็ก



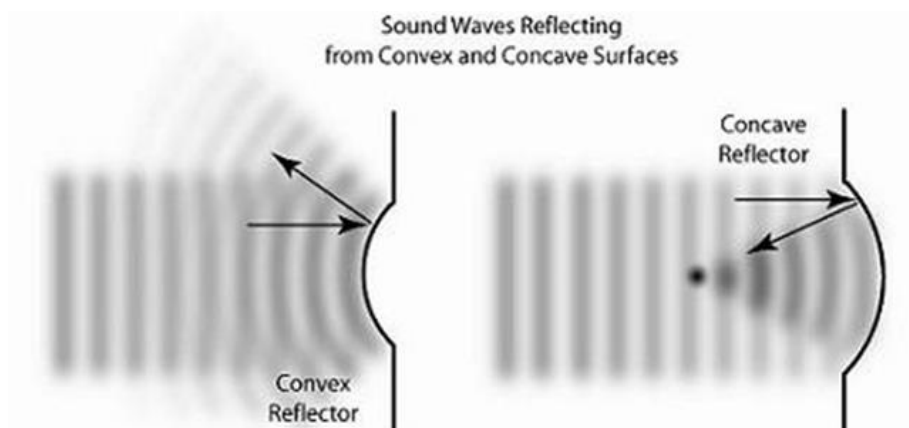
รูปที่ 4 การสะท้อนของคลื่นเสียงบนพื้นผิวเรียบ

(ที่มา: https://www.acousticalsurfaces.com/acoustic_IOI/reverberation.htm เข้าถึงเมื่อ 3/04/2018)

ในกรณีพื้นผิวตกรกระทบเป็นพื้นผิวโค้ง (Curve Surface) แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ พื้นผิวโค้งนูน (Convex) และพื้นผิวโค้งเว้า (Concave) เสียงที่สะท้อนออกมามีข้อสังเกต คือ

- เมื่อจุดศูนย์กลางความโค้งของพื้นผิวโค้งนูนอยู่บริเวณด้านหลังของพื้นผิวคลื่นจะสะท้อนในลักษณะการกระจายออกจากจุดศูนย์กลางความโค้งของพื้นผิว (รูปที่ 5-ก)
- เมื่อจุดศูนย์กลางความโค้งของพื้นผิวโค้งเว้าอยู่บริเวณด้านหน้าของพื้นผิวคลื่นจะสะท้อนเข้าใกล้ศูนย์กลางความโค้งบริเวณด้านหน้าพื้นผิว (รูปที่ 5-ข)

(สมรรถ บุนยรัตพันธุ์, ม.ป.ป.)



(ก) พื้นผิวโค้งนูน

(ข) พื้นผิวโค้งเว้า

รูปที่ 5 การสะท้อนของคลื่นเสียงบนพื้นผิวโค้ง

(ที่มา: <https://techblog.ctgclean.com/2011/09/ultrasonics-understanding-sound-waves1/> เข้าถึงเมื่อ 29/03/2018)

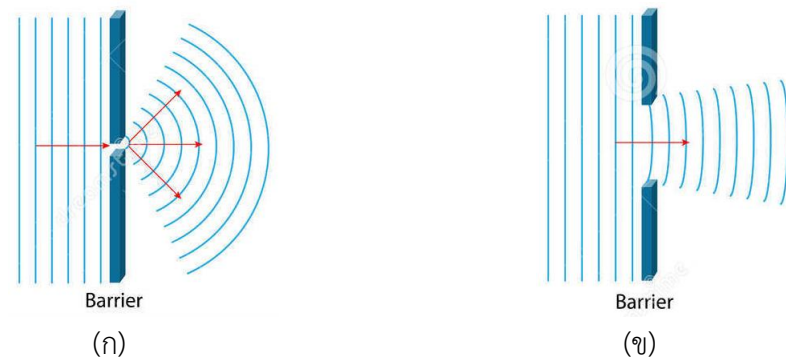
(2) การหักเห

การหักเหของเสียง (Refraction) เกิดจากการที่เสียงเดินทางไปกระทบกับตัวกลางที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการลดหรือเพิ่มของความเร็วเสียง ยกตัวอย่างเช่นปรากฏการณ์ฟ้าแลบ ขณะที่อุณหภูมิต่ำในชั้นบรรยากาศและที่เหนือพื้นดินมีความแตกต่างกันมาก เสียงฟ้าแลบจะเกิดการหักเหในชั้นบรรยากาศครั้งแล้วครั้งเล่าจนเสียงเดินทางมาไม่ถึงคนที่อยู่บนพื้นดิน ทั้งที่ความจริงแล้วปรากฏการณ์ฟ้าแลบเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศตลอดเวลา (พิพัฒน์ ละอองศรี, 2556)

(3) การเลี้ยวเบน

การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction) เกิดจากการที่เสียงเดินทางผ่านหรือกระทบช่องหรือวัตถุกีดขวางโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงชนิดตัวกลาง โดยมีข้อสังเกต คือ

- เสียงจะเลี้ยวเบนได้ดีเมื่อความกว้างของช่องมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับความยาวคลื่นของคลื่นเสียง
- เมื่อคลื่นเสียงเดินทางผ่านช่องที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่น เสียงจะสามารถเลี้ยวเบนออกได้มาก (ภาพที่ 6-ก)
- เมื่อคลื่นเสียงเดินทางผ่านช่องที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่น เสียงจะเลี้ยวเบนออกได้น้อย (ภาพที่ 6-ข)

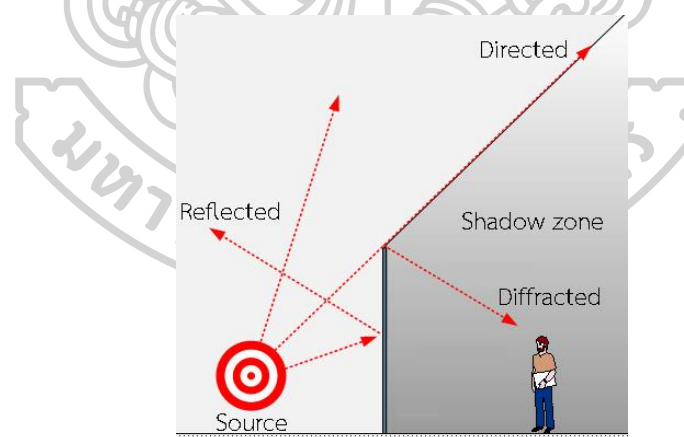


รูปที่ 6 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านช่องว่างขนาดต่างๆ

(ที่มา: <https://www.dreamstime.com/stock-illustration-waves-diffraction-interference-occurs-wave-passes-edge-passes-narrow-gap-goes-past-image65914893>

เข้าถึงเมื่อ 1/06/2018)

เมื่อคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิด (Directed Sound) เดินทางมากระทบกับขอบกำแพง และเกิดการเลี้ยวเบน (Diffracted) ลงบริเวณด้านหลังของกำแพง เสียงจะถูกลดระดับความเข้มเสียงลงในบริเวณดังกล่าว เรียกว่า เขตเงาเสียง (Shadow Zone) ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียงเมื่อกระทบขอบกำแพง

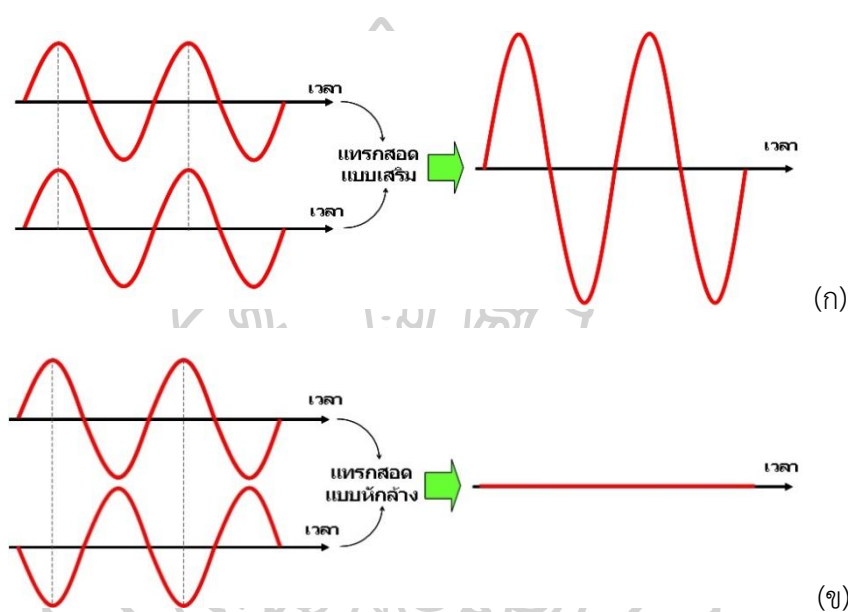
(ที่มา: <https://www.esi-engineering.com/resources/blog/seven-ways-reduce-noise/>

เข้าถึงเมื่อ 1/06/2018)

(4) การแทรกสอด

การแทรกสอดของคลื่น (Interference) เกิดขึ้นจากคลื่น 2 คลื่นเดินทางมาพบกันและเกิดการทับซ้อนกัน การแทรกสอดมีอยู่ 2 แบบ คือ

- การแทรกสอดแบบเสริมกัน ผลคือแอมพลิจูดรวมจะเพิ่มขึ้นและเกิดเสียงดังกว่าเดิม (รูปที่ 8-ก)
- การแทรกสอดแบบหักล้างกัน ผลคือแอมพลิจูดจะหักล้างกันทำให้เสียงเงียบหรือเบา ลงไป (รูปที่ 8-ข)



รูปที่ 8 การแทรกสอดของคลื่นเสียง

(ที่มา: <https://www.gotoknow.org/posts/226209> เข้าถึงเมื่อ 1/06/2018)

2.1.3. ระดับความดันเสียง

คลื่นเสียงที่กระทำบนพื้นที่รับเสียง ในหน่วยของความดัน คือ ปาสคาล (Pascal, Pa) หรือ นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) แต่เนื่องจากความดันเสียงที่มนุษย์ได้ยินมีช่วงที่กว้างมาก จึงมีการใช้ค่า ระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level, SPL) ในการวัดค่าระดับเสียง โดยมีหน่วยเป็น เดซิเบล (Decibel) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความดันเสียง จากสมการที่ 3 ดังนี้

$$\text{SPL} = 20 \log P / P_0 \quad (\text{สมการที่ 3})$$

เมื่อ SPL = ระดับความดันเสียง (dB)
 P = ความดันเสียง (Pa)
 P_0 = ความดันเสียงอ้างอิง เท่ากับ 20 μ Pa

สามารถยกตัวอย่างระดับความดันเสียงในสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อความรู้สึกจากการรับฟังดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างระดับความดันเสียงในสภาพแวดล้อมต่างๆและความรู้สึกจากการรับฟัง (Sharland, 1972)

ระดับความดันเสียง (dB)	ลักษณะสภาพแวดล้อม	ความรู้สึก
140	ระยะ 30 เมตร จากเครื่องบินที่กำลังลงจอด	ไม่สามารถทนได้
130		
120	ห้องเครื่องหม้อต้มน้ำ (Boiler Shop)	
110	โรงงานทอผ้า	เสียงดังมาก
100	โรงกลึงเหล็ก ขณะเครื่องจักรทำงาน	
90	สถานที่ก่อสร้างขณะเครื่องจักรทำงาน	
80	ริมถนนที่มีการจราจรหนาแน่น	เสียงดัง
70	วิทยุที่ปรับระดับความดังไว้สูง	
60	เสียงตามร้านอาหาร และห้างสรรพสินค้า	
50	เสียงสนทนาในระยะ 1 เมตร	เจียบ
40	เสียงกระซิบในระยะ 2 เมตร	
30	เสียงพื้นหลังในห้องบันทึกเสียง	เจียบสงบมาก
20		
10		
0		

2.1.4. ระดับความเข้มเสียง

คลื่นเสียงที่กระทำบนพื้นที่รับเสียงในหน่วยของกำลังเสียง (Sound Power, W) แต่เนื่องจากในที่โล่ง (Free Field) กำลังเสียงที่แผ่ออกจากแหล่งกำเนิดเป็นรูปทรงกลม (Sphere) พื้นที่

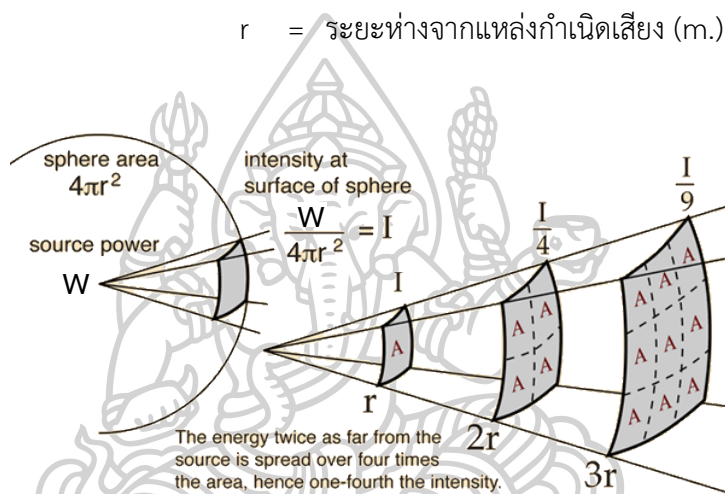
ผิวทรงกลม 1 หน่วยพื้นที่ เรียกว่า ความเข้มเสียง (Sound Intensity, I) (ดูรูปที่ 9) สามารถคำนวณความเข้มเสียงที่แผ่ออกมาที่ระยะทางหนึ่ง (Radiances, r) เมื่อทราบปริมาณกำลังเสียงของแหล่งกำเนิดจากสมการที่ 4 ดังนี้

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (\text{สมการที่ 4})$$

เมื่อ I = ความเข้มเสียง (W/m^2)

W = กำลังเสียง (W)

r = ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง (m .)



รูปที่ 9 การแผ่ของพลังงานเสียงของแหล่งกำเนิดในพื้นที่โล่ง
(ที่มา: ดัดแปลง <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Acoustic/invsqs.html> เข้าถึงเมื่อ 1/06/2018)

2.1.5. การถ่วงน้ำหนักระดับเสียง

ในการวัดเสียงด้วยเครื่องมือจะมีการกรองเสียงในบางช่วงความถี่ออกไป เพื่อให้ได้ค่าเสียงที่ตรงกับความรู้สึกของคนมากที่สุด เรียกว่า การถ่วงน้ำหนัก (Weighted Network) มีอยู่ 3 แบบตามการตอบสนองต่อความถี่ที่แตกต่างกัน (ปรีชญา รังสิรักษ์, 2541) ได้แก่

A – Weighted

เป็นการกรองความถี่ที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของคนมากที่สุด ตอบสนองได้ดีกับความถี่ปานกลางประมาณ 500-4,000 เฮิรตซ์ เป็นการถ่วงน้ำหนักที่นิยมนำมาใช้มากที่สุด

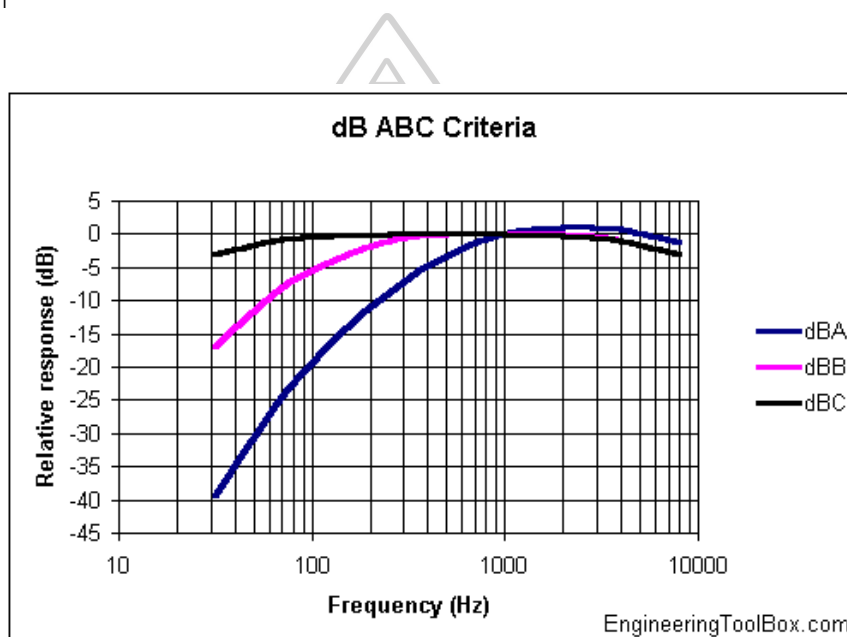
B – Weighted

ตอบสนองได้ดีกับความถี่ 400-3,000 เฮิรตซ์ ไม่เป็นที่นิยมในการใช้เท่าแบบ A

C – Weighted

มีการกรองความถี่ออกน้อยมาก เนื่องจากการถ่วงน้ำหนักที่ตอบสนองได้ดีตั้งแต่ความถี่ต่ำประมาณ 100-3,000 เฮิรตซ์ เหมาะกับการตรวจวัดเสียงกรณีที่น่าสนใจของความถี่ต่ำร่วมด้วย

รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และค่าการถ่วงน้ำหนัก ในหน่วยเดซิเบลของการถ่วงน้ำหนักแบบ A, B และ C เพื่อใช้ในการปรับค่าระดับความดันเสียงที่ยังไม่ได้ทำการถ่วงน้ำหนัก



รูปที่ 10 กราฟการถ่วงน้ำหนักในการวัดระดับเสียง แบบ A, B และ C

(ที่มา: https://www.engineeringtoolbox.com/decibel-d_59.html เข้าถึงเมื่อ 1/06/2018)

ในการรวมค่าระดับความดันเสียงจากการตรวจวัดระดับความดันเสียงมากกว่า 1 ค่า ไม่สามารถรวมด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ทั่วไปได้ และต้องคำนวณแบบอัตราส่วนลอการิทึม (Irvine & Richards, 1998) ด้วยสมการที่ 5 ดังนี้

$$L_c = 10 \log (10^{L_1/10} + \dots + 10^{L_n/10}) \quad (\text{สมการที่ 5})$$

เมื่อ L_c = ผลรวมระดับความดันเสียง

L_n = ระดับความดันเสียงแต่ละค่า

ตารางที่ 5 สามารถคำนวณระดับเสียงรวมของระดับความดันเสียงที่ยังไม่ได้มีการถ่วงน้ำหนักและระดับความดันเสียงที่ถูกถ่วงน้ำหนักแบบ A โดยใช้การคำนวณแบบอัตราส่วนลอการิทึมได้ 88 เดซิเบล และ 85 เดซิเบลเอ ตามลำดับ

ตารางที่ 5 แสดงตัวอย่างการถ่วงน้ำหนักระดับเสียงแบบ A จากค่าระดับความดันเสียง (SPL) แยกตามช่วงกึ่งกลางความถี่ (Irvine & Richards, 1998)

ช่วงกึ่งกลางความถี่ (Hz)	SPL ที่ยังไม่ได้มีการถ่วงน้ำหนัก (dB)	ค่าการถ่วงน้ำหนักแบบ A (dB) (จากภาพที่ 10)	SPL ที่ถูกถ่วงน้ำหนักแบบ A (dBA)
31.5	78	-39	39
63	76	-26	50
125	72	-16	56
250	82	-9	73
500	81	-3	78
1000	80	0	80
2000	80	+1	81
4000	73	+1	74
8000	65	-1	64
ผลรวม (L_c)	88	ผลรวม (L_c)	85

2.1.6. แหล่งกำเนิดเสียงและการแผ่กระจาย

คลื่นเสียงที่เดินทางไปในตัวกลางอากาศจะถูกดูดซับพลังงานเนื่องจากอากาศในบรรยากาศมีค่าการดูดซับเสียงในชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Absorption) โดยมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 6 ดังนี้ (C. M. Harris, 1979)

$$A_{\text{atm}} = \alpha / 100 \text{ dB} \quad (\text{สมการที่ 6})$$

เมื่อ A_{atm} = ระดับความดันเสียงที่ถูกดูดซับไปในอากาศที่ระยะ 100 m. (dB)

α = ค่าการดูดซับเสียงในชั้นบรรยากาศ (dB)
(ดูในตาราง 6)

ตารางที่ 6 ยกตัวอย่างที่อุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ระดับความดันเสียงที่ถูกดูดซับไปในอากาศที่ระยะ 100 เมตร จากแหล่งกำเนิดที่ความถี่ 500 เฮิรตซ์ คือ 0.33/100 เดซิเบล ดังนั้น สำหรับความถี่ 500 เฮิรตซ์ เสียงต้องเดินทางในอากาศเป็นระยะทาง 10,000 เมตร จึงจะสามารถลดระดับความดันเสียงลงได้ 33 เดซิเบล และการดูดซับเสียงในบรรยากาศสามารถตอบสนองได้ดีโดยเฉพาะกับช่วงความถี่สูงประมาณ 4,000 เฮิรตซ์ขึ้นไป (C. M. Harris, 1979)

ตารางที่ 6 ค่าการดูดซับเสียงในชั้นบรรยากาศจำแนกตามความถี่ต่างๆ (C. M. Harris, 1979)

ความชื้นสัมพัทธ์ (%) ที่อุณหภูมิ 30°C	ปริมาณการดูดซับเสียงในชั้นบรรยากาศ (α , dB)					
	ความถี่ (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
10	0.09	0.19	0.35	0.82	2.6	8.8
20	0.06	0.18	0.37	0.64	1.4	4.4
30	0.04	0.15	0.38	0.68	1.2	3.2
50	0.03	0.10	0.33	0.75	1.3	2.5
70	0.02	0.08	0.27	0.74	1.4	2.5
90	0.02	0.06	0.24	0.70	1.5	2.6

แหล่งกำเนิดเสียง สามารถจำแนกออกเป็น 3 ลักษณะ

(พิชัย ปมาณิกบุตร, 2552) ได้แก่

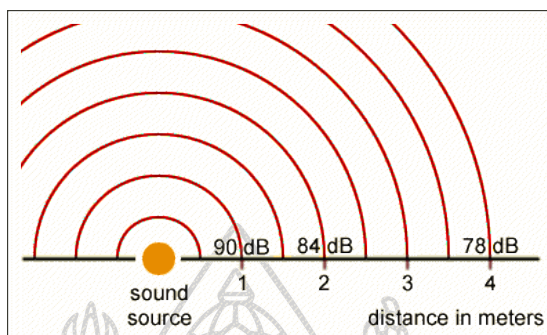
- แหล่งกำเนิดเสียงแบบจุด (Point Source)
- แหล่งกำเนิดเสียงแบบเส้น (Line Source)
- แหล่งกำเนิดเสียงรวมแบบจุดและแบบเส้น

(1) แหล่งกำเนิดเสียงแบบจุด

เสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงแบบจุด (Point Source) จะมีลักษณะการแผ่กระจายของเสียงออกจากแหล่งกำเนิดเป็นรูปทรงกลม เช่น เสียงจากการยิงปืน, เสียงเครื่องบินที่บินผ่าน และรถยนต์ที่วิ่งมาคันเดียวบนท้องถนน

คลื่นเสียงที่เดินทางผ่านในที่โล่ง (Free Field) ความเข้มเสียงจะลดลงตามระยะทางโดยทุกระยะ 2 เท่าจากแหล่งกำเนิดทำให้ระดับความดันเสียงลดลง 6 เดซิเบล เช่น ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง 1 หน่วยระยะทาง สามารถวัดค่าระดับความดันเสียงได้ 90 เดซิเบล เมื่อเคลื่อน

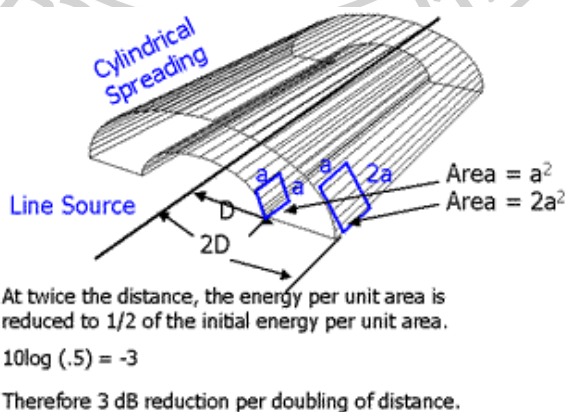
ตำแหน่งตรวจวัดออกมาอีกเป็นระยะทาง 2 หน่วยระยะทาง ระดับความดันเสียงจะลดลงเหลือเพียง 84 เดซิเบล และเมื่อเคลื่อนตำแหน่งออกมาอีกเป็นระยะทาง 4 หน่วยระยะทาง ระดับความดันเสียงจะลดลงจาก 84 เดซิเบล เหลือเพียง 78 เดซิเบล (ดูรูปที่ 11)



รูปที่ 11 ระดับความดันเสียงที่ลดลงตามระยะทางของแหล่งกำเนิดเสียงแบบจุดในพื้นที่โล่ง (ที่มา: <https://www.noisehelp.com/decibel-scale.html> เข้าถึงเมื่อ 1/06/2018)

(2) แหล่งกำเนิดเสียงแบบเส้น

แหล่งกำเนิดเสียงแบบเส้น (Line Source) เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงแบบจุดที่เรียงตัวต่อกันเป็นแนวเส้น ได้แก่ ขบวนรถไฟ และรถยนต์ที่วิ่งต่อเนื่องกันเป็นขบวน โดยแหล่งกำเนิดประเภทนี้เสียงจะแผ่กระจายออกเป็นแบบเส้นในลักษณะทรงกระบอก ซึ่งทิศทางการแผ่กระจายนั้นจะตั้งฉากกับทิศทางของแหล่งกำเนิด โดยที่ระยะทางจากแหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้น 2 เท่า ทำให้ระดับเสียงจะลดลง 3 เดซิเบล (ดูรูปที่ 12)



รูปที่ 12 ระดับความดันเสียงที่ลดลงตามระยะทางของแหล่งกำเนิดเสียงแบบเส้นในพื้นที่โล่ง (ที่มา: http://www.dot.ca.gov/hq/env/noise/online_training_module1/slides/slide54.htm เข้าถึงเมื่อ 1/06/2018)

(3) แหล่งกำเนิดเสียงรวมแบบจุดและแบบเส้น

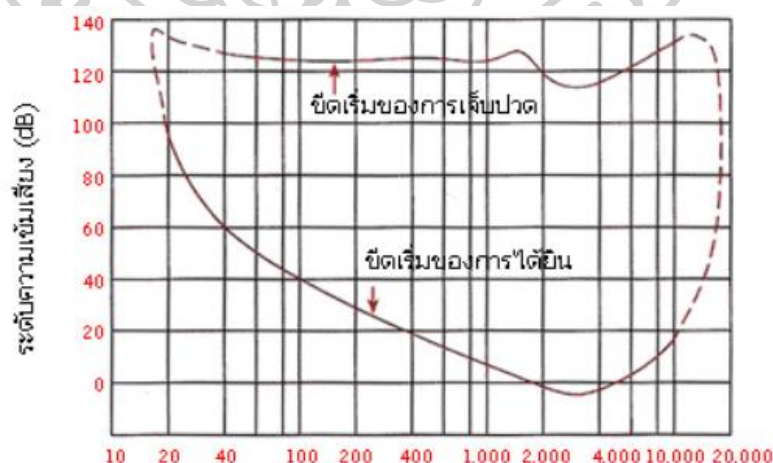
เป็นลักษณะของแหล่งกำเนิดรวมกันระหว่างแบบจุดและแบบเส้น ลักษณะเช่นนี้พบได้โดยทั่วไปในเสียงที่เกิดจากการจราจรบนถนน ด้วยลักษณะการกระจายตัวแบบสุ่มทั้งของรถที่วิ่งมาคันเดียว และที่วิ่งมาเป็นขบวน ทำให้การลดลงของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น 2 เท่า จะมีค่าไม่คงที่ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 3-6 เดซิเบล

อย่างไรก็ตามทฤษฎีการลดระดับความดันเสียง 3-6 เดซิเบลตามระยะห่างจากแหล่งกำเนิดทุก 2 เท่าจะเป็นไปได้ถ้าอากาศอยู่นิ่งอุณหภูมิสม่ำเสมอในที่โล่งไร้สิ่งกีดขวาง ซึ่งเป็นไปได้ยากในธรรมชาติและสภาพแวดล้อมที่คนอาศัยอยู่ เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา และสิ่งก่อสร้างต่างๆในบริเวณที่อยู่อาศัยของคนทำให้เสียงไม่สามารถถูกลดระดับได้มากเท่ากับในทฤษฎีดังกล่าว เนื่องจากความเร็วคลื่นเสียงที่ขึ้นกับคุณสมบัติของตัวกลางในที่นี่คืออากาศ (อธิบายในหัวข้อที่ 2.1.1.)

2.2. การรับรู้เสียงของมนุษย์

2.2.1. ขอบเขตการรับเสียง

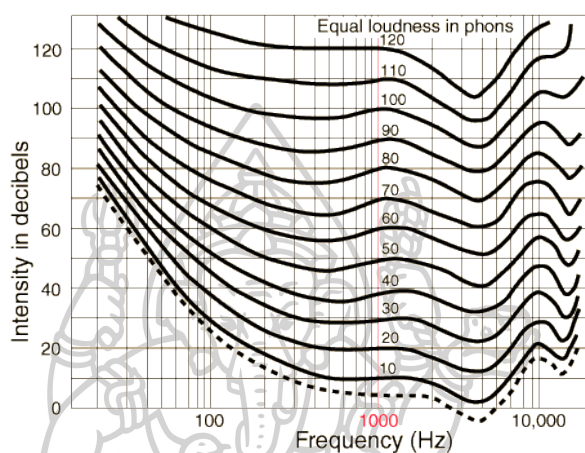
โดยปกติหูของมนุษย์สามารถรับรู้เสียงตั้งแต่ความถี่ 20-20,000 Hz ที่ระดับความเข้มเสียงตั้งแต่ 10^{-12} ถึง 1 วัตต์/ตารางเมตร และระดับความเข้มเสียงตั้งแต่ 0-140 เดซิเบล (ดูรูปที่ 13)



รูปที่ 13 ขอบเขตการได้ยินของมนุษย์

(ที่มา: <http://physic-sound.blogspot.com/2014/07/2.html> เข้าถึงเมื่อ 1/06/2018)

มนุษย์ตอบสนองระดับต่อความดันเสียงที่ความสัมพันธ์กับความถี่เสียง มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง (Non-Linear) หมายความว่าที่ระดับความดันเสียงเดียวกัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่หูจะรับรู้ถึงระดับความดัง (Loudness Level) ที่มีหน่วยเป็น โฟน (Phon) ได้ไม่เท่ากัน ยกเว้นที่ความถี่ 1,000 เฮิรตซ์ ระดับความดังจึงจะมีค่าเท่ากับระดับความดันเสียง (Sound Pressure level) เรียกว่า ความถี่อ้างอิง (Paul N .Cheremisinoff & Peter P. Cheremisinoff, 1978) หรือความถี่กลาง (ดูรูปที่ 14)



รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดันเสียงกับความถี่ และระดับความดัง (ที่มา:http://www.takoi.edu.hk/~phy/studwork/s6gp2_0304_S6_webpage/Acoustics.htm เข้าถึงเมื่อ 29/06/2018)

จากตารางที่ 7 คนสามารถรับรู้ถึงความเปลี่ยนแปลงของระดับความดันเสียงได้เมื่อระดับความดันเสียงมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงประมาณ 5 เดซิเบลเอ ยกตัวอย่างสถานการณ์เมื่อยืนอยู่ในสภาพแวดล้อม ที่มีระดับเสียงพื้นฐาน (Background Noise) เท่ากับ 70 เดซิเบลเอ การสื่อสารที่ทำให้คู่สนทนาสามารถได้ยินชัดเจนนั้นต้องตะโกนด้วยระดับความดันเสียงเท่ากับ 75 เดซิเบลเอ

ตารางที่ 7 การรับรู้ความต่างของเสียงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับความดันเสียง (D. A. Harris, 1991)

ระดับเสียงที่เพิ่มขึ้น (dB)	พลังงานเสียงที่เพิ่มขึ้น (%)	ความรู้สึก
0-3	50	แยกความต่างไม่ออก
4-5	69	เริ่มรู้สึกถึงความต่างของเสียง
7-9	78	รู้สึกความต่างได้ชัดเจน
10	90	รู้สึกถึงความดังเป็นเท่าตัว

2.2.2. ผลกระทบของเสียง

หูซึ่งเป็นอวัยวะการรับเสียงของมนุษย์ ประกอบด้วยกระดูกอ่อนหลายชนิดที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดการสั่นสะเทือนของคลื่นเสียงที่มากกระทบใบหูจนถึงระบบประสาทชั้นในสุดและแปลความหมายไปยังสมอง การรับเสียงที่เกินขอบเขตการรับได้ของร่างกายย่อมเกิดความเสียหายในการบาดเจ็บของอวัยวะการรับฟัง รวมถึงผลกระทบด้านจิตใจและประสิทธิภาพการทำงาน

สาเหตุปัจจัยเกี่ยวกับเสียงที่ส่งผลต่อร่างกายและจิตใจ

(1) ความดัง

ยังมีระดับความดัง (Loudness) มากยิ่งส่งผลเสียต่อร่างกาย ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลกระทบต่อร่างกายเมื่อได้รับระดับความดังเสียงต่างๆ

(ปรีชญา รังสิรักษ์, 2541)

ระดับความดังเสียง (dBA)	ผลกระทบต่อประสาทการได้ยิน
65	เป็นเสียงรบกวน มีผลทำให้ปวดศีรษะ
90	ถ้าอยู่กับระดับเสียงนี้นานเป็นเวลาหลายปีจะทำให้สูญเสียการได้ยิน
100	ทำให้การได้ยินของหูผิดปกติชั่วคราว
120	ปวดแก้วหู
150	หูพิการทันที

(2) ความถี่เสียง

เสียงความถี่ (Frequency) ที่สูงจะมีลักษณะแหลม ที่ระดับความดังเดียวกันเสียงความถี่สูงจะก่อความรู้สึกรำคาญและทำลายประสาทหูได้มากกว่าเสียงความถี่ต่ำ ในขณะที่เสียงความถี่ต่ำจะส่งผลต่อระดับความดันโลหิตและอัตราการเต้นของหัวใจ (สวัสดี โนนสูง & สุธิลา ตูลยะเสถียร, ม.ป.ป.)

(3) ความแปรเปลี่ยน

- การแปรเปลี่ยน (Irregularity) ของระดับความเข้มเสียงสร้างความรำคาญได้มากกว่าการแปรเปลี่ยนของความถี่

- การแปรเปลี่ยนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงนอกจากทำให้เกิดรำคาญแล้วยังทำให้เกิดความหวาดระแวงมากกว่าเสียงที่อยู่กับที่อีกด้วย

(4) ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด

ตามทฤษฎีระดับความเข้มเสียงจะลดลงตามระยะทางทุก 2 เท่าจากแหล่งกำเนิด การอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียงย่อมเกิดผลกระทบทางสภาพแวดล้อมมากกว่าการอยู่ในที่เงียบสงบ

(5) ระยะเวลาสัมผัสเสียง

การรับเสียงที่ระดับความเข้มเสียงหนึ่งที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายเมื่อได้รับในช่วงเวลาสั้นๆ แต่หากได้รับเป็นระยะเวลานานย่อมเป็นอันตรายต่อสุขภาพร่างกาย จึงมีการกำหนดระยะเวลาที่ยอมให้คนรับฟังเสียงที่ระดับความดันเสียงต่างดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ระยะเวลาที่ยอมให้คนรับฟังเสียงในระดับความดันเสียงต่างๆ (D. A. Harris, 1991)

ระดับความดันเสียง (dBA)	ระยะเวลาทำงานต่อวันที่ยอมรับได้ (ชั่วโมง)
85	8
92	6
95	4
97	3
100	2
102	1.5
105	1
110	30 นาที
120	1 นาที

2.2.3. แหล่งกำเนิดเสียงจากการจราจรบนถนน

สำหรับประเทศไทย ปัญหามลภาวะทางเสียงในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลพบว่า มีสาเหตุหลักมาจากการจราจรบนถนน โดยเฉพาะบริเวณถนนที่มีการจราจรหนาแน่นที่มีระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เกิน 70 เดซิเบลเอ มีเพียงชานเมืองรอบนอกเท่านั้นที่มีระดับเสียงเฉลี่ยต่ำกว่า 55 เดซิเบลเอ (กรมควบคุมมลพิษ, 2560)

ตารางที่ 10 ระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่ได้จากสถานีตรวจวัดระดับเสียงบริเวณริมถนนในเขต
กรุงเทพฯ ปี พ.ศ. 2559 (กรมควบคุมมลพิษ, 2560)

จุดตรวจวัด	ระดับเสียง (dBA)			ร้อยละที่วัดได้เกิน ค่ามาตรฐาน 70 dBA
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	
พาหุรัด ถ.ตรีเพชร เขตพระนคร	71.7	75.1	73.5	100
ริมรั้วการเคหะชุมชนดินแดง เขตดินแดง	71.2	84.6	73.2	100
สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย ถ.ลาดพร้าว เขตบางกะปิ	70.4	73.6	71.5	100
สถานีไฟฟ้าย่อยธนบุรี ถ.ลาดพร้าว เขตธนบุรี	68.5	74.6	71.0	92
สนามกีฬาการเคหะชุมชนห้วยขวาง ถ.ประชาสงเคราะห์เขตห้วยขวาง	59.2	84.7	68.7	35
จุดตรวจวัดชั่วคราว				
บ่อมตำรวจแมนศรี ถ.บำรุงเมือง	76.1	84.9	78.2	100
สนง.พลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ถ.วิภาวดีรังสิต	73.0	74.6	73.6	100
บ่อมตำรวจอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ	75.5	84.9	77.2	100
กรมป่าไม้ ถ.พหลโยธิน เขตจตุจักร	73.9	74.8	74.4	100
บ่อมตำรวจสถาบันราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้า ถ.อิสรภาพ	74.8	76.2	75.6	100
บ่อมตำรวจสี่แยกเกษตร ถ.พหลโยธิน	72.4	75.5	73.4	100
บ่อมตำรวจสามแยก ถ.สุขสวัสดิ์-ประชาอุทิศ	76.1	76.8	76.6	100
สถานีตำรวจนครบาลพระขนิ่ง ถ.สุขุมวิท ซอย77	78.2	78.6	78.4	100
บ่อมตำรวจสี่แยกพระรามเก้า ถ.พระรามเก้า	74.2	76.2	75.3	100
บ่อมตำรวจสี่แยก อสมท. ถ.พระรามเก้า	76.4	77.6	77.1	100
บ่อมตำรวจห้าแยกคลองเตย ถ.อาจณรงค์	72.4	75.1	74.0	100
บ่อมตำรวจสี่แยกลำสาละ ถ.รามคำแหง	76.2	78.3	77.7	100
กรมการขนส่งทางบก ถ.พหลโยธิน	70.5	71.3	71.0	100
กรมอุตุนิยมวิทยา ถ.สุขุมวิท เขตบางนา	75.5	76.2	76.0	100
บ่อมตำรวจสี่แยกสาธุประดิษฐ์ ถนนพระราม3	69.3	70.3	69.9	43
บ่อมตำรวจสี่แยกเกียกกาย ถนนสามเสน	74.3	75.3	74.8	100
กรมการขนส่งทางบก ถ.พหลโยธิน	70.5	71.3	71.0	100

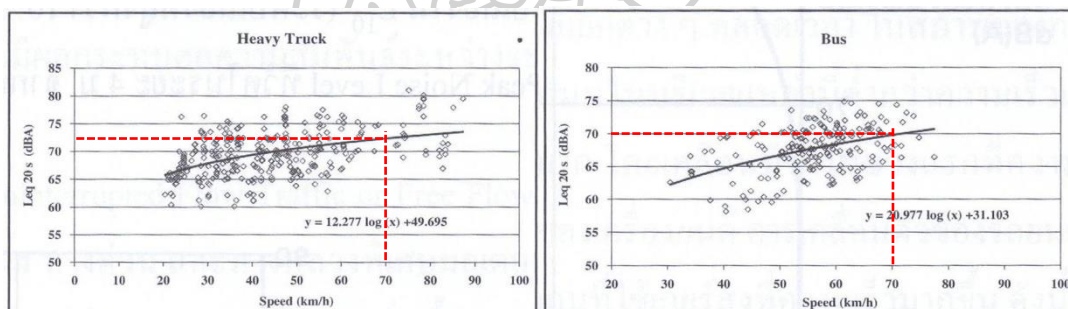
ปัจจัยที่ทำให้ถนนเป็นแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน มี 4 ปัจจัย ได้แก่

(พิชัย ปมาณิกบุตร, 2552)

- ประเภทของรถยนต์
- ปริมาณความเร็วของการจราจร
- พื้นผิวถนน
- ความลาดเอียง

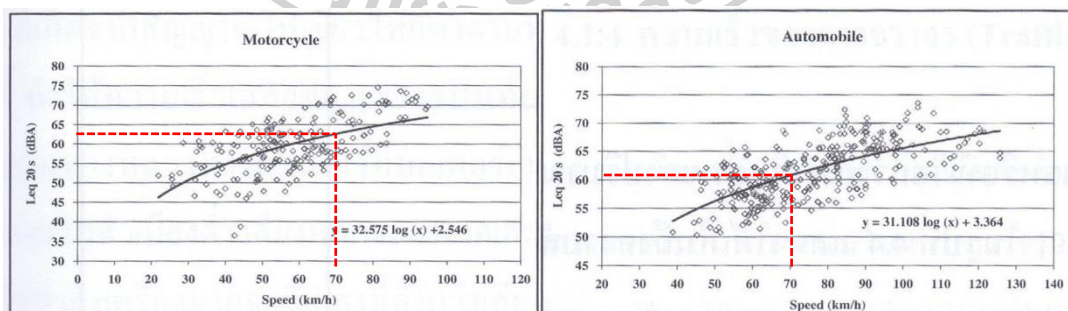
(1) ประเภทของรถยนต์

จากข้อมูลระดับเสียงเฉลี่ยของยานพาหนะประเภทต่างๆในประเทศไทย (พิชัย ปมาณิกบุตร, 2552: 25) ได้แก่ รถบรรทุกทุกสปีด, รถบัส, รถจักรยานยนต์ และรถเก๋ง พบว่า เมื่อเทียบอัตราเร็วเท่ากันที่ 70 กิโลเมตร/ชั่วโมง รถบรรทุกทุกสปีดจะให้เสียงดังเฉลี่ย 72 เดซิเบลเอ (รูปที่ 15-ก) รองลงมาคือรถบัส 70 เดซิเบลเอ (รูปที่ 15-ข) รถจักรยานยนต์ 63 เดซิเบลเอ (รูปที่ 15-ค) และรถยนต์ 61 เดซิเบลเอ (รูปที่ 15-ง) ตามลำดับ



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

รูปที่ 15 ระดับเสียงเฉลี่ยของยานพาหนะประเภทต่างๆในประเทศไทย

(พิชัย ปมาณิกบุตร, 2552)

(2) ปริมาณความเร็วของการจราจร

เสียงที่มาจากปริมาณความเร็วของการจราจรเกิดจากการปะทะกันของอากาศและตัวถัง ยิ่งวิ่งด้วยอัตราเร็วเสียงก็ยิ่งดังมากขึ้น เกิดขึ้นตามเส้นทางจราจรที่มีความต่อเนื่อง ได้แก่ ทางด่วน แต่ถนนในเมืองที่มีจุดรอสัญญาณไฟจราจร เรียกว่า เส้นทางจราจรแบบไม่ต่อเนื่อง เสียงมักเกิดมาจากการทำงานของเครื่องยนต์ ระดับเสียงของทางจราจรแบบไม่ต่อเนื่องจึงขึ้นกับชนิดและจำนวนรถที่ใช้ถนน

(3) พื้นผิวถนน

ถนนในประเทศส่วนใหญ่ยังเป็นถนนคอนกรีตและยางมะตอยซึ่งมีคุณลักษณะที่แน่นและเรียบและเป็นตัวสะท้อนเสียงจากรถยนต์ทำให้ถนนเป็นแหล่งแผ่กระจายเสียงรบกวนไปสู่สภาพแวดล้อมโดยรอบ ในต่างประเทศ การพัฒนาพื้นผิวถนนให้มีรูพรุนนอกจากเพื่อประโยชน์ในการระบายน้ำได้รวดเร็วแล้ว ยังสามารถลดเสียงจากการจราจรลงประมาณ 3-7 เดซิเบลเอ เมื่อเทียบกับพื้นผิวถนนแบบเก่า

(4) ความลาดเอียง

ทางลาดเอียง เช่น เชิงทางขึ้นสะพาน ทำให้เครื่องยนต์เพิ่มกำลังการทำงานมากกว่าปกติ เสียงโดยรวมจะมากขึ้นตามความชันของสะพานที่มากขึ้น และเครื่องยนต์ต้องใช้กำลังในการขึ้นทางลาดมากกว่าการลงจากทางลาด

2.3. เสียงรบกวน

ในประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 29 (พ.ศ.2550) เรื่องค่าระดับเสียงรบกวน ให้ความหมายของเสียงรบกวน ดังนี้

เสียงรบกวน หมายถึง ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดในขณะที่มีการรบกวน ที่มีระดับเสียงสูงกว่าระดับเสียงมาตรฐาน ซึ่งมาจากการคำนวณ และมีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้ ในประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 29 (พ.ศ.2550) (อธิบายในหัวข้อ 2.3.2.)

2.3.1. ระดับเสียงพื้นหลังและค่าเกณฑ์เสียง

(1) ระดับเสียงพื้นหลัง (Background Noise)

การออกแบบสภาพแวดล้อมทางเสียง คือ การออกแบบระดับเสียงพื้นหลังของพื้นที่ๆ ต้องการออกแบบ เรียกว่า Background Noise ค่าระดับเสียงดังกล่าวมีผลต่อความชัดเจนในการสื่อสารของพื้นที่ใช้สอยแต่ละประเภท

หน่วยงานด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมระดับสากล ได้แก่ องค์การอนามัยโลก (WHO) สถาบันมาตรฐานแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (ANSI) สถาบันมาตรฐานระบบงานวิศวกรรม (AHSRAE) และเกณฑ์สำหรับประเมินอาคารอนุรักษ์พลังงานระดับนานาชาติ (LEED) ได้กำหนดระดับเสียง Background Noise ของสภาพแวดล้อมห้องเรียนไว้ ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ระดับเสียงพื้นฐาน (Background noise) ที่เหมาะสมกับห้องเรียน

กิจกรรม	ค่า Background noise สูงสุดที่ยอมรับได้ (dBA)			
	WHO ⁽¹⁾	ANSI ⁽²⁾	AHSRAE ⁽³⁾	LEED ⁽⁴⁾
-ภายในห้องเรียน	35	35	35	35
-ภายนอกอาคาร	55	-	-	60

⁽¹⁾(สวัสดี โนนสูง & สุธิลา ตุลยะเสถียร, ม.ป.ป.), ⁽²⁾(ANSI, 2002)

⁽³⁾(ASHRAE, 2011), ⁽⁴⁾(LEED, 2017)

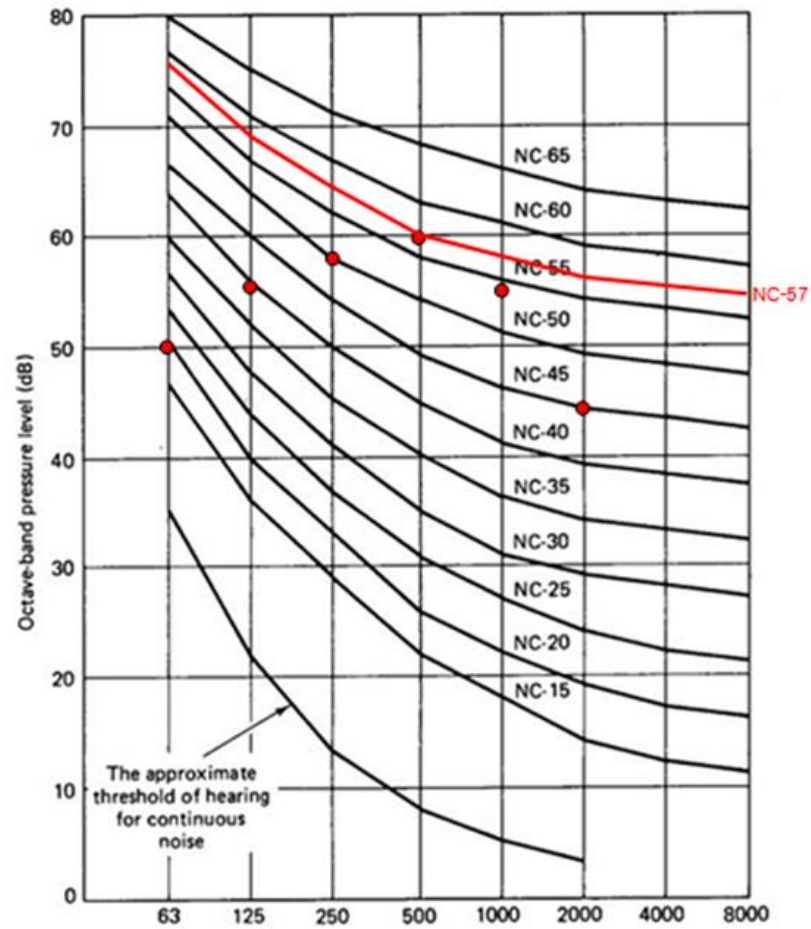
(2) ค่าเกณฑ์เสียง

ค่าเกณฑ์เสียง (Noise Criteria, NC) เป็นค่าเสียงพื้นหลังในการออกแบบห้องที่เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้งานแพร่หลาย ซึ่งมุ่งให้ความสำคัญกับเสียงพื้นฐานที่มาจากเครื่องปรับอากาศซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ต่ำเป็นหลัก (Irvine and Richards, 1998: 12) ดังนั้นจึงมีความแตกต่างกับค่า Background noise ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยระดับเสียงในหน่วยของเดซิเบลเอ และระดับเสียงที่ถูกตรวจวัดอยู่ในช่วงความถี่ปานกลาง

ค่าเกณฑ์เสียงสามารถหาได้จากการกำหนดจุดความสัมพันธ์ระหว่างช่วงความถี่กึ่งกลางและระดับความดันเสียงบนกราฟ NC ยกตัวอย่างชุดข้อมูลของระดับความดันเสียงแยกตามช่วงกึ่งกลางความถี่ ดังนี้ (ปรีชญา รังสิริกซ์, 2541)

ความถี่ศูนย์กลางของแถบคลื่น (Hz)	63	125	250	500	1000	2000
ระดับความดันเสียง (dB)	50	55	58	60	55	45

เมื่อกำหนดจุดความสัมพันธ์บนกราฟ NC (รูปที่ 16) พบว่า ระดับความดันเสียงสูงสุดคือ 58 เดซิเบล จะตรงกับกราฟ NC 57 และถือว่าเป็นค่าเกณฑ์ของห้องนั้น เพื่อที่จะทราบว่าห้องนั้นมีระดับเสียงพื้นฐานที่เหมาะสมกับประเภทการใช้งานหรือไม่ สามารถนำไปเปรียบเทียบในตารางที่ 12 ซึ่งได้มีการระบุค่าเกณฑ์เสียงที่เหมาะสมสำหรับห้องเรียนควรมีค่า NC เท่ากับ 30



รูปที่ 16 ตัวอย่างการหาค่าเกณฑ์เสียงจากกราฟ NC
(ที่มา: ปรีชญา รังสิรักษ์, 2541: 30)

ตารางที่ 12 ค่าเกณฑ์เสียง (NC) และระดับความดันเสียงเฉลี่ย ที่เหมาะสมกับพื้นที่ใช้สอยประเภทต่างๆ (ASHRAE, 2011)

ชนิดของห้องและการใช้งาน		NC	dBA	dBС
โรงเรียน	ห้องเรียนปกติ และห้องสมุด	30	35	60
	ห้องเรียนขนาดใหญ่ (ใช้เครื่องขยายเสียง)	25	30	55
ที่พักอาศัย	พื้นที่พักผ่อน	30	35	60
	ห้องน้ำ และครัว	35	40	60
โรงแรม	ห้องพัก	30	35	60
	ห้องจัดเลี้ยง	30	35	60

ตารางที่ 12 (ต่อ) ค่าเกณฑ์เสียง (NC) และระดับความดันเสียงเฉลี่ย ที่เหมาะสมกับพื้นที่ใช้สอย ประเภทต่างๆ (ASHRAE, 2011)

ชนิดของห้องและการใช้งาน		NC	dBA	dBC
สำนักงาน	ห้องทำงานส่วนตัว	30	35	60
	พื้นที่ทำงานรวม	40	45	65
โรงพยาบาล	ห้องผู้ป่วย	30	35	60
	ส่วนเจ้าหน้าที่พยาบาล	35	40	60

2.3.2. ระดับการรบกวนและการตรวจวัด

(กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

สำหรับประเทศไทย การประเมินระดับเสียงรบกวนเป็นการประเมินโดยพิจารณาที่แหล่งกำเนิดเสียงที่ถูกร้องเรียนโดยประชาชน และพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนนั้น เช่น เสียงรบกวนจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ในบริเวณชุมชน และชุมชนได้รับผลกระทบจากเสียงนั้น โดยยึดตามถือมาตรฐานระดับเสียงรบกวนและวิธีการตรวจวัด จากประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 29 (พ.ศ.2550) เรื่อง ค่าระดับเสียงรบกวน ซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 10 เดซิเบลเอ

ระดับการรบกวน คือ ค่าความแตกต่างระหว่างระดับเสียงขณะมีการรบกวนกับระดับเสียงพื้นฐาน ได้มาจากการคำนวณค่าตรวจวัดระดับเสียงซึ่งจะอธิบายในลำดับถัดไป โดยมีเกณฑ์กำหนดว่า หากระดับการรบกวนมีค่าเกินกว่า 10 dB จะหมายความว่า พื้นที่ชุมชนร้องเรียนได้รับผลกระทบด้านเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ถูกร้องเรียน และต้องมีมาตรการในการปรับปรุงและแก้ไข

ในการหาค่าระดับการรบกวน มีสิ่งที่จะต้องคำนึงและจัดเตรียมในการดำเนินการ ได้แก่

- เครื่องมือที่ใช้ทำการตรวจวัดเสียง
- ตำแหน่งและระยะในการตั้งเครื่องมือวัดระดับเสียง
- การตั้งค่าอุปกรณ์
- ค่าการตรวจวัดเสียงที่เกี่ยวข้องในการคำนวณระดับการรบกวน
- ขั้นตอนการหาค่าระดับการรบกวน

(1) เครื่องมือที่ใช้ทำการตรวจวัดเสียง

ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดเสียง ประกอบด้วย (ดูรูปที่ 17)

- (1.1) เครื่องมือตรวจวัดระดับเสียงตามมาตรฐาน IEC 60807 หรือ IEC 61672
- (1.2) ไมโครโฟน เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับสัญญาณเสียง มีความบอบบาง และต้องระมัดระวังในการบำรุงรักษาอย่างมาก
- (1.3) อุปกรณ์กันลม เพื่อไม่ให้เกิดค่าระดับเสียงที่สูงขึ้นเนื่องจากแรงลมปะทะ และละอองฝน
- (1.4) ขาตั้งเครื่องวัดเสียงปรับความสูงได้ไม่น้อยกว่า 1.2 เมตร
- (1.5) สายสัญญาณเชื่อมต่อไมโครโฟนกับเครื่องวัดเสียง
- (1.6) อุปกรณ์เปรียบเทียบความเที่ยงตรงของเครื่องมือ
- (1.7) อุปกรณ์เสริมอื่นๆ ได้แก่ โปรแกรม คู่มือ สายชาร์จไฟ และแบตเตอรี่



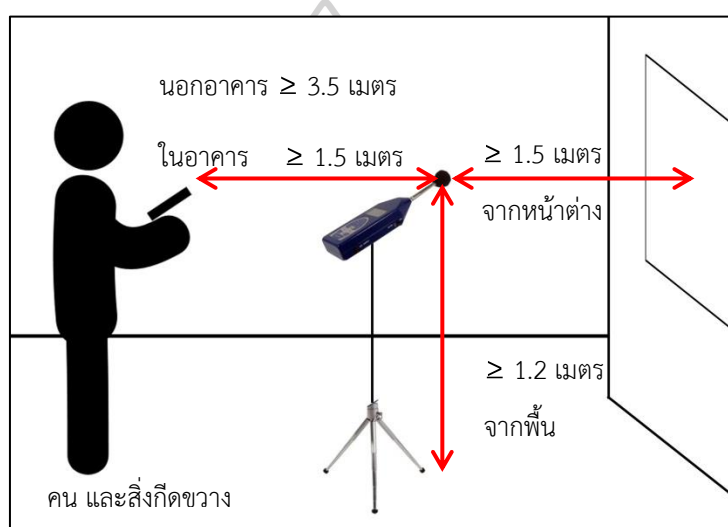
รูปที่ 17 ชุดอุปกรณ์การตรวจวัดเสียง

- (1) เครื่องตรวจวัดและจออ่านค่า (2) ไมโครโฟน (3) อุปกรณ์กันลม (4) ขาตั้ง
- (5) สายสัญญาณ (6) สายชาร์จไฟ (7) โปรแกรม (8) แบตเตอรี่ (9) คู่มือ

(ที่มา: (ก) กรมควบคุมมลพิษ, 2550: 13) (ข) <https://www.pballtechno.com/article>
เข้าถึงเมื่อ 4/07/2561)

(2) ตำแหน่งและระยะในการตั้งเครื่องวัดระดับเสียง

- (2.1) ต้องตั้งเครื่องให้สูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 1.2 เมตร
- (2.2) สำหรับภายนอกอาคาร การตั้งเครื่องวัดเสียงต้องไม่มีสิ่งกีดขวางในรัศมีแนวราบรอบไมโครโฟนเป็นระยะไม่ต่ำกว่า 3.5 เมตร
- (2.3) สำหรับภายในอาคาร การตั้งเครื่องวัดเสียงต้องไม่มีสิ่งกีดขวางในรัศมีแนวราบรอบไมโครโฟนเป็นระยะไม่ต่ำกว่า 1 เมตร และห่างจากช่องหน้าต่างไม่ต่ำกว่า 1.5 เมตร



รูปที่ 18 ระยะในการติดตั้งเครื่องวัดระดับเสียง

(3) การตั้งค่าอุปกรณ์

- (3.1) เลือกการถ่วงน้ำหนักแบบ A
- (3.2) เลือกความไวต่อปรับเสียงระดับ Fast

(4) ค่าการตรวจวัดเสียงที่เกี่ยวข้องในการคำนวณระดับการรบกวน

ในการคำนวณระดับการรบกวน มีค่าจากการตรวจวัดระดับเสียงที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 3 ค่า ดังนี้

- ระดับเสียงของแหล่งกำเนิด และระดับเสียงขณะมีการรบกวน
- ค่าระดับเสียงขณะไม่มีการรบกวน
- ค่าระดับเสียงพื้นฐาน

(4.1) ระดับเสียงของแหล่งกำเนิด และระดับเสียงขณะมีการรบกวน

ปกติค่าระดับเสียงของแหล่งกำเนิดที่ร้องเรียนจะมีการปะปนรวมกับเสียงในสภาพแวดล้อมอื่นๆด้วย เรียกว่า “ค่าระดับเสียงของแหล่งกำเนิด” ในการคำนวณต้องนำค่านี้อ่านขั้นตอนการตัดเสียงสภาพแวดล้อมออกไปซึ่งจะถูกนำมาอธิบายในขั้นตอนการคำนวณ ค่าที่ได้เรียกว่า “ระดับเสียงขณะมีการรบกวน” โดยทำการตรวจวัดเป็นค่าระดับเสียงเฉลี่ย 5 นาที หรือ 1 ชั่วโมง ขึ้นกับระยะเวลาที่เกิดเสียง

(4.2) ค่าระดับเสียงขณะไม่มีการรบกวน

ค่าระดับเสียงขณะไม่มีการรบกวน เป็นการตรวจวัดค่าระดับเสียงเฉลี่ยในขณะที่แหล่งกำเนิดเสียงไม่มีการดำเนินการ แต่ในกรณีที่แหล่งกำเนิดเสียงมีการก่อเสียงรบกวนตลอดเวลาไม่สามารถหยุดการดำเนินการได้ ได้แก่ การจราจรบนถนน ให้ผู้ตรวจวัดทำการตรวจวัดจากสภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกันและอยู่บริเวณเดียวกันแต่ไม่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดเสียงนั้น เช่น อาคารที่ร้องเรียนตั้งอยู่ริมถนน ให้ทำการตรวจวัดในอาคารที่มีลักษณะคล้ายกันบริเวณเดียวกัน แต่ไม่ได้ตั้งอยู่ริมถนน เป็นต้น การตรวจวัดให้ตรวจวัดเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 5 นาที

(4.3) ค่าระดับเสียงพื้นฐาน

ค่าระดับเสียงพื้นฐาน หรือ Background noise level ในที่นี้มาจากการตรวจวัดในรูปแบบของค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90 โดยทำการตรวจวัดเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 5 นาที

(5) ขั้นตอนการหาค่าระดับการรบกวน

เมื่อทำการตรวจวัดค่าระดับเสียงที่เกี่ยวข้องตามที่กล่าวมาแล้ว ต่อมาคือการเข้าสู่ขั้นตอนการคำนวณซึ่งมีหลายวิธีให้เลือกใช้แบ่งตามกรณีลักษณะการเกิดเสียงรบกวน

ในการศึกษาครั้งนี้จัดอยู่ในกรณีแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนคือทางจราจรบนถนนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเสียงที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานมากกว่า 1 ชั่วโมง หรือไม่สามารถหยุดการก่อเกิดเสียงได้ และกำหนดให้พื้นที่หรืออาคารที่ทำการตรวจวัดเสียงเป็นอาคารประเภทที่ต้องการความสงบเงียบ สามารถอธิบายได้เป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 นำระดับเสียงของแหล่งกำเนิด ลบด้วยระดับเสียงขณะไม่มีการรบกวน ผลที่ได้เรียกว่า “ผลต่างค่าระดับเสียง”

ขั้นที่ 2 นำผลต่างค่าระดับเสียง มาหาตัวปรับค่า จากตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ตารางปรับค่าระดับเสียงสำหรับการหาค่าระดับเสียงรบกวน

ผลต่างของระดับเสียง (dBA)	ตัวปรับค่าระดับเสียง (dBA)
น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.4	7.0
1.5 – 2.4	4.5
2.5 – 3.4	3.0
3.5 – 4.4	2.0
4.5 – 6.4	1.5
6.5 – 7.4	1.0
7.5 – 12.4	0.5
มากกว่าหรือเท่ากับ 12.5	0

ขั้นที่ 3 นำตัวปรับค่า ลบออกจาก ระดับเสียงของแหล่งกำเนิด ผลที่ได้คือ “ระดับเสียงขณะมีการรบกวน” ในขั้นตอนนี้หากเป็นการตรวจวัดสถานที่ที่ต้องการความเงียบสงบ ได้แก่ โรงเรียน, โรงพยาบาล และศาสนสถาน จะต้องบวกเพิ่มขึ้นอีก 3 เดซิเบลเอ

ขั้นที่ 4 นำระดับเสียงขณะมีการรบกวนลบออกด้วยระดับเสียงพื้นฐาน ผลที่ได้คือ “ระดับการรบกวน”

ขั้นที่ 5 นำระดับการรบกวนมาพิจารณาว่ามีค่ามากกว่าค่ามาตรฐาน 10 เดซิเบลเอหรือไม่ หากมีค่ามากกว่าจะถือว่าพื้นที่นั้นมีระดับการรบกวนเกินกว่ากำหนด

2.4. การควบคุมเสียงรบกวน

การเกิดเสียงรบกวนเกิดจากองค์ประกอบ 3 ประการ ที่ต้องพิจารณาวิธีการในการควบคุมและป้องกันการเกิดเสียงรบกวน ดังนี้ (D. A. Harris, 1991)

การควบคุมที่แหล่งกำเนิดเสียง

การควบคุมที่แหล่งกำเนิดเสียง (Sound Source) พบได้ในระบบอุตสาหกรรมและเครื่องจักรกล การควบคุมเสียงรบกวนเป็นการควบคุมเสียงรบกวนที่เกิดจากการสั่นสะเทือนผ่านโครงสร้าง (Structure Borne Sound) โดยการปิดล้อมแหล่งกำเนิดเสียงนั้นให้ได้มากที่สุด การควบคุมที่องค์ประกอบนี้จะเกิดประสิทธิผลในการควบคุมเสียงรบกวนมากที่สุด

การควบคุมที่ผู้รับเสียง

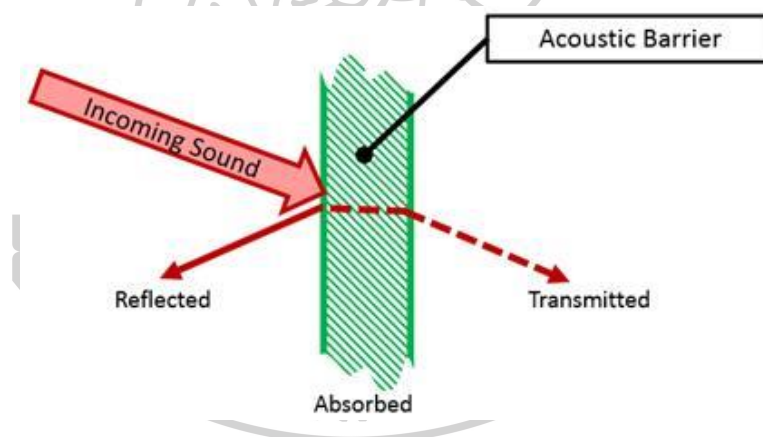
ผู้รับเสียง (Sound Receiver) หมายถึง ผู้ที่ต้องทำงานหรืออาศัยใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียง การควบคุมคือการป้องกันอันตรายจากเสียงรบกวน เช่น การใส่อุปกรณ์ป้องกันที่หูของผู้รับเสียง การควบคุมที่องค์ประกอบนี้จะเกิดประสิทธิผลในการควบคุมเสียงน้อยที่สุด

การควบคุมเส้นทางเดินของเสียง (Sound Path)

ในบางครั้งการควบคุมที่แหล่งกำเนิดเสียงอาจเป็นไปได้ลำบาก เช่น การกันเสียงจากทางจราจรบนถนนในเมือง การควบคุมที่เส้นทางเดินของเสียงก่อนถึงผู้รับเสียงที่อาจเป็นผู้อยู่อาศัยในอาคารที่ตั้งอยู่ริมถนน สามารถควบคุมโดยการการเลือกที่ตั้ง, การออกแบบสภาพแวดล้อม และการป้องกันโดยใช้สิ่งก่อสร้างหรือองค์ประกอบอาคารได้ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะเน้นการควบคุมเสียงรบกวนที่องค์ประกอบนี้เป็นหลัก

เมื่อเสียงเดินทางเข้าสู่อาคาร จะพบพฤติกรรมของเสียง 3 รูปแบบ (ดูรูปที่ 19) ได้แก่

- เสียงที่สะท้อนออกเมื่อกระทบกับโครงสร้างอาคาร (Reflected Sound)
- เสียงที่ดูดกลืนเข้าไปในโครงสร้างอาคาร (Absorbed Sound)
- เสียงที่แทรกผ่านไปยังอีกด้านของผนังอาคาร (Transmitted Sound)



รูปที่ 19 พฤติกรรมของเสียงเมื่อเดินทางเข้าสู่อาคาร

(ที่มา : <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/Testing-Knowledge-Base/Sound-Absorption> เข้าถึงเมื่อ 29/03/2018)

พฤติกรรมของเสียงเมื่อกระทบผนังอาคารแสดงให้เห็นว่า โครงสร้างผนังอาคารความสามารถในการดูดซับเสียง และลดระดับเสียงที่ผ่านโครงสร้างเข้ามาได้ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะถูกระบุในรูปแบบค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งเป็นค่าบ่งชี้ที่ได้จากการทดสอบในห้องทดลองทางด้านเสียง ได้แก่

- ความสามารถในการดูดกลืนเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC)
- ความสามารถในการลดเสียงผ่านผนัง (Sound Transmission Coefficient, STC)

2.4.1. ความสามารถในการดูดกลืนเสียง

ความสามารถในการดูดกลืนเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) เป็นค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ได้จากการทดสอบในห้องทดลองซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุ โดยมีได้หมายถึงคุณสมบัติการสะท้อนของวัสดุแต่อย่างใด

ในการทดสอบจะกระทำภายใต้ช่วงกึ่งกลางความถี่เสียงที่ 125, 250, 500, 1000, 2000 และ 4,000 เฮิรตซ์ แต่ในการนำไปใช้เพื่อการออกแบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม ค่า NRC จะได้มาจากค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงที่ 4 ช่วงกึ่งกลางความถี่ คือ 250, 500, 1000, 2000 เฮิรตซ์ เท่านั้น โดยค่าเฉลี่ยที่ได้ต้องถูกประมาณค่าเข้าใกล้ 0.05 (Irvine & Richards, 1998) ดังแสดงในตัวอย่างการค่า NRC ของวัสดุชนิดหนึ่ง ดังนี้

ตัวอย่าง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุชนิดหนึ่งตามช่วงกึ่งกลางความถี่

ช่วงกึ่งกลางความถี่ (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α)	0.22	0.45	0.67	0.74	0.82	0.69

จากข้อมูล สามารถหาค่า NRC จากช่วงกึ่งกลางความถี่ที่ 250, 500, 1000, 2000 เฮิรตซ์

$$\begin{aligned} \text{NRC} &= \frac{0.45 + 0.67 + 0.74 + 0.82}{4} \\ &= 0.67 \end{aligned}$$

$$\text{NRC} = 0.65 \text{ (จากการประมาณค่าเข้าใกล้ 0.05)}$$

ผู้ออกแบบสามารถประเมินคุณภาพการดูดซับเสียงโดยพิจารณาคุณลักษณะที่บ่งชี้จากค่า NRC ที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 คุณลักษณะที่บ่งชี้ตามค่า NRC ที่แตกต่างกัน และตัวอย่างวัสดุ

ที่มา: Handbook of Environmental Acoustics. อ้างถึงใน (วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์, 2558)

คุณลักษณะการดูดกลืนเสียง	NRC	ชนิดวัสดุ
ดูดกลืนได้มาก	1.0	วัสดุที่ออกแบบเพื่อการดูดกลืนเสียงอย่างดี โดยเฉพาะ
	0.9	
	0.8	

ตารางที่ 14 (ต่อ) คุณลักษณะที่บ่งชี้ตามค่า NRC ที่แตกต่างกัน และตัวอย่างวัสดุ
ที่มา: Handbook of Environmental Acoustics. อ้างถึงใน (วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์, 2558)

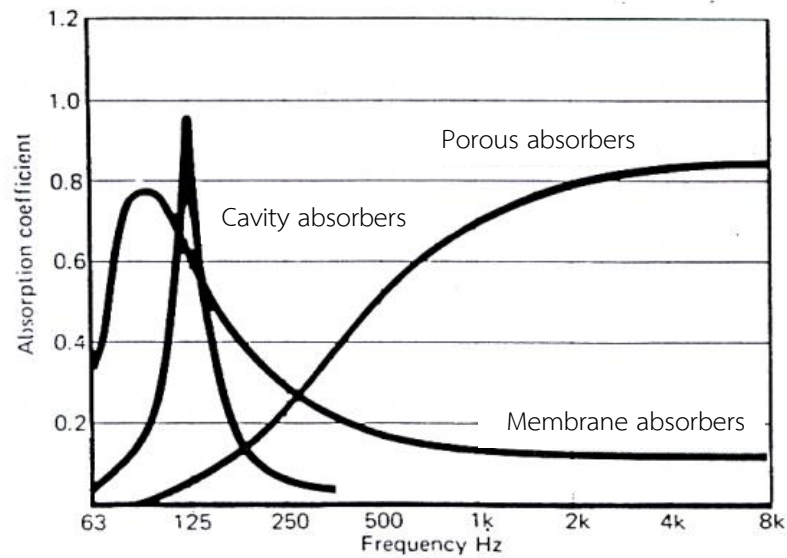
คุณลักษณะการดูดกลืนเสียง	NRC	ชนิดวัสดุ
ดูดกลืนได้มาก	0.7 0.6 0.5	แผ่นกระเบื้องที่มีความพรุนเหมือนฟองน้ำ เฟอร์นิเจอร์ที่หุ้มด้วยฟองน้ำ ม่านชนิดหนาที่ใช้ตามโรงละคร พรมพรม
ดูดกลืนได้ปานกลาง	0.4 0.3 0.2	พรมพรม เฟอร์นิเจอร์ที่ทำจากไม้หรือโลหะ พรมชนิดบางที่ปูบนพื้นคอนกรีต
ไม่ดูดกลืน(สะท้อน)	0.1 0	ผนังกระจก หน้าต่างกระจก พื้นผิวเรียบ คอนกรีตผิวเรียบ, ผนังอิฐทาสี, กระเบื้องหินอ่อน

ประเภทของวัสดุดูดซับเสียง

มีการแบ่งประเภทของวัสดุดูดซับเสียงโดยพิจารณาพฤติกรรมการลดเสียงที่ตอบสนองตามความถี่ที่ต่างกัน จำแนกออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

- Porous Absorbers
- Resonant Absorbers
- Panel Absorbers

รูปที่ 21 แสดงการดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงประเภทต่าง ซึ่งจะเห็นว่าแต่ละประเภทมีการดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่ที่ต่างกัน ได้แก่ วัสดุพรุน (Porous Absorbers) ดูดซับเสียงในช่วงความถี่สูง ส่วนวัสดุที่มีโพรงภายใน (Cavity Absorbers) และวัสดุแผ่นบาง (Membrane Absorbers) จะดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่ต่ำ

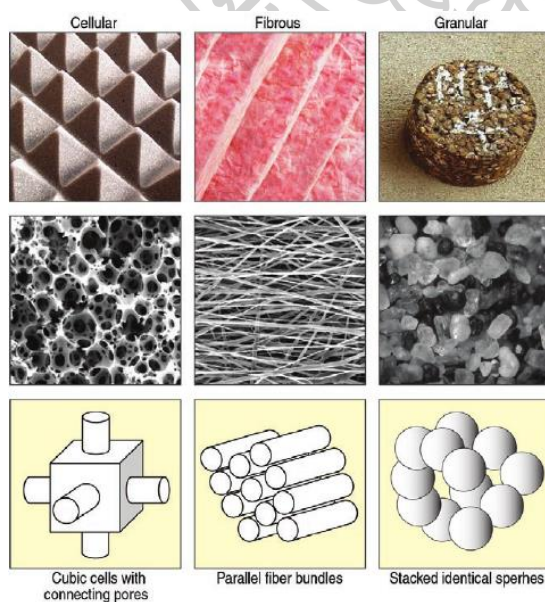


รูปที่ 20 กราฟการดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงประเภทต่างๆ

(ที่มา: Sound Research Laboratories Ltd., 1991 อ้างถึงใน (บุรฉัตร วิริยะ, 2544)

(1) Porous Absorbers

เป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้นใย มีรูพรุน หรือมีความหนาแน่นต่ำ ได้แก่ โยแก้ว (Glass Fiber) และวัสดุประเภทโฟม (Foam) เป็นต้น (D. A. Harris, 1991) เหมาะสำหรับการดูดกลืนเสียงในช่วงความถี่สูง (Irvine & Richards, 1998)



รูปที่ 21 ลักษณะของวัสดุดูดซับเสียงประเภท Porous Absorbers

(ที่มา: Arenas and Crocker, 2015: 13)

การปรับปรุงประสิทธิภาพให้กับเสียงช่วงความถี่ต่ำสามารถทำได้โดยการเว้นช่องอากาศระหว่างพื้นโครงสร้างกับวัสดุดูดซับเสียง (Irvine & Richards, 1998)

(2) Resonant Absorbers / Cavity Absorbers

เป็นวัสดุดูดซับเสียงที่ประกอบด้วยช่องขนาดเล็กด้านหน้าเชื่อมกับโพรงอากาศขนาดใหญ่ภายใน ที่ออกแบบตามหลักการของเฮล์มโฮลทซ์ (Helmholtz) คือ เมื่อเสียงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าขนาดช่องจะเกิดการหักเหแบบหักล้างกันภายในโพรงอากาศ ดังนั้นวัสดุดูดซับเสียงประเภทนี้จึงถูกออกแบบมาให้มีความเฉพาเจาะจงกับช่วงความถี่อย่างแคบเท่านั้นและอยู่ในช่วงความถี่ต่ำ (D. A. Harris, 1991) การออกแบบโพรงอากาศสำหรับการดูดกลืนเสียงสามารถคำนวณได้โดยสมการที่ 6 ดังนี้ (อิษญา แก้วประเสริฐ, 2549) (ดูรูปที่ 22)

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{VL}} \quad (\text{สมการที่ 6})$$

เมื่อ f คือ ความถี่ (Hz)

C คือ ความเร็วเสียงในอากาศ (m/s)

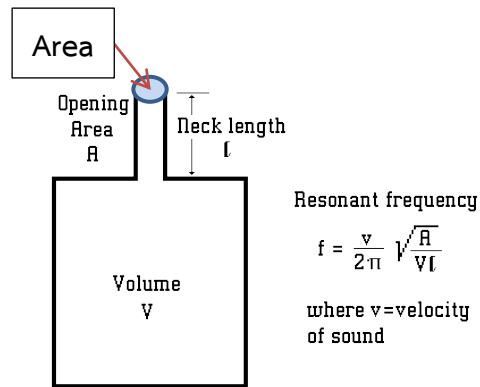
A คือ พื้นที่ทางเข้าโพรง (m^2)

V คือ ปริมาตรของโพรง (m^3)

L คือ ความยาวของท่อเข้าสู่โพรง (m)

วัสดุดูดซับเสียงประเภท Resonant Absorbers ที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง ได้แก่ คอนกรีตบล็อกชนิดมีโพรงดูดซับเสียง (Acoustics Blocks) (ดูรูปที่ 23-ก) วัสดุดูดซับเสียงประเภทนี้หากมีการเพิ่มวัสดุพุนลงไปโพรงด้านในจะทำให้มีความสามารถในการดูดกลืนเสียงในช่วงความถี่ที่กว้างขึ้น

ที่มา: Yerges LF, 1969, อ้างถึงใน (บุรฉัตร วิริยะ, 2544) (ดูรูปที่ 23-ข)



รูปที่ 22 โพรงดูดซับเสียงตามหลักการของ Helmholtz

https://people.seas.harvard.edu/~jones/cscie129/nu_lectures/lecture3%20%20ho_helmholtz/ho_helmholtz.html



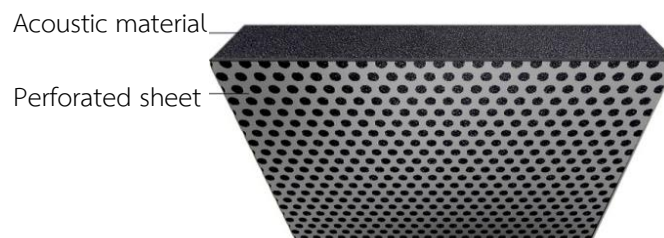
(ก) acoustics blocks

(ข) acoustics blocks with Porous absorbers

รูปที่ 23 คอนกรีตบล็อกชนิดมีโพรงดูดซับเสียง

Perforated Absorbers

เป็นวัสดุดูดซับเสียงที่รวมระหว่างวัสดุประเภท Porous Absorbers และ Resonant Absorbers ประยุกต์เข้าด้วยกัน ประกอบด้วย แผ่นวัสดุที่มีรูกระจายทั่วแผ่น (Perforated Sheet) ซ้อนทับบนวัสดุดูดซับเสียงชนิดเส้นใยหรือรูพรุน โดยมีโพรงอากาศอยู่ระหว่างกลาง (ดูรูปที่ 24) เหมาะสำหรับการดูดกลืนเสียงในช่วงความถี่ปานกลาง (D. A. Harris, 1991)



รูปที่ 24 ลักษณะวัสดุดูดซับเสียงประเภท Perforated absorbers

(ที่มา: <https://www.graepels.com/latest-news/architectural-mesh-and-perforated-sheets/> เข้าถึงเมื่อ 29/06/2018)

ความสัมพันธ์ของความถี่ที่ขึ้นกับความหนาแผ่น, พื้นที่-ขนาดของรู และขนาดของโพรงอากาศแสดงตามสมการที่ 7 ดังนี้ (วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์, 2558)

$$f = 54 \sqrt{\frac{p}{d(e + 0.8a)}} \quad (\text{สมการที่ 7})$$

- เมื่อ f คือ ความถี่ (Hz)
 p คือ ร้อยละขนาดพื้นที่รูบนแผ่นวัสดุ (%)
 e คือ ความหนาของ Perforated Sheet (m.)
 d คือ ขนาดโพรงอากาศ (m.)
 a คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรู (m.)

(3) Panel absorbers / Membrane absorbers

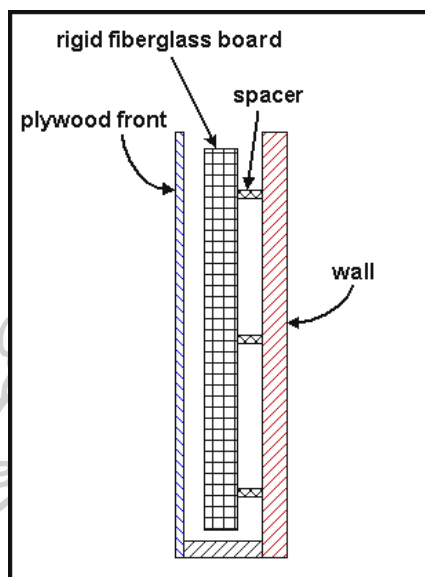
วัสดุประเภทนี้ประกอบด้วยแผ่นวัสดุ ได้แก่ ไม้อัด (Plywood) ใยไม้อัดแข็ง (Hardboard) หรือ แผงพลาสติก (Solid Plastic Panel) และมีการเว้นระยะช่องอากาศ (Airspace) หรือวัสดุดูดซับเสียงที่ด้านหลัง (ดูรูปที่ 25) ตอบสนองในช่วงความถี่แคบ เหมาะสำหรับการดูดกลืนเสียงในช่วงความถี่ต่ำ

วัสดุประเภทนี้จะมีค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพการดูดซับเสียงต่ำกว่าชนิดอื่น ๆ เนื่องจากผิววัสดุที่ความหนาแน่นและเสียงส่วนใหญ่จะถูกสะท้อนออกไป (Irvine and Richards, 1998: 22) ความสัมพันธ์ของความถี่ที่ขึ้นกับมวลของแผ่นวัสดุและระยะของช่องอากาศแสดงตามสมการ 8 ดังนี้ (วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์, 2558)

$$f = \frac{60}{\sqrt{m \times d}} \quad (\text{สมการ 8})$$

- เมื่อ f คือ ความถี่ (Hz)
 m คือ มวลของแผ่นวัสดุ (kg/m^2)
 d คือ ระยะช่องอากาศ (m.)

การนำวัสดุดูดซับเสียงชนิด Membrane Absorbers มาทำงานร่วมกับวัสดุพรุน (Porous Absorbers) จะทำให้ความสามารถในการดูดกลืนเสียงลดลง แต่สามารถครอบคลุมการดูดกลืนเสียงในช่วงความถี่ที่กว้างขึ้น ที่มา: Walker MB, 1995, อ้างถึงใน (บุรฉัตร วิริยะ, 2544)



รูปที่ 25 ลักษณะวัสดุดูดซับเสียงประเภท Panel absorbers (ที่มา: <http://johnsayers.com/Recmanual/Pages/Low%20Frequencies.htm> 29/06/2018)

ตารางที่ 15 ตัวอย่างค่า NRC ของวัสดุก่อสร้างทั่วไป
ที่มา: ^(a) (D. A. Harris, 1991), ^(b) (ปรีชญา รังสิรักษ์, 2541), ^(c) (Cavanaugh & Wilkes, 1999)

วัสดุ	ความถี่ (Hz)							
	125	250	500	1000	2000	4000	NRC	
ผนัง								
1 ^(a)	ผนังอิฐ (ไม่ฉาบ, ทาสี)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00
2 ^(a)	ผนังอิฐ (ไม่ฉาบ)	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.05
3 ^(a)	ผนังคอนกรีตบล็อก (ทาสี)	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.05
4 ^(a)	พื้นคอนกรีต	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00
5 ^(a)	พื้นไม้	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.05
6 ^(a)	พรม 3 มม.	0.05	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.15
7 ^(a)	พรม 6 มม.	0.05	0.10	0.15	0.30	0.50	0.55	0.25

ตารางที่ 15 (ต่อ) ตัวอย่างค่า NRC ของวัสดุก่อสร้างทั่วไป

ที่มา: ^(a) (Harris, 1991: 148), ^(b) (ปรีชญา รังสิรักษ์, 2541: 106), ^(c) 14 (Cavanaugh, 1999: 78)

วัสดุ		ความถี่ (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	NRC
ประตู-หน้าต่าง								
8 ^(b)	กระจก 6 มม.	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.05
9 ^(a)	กระจก 3 มม.	0.27	0.16	0.06	0.08	0.13	0.18	0.10
10 ^(b)	แผ่นเหล็ก 4 มม.	0.04	0.03	0.04	0.08	0.13	0.18	0.05
11 ^(a)	ไม้อัด 6 มม.	0.03	0.03	0.07	0.15	0.21	0.25	0.10
ฝ้าเพดาน								
12 ^(a)	ยิปซัมบอร์ดแผ่นหยาบ	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.05
13 ^(a)	ยิปซัมบอร์ดแผ่นเรียบ	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05
14 ^(c)	แผ่นฝ้าใยแก้ว 1 นิ้ว	0.55	0.89	0.73	0.99	0.99	0.99	0.90

นอกจากนี้ ยังมีหลายงานวิจัยที่สนใจการคิดค้นแผ่นดูดซับเสียงจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อหวังให้เป็นวัสดุทดแทนผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาด ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศและมีราคาสูง ได้แก่ งานวิจัยเรื่องการดูดซับเสียงของแผ่นฝ้าเพดานแกลบ (รัฐวุฒิ ยอดแก้ว, โสภภาพรรณ แสงศัพท์, & สิงห์ อินทรชูโต, ม.ป.ป.) โดยใช้วัสดุแกลบเหลือจากการเกษตรมาพัฒนาเป็นแผ่นวัสดุดูดซับเสียงโดยใช้กาวผงเป็นวัสดุประสาน พบว่ามีค่าการดูดซับเสียงเฉลี่ยเทียบเท่ากับฉนวนใยแก้ว และมากกว่ายิปซัมบอร์ดที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด โดยจะมากกว่าฉนวนใยแก้วในช่วงความถี่ต่ำ (31.5-250 Hz) และความถี่ปานกลาง (251-2000 Hz)

นอกจากนี้การผสมเส้นใยจากวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ กากมะพร้าว และกากเยื่อไผ่ปาล์ม เข้ากับวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ แม้ว่าจะทำให้วัสดุมีความสามารถในการรับน้ำหนักลดลงแต่กลับช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับเสียงเป็นไปตามอัตราส่วนวัสดุต่อไฟเบอร์ซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย (ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์, 2558) นอกจากนี้การใช้วัสดุทดแทนจากกากมะพร้าวมีต้นทุนต่ำกว่าการใช้วัสดุจากใยแก้วถึง 4 เท่า (บุรฉัตร วิริยะ, 2544)

เวลากังวาน

เวลากังวาน (Reverberation Time, RT) คือ ระยะเวลาที่เสียงใช้ในการลดระดับความดันเสียงลง 60 เดซิเบล หลังจากแหล่งกำเนิดได้หยุดส่งเสียงไปแล้ว (Cavanaugh & Wilkes, 1999) โดยมีหน่วยเป็นวินาที

โดยปกติมนุษย์จะสามารถแยกแยะเสียงที่สะท้อนกลับมายังหูที่ต่างเวลากันได้ ต่อเมื่อเสียงเดินทางเข้าสู่หูที่เวลาต่างกันมากกว่า 0.1 วินาที ทำให้สามารถได้ยินปรากฏการณ์เสียงสะท้อนหรือ เอคโค่ (Echo) ค่า RT จึงมีความสำคัญในการออกแบบความกังวานของเสียงในสภาพแวดล้อมซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาตรของห้อง การเลือกใช้วัสดุดูดซับเสียงที่มีค่า NRC ต่างๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 9 (สมรรถ บุนยรัตพันธ์, ม.ป.ป.)

$$RT = 0.165 V / A \text{ วินาที} \quad (\text{สมการที่ 9})$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของห้อง (m^3)
 A คือ ค่าการดูดกลืนเสียงรวม
 โดย $A = (a_1\alpha_1 + a_2\alpha_2 + \dots + a_n\alpha_n)$
 a_n คือ พื้นที่ของผนัง พื้น หรือเพดาน แต่ละด้านรอบๆห้อง (m^2)
 α_n คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของพื้นที่ผิว

ค่า RT ที่เหมาะสมกับการใช้งาน ขึ้นกับปริมาตรและวัสดุประสงค์ในการใช้งานห้อง ซึ่งส่งผลต่อความรู้สึกของผู้ฟัง เช่น โบสถ์ มีค่า RT ประมาณ 1.4-3.4 วินาที ทำให้เสียงสวดมนต์มีความก้องกังวาน มีผลให้ผู้ฟังเกิดความสงบและเยือกเย็น ในขณะที่ห้องบันทึกเสียงมีค่า RT ประมาณ 0.4-0.6 วินาที ซึ่งทำให้เสียงที่บันทึกได้มีความคมและชัดเจน (สมรรถ บุนยรัตพันธ์, ม.ป.ป.: 2/11) สำหรับสภาพแวดล้อมห้องเรียนที่มีปริมาตรไม่เกิน 20,000 ลูกบาศก์ฟุต หรือ 566 ลูกบาศก์เมตร มีค่า RT อยู่ระหว่าง 0.6-0.7 วินาที (ANSI S12.60-2002: 5) ดูตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่า Reverberation time สำหรับห้องเรียน (ที่มา: ANSI S12.60-2002: 5)

ปริมาตรห้องเรียน	Reverberation time (วินาที)
น้อยกว่า 283 m^3 (10,000 ft^3)	0.6
ระหว่าง 283 ถึง 566 m^3 (10,000-20,000 ft^3)	0.7

2.4.2. ความสามารถในการลดเสียงผ่านผนัง

ในการทดสอบคุณสมบัติการป้องกันเสียงของวัสดุจะกระทำในห้องทดลอง ประกอบด้วยห้องจำนวน 2 ห้อง ได้แก่ ห้องที่ติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียง และห้องที่ใช้เพื่อการตรวจวัดประสิทธิภาพผนังห้องเป็นคอนกรีตหนาเพื่อป้องกันเสียงจากภายนอก โดยระหว่างกลางของทั้งสองห้องมีไว้สำหรับติดตั้งวัสดุที่ต้องการทำการทดสอบ เครื่องตรวจวัดเสียงที่ติดตั้งไว้ในทั้งสองห้องจะตรวจวัดเสียงโดยแยกตามความถี่ตั้งแต่ 100-5,000 เฮิรตซ์ จากนั้นจึงจะทราบค่าระดับเสียงที่ลดลง (Noise reduction, NR) เพื่อนำมาคำนวณระดับเสียงที่ลดลงเมื่อเสียงทะลุผ่านผนัง (Sound Transmission Loss, TL) จากสมการที่ 10 ดังนี้ (Irvine & Richards, 1998)

$$\begin{aligned}
 TL &= NR + 10 \log S - 10 \log A && \text{(สมการที่ 10)} \\
 &= L_S - L_R + 10 \log S - 10 \log A \\
 &= L_S - L_R + 10 \log S/A
 \end{aligned}$$

- เมื่อ L_S คือ ระดับเสียงแหล่งกำเนิด (source room), dB
 L_R คือ ระดับเสียงในห้องรับเสียง (receiving room), dB
 S คือ ขนาดพื้นที่วัสดุที่นำมาทดสอบ, m^2
 A คือ ค่าการดูดซับเสียงรวมของห้องรับเสียง



รูปที่ 26 ลักษณะของห้องที่ใช้ทดสอบค่า TL ของวัสดุ

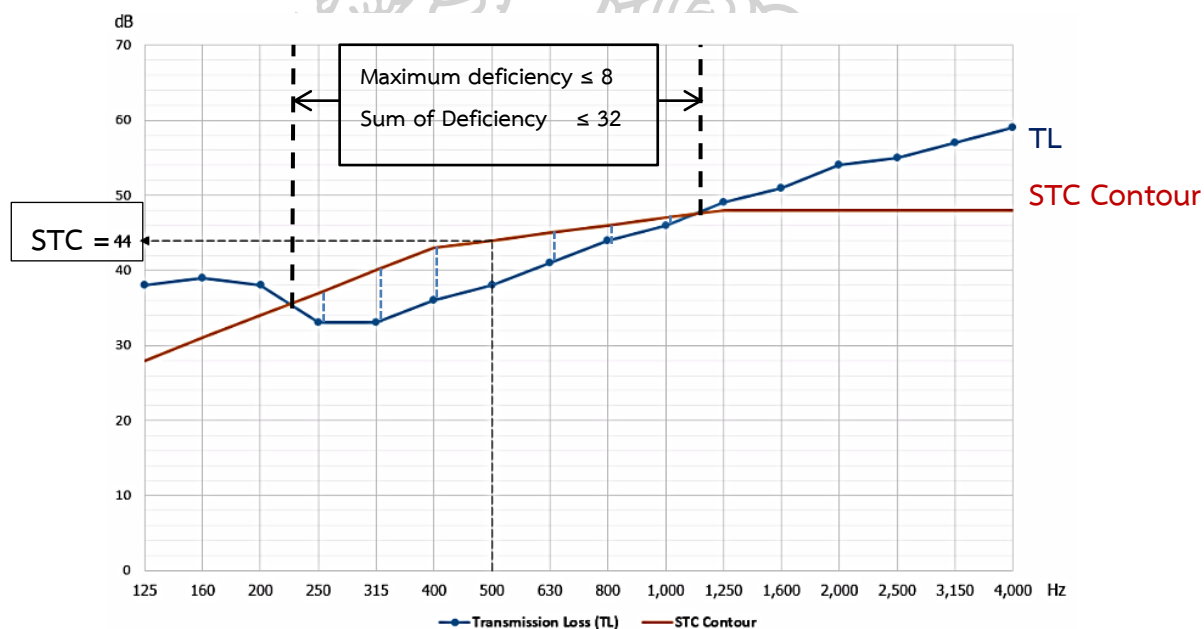
(ที่มา: <http://www.zen-acoustic.com/what-is-stc.html> เข้าถึงเมื่อ 26/06/2018)

แต่การระบุประสิทธิภาพวัสดุเป็นค่า TL มีความยุ่งยากเนื่องจากมีหลายค่าตามความถี่ ดังนั้น จึงมีการกำหนดค่าความสามารถในการลดเสียงผ่านผนัง (Sound Transmission Class, STC) เพื่อเป็นค่าบ่งชี้ประสิทธิภาพการกั้นเสียงของวัสดุชนิดนั้นเพียงค่าเดียวเพื่อความสะดวกต่อการระบุในการออกแบบ

ค่า STC เป็นค่าที่ได้จากห้องทดลองโดยการนำค่า TL ที่ตรวจวัดได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของเสียงมีหน่วยเป็นเดซิเบลและความถี่ที่แบ่งแบบ 1/3 Octave Band ตั้งแต่ 125-4000 เฮิรตซ์ และนำมาวางเทียบกับเส้นกราฟ STC Contour โดยมีเงื่อนไข 2 ข้อ คือ

- บริเวณที่กราฟ STC Contour อยู่เหนือกราฟ TL ต้องมีค่าต่างกันไม่เกิน 8 เดซิเบล
- บริเวณที่กราฟ STC Contour อยู่เหนือกราฟ TL ค่าความต่างแต่ละความถี่รวมกันต้องไม่เกิน 32 เดซิเบล

เมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขแล้ว ค่า STC ของวัสดุนั้นจะมาจากค่าระดับเสียงที่มีหน่วยเป็นเดซิเบลบนแกนตั้งของกราฟที่สัมพันธ์กับเส้นกราฟ STC Contour ที่ตรงกับความถี่บนแกนนอนที่ 500 เฮิรตซ์ (Irvine and Richards, 1998: 167) (ดูรูปที่ 27)



รูปที่ 27 การหาค่า STC จากการเทียบกราฟ TL ของวัสดุกับกราฟ STC Contour

(ที่มา: ดัดแปลง <http://www.zen-acoustic.com/what-is-stc.html> เข้าถึงเมื่อ 26/06/2018)

ดังนั้นค่า STC จึงไม่ใช่ค่าที่บ่งบอกระดับเสียงที่ลดลงไปในผนัง และวัสดุที่มีค่า STC สูงกว่าจะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการกันเสียงที่สูงกว่าด้วย ผู้ออกแบบสามารถพิจารณาประสิทธิภาพการป้องกันเสียงของวัสดุเบื้องต้นจากตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ประสิทธิภาพการกันเสียงของวัสดุเทียบกับค่า STC
ที่มา: Thomas D. Rossing, n.d.. อ้างถึงใน (วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์, 2558)

STC	ประสิทธิภาพ
0-20	ไม่มีความเป็นส่วนตัวแม้ว่าจะพูดด้วยเสียงระดับปกติ
20-40	เสียงทะลุผ่านเล็กน้อย ในระดับการสนทนาปกติ
40-55	การสนทนาที่ตั้งกว่าปกติ สามารถทะลุผ่านไปได้
55-65	แม้ว่าจะใช้เสียงที่ค่อนข้างดังมาก แต่ก็ทะลุออกไปได้เพียงเล็กน้อย
70	สามารถเก็บเสียงได้โดยสมบูรณ์


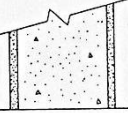
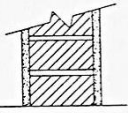
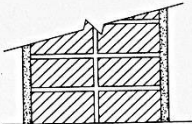
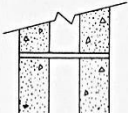
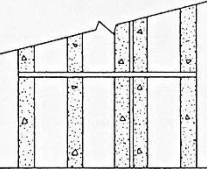
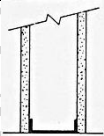
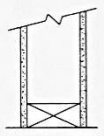


ค่า STC ที่เหมาะสมกับห้องเรียนมีค่าระหว่าง 45 - 60 เดซิเบลขึ้นกับประเภทพื้นที่ใช้สอยที่อยู่ติดกันกับห้องเรียนที่พิจารณาดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่า STC สำหรับห้องเรียนที่เหมาะสมเมื่ออยู่ติดกับพื้นที่และสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน (ANSI, 2002)

STC	45	50	53	60
ห้อง/พื้นที่ข้างเคียงห้องเรียน	- ทางเดิน - โถงบันได - สำนักงาน - ห้องประชุม	- ห้องเรียน - สนาม	- ห้องน้ำ	- ห้องเครื่อง - ห้องดนตรี - ห้องอาหาร - โรงยิม - สระว่ายน้ำในร่ม


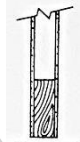
ตารางที่ 19 ตัวอย่างค่า STC ของวัสดุและโครงสร้างชนิดต่างๆ

ที่มา: ^(a) (Cavanaugh & Wilkes, 1999) ^(b) (D. A. Harris, 1991)

	วัสดุ		ความหนา (นิ้ว)	STC
1 ^(a)	ผนังคอนกรีต 3 นิ้ว		3 (7.5 ซม.)	47
2 ^(a)	ผนังคอนกรีต 6 นิ้ว ฉาบปูน 1/2 นิ้ว		7	53
3 ^(a)	ผนังก่ออิฐ 4 1/2 นิ้ว ฉาบปูน 1/2 นิ้ว		5 1/2	42
4 ^(a)	ผนังก่ออิฐ 9 นิ้ว ฉาบปูน 1/2 นิ้ว		10 (25 ซม.)	52
5 ^(a)	ผนังคอนกรีตบล็อก 6 นิ้ว		6 (15 ซม.)	43 (ไม่ทาสี)
				45 (ทาสี)
6 ^(a)	ผนังคอนกรีตบล็อก 12 นิ้ว		12 (30 ซม.)	48
7 ^(a)	ผนังโครงคร่าวเหล็ก 2 1/2 นิ้ว กรวยิปซัมบอร์ด 5/8 นิ้ว		3 3/4	36
8 ^(a)	ผนังโครงคร่าวไม้ กรวยิปซัมบอร์ด 1/2 นิ้ว		4 5/8	32
9 ^(a)	กระดาษ 1/4 นิ้ว		1/4 (6 ม.ม.)	30
10 ^(a)	กระดาษ 3/32 นิ้ว		3/32 (2 ม.ม.)	27

ตารางที่ 19 (ต่อ) ตัวอย่างค่า STC ของวัสดุและโครงสร้างชนิดต่างๆ

ที่มา: ^(a) (Cavanaugh & Wilkes, 1999) ^(b) (D. A. Harris, 1991)

	วัสดุ		ความหนา (นิ้ว)	STC
11 ^(a)	ประตูไม้ solid core 1 3/4 นิ้ว		1 3/4	20
12 ^(a)	ประตูไม้ hollow core 1 3/4 นิ้ว		1 3/4	17
13 ^(b)	แผ่นเหล็ก 16 gauge (1.5 มม.)			31
	แผ่นเหล็ก 20 gauge (0.9 มม.)			27

นอกจากนี้คลื่นความถี่เสียงแต่ละช่วงความถี่จะมีการตอบสนองต่อการกันเสียงของวัสดุที่ต่างกันไป โดยคลื่นเสียงช่วงความถี่ต่ำจะถูกลดระดับเสียงได้ดีกับวัสดุที่มีความแข็ง (Stiffness) ส่วนคลื่นเสียงช่วงความถี่ปานกลางค่า TL จะขึ้นอยู่กับขนาดของมวล (Mass) สามารถคำนวณค่า TL และ STC จากสมการที่ขึ้นกับมวล ดังสมการที่ 12 และ 13 และเมื่อมวลของผนังเพิ่มขึ้นทุก 2 เท่าค่า TL ของผนังจะเพิ่มขึ้นอีก 6 เดซิเบล (C. M. Harris, 1979)

$$TL = 20 \log (fm) - 48 \quad (\text{สมการที่ 12})$$

$$STC = 20 \log (m) + 10 \quad (\text{สมการที่ 13})$$

เมื่อ f คือ ความถี่ (Hz)

M คือ มวลของผนัง (kg/m^2)

ตารางที่ 20 ตัวอย่างน้ำหนักวัสดุ/โครงสร้างผนัง (กิโลกรัมต่อตารางเมตร) และค่า TL

ที่มา: Nelson, 1987 อ้างถึงใน (พิชัย ปมาณิกบุตร, 2552)

	วัสดุ/โครงสร้าง	น้ำหนัก (kg/m ²)	TL (dB)
1	ผนังก่ออิฐ/คอนกรีต 200 มม.	400	48-52
2	ผนังก่ออิฐ/คอนกรีต 100 มม.	200	45-50
3	คอนกรีตบล็อก hollow core 100 มม.	120	40-42
4	ผนังไฟเบอร์บอร์ดฉาบเรียบ โครงเคร่าไม้	30	36-38
5	ผนังกระจก 4 มม. 2 ชั้น ช่องอากาศ 100 mm.	20	35-40
6	ผนังกระจก 4 มม.	10	25-30

ประสิทธิภาพการกั้นเสียงของผนังผสม

ผนังด้านหนึ่งที่ทำจากวัสดุทึบแข็งและมีมวลมาก อาจสูญเสียประสิทธิภาพกันป้องกันเสียงไปโดยสิ้นเชิง เนื่องจากมีองค์ประกอบของวัสดุหรือโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพการกั้นเสียงต่ำรวมอยู่ด้วย ได้แก่ ช่องแสงกระจก ประตู และหน้าต่าง สามารถคำนวณจากสมการของค่า TL เฉลี่ยของผนังที่ประกอบด้วยหลายวัสดุโครงสร้าง หรือผนังผสม (Composite Wall) จากสมการ 11 ดังนี้

$$TL_C = 10 \log \frac{A}{(a_1 \times 10^{-0.1TL_1}) + (a_2 \times 10^{-0.1TL_2}) + \dots + (a_n \times 10^{-0.1TL_n})} \quad (\text{สมการ 11})$$

TL_C คือ ระดับเสียงที่ลดลงเมื่อเสียงทะลุผ่านผนัง ของผนังทั้งด้าน

A คือ พื้นที่รวมของผนังทั้งด้าน

a_n คือ พื้นที่ของวัสดุหรือโครงสร้างแต่ละชนิด

TL_n คือ ระดับเสียงที่ลดลงเมื่อเสียงทะลุผ่านผนัง ของวัสดุหรือโครงสร้างแต่ละชนิด

นอกจากนี้การหาค่า TL ของผนังผสมยังมีวิธีการหาโดยใช้กราฟความสัมพันธ์ของอัตราส่วนพื้นที่ประตู-หน้าต่างต่อพื้นที่ส่วนของผนังทึบ (แกนตั้ง) และ ค่า TL ที่ลดลงของผนัง (แกนนอน) เมื่อผู้ออกแบบทราบค่า TL ของวัสดุ โดยมีขั้นตอนการใช้งานกราฟอธิบายตามตัวอย่างได้ 4 ขั้นตอน ดังนี้

ตัวอย่าง หาค่า TL ผนังด้านหนึ่งที่มีขนาดพื้นที่ 18 m^2 และประกอบด้วยประตูขนาด 2 m^2 กำหนดค่า TL ของประตูและผนังส่วนที่ทับเท่ากับ 20 และ 40 ตามลำดับ (วิสิทธิ์ สีสาศิรวิงศ์, 2015: 8) (ดูรูปที่ 28)

ขั้นที่ 1 หาผลต่างระหว่าง TL ของผนังทึบ และประตู เพื่อทราบเส้นกราฟที่ใช้พิจารณา

$$TL_{\text{ผนังทึบ}} - TL_{\text{ประตู}} = 40 - 20 = 20 \text{ เดซิเบล}$$

ขั้นที่ 2 ทราบอัตราส่วนพื้นที่ของประตูและผนังทึบ (แกนตั้ง) และจึงหาจุดที่สัมผัสกับเส้นกราฟในขั้นที่ 1

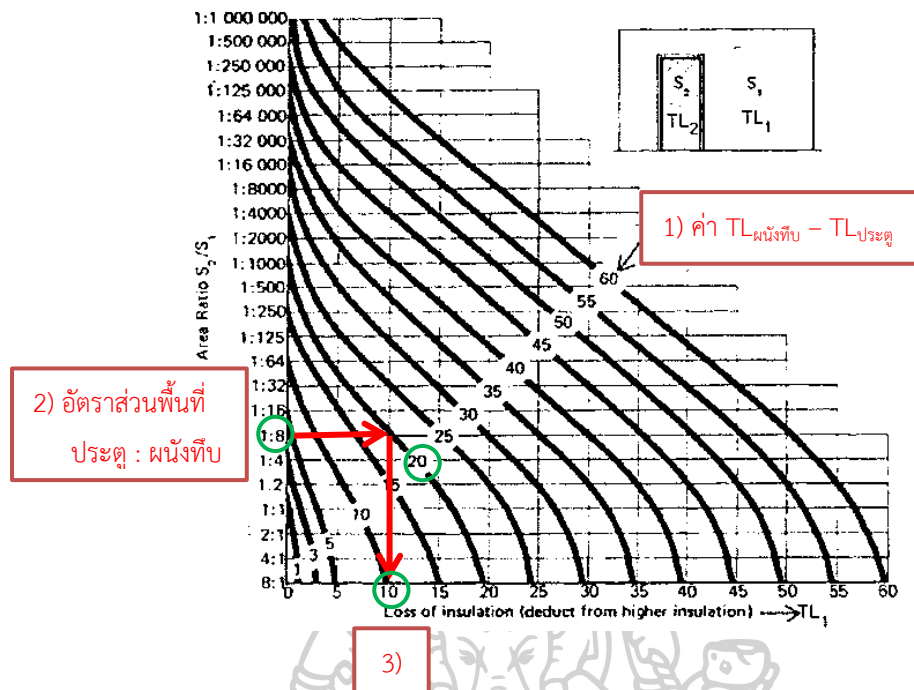
$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนพื้นที่ประตู : ผนังทึบ} &= 2 : 18 - 2 \\ &= 2 : 16 \\ &= 1 : 8 \end{aligned}$$

ขั้นที่ 3 จากจุดสัมผัสกราฟในขั้นที่ 2 ลงมาเป็นแนวตั้งฉากกับค่า TL ในแกนนอนจะตรงกับค่า TL ที่ลดลงของผนัง (เท่ากับ 10)

ขั้นที่ 4 นำค่า TL ที่ได้ไปหักออกจาก TL ของผนังส่วนทึบ

$$\begin{aligned} TL_{\text{ผนังประกอบ}} &= TL_{\text{ผนังส่วนทึบ}} - TL_{\text{ที่ลดลงไป}} \\ &= 40 - 10 \\ &= 30 \text{ เดซิเบล} \end{aligned}$$

ดังนั้น ผนังด้านนี้จึงมีความสามารถในการกั้นเสียงได้ 30 เดซิเบล



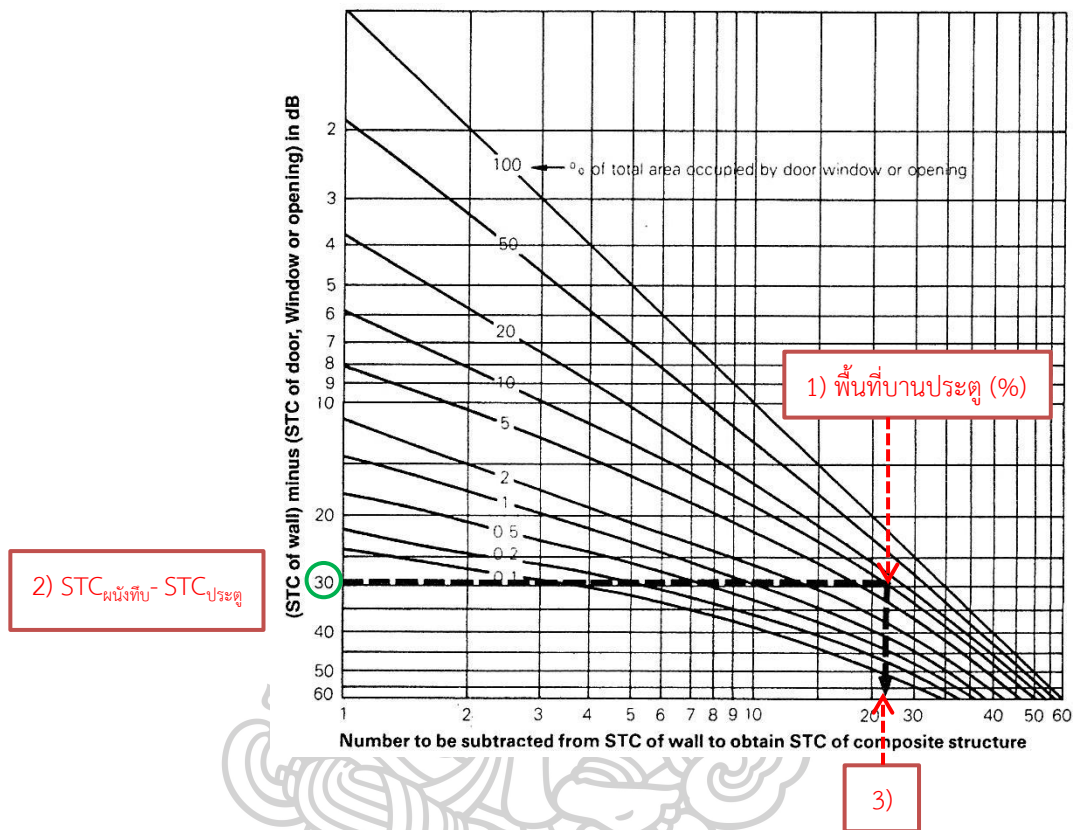
รูปที่ 28 การหาค่า TL ของผนังประกอบ (Combined Elements Wall) โดยใช้กราฟ
ที่มา : Noise Control In Industry, 1991 อ้างถึงใน (วิสิทธิ์ สีลาศิริวงศ์, 2558)

แต่โดยทั่วไปคุณสมบัติการป้องกันเสียงของวัสดุมักนิยมระบุด้วยค่า STC มากกว่า TL เนื่องจากค่า TL เป็นการระบุค่าเสียงที่ลดลงได้ โดยแยกตามความถี่ทำให้มีจำนวนหลายค่า จึงมีผู้คิดค้น “Chart For Determining STC of a Composite Structure” ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ของผลต่างระหว่างค่า STC ของผนังทึบ และประตู-หน้าต่างต่าง (แกนตั้ง) และ ค่า STC ที่ลดลงของผนัง (แกนนอน) เมื่อผู้ออกแบบทราบข้อมูลเพื่อนำมาใช้งานในกราฟ ได้แก่ 1) ร้อยละของพื้นที่บานประตู-หน้าต่าง และ 2) ผลต่างระหว่างค่า STC ของผนังทึบ และ STC ของประตู-หน้าต่าง

ตัวอย่าง หาค่า STC ของผนังผสมด้านหนึ่ง ประกอบด้วยผนังคอนกรีต และบานประตูไม้จริง 1 บาน ซึ่งคิดเป็นพื้นที่ 13% ของพื้นที่ผนังทั้งหมด ผนังคอนกรีตและบานประตูมีค่า STC เท่ากับ 57 และ 27 ตามลำดับ (D. A. Harris, 1991)

จากข้อมูล (ดูรูปที่ 29) บานประตูคิดเป็นพื้นที่ 13% (หมายเลข 1) และ ผลต่างระหว่างค่า STC ของผนังทึบและประตู-หน้าต่างเท่ากับ 30 (หมายเลข 2) และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาหา

ความสัมพันธ์บนกราฟ จะทราบว่าบานประตูจะลดประสิทธิภาพการกั้นเสียงของผนังคอนกรีตลง 23 เดซิเบล (หมายเลข 3) จาก STC เท่ากับ 57 จะลดลงเหลือ 34 เดซิเบล (D. A. Harris, 1991)



รูปที่ 29 การหาค่า STC ของผนังประกอบ (Combined Elements Wall) โดยใช้กราฟ (D. A. Harris, 1991)

2.5. แนวความคิดในการควบคุมเสียงรบกวน

ในขอบเขตการศึกษาเรื่องเสียงรบกวนในห้องเรียนที่ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ผู้ศึกษาเลือกพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงจากทางจราจรบนถนน และมุ่งศึกษาแนวทางการปรับปรุงสภาพแวดล้อมทางเสียง โดยมุ่งเน้นที่การออกแบบองค์ประกอบของเปลือกอาคารและสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร

จากการศึกษารรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ผู้ศึกษาได้จำแนกแนวความคิดในการควบคุมเสียงรบกวนเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

- 1) การควบคุมเสียงรบกวนที่สภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร มี 3 แนวความคิด ได้แก่

- การลดเสียงด้วยระยะทาง
- ปลูกต้นไม้เป็นแนวกันเสียง
- กำแพงกันเสียง

2) การออกแบบที่องค์ประกอบอาคาร มี 3 แนวความคิด ได้แก่

- การจัดผังกลุ่มพื้นที่ใช้สอย
- ระเบียงและแผงยื่นนอกราการเพื่อการกันเสียง
- การออกแบบช่องเปิดที่มีประสิทธิภาพการกันเสียง

2.5.1. การลดเสียงด้วยระยะทาง

ค่าการลดความดังของเสียง (Noise Reduction, NR) คือ ผลต่างระหว่างระดับความดันเสียง (Sound pressure level, SPL) ที่ตำแหน่งแหล่งกำเนิดเสียง (Source) และจุดรับเสียง (Receiver) สามารถคำนวณด้วยสมการความสัมพันธ์การลดระดับความดันเสียงที่ขึ้นกับระยะห่างของตำแหน่งเสียงเมื่อเคลื่อนที่ห่างจากแหล่งกำเนิดในหน่วยของระยะทาง ดังสมการ 13

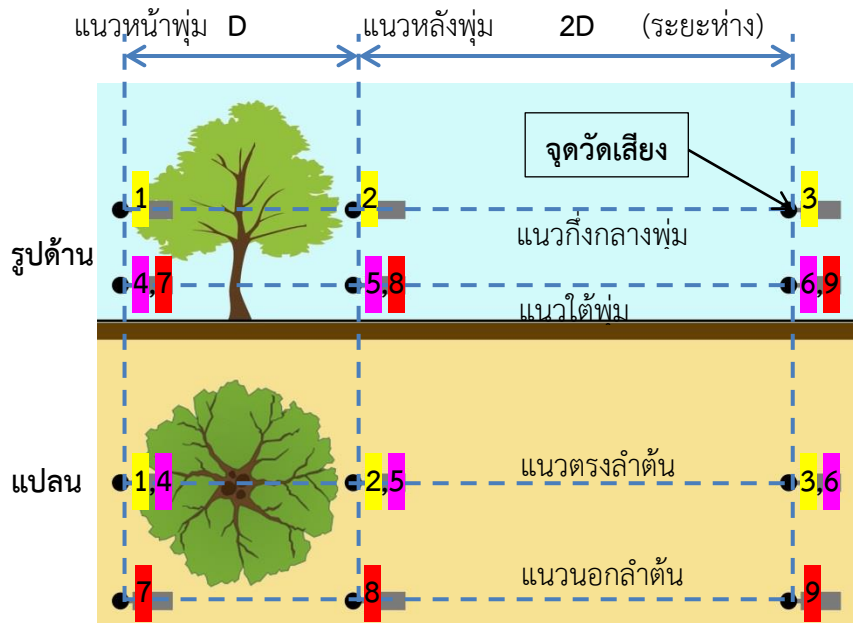
$$\begin{aligned} \text{NR} &= \text{SPL}_1 - \text{SPL}_2 \\ &= 20 \log R_1/R_2 \end{aligned} \quad \text{สมการ 13}$$

เมื่อ R_1 คือ ระยะจากแหล่งกำเนิดก่อนเคลื่อนที่

R_2 คือ ระยะจากแหล่งกำเนิดหลังเคลื่อนที่

จากรูปที่ 30 แสดงระดับความเสียงเมื่อจุดรับเสียงอยู่ห่างจากถนนทางหลวงที่ระยะต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางอ้างอิง 30.5 เมตร พบว่า ถ้าระหว่างถนนและจุดรับเสียงเป็นที่โล่ง เมื่อจุดรับเสียงเคลื่อนห่างออกจากถนนเพิ่มขึ้น 7.5, 30.5, 60.5 และ 91.5 เมตร ระดับความดันเสียงจะลดลง 1, 4, 7, 9 เดซิเบลเอ ตามลำดับ ดังนั้นในกรณีระหว่างถนนและจุดรับเสียงเป็นที่โล่ง หากต้องการลดเสียงออกจากถนนลง 10 เดซิเบลเอ จุดรับเสียงจะต้องอยู่ห่างจากถนนเป็นระยะทางมากกว่า 122 เมตร ขึ้นไป และหากแทนที่โล่งด้วยการปลูกแนวป่าทึบด้วยระยะทางประมาณ 30 เมตรจะสามารถช่วยลดเสียงลงจากเดิมได้อีก 5 เดซิเบลเอ (พิชัย ปมาณิกบุตร, 2552)

หากเปรียบเทียบประสิทธิภาพแนวกันเสียงระหว่างการปลูกต้นไม้ การสร้างกำแพงกันเสียง และการยกระดับความสูงของพื้นดินที่ตั้งสูงขึ้นมาจากระดับพื้นถนน พบว่า การยกระดับความสูงของพื้นดินที่ตั้งสูงขึ้นมาจากระดับพื้นถนน จะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด รองลงมาคือการใช้กำแพงและการใช้แนวต้นไม้ ตามลำดับ (ดูรูปที่ 30)



รูปที่ 31 ตำแหน่งเครื่องวัดเสียงในการทดสอบประสิทธิภาพการลดระดับเสียงของต้นไม้
ที่มา: ดัดแปลง (ธนารุช โนราช, 2551)

จากการทดสอบ พบว่า ต้นไม้ที่นำมาทดสอบทั้ง 10 ชนิด ค่าเสียงที่ลดลงเมื่อพิจารณาผลต่างระดับเสียงระหว่างจุดวัดแนวด้านหน้าพุ่มไม้ และแนวหลังพุ่มไม้ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.2 - 3.2 เดซิเบลเอ โดยต้นอโศกอินเดียสามารถลดเสียงได้ดีที่สุด รองลงมาคือ คุณ และกระถินเทพา เท่ากับ 3.2, 2.7 และ 2.3 เดซิเบลเอ ตามลำดับ (ดูตารางที่ 21)

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพตามความถี่ที่ขึ้นกับพื้นที่ผิวใบ พบว่า ต้นไม้ต้นที่มีพื้นที่ผิวใบรวมต่อต้นน้อยกว่า 40 ตารางเซนติเมตร จะลดได้ดีที่คลื่นความถี่สูง 8,000 เฮิรตซ์ ส่วนชนิดที่มีพื้นที่ผิวใบรวมต่อต้นมากกว่า 40 ตารางเซนติเมตร จะลดได้ดีที่คลื่นความถี่ต่ำ ประมาณ 20-500 เฮิรตซ์ และส่วนของลำต้นไม่มีประสิทธิภาพในการช่วยลดระดับเสียงใดๆ

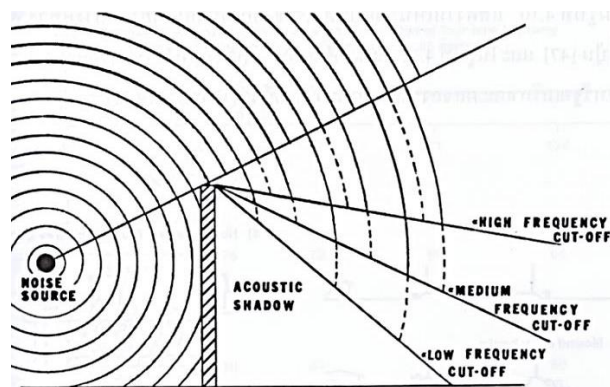
ตารางที่ 21 ประสิทธิภาพการลดระดับเสียงของต้นไม้ที่นิยมปลูกริมถนนในประเทศไทย 10 ชนิด (ธนารุช โนราช, 2551)

ชนิดต้นไม้		ระดับเสียงที่ลดลง (dBA)	ชนิดต้นไม้		ระดับเสียงที่ลดลง (dBA)
1	อโศกอินเดีย	3.2	6	ประดู่บ้าน	1.6
2	คูณ	2.7	7	ทรงบาดาล	1.6
3	กระถินเทพา	2.3	8	เหลืองปรีดียาธร	1.6
4	ตีนเป็ด	1.9	9	ขี้เหล็ก	1.3
5	สน	1.7	10	มะขาม	1.2

แม้ว่าการใช้ต้นไม้จะมีส่วนช่วยในการกั้นเสียงจากแหล่งกำเนิดได้ แต่ก็ทำได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพให้เห็นเด่นชัดมากขึ้น จะต้องเพิ่มจำนวนการปลูกให้พื้นที่ปลูกต้นไม้มีระยะจากแหล่งกำเนิดเสียงไม่ต่ำกว่า 30 เมตร (Caltran, 1992, อ้างถึงใน (พิชัย ปมาณิกบุตร, 2552) ซึ่งระยะนี้จะช่วยเพิ่มการลดเสียงลงได้อีกประมาณ 5 เดซิเบลเอ (ดูรูปที่ 30)

2.5.3. กำแพงกั้นเสียง

กำแพงกั้นเสียง (Wall Barriers) ที่ทำหน้าที่กั้นเสียงในตำแหน่งระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและอาคาร จะช่วยเปลี่ยนทิศของแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงตามคุณสมบัติของการเลี้ยวเบนเพื่อลดความเข้มของเสียงได้ โดยบริเวณด้านหลังกำแพงจะถูกเรียกว่า เขตเงาเสียง (Shadow Zone, Acoustic Shadow) กำแพงกั้นเสียงจะตอบสนองได้ดีที่สุดกับเสียงคลื่นช่วงความถี่สูง ความถี่ปานกลาง และความถี่ต่ำ ตามลำดับ (พิชัย ปมาณิกบุตร, 2552) (ดูรูปที่ 32)



รูปที่ 32 การหักเหของคลื่นเสียงเนื่องจากกำแพงกั้นเสียง
ที่มา: Nelson, 1987, อ้างถึงใน (พิชัย ปมาณิกบุตร, 2552)

ประสิทธิภาพการกั้นเสียงจะขึ้นกับปัจจัยเกี่ยวกับลักษณะของกำแพง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบมี 5 ปัจจัย ได้แก่

- ความสูงของกำแพงกั้นเสียง
- ความยาวของกำแพงกั้นเสียง
- ตำแหน่งติดตั้งกำแพงกั้นเสียง
- รูปร่างขอบบนของกำแพงกั้นเสียง

(1) ความสูงของกำแพงกั้นเสียง

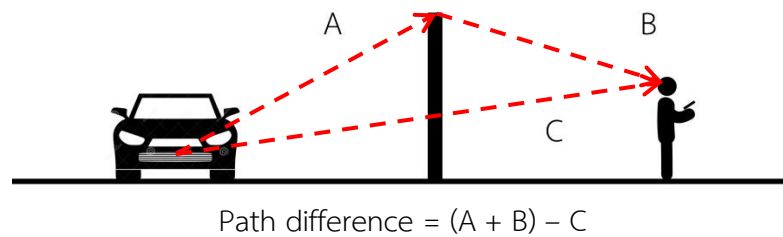
การออกแบบระยะความสูงของกำแพงกั้นเสียง มีผลต่อระดับเสียงที่ลดลงในบริเวณหลังกำแพง สามารถคำนวณโดยใช้สมการของ Fresnel (สมการที่ 14) ซึ่งเป็นสมการที่เกี่ยวข้องกับความยาวคลื่นเสียง (λ) กับผลต่างของระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงจุดรับเสียงอันเนื่องมาจากความสูงของกำแพง (Path Difference) (ดูรูปที่ 33) ค่าที่คำนวณได้ เรียกว่า Fresnel Number (F) มีไว้เพื่อนำไปเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Fresnel Number และระดับเสียงที่กำแพงกั้นเสียงสามารถลดจากแหล่งกำเนิดได้ ในหน่วยเดซิเบล จากกราฟ Fresnel Number (รูปที่ 34)

$$N = \frac{2P}{\lambda}$$

$$= \frac{2(A+B)-C}{V/f}$$

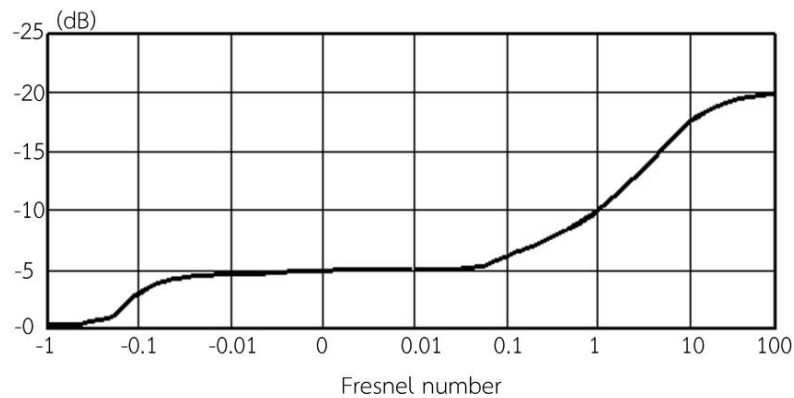
สมการที่ 14

- เมื่อ N คือ ค่า Fresnel Number
- P คือ ผลต่างของระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงจุดรับเสียงอันเนื่องมาจากความสูงของกำแพง (Path Difference)
- A คือ ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและขอบบนกำแพง (m.)
- B คือ ระยะระหว่างจุดรับเสียงและขอบบนกำแพง (m.)
- C คือ ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและจุดรับเสียง (m.)
- V คือ ความเร็วเสียงในอากาศ (m/s) (ดูสมการที่ 2)
- f คือ ความถี่เสียง (Hz)



รูปที่ 33 ภาพความสัมพันธ์ของระยะห่างต่างๆของกำแพงกั้นเสียงที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีความสูงของกำแพงกั้นเสียงของ Fresnel

(A) = ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงและขอบบนกำแพง, (B) = ระยะระหว่างจุดรับเสียงและขอบบนกำแพง, (C) = ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและจุดรับเสียง



รูปที่ 34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Fresnel Number และระดับเสียงที่กำแพงกั้นเสียงสามารถลดจากแหล่งกำเนิดเสียงได้ในหน่วยเดซิเบล

(ที่มา:

https://www.fhwa.dot.gov/ENVIRONMENT/noise/noise_barriers/design_construction/design/design03.cfm เข้าถึงเมื่อ 1/04/2018)

นอกจากนี้ยังมีสมการหาค่าระดับเสียงที่ลดลง (Insertion Loss, IL) เนื่องจาก Path Difference (รูปที่ 33) โดยแจกแจงตามความถี่คลื่น ดังสมการที่ 15 (Irvine & Richards, 1998)

$$IL = 10 \log f(P) - 14, \text{ dB} \quad \text{สมการที่ 15}$$

$$= 10 \log f(A + B - C) - 14, \text{ dB}$$

เมื่อ IL คือ ระดับเสียงที่กำแพงกั้นเสียงสามารถลดจาก

f คือ แหล่งกำเนิดได้
 ความถี่คลื่นเสียง (Hz)
 P, A, B, C คือ (ดูคำอธิบายใน สมการที่ 14)

จากสมการ 15 สามารถคำนวณระดับเสียงที่กำแพงกันเสียงสามารถลดจากแหล่งกำเนิดได้ โดยแจกแจงตามความถี่คลื่น ดังตาราง 22

ตารางที่ 22 ระดับเสียงที่กำแพงกันเสียงสามารถลดจากแหล่งกำเนิดตามระยะของ Path Difference แจกแจงความถี่คลื่น

ที่มา: ASHRAE, 1991 อ้างถึงใน (Irvine & Richards, 1998)

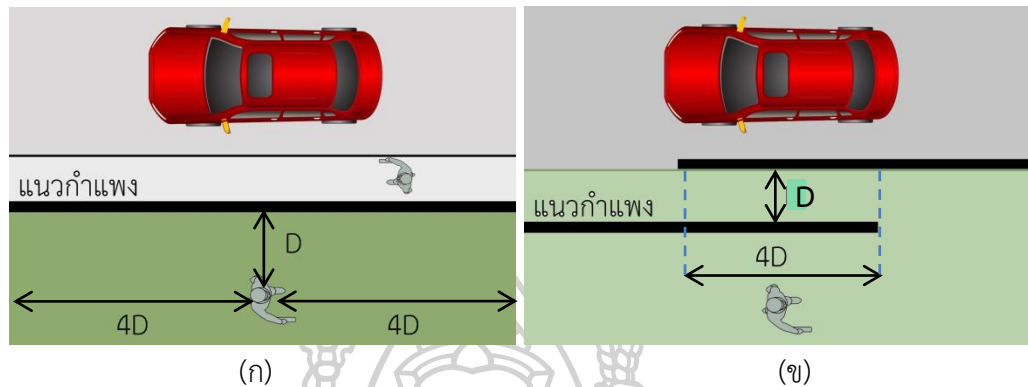
Path difference (ft.)	ระดับเสียงที่กำแพงกันเสียงสามารถลดจากแหล่งกำเนิดได้ (dB)								
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0.1	5	5	5	6	7	9	11	13	16
0.5	6	7	9	10	12	15	18	20	22
1.0	7	8	10	12	14	17	20	22	23
2.0	8	10	12	14	17	20	22	23	24
5.0	10	12	14	17	20	22	23	24	24
10.0	12	15	17	20	22	23	24	24	24
20.0	15	18	20	22	23	24	24	24	24

อย่างไรก็ตามทฤษฎีของกำแพงกันเสียงนี้จะสามารถกันเสียงได้สูงสุดประมาณ 24 เดซิเบล (ดูตารางที่ 22) โดยถือว่าวัสดุที่ใช้ต้องมีมวลต่อหน่วยพื้นที่ตั้งแต่ 19.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตรขึ้นไป ได้แก่ อิฐบล็อกที่มีจำหน่ายทั่วไปมีขนาดมวลเท่ากับ 46.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และถือว่าจุดรับเสียงจะไม่ได้รับอิทธิพลจากการเลี้ยวเบนเสียงที่ขอบด้านข้างของกำแพง (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2553)

(2) ความยาวของกำแพงกันเสียง

เมื่อจุดรับเสียงอยู่ห่างจากกำแพงกันเสียงเป็นแนวตั้งฉากที่ระยะหนึ่ง กำแพงกันเสียงจะต้องมีระยะออกจากจุดรับเสียงทั้งซ้าย-ขวาด้านละ 4 เท่า ของระยะห่างจากกำแพง (ดูรูปที่ 35-ก)

ในกรณีที่กำแพงวางในตำแหน่งเหลื่อมกัน 2 กำแพง มีระยะห่างกันที่ระยะหนึ่ง ในบริเวณที่เหลื่อมกัน ต้องมีระยะเป็น 4 เท่า ของระยะห่างระหว่าง 2 กำแพงนั้นด้วย (ดูรูปที่ 35-ข) (Federal Highway Administration, n.d.)



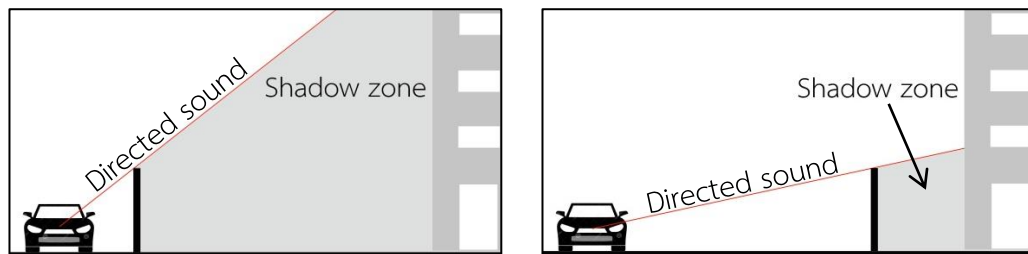
รูปที่ 35 ความยาวกำแพงที่มีประสิทธิภาพการป้องกันเสียง

(ที่มา: ดัดแปลง

https://www.fhwa.dot.gov/Environment/noise/noise_barriers/design_construction/design/design03.cfm หมายเหตุ : FHWA (The Federal Highway Administration

(3) ตำแหน่งติดตั้งกำแพงกันเสียง

นอกจากนี้ประสิทธิภาพการลดระดับเสียงยังขึ้นอยู่กับตำแหน่งของกำแพงโดยจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเมื่อติดตั้งใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียงเนื่องจากเกิด Shadow Zone คลอบคลุมบริเวณอาคารหรือจุดรับเสียงได้มากกว่าการติดตั้งในระยะที่ไกลจากแหล่งกำเนิดมากกว่า ซึ่งจะเห็นได้จากตัวอย่างของผนังกันเสียงที่ติดตั้งริมถนนทางด่วน เป็นต้น



รูปที่ 36 ประสิทธิภาพของกำแพงกันเสียงเนื่องจากระยะตำแหน่งการติดตั้ง

(ที่มา: ดัดแปลงจาก (ปรีชญา รังสิริรักษ์, 2541)

(4) รูปร่างขอบบนของกำแพงกันเสียง

การออกแบบรูปร่างพิเศษบนขอบของกำแพงกันเสียงมีประโยชน์คือช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกันเสียงให้ดีขึ้นเทียบเท่ากับการก่อกำแพงที่มีความสูง จากการศึกษาการลดระดับเสียงแหล่งกำเนิดด้วยขอบกำแพงกันเสียงรูปร่างของหน้าตัดต่างๆ (Ishizuka & Fujiwara, 2003) โดยทดลองจากรูปร่าง ดังนี้

- รูปร่างสี่เหลี่ยม (Rectangular)
- รูปร่าง T (T-Shape)
- รูปร่าง Y หรือแบบกิ่ง (Branched)
- รูปร่าง O (Cylindrical)







ข้อสังเกตจากผลการทดลอง (ดูตารางที่ 23) พบว่า

- การออกแบบขอบกำแพงที่มีส่วนของขอบบนรูปร่างดังกล่าวให้ใหญ่กว่ากำแพงส่วนล่างจะช่วยลดระดับเสียงจากแบบปกติลงได้อีก 1-2.7 เดซิเบล ยกเว้น รูปร่าง O (Cylindrical) ผลการวัดระดับเสียงที่หลังกำแพงกลับมากกว่าเดิมเมื่อเทียบกับแบบที่ไม่มีการปรับปรุง

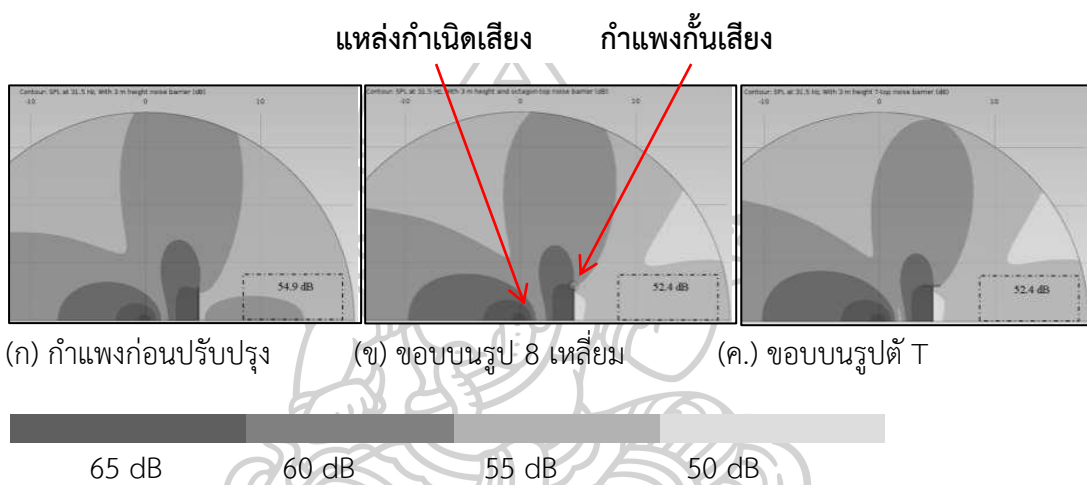
- รูปร่างขอบกำแพงที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ รูปร่าง Y หรือแบบกิ่ง (Branched) และรูปร่าง T (T-shape) ซึ่งให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการเพิ่มความสูงให้กับแบบที่ไม่มีการปรับปรุงจาก 3 เมตร เป็น 4 เมตร

- เพิ่มวัสดุดูดซับเสียงที่ขอบบนกำแพงจะช่วยเพิ่มระดับการลดเสียงให้กับทุกรูปร่าง โดยเฉพาะรูปร่าง T จะมีประสิทธิภาพเทียบเคียงกับการเพิ่มความสูงให้กับแบบที่ไม่มีการปรับปรุงจาก 3 เมตร เป็น 6 เมตร โดยแต่ละรูปร่างจะมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น

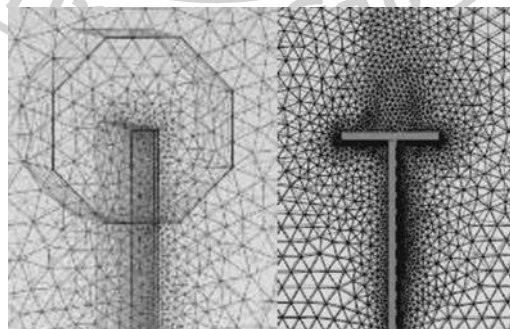
ตารางที่ 23 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดระดับเสียงที่ขึ้นกับรูปร่างของขอบบนกำแพงกันเสียง

รูปแบบ	Insertion Loss (dB)					
	ก่อนปรับปรุง		Branched	T-shape	Rectangular	Cylindrical
	สูง 3 ม.	สูง 6 ม.	สูง 3 ม.			
						
Rigid	15.2	20.1	18.3	17.1	16.2	14.7
Absorbing	-	-	20.4	20.5	19.7	19.2

จากงานวิจัยเกี่ยวกับการกั้นเสียงของขอบบนผนังระหว่างรูปตัว T และรูป 8 เหลี่ยม (Volkovas & Saliunas, 2015) แสดงระดับเสียงบริเวณที่ตั้งแหล่งกำเนิดเสียง, กำแพงกั้นเสียง และพื้นที่หลังกำแพงด้วยเส้น STC Contour เปรียบเทียบระหว่าง (ก) กำแพงทั่วไปก่อนปรับปรุง (ข) กำแพงที่เพิ่มขอบบนกำแพงรูป 8 เหลี่ยม และ (ค) กำแพงที่เพิ่มขอบบนกำแพงรูปตัว T พบว่าการเพิ่มขอบกำแพงจะทำให้พื้นที่ของระดับเสียงที่ลดลงบริเวณหลังกำแพงมีมากขึ้น และขอบกำแพงรูปตัว T สามารถลดระดับเสียงได้ดีกว่ารูป 8 เหลี่ยม (รูปที่ 37)



รูปที่ 37 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกั้นเสียงเนื่องจากรูปร่างขอบบนของกำแพงกั้นเสียงขอบบนกำแพงเป็นรูป 8 เหลี่ยม (ข) และ ตัว T (ค) (Volkovas & Saliunas, 2015)



(ง.) แบบจำลองรูปร่างของขอบกำแพงที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 37 (ต่อ) การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกั้นเสียงเนื่องจากรูปร่างขอบบนของกำแพงกั้นเสียงขอบบนกำแพงเป็นรูป 8 เหลี่ยม (ข) และ ตัว T (ค) (Volkovas & Saliunas, 2015)

2.5.4. การจัดกลุ่มพื้นที่ใช้สอย

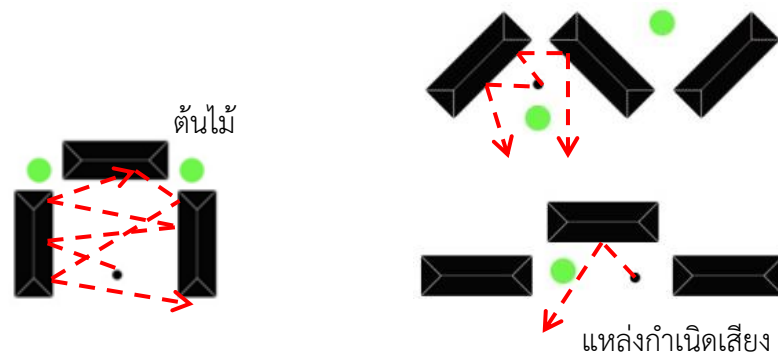
ในการออกแบบสภาพแวดล้อมทางเสียงให้กับอาคาร โดยพิจารณาและวางแผนการจัดผังพื้นที่ใช้สอยนั้นมีความสำคัญในอันดับแรกๆรองจากการเลือกพื้นที่ตั้งโครงการ ควรมีการแยกประเภทพื้นที่ใช้สอยและลำดับความสำคัญของความต้องการสภาพแวดล้อมทางเสียง ได้แก่ การวางพื้นที่ส่วนบริการ (Service Area) ในส่วนที่ใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียงที่รบกวนสภาพแวดล้อม โดยพื้นที่เหล่านี้จะช่วยกันเสียงให้แก่พื้นที่ใช้สอยอื่นๆได้อีกด้วย (ดูรูปที่ 38)

ในกรณีที่มีแหล่งกำเนิดเสียงอยู่บริเวณท่ามกลางกลุ่มอาคาร การจัดกลุ่มอาคารควรหลีกเลี่ยงการหันอาคารเข้าหากันเป็นแนวขนานเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดเสียงสะท้อนเข้าหากัน การที่คลื่นเสียงเกิดการสะท้อนไปมาหลายๆครั้งจนคลื่นเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันเป็นสาเหตุให้สภาพแวดล้อมมีระดับเสียงที่ดังขึ้นกว่าปกติได้ ควรวางแผนอาคารให้ทำมุมเบนออกจากกัน (รูปที่ 39)

แหล่งกำเนิดเสียง(การจราจร)



รูปที่ 38 การจัดผังบริเวณกลุ่มอาคารในโรงเรียน (ที่มา: กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2535)



รูปที่ 39 การสะท้อนของคลื่นเสียงเนื่องจากรูปแบบการจัดกลุ่มอาคาร (สมรรถ บุญยรัตพันธุ์, ม.ป.ป.)

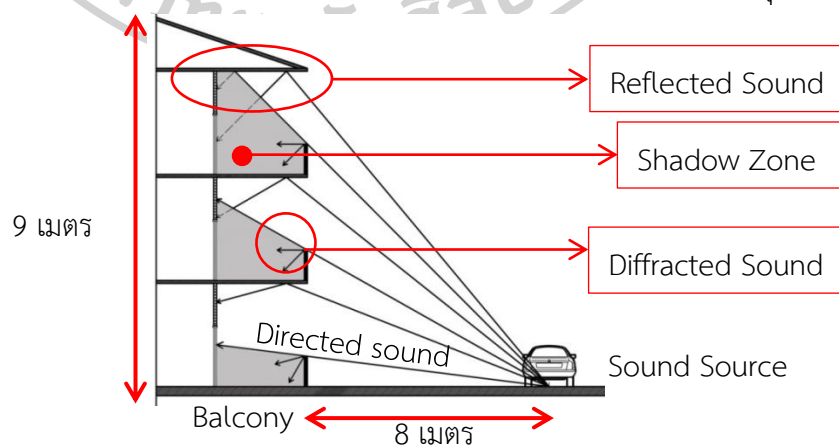
จากการศึกษาการลดระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดในที่โล่งลงอย่างน้อย 10 เดซิเบลเอ ต้องอาศัยระยะที่ห่างออกมาไม่ต่ำกว่า 120 เมตร (Caltran, 1992) แต่เนื่องจากอาคารในเมืองใหญ่ที่มีความหนาแน่นของการจราจรสูงซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนที่สำคัญ มักตั้งอยู่ห่างจากถนนเป็นระยะประมาณ 5-50 เมตรเท่านั้น ซึ่งเป็นระยะที่ไม่เพียงพอสำหรับการลดระดับเสียงของริมเส้นทางจราจร (Hossam & EL, 2004) และมีระดับเสียงเฉลี่ยสูงถึง 70-80 เดซิเบลเอ (กรมควบคุมมลพิษ, 2559) ให้อยู่ในระดับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการสื่อสารที่ควรมีระดับเสียงพื้นหลัง (Background Noise) ประมาณ 35-40 เดซิเบลเอ (ตารางที่ 11) ดังนั้นการออกแบบสภาพแวดล้อมทางเสียงให้แก่อาคารริมการจราจรบนถนนที่มีความหนาแน่น จึงควรเข้ามาแก้ปัญหามากขึ้นเพื่อช่วยบรรเทาปัญหาเสียงรบกวนดังกล่าวให้มากที่สุด

2.5.5. ระเบียงและแผงยื่นนอกอาคารเพื่อการกั้นเสียง

อาคารที่มีการถ่ายเทอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ หน้าต่างเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เสียงจากภายนอกแผ่เข้ามารบกวนการใช้งานพื้นที่อาคาร ทางที่ดีที่สุดไม่ควรหันด้านที่มีช่องเปิดเข้าสู่แหล่งกำเนิดเสียง แต่ในกรณีหลีกเลี่ยงไม่ได้การออกแบบองค์ประกอบอาคารที่มีประโยชน์ในการกั้นเสียง ได้แก่ แนวระเบียงทางเดินริมอาคารและแผงบังแดดนอกอาคารอาจมีส่วนช่วยในการแก้ไขปัญหาได้

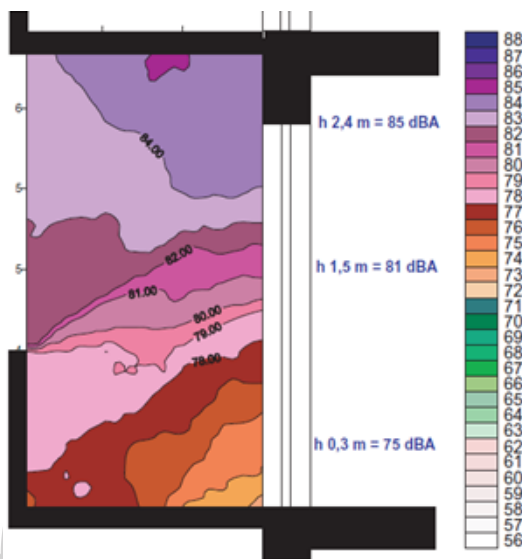
เมื่อคลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิด เรียกว่า คลื่นเสียงตรง (Directed Sound) เดินทางมายังอาคารที่มีแผงบังแดดหรือระเบียงจะเกิดพฤติกรรม 2 ลักษณะ คือ (ดูรูปที่ 40)

- Diffracted sound คือ คลื่นเสียงที่เลี้ยวเบนเมื่อกระทบกับขอบของวัตถุแข็งบนอาคาร
- Reflected sound คือ คลื่นเสียงที่สะท้อนเมื่อกระทบบนระนาบของวัตถุแข็งบนอาคาร



รูปที่ 40 พฤติกรรมของคลื่นเสียงเมื่อเดินทางมากระทบระเบียงของอาคาร
ดัดแปลง (Hossam & EL, 2004)

รูปที่ 41 แสดง STC Contour ของระดับเสียงที่เกิดขึ้นภายในระเบียงชั้น 1 เมื่อได้รับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงจากถนนห่างจากด้านหน้าระเบียง 8 เมตร พบว่าบริเวณที่มีระดับเสียงน้อยที่สุดคือบริเวณด้านหลังของกำแพงระเบียงเนื่องจากเป็นเขตเงาเสียง และมากที่สุดพบบริเวณส่วนบนของระเบียงเนื่องจากเป็นบริเวณที่ได้รับเสียงสะท้อนจากเพดานนั่นเอง (Busa, Secchi, & Baldini, 2011)



รูปที่ 41 STC Contour ของระดับเสียงที่เกิดขึ้นภายในระเบียง (Busa et al., 2011)

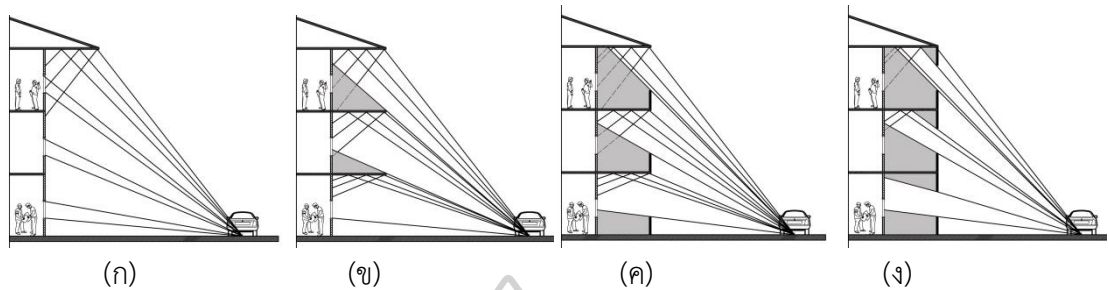
เช่นเดียวกับแนวความคิดลดระดับเสียงด้วยกำแพงกันเสียง (Wall Barriers) เมื่อเสียงเกิดการเลี้ยวเบนเนื่องจากขอบกำแพงระเบียง หรือขอบแผงบังแดด จะเกิดเขตเงาเสียง (Shadow Zone) ซึ่งเป็นบริเวณที่ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดมีค่าลดลง จากการศึกษาทางวิจัยการลดระดับเสียงที่มีอิทธิพลจากระเบียงและแผงบังแดดบนเปลือกอาคารพบว่ามียุทธศาสตร์เกี่ยวกับการออกแบบที่ต้องนำมาพิจารณา ได้แก่

- ระยะยื่นจากตัวอาคาร
- การเอียงทำมุมของระนาบบนกำแพงระเบียง เพดาน และแผงบังแดด
- การติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงภายในพื้นที่ระเบียง และบนแผงบังแดด

(1) ระยะยื่นจากตัวอาคาร

การทดสอบและวัดค่าระดับเสียงผิวหน้าอาคารที่เกิดขึ้นเนื่องจากการออกแบบระเบียง และแผงบังแดดโดยมีแหล่งกำเนิดเสียงอยู่ด้านหน้าอาคาร พบว่า การมีแผงบังแดดและกำแพงระเบียงทึบจะทำให้ค่าระดับเสียงบริเวณผิวหน้าอาคารมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการไม่มีแผงหรือกำแพง

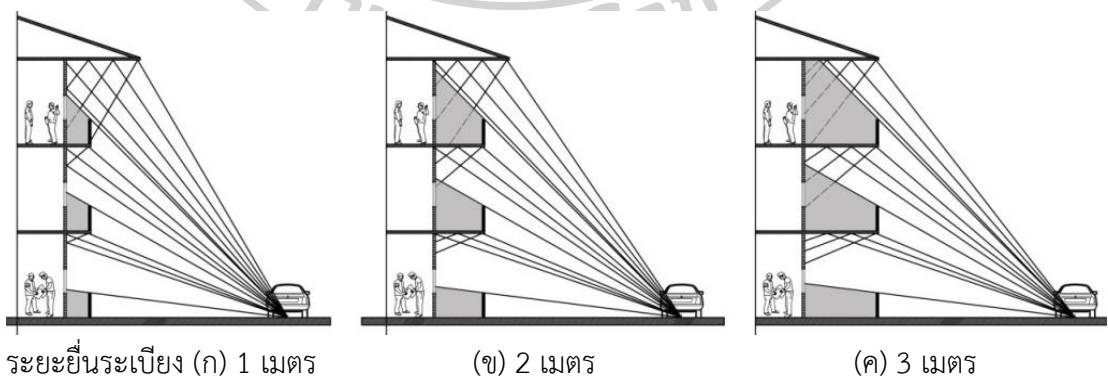
ใดๆเลย โดยกำแพงระเบียงจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าแผงกันแดด (Naish, Tan, & Demirbilek, 2013) (รูปที่ 42)



(ก) ไม่มีแผงหรือกำแพงใดๆ (ข) มีแผงบังแดดแนวนอน (ค) มีผนังระเบียง (ง) มีผนังระเบียงและแผงแนวตั้ง

รูปที่ 42 การเกิดพื้นที่เงาเสียง และเสียงสะท้อนบนเปลือกอาคารเนื่องจากแผงบังแดดและระเบียง
ดัดแปลง (Naish, Tan, & Demirbilek, 2012)

การศึกษาเปรียบเทียบการลดระดับเสียงของระเบียงที่มีระยะยื่นจากตัวอาคารระหว่าง 1, 2 และ 3 เมตร (Hossam & EL, 2004) พบว่าการลดระดับเสียงของระเบียงจะด้อยลงเมื่อระเบียงมีระยะยื่นที่มากขึ้น (ดูรูปที่ 43) แสดงให้เห็นว่าแม้ว่าระยะยื่นของพื้นระเบียงหรือความสูงของกำแพงระเบียงจะทำให้เกิด Diffracted Sound และมีพื้นที่ของ Shadow Zone มากขึ้น แต่ข้อจำกัดของการมีระเบียงบนอาคารที่มีจำนวนหลายชั้นคือ Reflected Sound ที่เกิดจากคลื่นเสียงเดินทางไปกระทบกับเพดานระเบียงและเข้าสู่ผิวหน้าอาคาร และทำให้ระเบียงมีประสิทธิภาพการกันเสียงลดลง



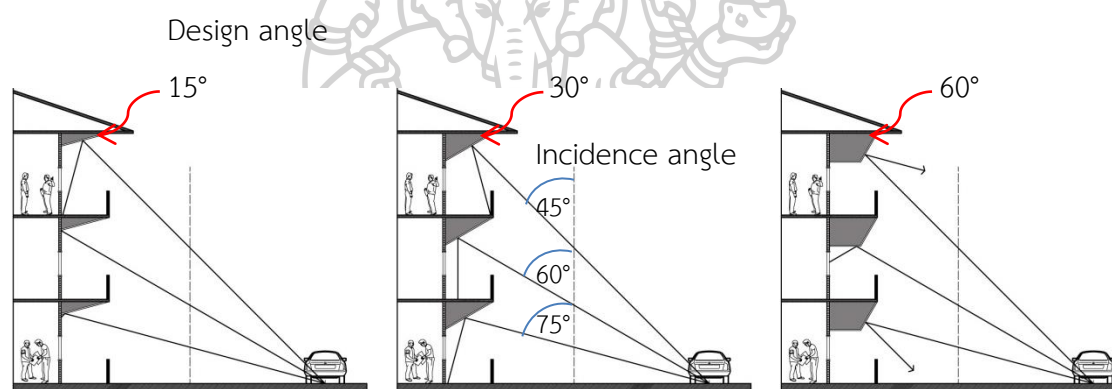
รูปที่ 43 เปรียบเทียบการเกิดพื้นที่เงาเสียง และเสียงสะท้อนที่เกิดขึ้นภายในระเบียงเนื่องจาก ระยะยื่นของระเบียง

ดัดแปลง (Hossam & EL, 2004)

(2) การเอียงทำมุมของระนาบบนกำแพงระเบียง เพดาน และแผงบังแดด

อย่างไรก็ตามปริมาณคลื่นเสียงที่เกิดการสะท้อนบนเพดานระเบียงนั้น มีความสัมพันธ์กับมุมตกกระทบ (Incidence Angle) ของคลื่นเสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดด้วย กล่าวคือ ที่แหล่งกำเนิดเสียงเดียวกัน ระเบียงที่อยู่ในตำแหน่งชั้นที่สูง คลื่นเสียงจะมีโอกาสเกิดการสะท้อนจากเพดานระเบียงเข้าสู่พื้นที่ผิวหน้าอาคาร ได้มากกว่าระเบียงในตำแหน่งชั้นล่าง

การทดสอบประสิทธิภาพการลดเสียงบนระเบียงอาคารโดยการเอียงระนาบเพดานทิศทางออกจากอาคาร (Hossam, Dien, & Woloszyn, 2003) พบว่าสามารถช่วยแก้ปัญหาเสียงสะท้อนเนื่องจากเพดานระเบียงได้ โดยที่มุมของระนาบเอียง (Design Angle) ต้องมีขนาดใหญ่กว่ามุมตกกระทบที่มาจากแหล่งกำเนิดเสียง (Incidence Angle) แต่ในการใช้งานจริงอาจทำได้ยาก เนื่องจากการเอียงระนาบของเพดานระเบียงจะทำให้อาคารต้องมีระดับความสูงแต่ละชั้นเพิ่มมากขึ้น วิธีดังกล่าวจึงจะให้ประสิทธิภาพที่ชัดเจน (ดูรูปที่ 44)

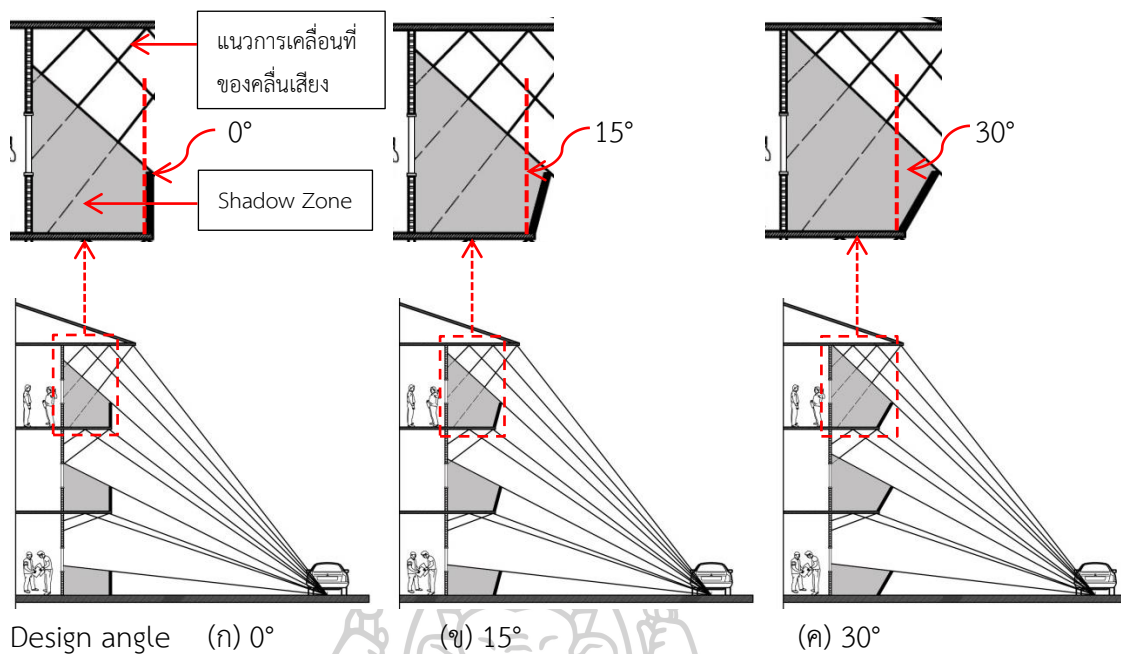


Design Angle < Incidence Angle = คลื่นสะท้อนทิศทางเข้าสู่อาคาร

Design Angle > Incidence Angle = คลื่นสะท้อนทิศทางออกจากอาคาร

รูปที่ 44 ความสามารถในการสะท้อนเสียงเนื่องจากการเอียงมุมของระนาบเพดาน
ดัดแปลง (Hossam et al., 2003)

การทดสอบประสิทธิภาพการลดเสียงบนระเบียงโดยการเอียงมุมที่กำแพงระเบียง (Hossam & EL, 2004) พบว่าที่ระยะยี่ระเบียงเดียวกัน การเอียงมุมกำแพงระเบียงในทิศออกจากอาคารจะเกิดระดับเสียงภายในระเบียงน้อยกว่ากรณีที่เป็นกำแพงตั้งตรงเนื่องจากการเพิ่มพื้นที่เขตเงาเสียง นอกจากนี้ยังไม่เป็นการเพิ่มพื้นที่บนระนาบเพดานซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดเสียงสะท้อนอีกด้วย (ดูรูปที่ 45)



Design angle (ก) 0°

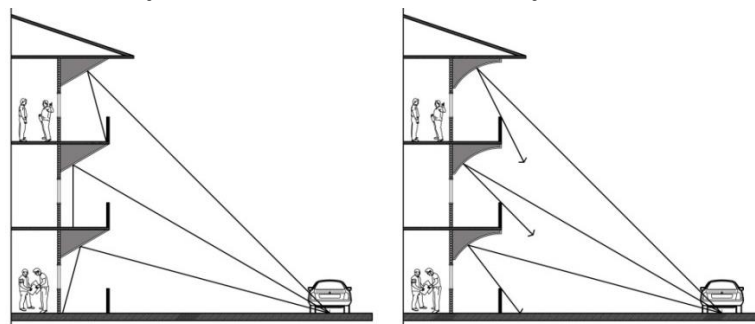
(ข) 15°

(ค) 30°

รูปที่ 45 เปรียบเทียบการเกิดพื้นที่เงาเนื่องจากการเอียงมุมออกของกำแพงระเบียง
ดัดแปลง (Hossam & EL, 2004)

เพื่อที่จะสะท้อนคลื่นเสียงออกจากบริเวณระเบียง นอกจากใช้การเอียงระนาบเรียบของ
ผิวเพดานและกำแพงระเบียงแล้ว การใช้ระนาบผิวรูปร่างโค้ง (Concave Surface) นั้นมีส่วนช่วยใน
การเพิ่มขนาดมุมการสะท้อนของคลื่นเสียงได้มากกว่าระนาบเรียบ เนื่องจากคลื่นเสียงที่กระทบกับผิว
โค้งย่อมสะท้อนเข้าสู่จุดใดจุดหนึ่งที่อยู่บนบริเวณหน้าผิวโค้งนั้นๆ เรียกว่าจุดโฟกัส (Focus Point)

การเปรียบเทียบระดับเสียงภายในระเบียงที่มีความแตกต่างของรูปร่างเพดานระหว่าง
การใช้ระนาบเอียงแบบเรียบเพียงอย่างเดียว และแบบที่มีการเพิ่มเติมระนาบแบบโค้งจากแบบแรก
(Ishizuka & Fausti, 2012) พบว่าระดับเสียงที่เกิดขึ้นภายในระเบียงของแบบหลังมีน้อยกว่าแบบแรก
เนื่องจากปริมาณคลื่นเสียงที่ถูกหักเหพื้นที่ระเบียงมีมากขึ้น (รูปที่ 46)



รูปที่ 46 เปรียบเทียบการสะท้อนคลื่นเสียงเนื่องจากเพดานเอียงทำมุมและเพดานรูปโค้ง
ดัดแปลง (Ishizuka & Fausti, 2012)

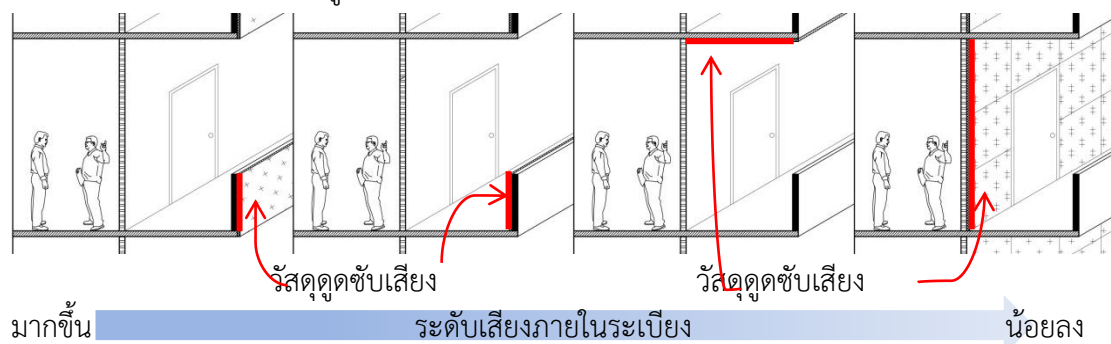
การสะท้อนบนผิวโค้งมีข้อพิจารณาที่สำคัญ คือ อาจมีกรณีที่คลื่นเสียงเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันทำให้เกิดจุดที่เสียงดังบริเวณหน้าผิวโค้งได้ ดังนั้น จึงไม่ควรติดตั้งผิวสะท้อนรูปโค้งใกล้บริเวณช่องเปิดของอาคาร เพราะเสียงจะแพร่ผ่านทางช่องดังกล่าวเข้าไปได้

อย่างไรก็ตามการใช้แนวระเบียงหรือแผงบังแดดเพื่อการสะท้อนเสียงจากภายนอก มีข้อสังเกตที่สำคัญคือ ยิ่งตำแหน่งของระเบียงอยู่สูงเท่าใดก็ยังมีพื้นที่ของเขตเงาเสียงเพิ่มขึ้น โอกาสที่เกิดเสียงสะท้อนเนื่องจากเพดานระเบียงก็ยิ่งน้อยลง ดังนั้นวิธีนี้จึงให้ประสิทธิผลได้ดีกับอาคารสูงได้แก่ คอนโดมิเนียม เป็นต้น

(3) การติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงภายในพื้นที่ระเบียง และบนแผงบังแดด

แม้ว่าระเบียงและแผงบังแดดจะให้ประสิทธิภาพการลดเสียงบนระเบียงได้ดี อย่างไรก็ตามการออกแบบโครงสร้างดังกล่าวให้มีลักษณะพิเศษ ได้แก่ การเอียงมุมของระนาบโครงสร้างเพื่อช่วยในการสะท้อนเสียงจากภายนอกอาจมีความยุ่งยากในการก่อสร้าง และเนื่องจากมีประสิทธิภาพที่ได้ดีชัดเจนเฉพาะกับอาคารสูง การติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งในการลดปริมาณเสียงสะท้อนภายในระเบียงกรณีอาคารมีจำนวนชั้นไม่มาก

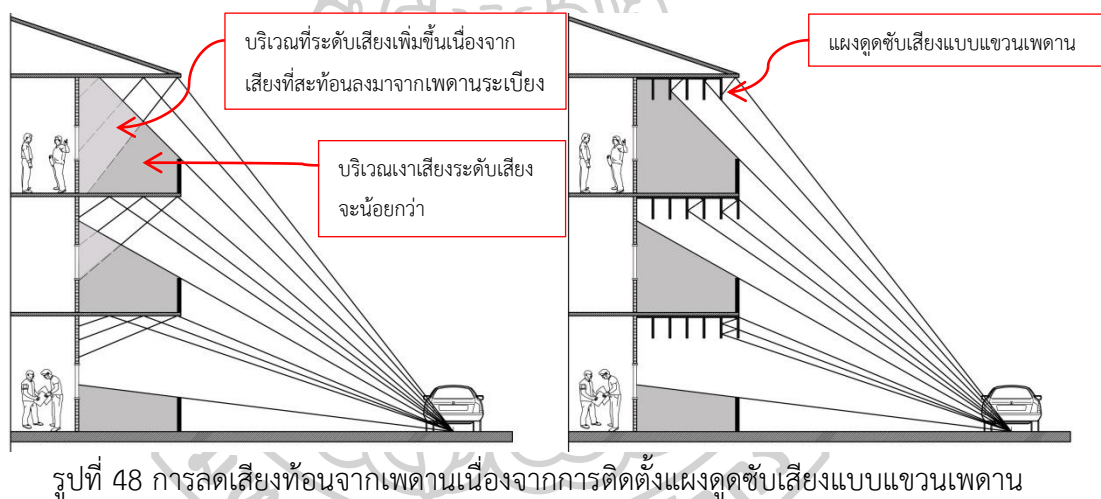
การเปรียบเทียบตำแหน่งการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงภายในระเบียงโดยการเปรียบเทียบตำแหน่งติดตั้งระหว่าง ผนังภายนอกอาคาร เพดานระเบียง และด้านหลังของกำแพงระเบียง (Hothersall, Horoshenkov, & Mercy, 1996), (Busa et al., 2011) พบว่าตำแหน่งติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงที่ช่วยลดระดับเสียงภายในระเบียงมากที่สุด คือ ผนังภายนอกระเบียง รองลงมาคือ บนเพดาน ด้านหลังของกำแพงระเบียง และน้อยที่สุดคือผิวด้านนอกของกำแพงระเบียง เนื่องจากขนาดพื้นที่ผิวดูดซับเสียงของผนังมีมากกว่าเพดาน และเพดานเป็นตำแหน่งที่ดูดซับเสียงของ Directed Sound โดยตรง ในขณะที่พื้นผิวด้านหลังกำแพงระเบียงจะดูดซับ Diffracted Sound และ Reflected Sound เท่านั้น (รูปที่ 47)



รูปที่ 47 การลดระดับเสียงภายในระเบียงเนื่องจากตำแหน่งติดตั้งวัสดุดูดซับเสียง
ดัดแปลง (Hothersall et al., 1996)

แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการดูดซับเสียงในพื้นที่ระเบียง นอกจากการเลือกใช้วัสดุ คือขนาดพื้นที่ติดตั้ง ยังมีพื้นที่การดูดซับเสียงมากก็ยิ่งลดเสียงสะท้อนได้มากขึ้น แต่เนื่องจากวัสดุดูดซับเสียงทั่วไปมักเป็นวัสดุที่เกิดสามารถเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนกับความชื้นและชำรุดได้ง่าย ทั้งนี้ควรเลือกวัสดุดูดซับเสียงที่ทนทานเหมาะสมกับตำแหน่งติดตั้ง โดยทั่วไปจะนิยมติดตั้งที่ตำแหน่งเพดานซึ่งอยู่สูงและไม่ค่อยได้สัมผัสรังสีความร้อนจากแสงแดดและความชื้นเท่าใดนัก

ในกรณีพื้นที่ระเบียงซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมกึ่งภายนอก การติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงที่ผนัง อาจทำให้วัสดุสัมผัสความชื้นโดยตรงและเสื่อมสภาพได้ง่าย ดังนั้นการติดตั้งแผงดูดซับเสียงแบบแขวนเพดาน (Vertically Hanging Absorbent Baffles) นอกจากจะช่วยลดการสะท้อนที่เกิดบนเพดานแล้ว ยังช่วยเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับเสียงภายในระเบียงได้อีกด้วย (Irvine & Richards, 1998) (ดูรูปที่ 48-49)



รูปที่ 49 ตัวอย่างการติดตั้งแผงดูดซับเสียงแบบแขวนเพดาน

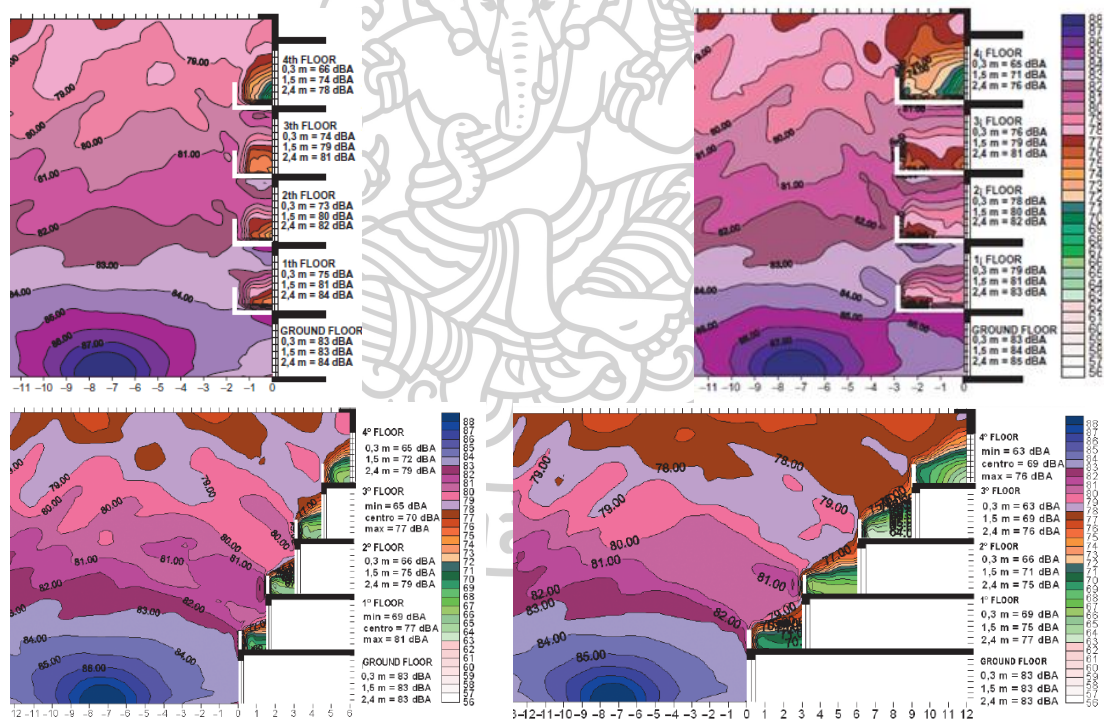
(ที่มา: <https://www.atis-international.com/en/insulation-products/room-acoustic-elements/sonobaffle-fl> เข้าถึงเมื่อ 19/07/2018)

2.5.6. การออกแบบรูปทรงอาคารเพื่อหลีกเลี่ยงเสียงรบกวน

จากการศึกษาที่ผ่านมารณอาคารที่มีระเบียงริมอาคารซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีประโยชน์ในการเป็นแนวกันเสียงให้กับผิวดอาคาร แต่หากไม่ระมัดระวังในการแก้ไขปัญหาเสียงสะท้อนจากเพดานระเบียงก็อาจทำให้ประสิทธิภาพการกันเสียงลดลงได้เช่นกัน

ระดับเสียงที่เกิดขึ้นบนอาคารที่มีลักษณะถอยร่นออกจากแหล่งกำเนิดเสียงในระดับชั้นที่สูงขึ้นไปเรื่อยๆ (Busa et al., 2011) พบว่าระดับเสียงภายในระเบียงมีค่าน้อยกว่าอาคารที่ไม่มีการถอยร่นออกจากแหล่งกำเนิดเสียงของชั้นอาคาร เนื่องจากไม่ได้ผลกระทบจากเสียงสะท้อนบนเพดานระเบียง และไม่มีเงื่อนไขของระเบียงยื่นระเบียงนั่นเอง (ดูรูปที่ 50)

แต่เนื่องจากลักษณะการออกแบบดังกล่าวอาจเกิดการสูญเสียพื้นที่ใช้ประโยชน์อาคารโดยไม่จำเป็น จึงไม่เหมาะกับอาคารบางประเภทที่ต้องการความคุ้มค่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน



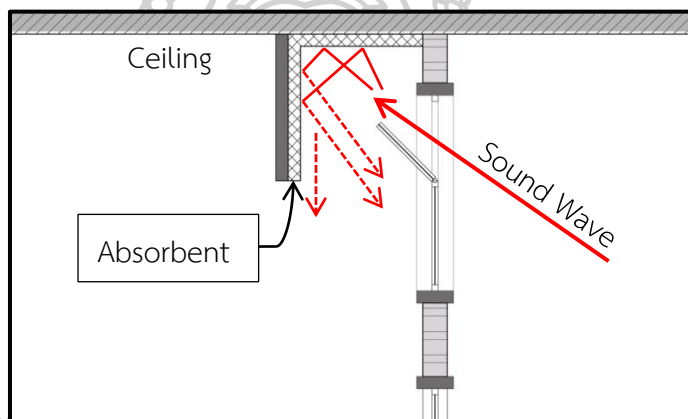
รูปที่ 50 STC Contour ของระดับเสียงที่เกิดขึ้นบนอาคารเปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ไม่มีการถอยร่น กับอาคารที่มีการถอยร่นออกจากแหล่งกำเนิดเสียง (Busa et al., 2011)

2.5.7. ช่องระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพในการลดเสียง

ในกรณีที่เป็นอาคารที่ระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ จำเป็นต้องมีช่องเปิดในการรับลม จึงไม่สามารถปิดกั้นเสียงโดยวิธีตรงได้ แต่สามารถแก้ไขปัญหาทางอ้อมโดยอาศัยการใช้วัสดุดูดซับเสียง ได้แก่

(1) หลักการของปล่องลมดักเสียง

เสียงที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิดอาคารเปรียบเสมือนปล่องลมที่สามารถบิดรูปร่าง เพื่อช่วยเพิ่มการระยะทางเดินเสียงและให้สะท้อนไปมาจนระดับความเข้มเสียงลดลงก่อนถึงจุดรับเสียง ยิ่งมีระยะมากระดับเสียงก็ยิ่งลดลงมาก โดยภายในท่อลมนั้นต้องถูกติดตั้งด้วยวัสดุดูดซับเสียง (ปริชญา รังสิริกซ์, 2541)

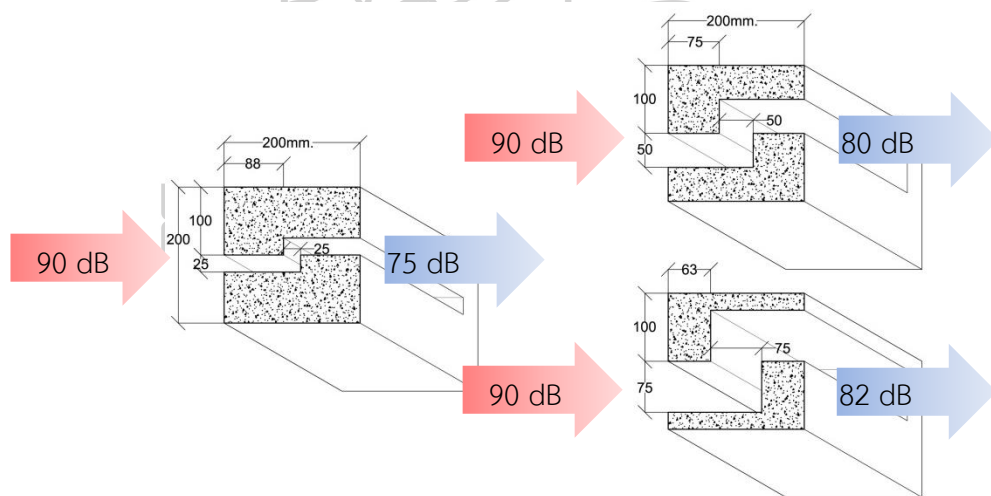


รูปที่ 51 ช่องระบายอากาศที่ใช้การบิดรูปร่างทางเดินเสียงเพื่อลดระดับเสียงก่อนถึงจุดรับเสียงดัดแปลง (ปริชญา รังสิริกซ์, 2541)

การศึกษาปรับปรุงคอนกรีตบล็อกแบบมีช่องโพร่งระบายอากาศให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันเสียง (อิษฎา แก้วประเสริฐ, 2549) จากคอนกรีตบล็อกแบบโพร่งที่มีขายในท้องตลาดซึ่งมีช่องโพร่งโล่งและเสียงสามารถผ่านเข้ามาได้ง่าย เพิ่มประสิทธิภาพโดยการกำหนดตำแหน่งของช่องลมเข้า-ออกวางเหลื่อมกัน คอนกรีตบล็อกที่นำมาทดสอบมีความหนา 20 เซนติเมตร โดยเปรียบเทียบระหว่างขนาดช่องกว้าง 25, 50 และ 75 มิลลิเมตร โดยมีระยะเหลื่อมเท่ากับขนาดของช่อง พบว่าที่ช่วงความถี่กลาง 1,000 เฮิรตซ์ แบบที่มีช่องขนาดกว้าง 25 มิลลิเมตร ระดับเสียงลดลงมากที่สุดคือ 15 เดซิเบล รองลงมาคือ 50 มิลลิเมตร ลดได้ 10 เดซิเบล และ 75 มิลลิเมตร ลดได้ 8 เดซิเบล (ดูรูปที่ 53) เนื่องจากปัจจัยระยะทางที่เสียงเกิดการสะท้อนภายในบล็อกที่ผ่านบล็อก น้ำหนักของบล็อก และความพรุนของวัสดุคอนกรีตบล็อกที่สามารถดูดซับเสียงในช่วงความถี่สูงได้ดี



รูปที่ 52 ตัวอย่างคอนกรีตบล็อกแบบช่องโพร่งที่มีจำหน่ายทั่วไป



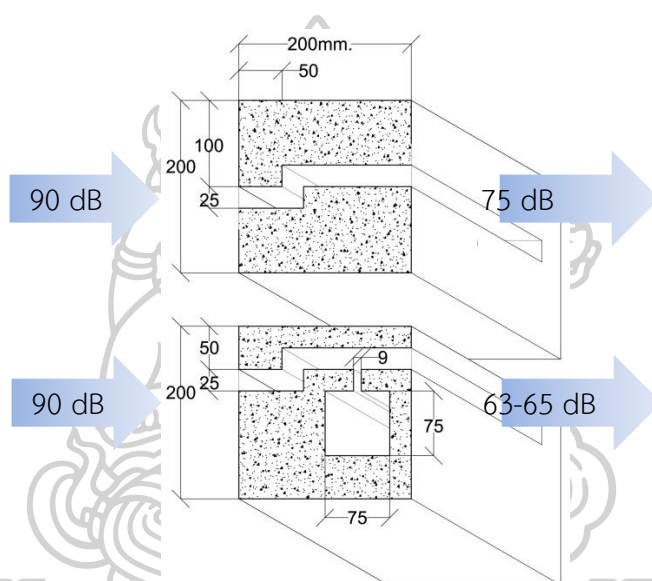
รูปที่ 53 ประสิทธิภาพการลดเสียงของคอนกรีตบล็อกชนิดช่องลมเข้าออกเอียงกัน
ดัดแปลง (อิษฎา แก้วประเสริฐ, 2549)

(2) โพร่งภายในผนังเพื่อการดูดซับเสียง

เป็นการออกแบบโดยใช้วัสดุดูดซับเสียงประเภท Cavity Absorbers (อธิบายในหัวข้อที่ 2.4.1.) ได้แก่ คอนกรีตบล็อกแบบมีโพร่งภายใน (Acoustics Blocks) มีข้อดีคือทนทานต่อ

สภาพแวดล้อมที่ต้องสัมผัสอากาศและความชื้นได้ดีกว่าแผ่นดูดซับเสียงชนิดเส้นใยและรูพรุนที่เสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่อสัมผัสความชื้น เหมาะแก่การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับเสียงให้กับผนังบนระเบียง

ในการเพิ่มประสิทธิภาพการกันเสียงคอนกรีตบล็อกแบบโปร่ง โดยเพิ่มโพรงอากาศภายในวัสดุ (อิฐฉนวน แก้วประเสริฐ, 2549) ก็ใช้หลักการเดียวกัน พบว่ามีประสิทธิภาพการกันเสียงได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกที่มีขนาดช่องลมเท่ากันแต่ไม่มีโพรงอากาศภายในต่างกับประมาณ 10-12 เดซิเบล ในช่วงความถี่ 315 - 500 เฮิรตซ์ (ดูรูปที่ 54)



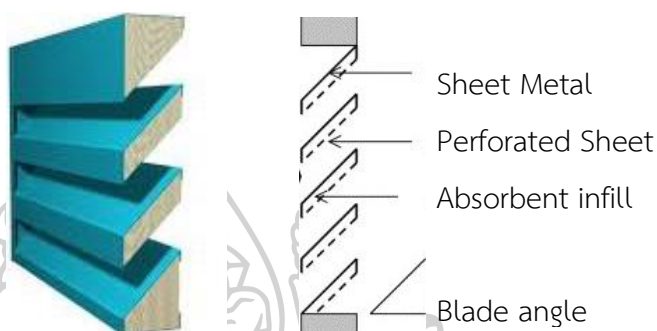
รูปที่ 54 ประสิทธิภาพการกันเสียงของคอนกรีตบล็อกแบบมีโพรงดัดแปลง (อิฐฉนวน แก้วประเสริฐ, 2549)

(3) บานเกล็ด และ Acoustical Louver

เมื่อเสียงเดินทางผ่านบานเกล็ดจะเกิดการสะท้อน 2 ครั้ง ครั้งแรกคือกระทบและสะท้อนจากผิวบนของบานเกล็ดชั้นล่าง ครั้งที่สองคือเสียงที่มากกระทบกับใต้ท้องของบานเกล็ดชั้นบนก่อนสะท้อนผ่านไปยังอีกด้านของช่องเปิด เพื่อที่จะลดเสียงที่ผ่านเข้ามานี้ได้จำเป็นต้องมีการวัสดุดูดซับเสียงลงบนพื้นผิวของบานเกล็ด แต่การติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงที่ผิวบนซึ่งเป็นบริเวณที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าอาจทำให้วัสดุเสื่อมสภาพได้ง่าย จึงมักติดตั้งที่ผิวผิวด้านใต้ของเกล็ดมากกว่า

ประสิทธิภาพการลดเสียงของบานเกล็ดขึ้นกับสัดส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างเกล็ดและความกว้างของแผ่นเกล็ด สัดส่วนยิ่งลดลงประสิทธิภาพจะยิ่งดีขึ้นแต่ทั้งนี้ยังขึ้นกับปัจจัยสำคัญ ได้แก่ ทิศทางเสียงจากแหล่งกำเนิด และการปรับมุมของบานเกล็ดด้วย (ปรีชญา รังสิรักษ์, 2541)

Acoustical Louver คือ ปล่อยลมดักเสียงขนาดสั้นที่เรียงกันเหมือนบานเกล็ด ทำจากวัสดุดูดซับเสียงที่มีความพรุน ปิดผิวด้านบนเพื่อป้องกันหยดน้ำ ส่วนผิวล่างเป็นผิวที่มีรู (Perforated) เพื่อทำหน้าที่ดูดซับเสียง (ดูรูปที่ 55) โดยทั่วไปจะมีความกว้างประมาณ 10-30 เซนติเมตร และโดยปกติแล้ว Acoustical Louver จะลดระดับเสียงได้ดีต่อเมื่ออากาศที่ผ่านเข้ามามีระดับความดันมาก (Cavanaugh & Wilkes, 1999)




รูปที่ 55 องค์ประกอบของ Acoustic louver

ตารางที่ 24 ตัวอย่างค่า TL และ STC ของบาน Acoustic Louver (ที่มา: www.priceindustries.com, 2018)

Louver Type	ความหนา (cm.)	Transmission Loss (dB)						STC (dB)
		แยกตามความถี่ (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	
Flat Blade	15	4	4	7	14	15	11	12
	20	4	5	9	18	19	13	14
	30	5	6	11	22	26	17	17

ตารางที่ 24 (ต่อ) ตัวอย่างค่า TL และ STC ของบาน Acoustic Louver

(ที่มา: www.priceindustries.com, 2018)

Louver Type	ความหนา (cm.)	Transmission Loss (dB)						STC (dB)
		แยกตามความถี่ (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	
 Aerofoil Blade	20	5	7	10	15	12	8	12
	30	7	9	14	15	12	8	12

2.6. อาคารเรียน สาเหตุ และผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางเสียงจากถนน

2.6.1. แบบมาตรฐานอาคารเรียน

ในการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่อาคารเรียนที่มีการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติและมีรูปแบบการจัดผังห้องเรียนชนิดทางเดินเดี่ยว (Single Loaded Corridor) ซึ่งเป็นรูปแบบทั่วไปของโรงเรียนระดับประถม-มัธยมศึกษาในประเทศไทย เป็นไปตามแบบมาตรฐานอาคารเรียนของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานซึ่งสามารถอธิบายลักษณะทางกายภาพของอาคารจำแนกได้ ดังนี้

1) การจัดผัง

อาคารเรียนจะประกอบด้วยห้องเรียนจำนวน 3-8 ห้อง/ชั้น แต่ละห้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 6×9 ตารางเมตร ด้านหนึ่งเป็นหน้าต่างระบายอากาศและอีกด้านหนึ่งเป็นประตูทางเข้าออกแต่ละห้องวางเรียงต่อกันเป็นผังรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เชื่อมต่อกันด้วยระเบียงที่ทางเดินที่มีขนาดความกว้าง 2-2.50 เมตร กำแพงระเบียงเป็นผนังก่อหรือคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 1.20 เมตร และมีการหล่อคอนกรีตยื่นออกมาสำหรับเป็นที่นั่งด้วย

2) ใต้ถุนอาคาร

เนื่องจากในหลายพื้นที่ของประเทศไทยมักประสบปัญหาน้ำท่วมเป็นประจำทุกปีจึงมีการแนะนำให้ออกแบบมีใต้ถุนโล่งใต้อาคารซึ่งนิยมนำมาดัดแปลงเป็นพื้นที่เอนกประสงค์ หรือในบางอาคารที่มีห้องเรียนชั้นล่างจะใช้การยกสูงขึ้นมาจากระดับพื้นดิน 90 เซนติเมตร

3) จำนวนชั้น

แบบอาคารเรียนปกติจะมีความสูงตั้งแต่ 2-4 ชั้น แต่บางอาคารที่มีความสูงพิเศษ 5-7 ชั้น มีสาเหตุเนื่องมาจากเหตุผลทางสภาพเศรษฐกิจในช่วงเวลานั้น แต่ละชั้นจะมีความสูง 3-3.50 เมตร

4) ทางสัญจร

แต่ละชั้นเชื่อมต่อกันด้วยบันได มี 2 ตำแหน่ง เชื่อมต่อกับปลายทางเดินริมระเบียง และมีการติดตั้งลิฟต์สำหรับอาคารที่มีความสูงเกิน 4 ชั้นขึ้นไป

5) ช่องเปิด

แต่ละห้องประกอบด้วยผนังสองด้านที่ไม่ได้ติดต่อกับห้องเรียนอื่น ด้านหนึ่งเป็นหน้าต่างบานเปิดเรียงกันเต็มตลอดช่วงเสา อีกด้านหนึ่งเป็นประตูทางเข้าออกที่บริเวณหน้าและหลังห้องอย่างละบาน ที่ผนังตอนบนเหนือขอบประตู-หน้าต่างเป็นช่องแสงหรือช่องระบายอากาศ ทำจากกระจก ลูกกรงเหล็ก หรือคอนกรีตบล็อกแบบโปร่ง

6) แผงบังแดด/กันสาด

ชายคาหลังคามีระยะยื่น 1.90 เมตร ส่วนชั้นอื่นลงมาจะเป็นกันสาดคอนกรีตเสริมเหล็ก ยื่นจากตัวอาคารหรือขอบระเบียงประมาณ 1-1.50 เมตร

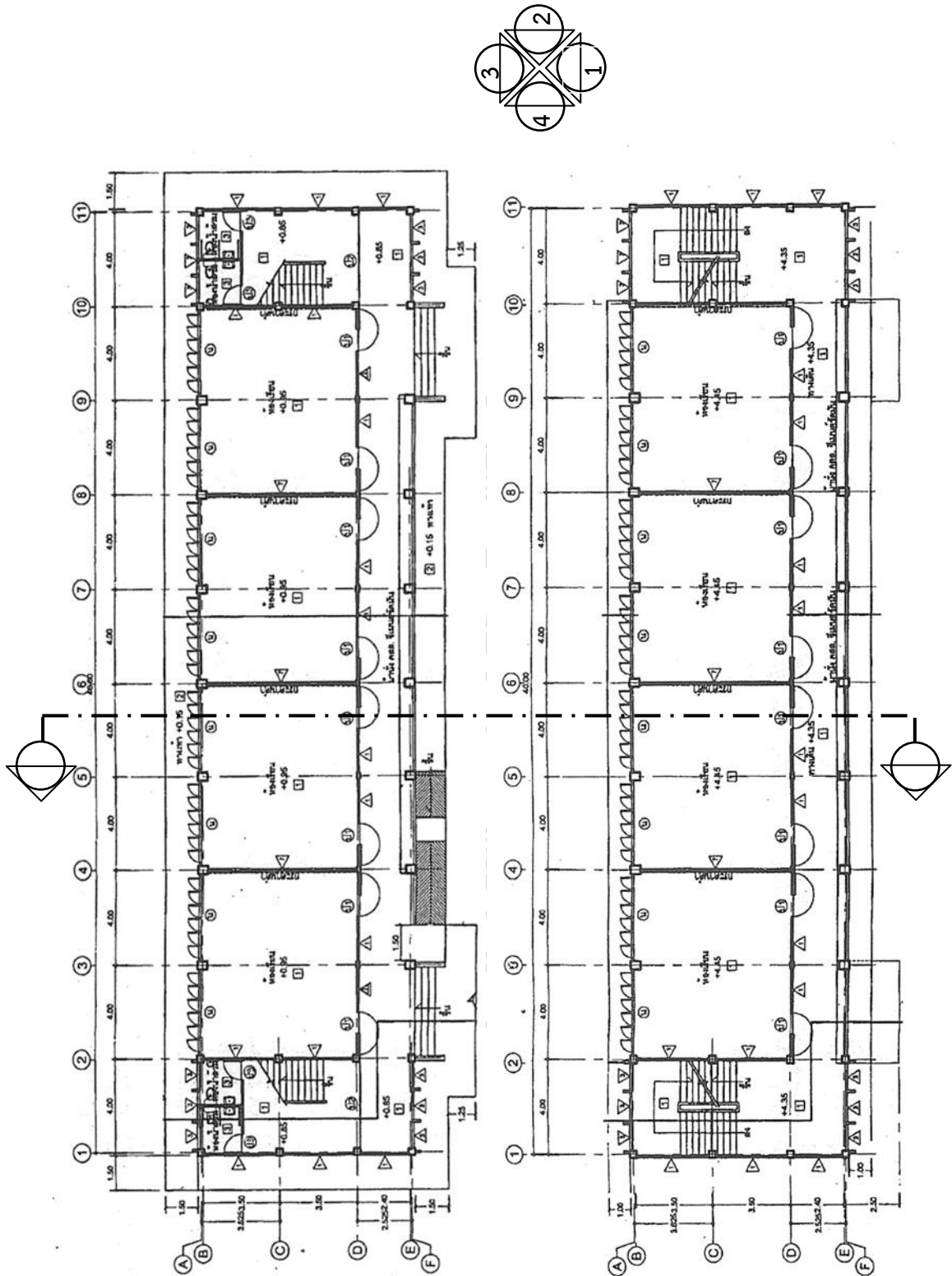
7) โครงสร้างและวัสดุ

ใช้ระบบเสา-คานคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นเป็นแบบหล่อในที่และแบบสำเร็จรูป ผนังภายนอกเป็นผนังก่ออิฐหนา 10 เซนติเมตร ส่วนผนังภายในเป็นผนังก่อหรือผนังโครงคร่าวเหล็กหรือไม้กรุทับด้วยแผ่นผนัง

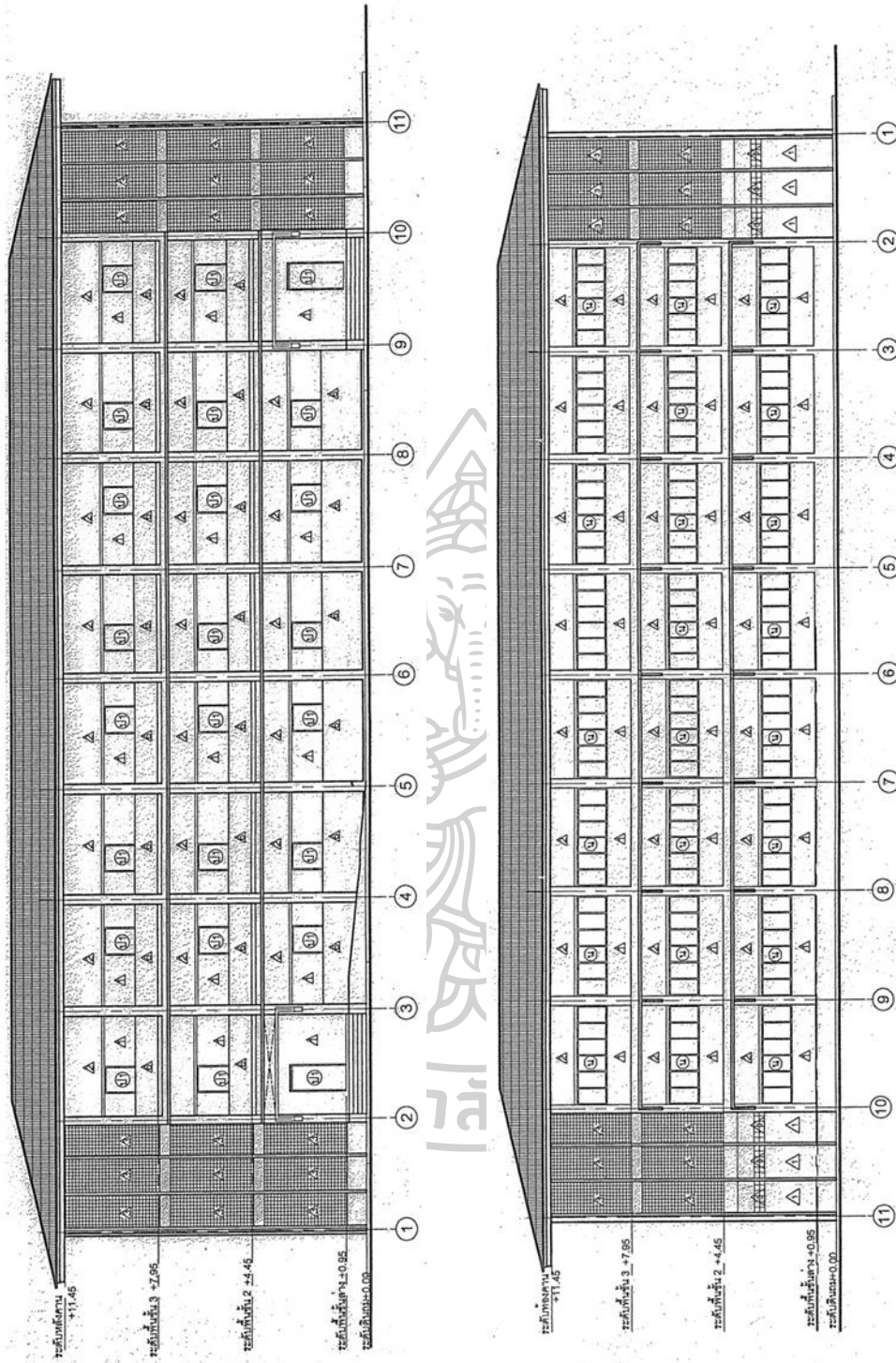
8) ระบบทำความเย็น

ใช้พัดลมไฟฟ้าติดเพดาน 48 วัตต์ ขนาด 16 นิ้ว จำนวน 2 เครื่อง

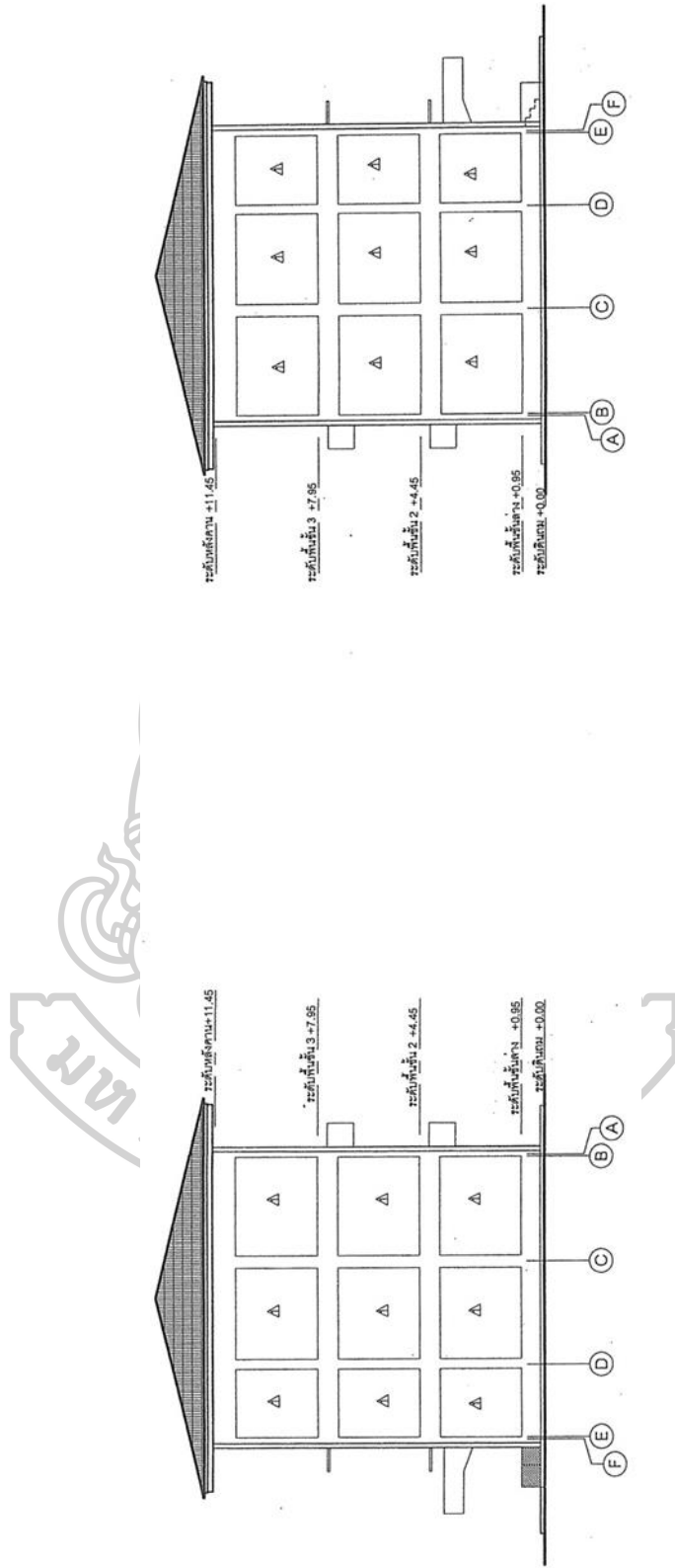
รูป 56-60 เป็นตัวอย่างแบบอาคารเรียนมาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ของอาคารเรียน 3 ชั้น 12 ห้องเรียน



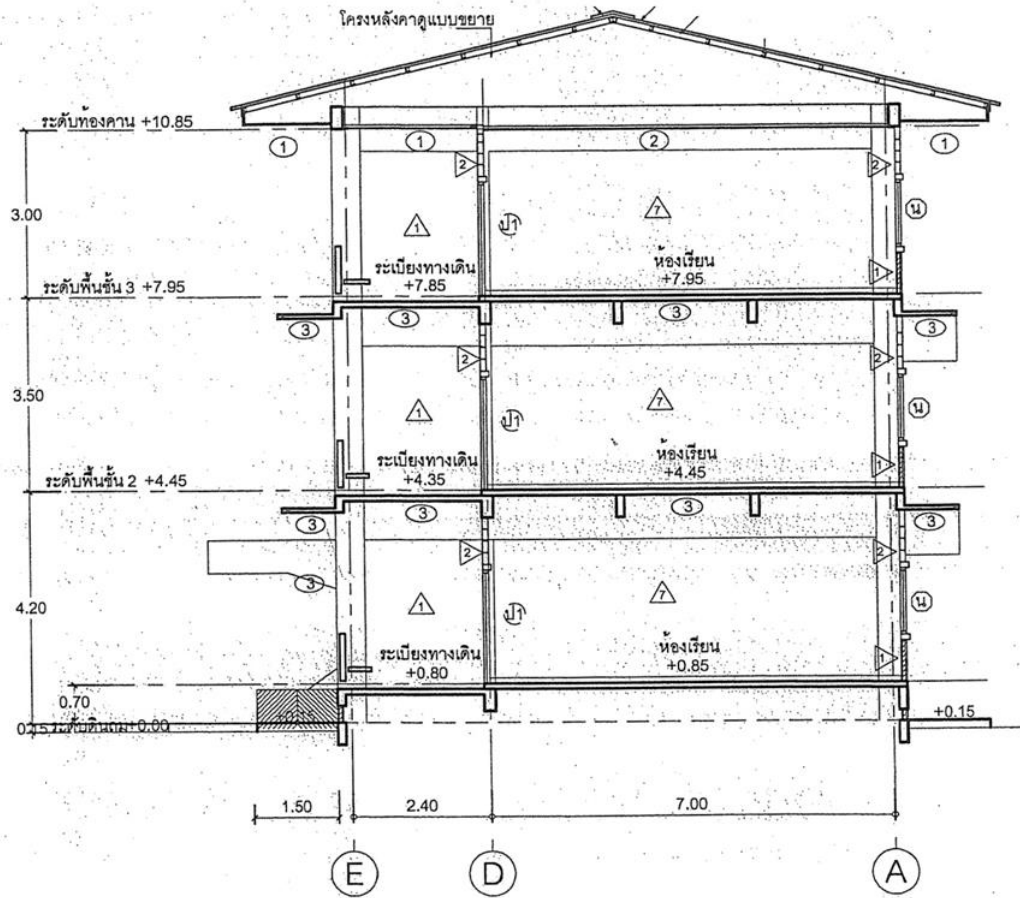
รูปที่ 56 ผังพื้นที่ 1 (ภาพบน) และพื้นที่ 2 และ 3 (ภาพล่าง) ของแบบอาคารเรียนตัวอย่างของ สพฐ.



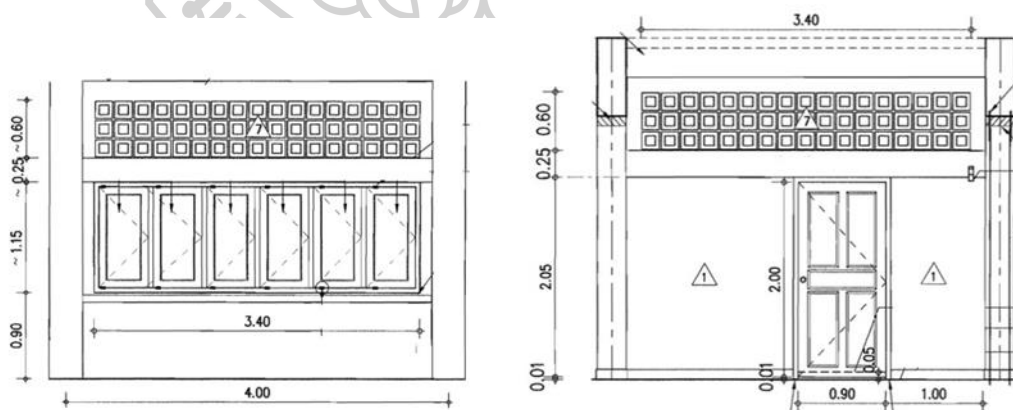
รูปที่ 57 รูปด้านที่ 1 (ภาพบน) และด้านที่ 3 (ภาพล่าง) ของแบบอาคารเรียนตัวอย่างของ สพฐ.



รูปที่ 58 รูปด้านที่ 2 (ซ้าย) และด้านที่ 4 (ขวา) ของแบบอาคารเรียนตัวอย่างของ สพฐ.



รูปที่ 59 รูปตัดขวางผ่านห้องเรียนของแบบอาคารเรียนตัวอย่างของ สฟฐ.

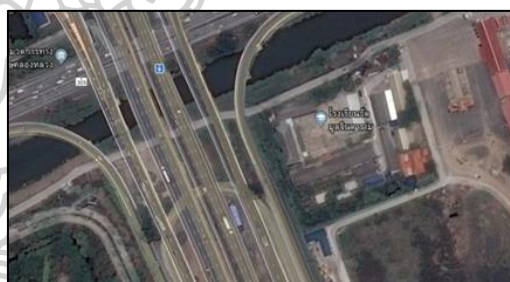


รูปที่ 60 รูปด้านขยายผนังประตู-หน้าต่างและช่องระบายอากาศของแบบอาคารเรียนตัวอย่าง

2.6.2. ปัญหาเสียงรบกวนของโรงเรียนเนื่องจากการจราจรบนถนนและผลกระทบ

สำหรับการประเมินสภาพแวดล้อมทางเสียงของอาคารและชุมชนในประเทศไทยจะประเมินจากค่าระดับการรบกวน (อธิบายในหัวข้อ 2.3.2.) โดยยึดตามถือมาตรฐานระดับเสียงรบกวนและวิธีการตรวจวัด จากประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 29 (พ.ศ.2550) เรื่องค่าระดับเสียงรบกวน ซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 10 เดซิเบลเอ

ตัวอย่างปัญหาสภาพแวดล้อมทางเสียงในอาคารเรียนจากรายงานผลกระทบของเสียงรบกวนต่อการรับรู้จากการฟัง (กรมส่งเสริมสุขภาพและสิ่งแวดล้อม, 2553) ได้ทำการเก็บข้อมูลระดับเสียงของโรงเรียนวัดเถรพลาย จังหวัดสุพรรณบุรี ตั้งอยู่ริมถนนทางหลวงหมายเลข 304 ห่างจากถนนเป็นระยะ 12.5 เมตร และโรงเรียนวัดมูลจินดาราม จังหวัดปทุมธานี ตั้งอยู่ใกล้กับทางยกระดับถนนกาญจนาภิเษกด้านตะวันออก ห่างจากถนนเป็นระยะ 41 เมตร และโรงเรียนทั้งสองแห่งเป็นห้องเรียนแบบระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติที่มีลักษณะตามมาตรฐานแบบโรงเรียนของ สพฐ.



โรงเรียนวัดเถรพลาย



โรงเรียนวัดมูลจินดาราม

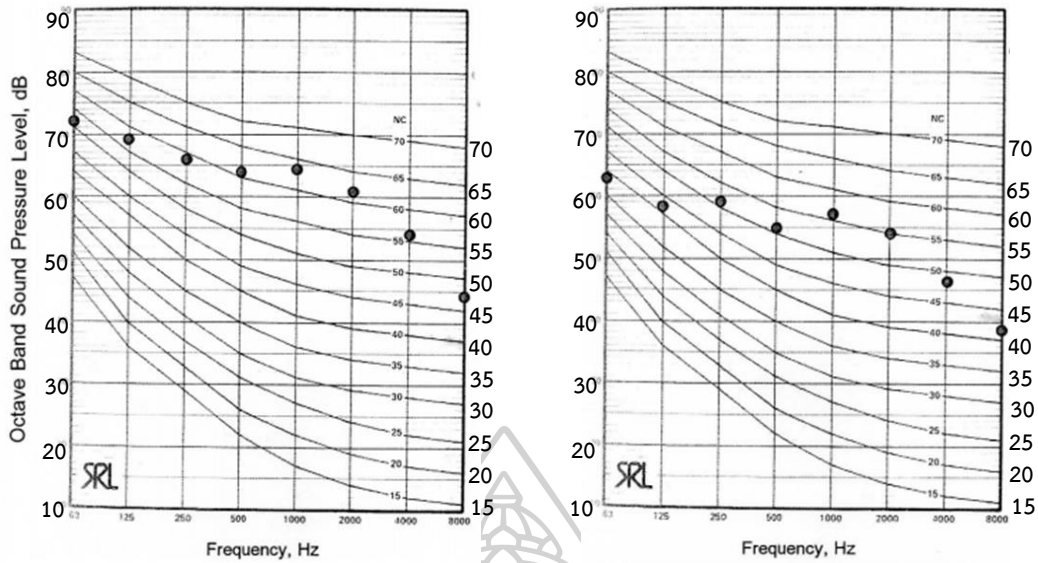
รูปที่ 61 ตัวอย่างลักษณะอาคารเรียนและผังบริเวณที่ตั้งของโรงเรียนที่ได้รับผลกระทบเสียงรบกวนจากการจราจรบนถนน

(ที่มา: ระบบสารสนเทศเพื่อบริหารงานศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน)

ในการเก็บข้อมูลระดับเสียงจะติดตั้งเครื่องวัดเสียงให้อยู่ในระดับสูง 1.20 เมตรภายในห้องจำนวน 5 ตำแหน่ง และเก็บข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง เพื่อหาค่าเฉลี่ย จากนั้นจึงคำนวณหาค่าระดับการรบกวน พบว่าโรงเรียนวัดเถรพลายและโรงเรียนวัดมูลจินดาราม มีระดับการรบกวนอยู่ระหว่าง 15.2–20 และ 11.5–18.0 เดซิเบลเอ ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าระดับเสียงที่เกินกว่ามาตรฐานกำหนด (ดูตารางที่ 25)

ตารางที่ 25 (ดัดแปลง) ค่าระดับเสียงต่างๆจากการตรวจวัดและคำนวณของโรงเรียนวัดเถรพลาย (ถ.พ.) และโรงเรียนวัดมูลจินดาราม (ม.จ.) (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2553)

เวลา	ระดับเสียงพื้นฐาน (dBA)		ระดับเสียงเฉลี่ยขณะไม่มีเสียงจราจร (dBA)		ระดับเสียงเฉลี่ยขณะมีการจราจร (dBA)		ระดับเสียงจราจรตัดอิทธิพลสิ่งแวดล้อมแล้วบวก 3 (dBA)		ค่าระดับการรบกวน (dBA)	
	ถ.พ.	ม.จ.	ถ.พ.	ม.จ.	ถ.พ.	ม.จ.	ถ.พ.	ม.จ.	ถ.พ.	ม.จ.
10.00	55	51.0	60.8	54.6	72.9	63.7	75.6	66.2	20.6	15.2
11.00	55	52.6	60.8	56.1	68.7	66.8	70.9	69.3	15.9	16.7
12.00	55	50.6	60.8	52.7	69.5	65.6	71.9	68.6	16.9	18.0
13.00	55	50.3	60.8	53.1	68.9	65.0	71.2	67.5	16.2	17.2
14.00	55	50.9	60.8	57.5	68.1	66.4	70.2	68.9	15.2	18.0
15.00	55	51.6	60.8	55.7	70.4	61.6	72.9	63.1	17.9	11.5



โรงเรียนวัดเถรพลาย NC = 63

โรงเรียนวัดมุลจินดาราม NC = 57

รูปที่ 62 ค่าเกณฑ์เสียงของโรงเรียนที่ได้รับผลกระทบเสียงรบกวนจากการจราจรบนถนน (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2553)

จากการศึกษาผลกระทบการเรียนรู้ของนักเรียนในโรงเรียนที่ตั้งอยู่ริมถนนของพวก (2542) ของโรงเรียนวัดสร้อยทองและโรงเรียนบางกระบือ กรุงเทพมหานคร สามารถวัดค่าระดับเสียงได้ 67.7–71.2 เดซิเบลเอ พบว่านักเรียนสามารถทำคะแนนจากการทดสอบทักษะการฟังได้ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ธนารุส (2547) ยังพบว่า เมื่อระดับเสียงรบกวนในห้องเรียนเพิ่มขึ้นจากเดิม 5 เดซิเบลเอ จะทำให้ทักษะในการฟังลดลงถึง 10 เปอร์เซ็นต์ อีกด้วย (อ้างถึงในกรมส่งเสริมสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม, 2553: 10)

จากการศึกษาในข้างต้นเห็นได้ชัดว่าอาคารเรียนที่ตั้งอยู่ริมถนนที่มีการจราจรหนาแน่นไม่สามารถป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกได้โดยเฉพาะอาคารที่ใช้การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ มีการให้แนะนำในการสร้างกำแพงกันเสียงที่มีความสูงอย่างน้อย 2.50 เมตร และทำจากวัสดุที่มีมวลไม่ต่ำกว่า 20 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สามารถลดเสียงรบกวนที่บริเวณชั้นหนึ่งได้ประมาณ 20 เดซิเบลเอ แต่สำหรับชั้นที่อยู่สูงขึ้นไปกำแพงกันเสียงไม่สามารถช่วยได้ อาจต้องมีการติดตั้งแผ่นกันเสียง Paraglass ติดตั้งบนโครงสร้างเดิม (ดูรูป 63)

คุณสมบัติของ Paraglass

- ทำจากวัสดุ Acrylic
- ปริมาณแสงที่ส่องผ่าน (Light Transmission) 92%
- มีค่าสัมประสิทธิ์การแทรกผ่านเสียง (STC) เท่ากับ 32 เดซิเบล
- ความหนาแผ่น 15 มิลลิเมตร

ที่มา: Pressnail (2012)



รูปที่ 63 ตัวอย่างการใช้ผนังกระจกกระจกกันเสียงบนโครงสร้างผนังภายนอกของอาคาร (Busa et al., 2011)

ประเทศไทยโดยเฉพาะในเมืองใหญ่ มีโรงเรียนจำนวนมากที่ตั้งอยู่ริมถนนเพราะมีการให้ความสำคัญความสะดวกสบายต่อการเดินทางเข้าถึงด้วยระบบขนส่งสาธารณะ หรือในบางกรณีที่ดินถูกสร้างหลังจากการก่อตั้งโรงเรียนเนื่องจากการขยายตัวของเมืองทำให้จำเป็นต้องยอมรับผลกระทบจากเสียงรบกวนที่เกิดจากรถยนต์บนถนนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จนเกิดผลกระทบกับการเรียนการสอน

จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการค้นคว้าแนวทางการลดเสียงรบกวนด้วยองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมให้กับอาคารเรียนที่ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ เพื่อหวังจะให้เป็นแนวทางแก้ไขหรือบรรเทาปัญหาสภาพแวดล้อมทางเสียงอีกหนทางหนึ่ง

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการค้นคว้าอิสระเพื่อหาแนวทางการลดเสียงรบกวนจากการจราจรบนถนนสำหรับอาคารเรียนรัฐบาลที่มีการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ โดยการนำเสนอแนวทางการออกแบบหรือปรับปรุงทางสถาปัตยกรรม ที่คำนึงถึงสภาพแวดล้อมทางเสียงสำหรับอาคารเรียนโดยตั้งสมมุติฐานว่าสภาพแวดล้อมและการออกแบบทางสถาปัตยกรรมมีส่วนช่วยในการลดระดับเสียงจากถนนที่มีการจราจรหนาแน่นในเขตเมืองให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมการเรียนการสอนในโรงเรียนได้ โดยมีขั้นตอนการศึกษา คือ

- (1) ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในประเด็นต่างๆ ดังนี้
 - (1.1) ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับธรรมชาติของเสียงและเสียงรบกวน
 - (1.2) แนวทางการลดเสียงรบกวนโดยการออกแบบทางสถาปัตยกรรมและสภาพแวดล้อม
 - (1.3) ศึกษาแบบสถาปัตยกรรมอาคารเรียนที่ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติและปัญหาสภาพแวดล้อมทางเสียงที่เกิดขึ้น
- (2) เลือกอาคารเรียนกรณีศึกษาโรงเรียนรัฐบาลที่ใช้การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ที่ตั้งอยู่ริมถนนที่มีการจราจรหนาแน่นในกรุงเทพมหานคร เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของอาคาร บริบทที่ตั้ง สภาพแวดล้อม และแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนภายนอก
- (3) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมทางเสียงในอาคารกรณีศึกษา โดยแบ่งเป็น 3 ข้อ คือ
 - (3.1) ความสามารถในการลดเสียงผ่านผนัง (Sound Transmission Class, STC) ของผนังห้องเรียน
 - (3.2) ค่าเวลากังวาน (Reverberation Time, RT) ภายในห้องเรียน
 - (3.3) ระดับเสียงของห้องเรียนและระเบียงทางเดิน อาคารกรณีศึกษา จากการตรวจวัดค่าระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level, SPL) โดยใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน
- (4) วิเคราะห์ผลการศึกษา สรุปผล ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา และข้อเสนอแนะจากการศึกษา

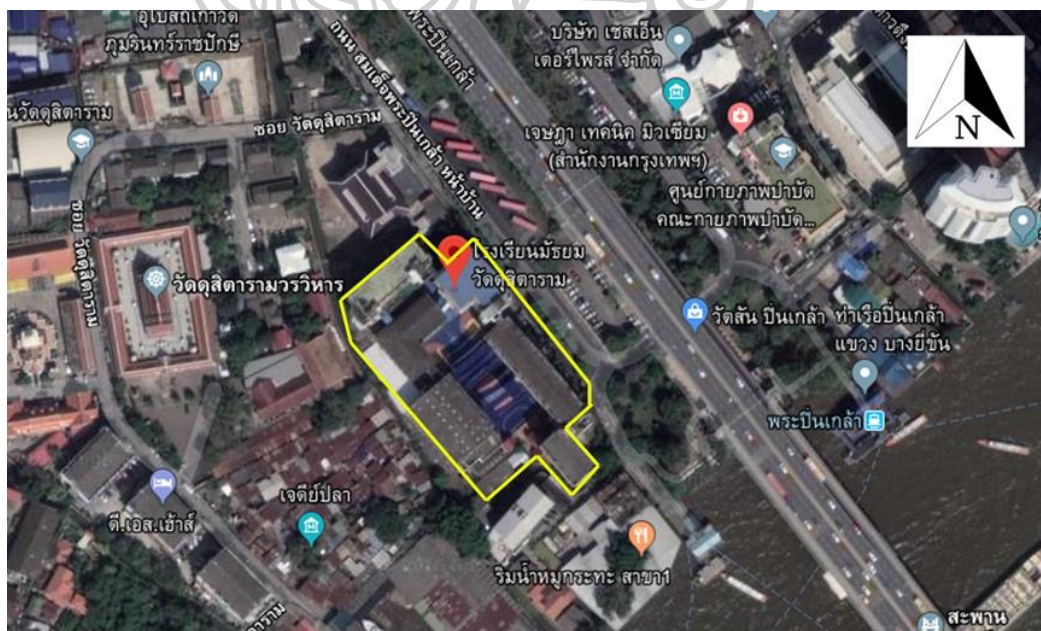
3.1. กรณีศึกษา: โรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม

3.1.1. ข้อมูลทั่วไป

ที่ตั้ง เลขที่ 1/13 ถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้า แขวงอรุณอมรินทร์ เขตบางกอก
น้อย กรุงเทพมหานคร
ขนาดที่ดิน 4 ไร่ 2 งาน 47 ตารางวา (7,388 ตารางเมตร)

ประวัติการก่อตั้ง

- พ.ศ.2504 ก่อตั้งครั้งแรกโดยเปิดการสอนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-7 สังกัดกองการ
ประถมศึกษา ณ ที่ตั้ง ภายในซอยสมเด็จพระปิ่นเกล้า 1 ที่ห่างจากถนน
สมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้านเข้ามาประมาณ 135 เมตร
- พ.ศ.2519 โอนมาสังกัดกองการมัธยมศึกษา เปิดทำการสอนระดับ ม.ศ.1 – ม.ศ.3
แต่ก่อตั้ง “โรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม” ณ ที่ตั้งปัจจุบัน ริมถนนสมเด็จพระ
พระปิ่นเกล้าหน้าบ้าน
- พ.ศ.2521 เปลี่ยนเป็น ม.1 – ม.3
- พ.ศ.2526 เปิดการสอนชั้น ม.4 – ม.6 จนถึงปัจจุบันมีนักเรียนประมาณ 1,800 คน

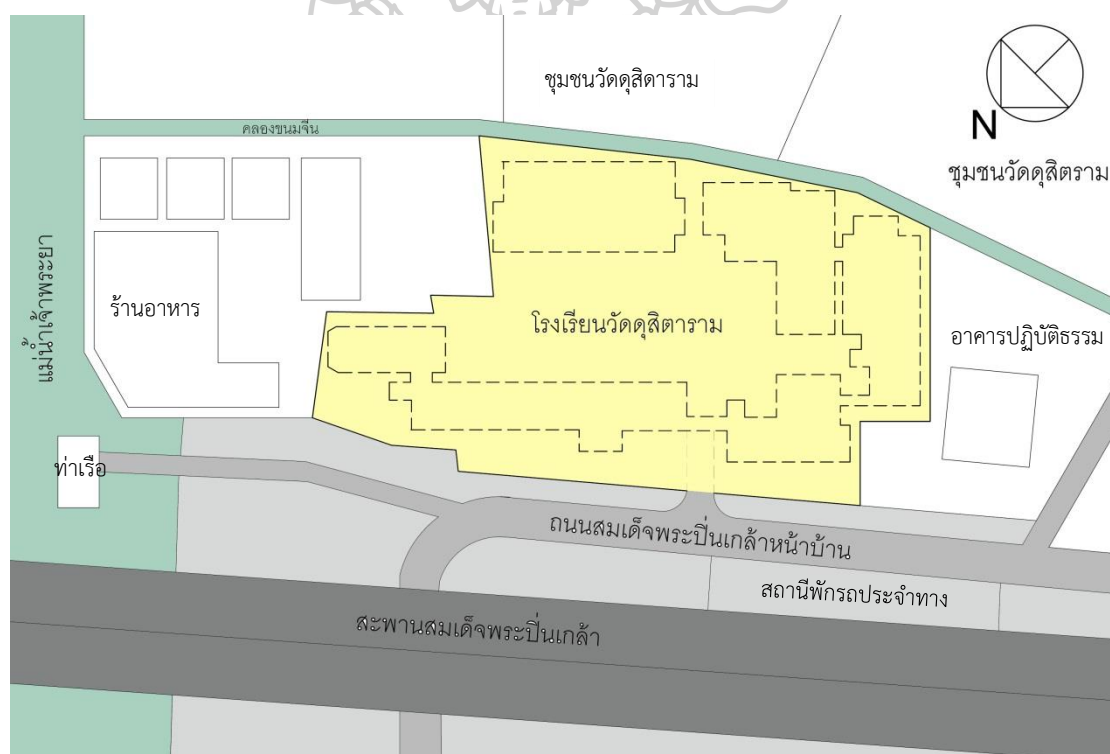


รูปที่ 64 ภาพถ่ายทางอากาศแสดงที่ตั้งและสภาพแวดล้อมรอบโรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม

3.1.2. สภาพแวดล้อมและบริบทโดยรอบ

โรงเรียนมัธยมวัดคูสิดารามตั้งอยู่บริเวณเชิงสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้าทางด้านฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยามีระยะห่างแนวราบจากริมสะพานประมาณ 36 เมตร มีอาณาเขตติดต่อกับพื้นที่ต่างๆ ดังนี้ (ดูรูปที่ 65)

ด้านหน้าของเขตที่ดิน	ถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้าน มีขนาด 8 เมตร 2 ช่องทางจราจร ขอบทางห่างจากห่างเขตที่ดิน 7 เมตร
ด้านซ้ายของเขตที่ดิน	ร้านอาหารเปิดเฉพาะเวลากลางคืน เป็นอาคาร 1-2 ชั้น ถัดไปเป็นท่าขึ้น-ลงผู้โดยสารเรือด่วนเจ้าพระยา
ด้านขวาของเขตที่ดิน	อาคารปฏิบัติธรรม วัดคูสิดารามวรวิหาร ความสูง 2 - 3 ชั้น
ด้านหลังของเขตที่ดิน	ชุมชนวัดคูสิดาราม มีคลองขนาดเล็กกั้นระหว่างกลาง



รูปที่ 65 ผังแสดงตำแหน่งที่ตั้งของอาคารเรียนและพื้นที่โดยรอบ

3.1.3. แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนภายนอกโรงเรียน

(1) สะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า

สะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า เป็นสะพานข้ามแม่น้ำเจ้าพระยาเชื่อมถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าระหว่างเขตพระนครและเขตบางกอกน้อย เปิดใช้ครั้งแรกปี พ.ศ. 2516 (สร้างก่อนโรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม 3 ปี) มีขนาด 21 เมตร 6 ช่องทางจราจร มีปริมาณการจราจร 101,786 คัน/วัน (สำนักการจราจรและการขนส่ง กรุงเทพมหานคร, 2559) กำแพงสะพานเป็นคอนกรีตสูงประมาณ 0.90 เมตร ไม่มีการติดตั้งผนังกันเสียง ระดับความสูงของสะพานบริเวณหน้าโรงเรียนอยู่ที่ประมาณ 6-7 เมตร



(ก) ทางลาดเชิงสะพานขาลงมุมมองจากสะพานลอย (ข) ระดับความสูงสะพานบริเวณหน้าโรงเรียน

รูปที่ 66 แหล่งกำเนิดเสียงจากสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า

(2) ถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้าน

ถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้าน เป็นถนนคู่ขนานของถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้า เริ่มต้นและสิ้นสุดที่สี่แยกอรุณอมรินทร์ใช้เพื่อสำหรับกลับรถใต้สะพานบริเวณริมแม่น้ำเจ้าพระยา มีขนาด 8 เมตร 2 ช่องทางจราจร ชนิดพาหนะที่สัญจรบนถนนนี้ ได้แก่

- รถยนต์ และรถจักรยานยนต์ ที่มากลับรถใต้สะพานรวมถึงรถประจำทางเนื่องจากมีสถานีพักรถอยู่บริเวณนั้น (รูปที่ 67-ข, ค)
- รถบริการนักท่องเที่ยว ที่หยุดรอรับ-ส่งนักท่องเที่ยวที่ท่าเรือบริเวณจุดกลับรถใต้สะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า หมุนเวียนตลอดทั้งวัน (รูปที่ 67-ง)



(ก) ถนนมุมมองจากสะพานลอย



(ข) พาหนะที่สัญจรบนถนนหน้าโรงเรียน



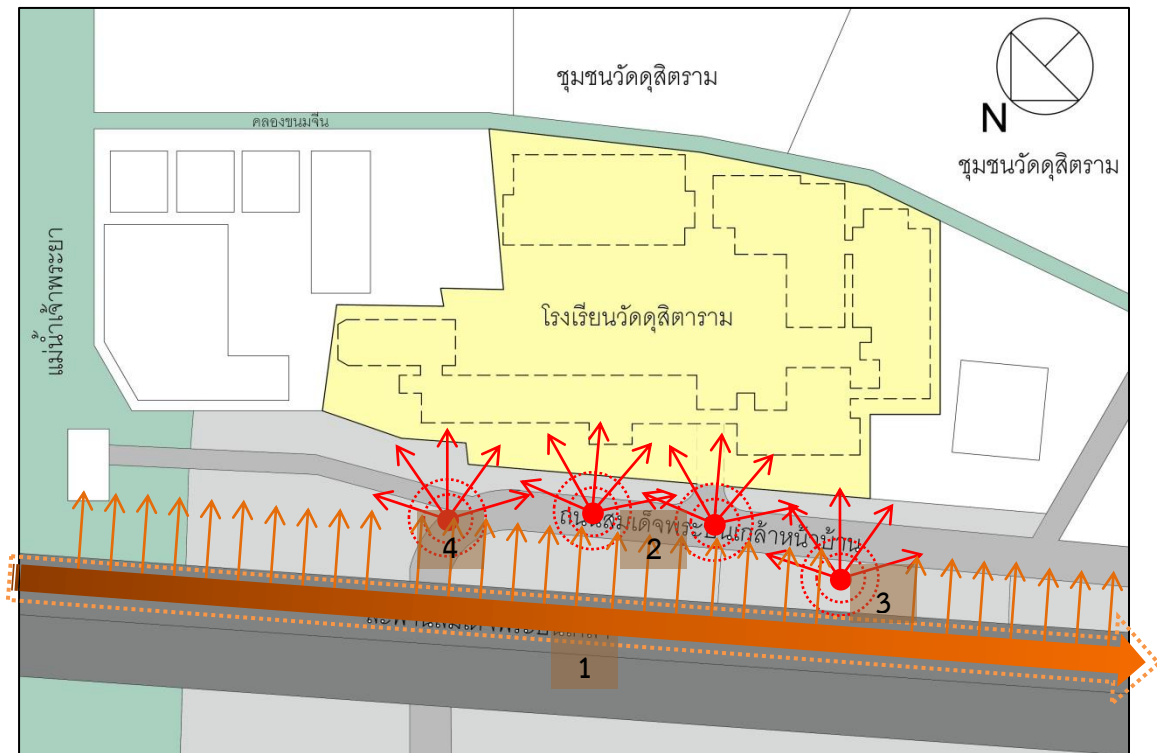
(ค) สถานีพักรถบริเวณใกล้เคียงหน้าโรงเรียน

(ง) รถบัสรับ-ส่งนักท่องเที่ยวที่ทำเรือด่วนเจ้าพระยา
มุมมองจากบนอาคารเรียน

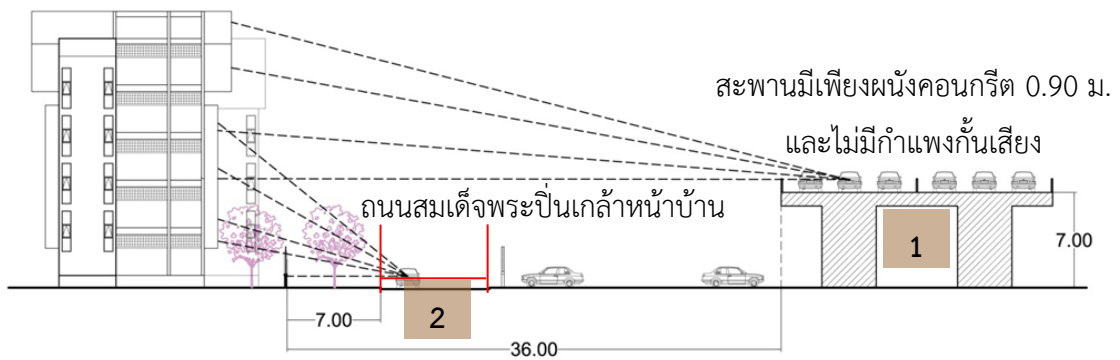
รูปที่ 67 แหล่งกำเนิดเสียงจากถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้าน

รูปที่ 68-69 ภาพอธิบายแนวเสียงจากแหล่งกำเนิดการจราจรบนถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้า และสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า จากยานพาหนะและพฤติกรรมการใช้ถนนดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น ที่ส่งผลกระทบต่อที่ตั้งโรงเรียนมัธยมวัดศุภดาราม สรุปได้ดังนี้

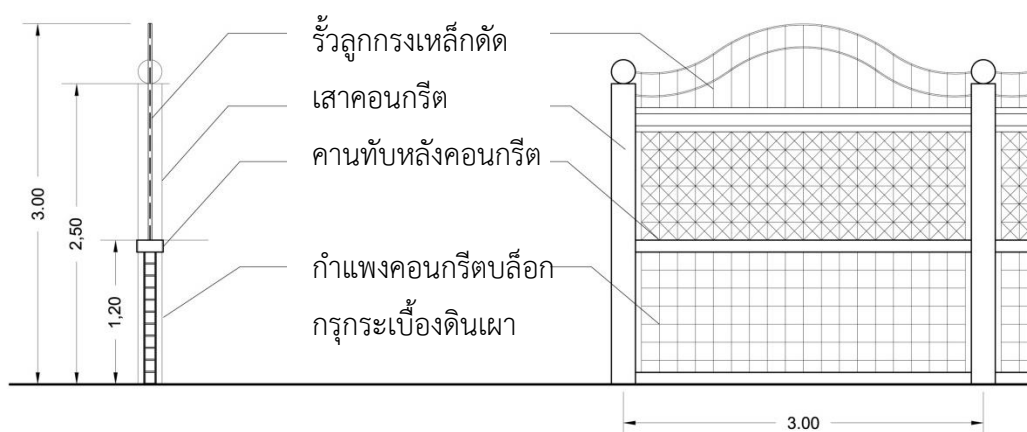
1. การจราจรจากสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้าขนาด 6 ทางสัญจร ที่ระดับความสูง ผนังโรงเรียนประมาณ 7 เมตร และมีระยะห่างจากเขตโรงเรียน 36 เมตร
2. การสัญจรจากถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้านขนาด 2 ทางสัญจร ที่ระดับพื้นดิน และมีระยะห่างจากเขตโรงเรียน 7 เมตร
3. รถบริการนักท่องเที่ยวที่หยุดคอย รับ-ส่ง นักท่องเที่ยวที่บริเวณใต้สะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้าใกล้ท่าเรือด่วนเจ้าพระยา
4. รถประจำทางที่หยุดคอยที่สถานีพักรถประจำทาง ฝั่งตรงข้ามของถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้านเอียงไปทางด้านขวาของเขตโรงเรียน



รูปที่ 68 ผังแสดงแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนภายนอกโรงเรียน



รูปที่ 69 ภาพตัดขวางแสดงแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน



รูปที่ 70 ลักษณะรั้วกันเขตที่ดินโรงเรียน

3.1.4. ผังบริเวณโรงเรียน

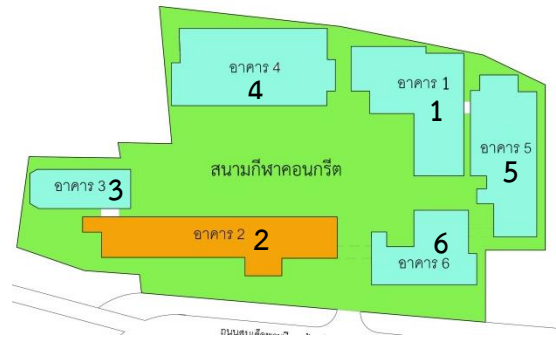
ภายในโรงเรียนประกอบด้วยอาคารจำนวน 5 หลัง ล้อมรอบสนามกีฬาคอนกรีตไว้ระหว่างกลาง ประกอบด้วยอาคาร ดังนี้

อาคาร 1 (หรรษา)	เป็นอาคาร 4 ชั้น ติดต่อกับด้านหลังของเขตที่ดิน
อาคาร 2 (วาปี)	เป็นอาคาร 5 ชั้น ติดต่อกับด้านหน้าของเขตที่ดิน
อาคาร 3 (นที)	เป็นอาคาร 5 ชั้น ติดต่อกับด้านซ้ายของเขตที่ดิน และมีทางเดินเชื่อมต่อกับอาคาร 2
อาคาร 4 (จุลี)	เป็นหอประชุมอเนกประสงค์ ติดต่อกับด้านหลังของเขตที่ดิน ข้างอาคาร 1
อาคาร 5 (มณี)	เป็นอาคาร 7 ชั้น ติดต่อกับด้านขวาของเขตที่ดิน และมีทางเดินเชื่อมต่อไปอาคาร 1
อาคาร 6 (อาคาร 72 พรรษา)	เป็นอาคารเรียนพิเศษ 7 ชั้น ใช้ระบบปรับอากาศทั้งหลัง ติดต่อกับด้านหน้าของเขตที่ดิน และมีทางเดินเชื่อมต่อกับอาคาร 2

จากการที่ผู้ศึกษาได้เข้าสำรวจสถานที่และสอบถามอาจารย์ผู้ใช้อาคาร ทำให้รับทราบว่าการที่อาคาร 2 เป็นอาคารที่ประสบปัญหาด้านเสียงรบกวนอย่างมาก เนื่องจากเป็นอาคารแบบระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ทำให้เสียงจากแหล่งกำเนิดการจราจรด้านหน้าอาคารสามารถเข้าแพร่ผ่านช่องเปิดเข้ามาได้เต็มที่ และรบกวนการสื่อสารภายในห้องเรียนแม้ว่าจะมีการนำเครื่องขยายเสียงเข้ามาช่วยแก้ไขปัญหาก็ตาม ด้วยเหตุนี้อาคาร 2 จึงถูกเลือกเพื่อนำมาศึกษาในการศึกษาครั้งนี้



อาคาร 1 มุมมองจากสนามในโรงเรียน



ผังบริเวณโรงเรียน



อาคาร 2 มุมมองจากริมถนน



อาคาร 2 มุมมองจากสนามในโรงเรียน



อาคาร 3 มุมมองจากริมถนน



อาคาร 4 มุมมองจากสนามภายในโรงเรียน



อาคาร 5 มุมมองจากบนอาคาร 6



อาคาร 6 มุมมองจากริมถนน

รูปที่ 71 อาคารภายในโรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม

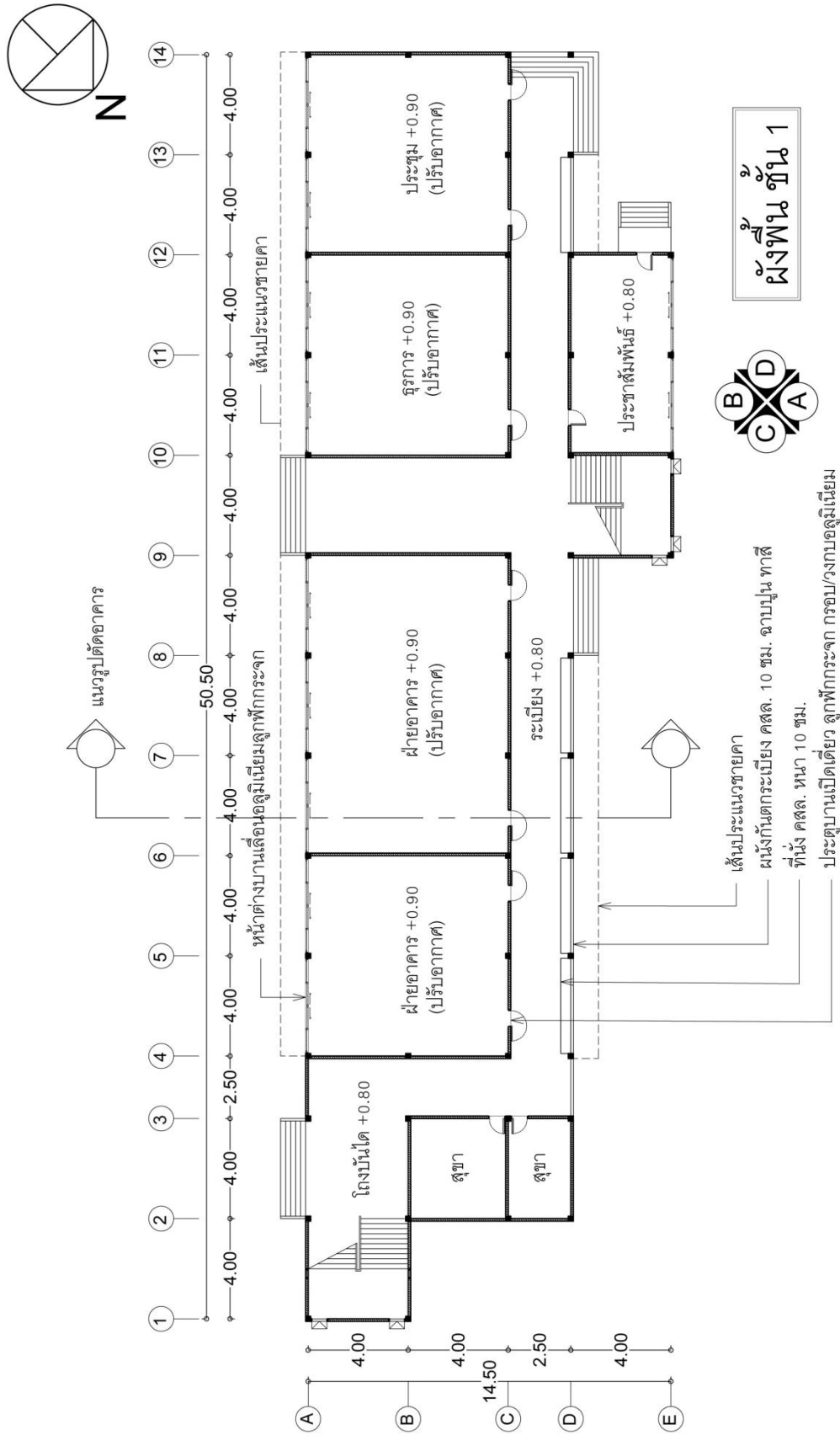
3.1.5. ลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างของอาคารกรณีศึกษา (อาคาร 2)

อาคาร 2 เป็นอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบเสาคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ฝั่งรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าวางตัวตามแนวยาวขนานกับถนนด้านหน้าโรงเรียน มีความสูงชั้นละ 3.50 เมตร จำนวน 5 ชั้น แต่ละชั้นมีห้องจำนวน 5 ห้อง เรียงเป็นแถวยาว มีระเบียงทางเดินเชื่อมประตูเข้า-ออกของทุกห้อง และหันออกสู่ถนน อีกด้านของอาคารเป็นหน้าต่างเรียงกันตลอดช่วงเสาหันเข้าคือสนามกีฬา แต่ละชั้นมีห้องที่ถูกแบ่งตามกลุ่มการใช้งานและแผนกวิชา ดังนี้

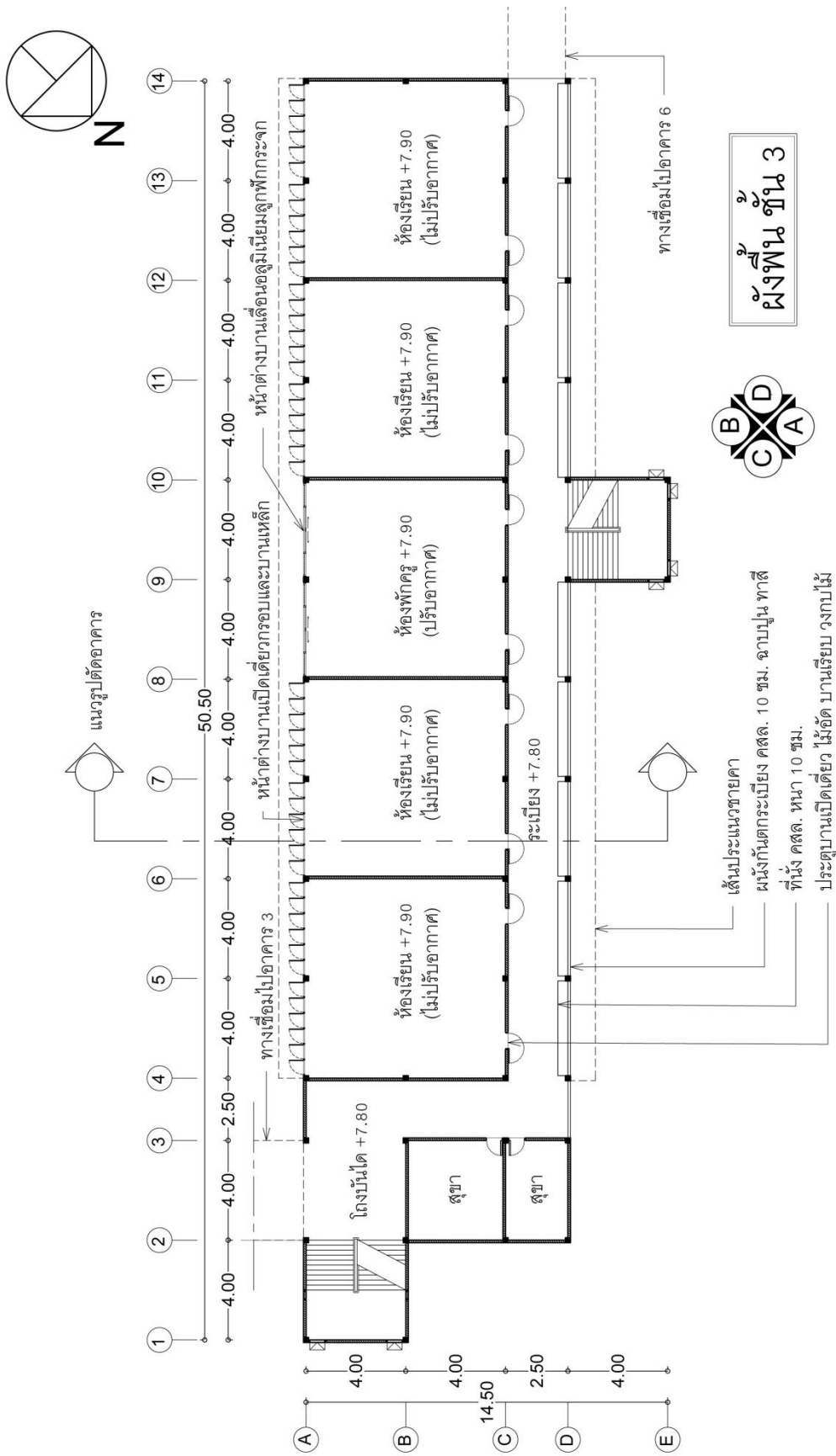
ตารางที่ 26 แสดงห้องเรียนที่มีอยู่ในอาคารเรียนกรณีศึกษา (อาคาร 2) จำแนกตามการใช้เครื่องปรับอากาศ

ชั้น	ใช้เครื่องปรับอากาศ	จำนวนห้อง	ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ	จำนวนห้อง
ชั้น 5	ห้องคอมพิวเตอร์	1	ห้องเรียน (ศิลปะและหัตถกรรม)	4
ชั้น 4	ห้องพักครู ห้องเรียน (ภาษาต่างประเทศ)	1 4	-	-
ชั้น 3	ห้องพักครู	1	ห้องเรียน (สังคม)	4
ชั้น 2	ห้องพักครู	1	ห้องเรียน (ภาษาไทย)	4
ชั้น 1	ฝ่ายอาคาร, ชุมนวม, ประชุม	3	-	-

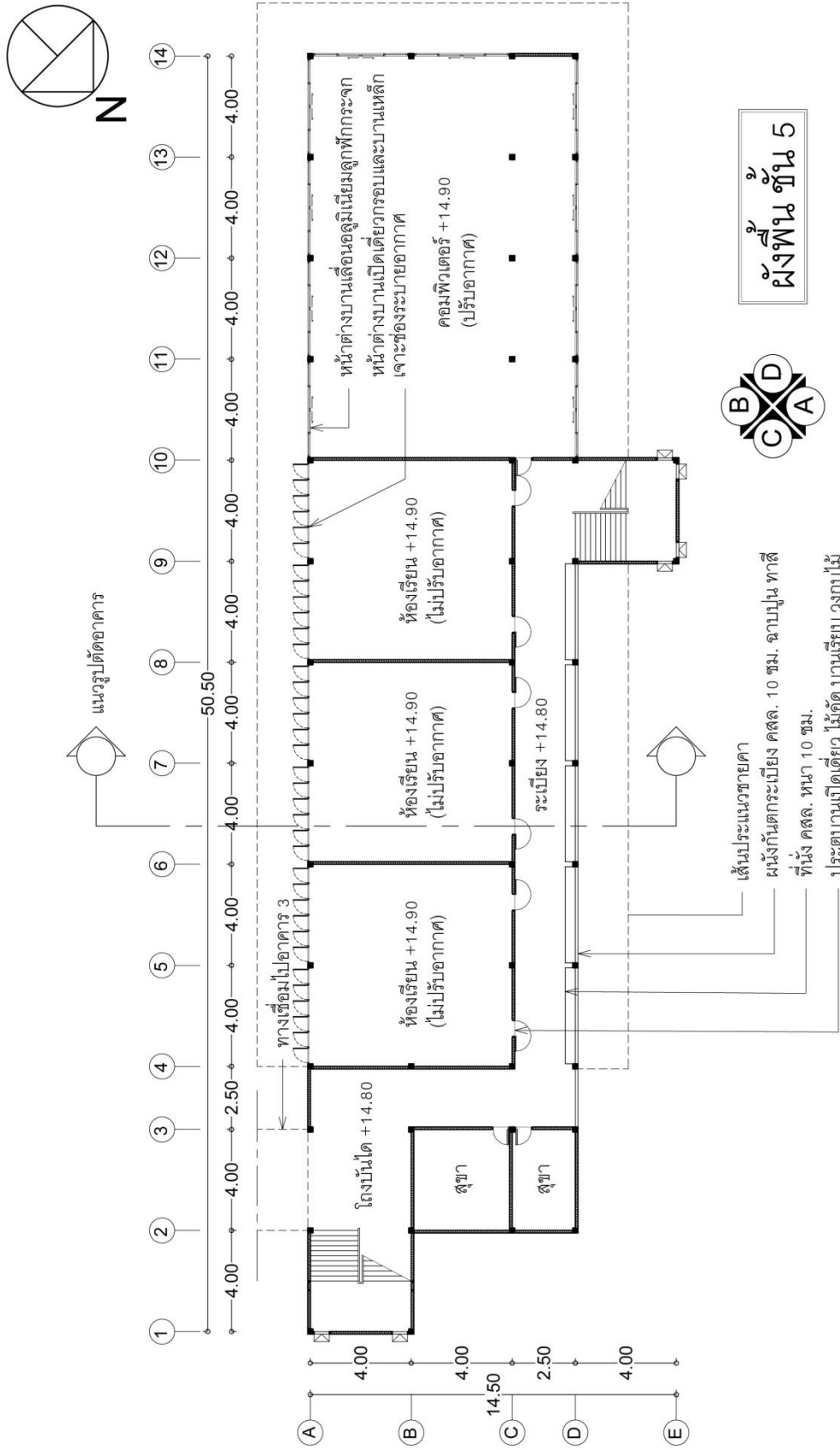
รูปที่ 73-82 เป็นการแสดงแบบอาคาร 2 โรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม ซึ่งเป็นอาคารที่ถูกเลือกนำมาศึกษาในการค้นคว้าอิสระครั้งนี้



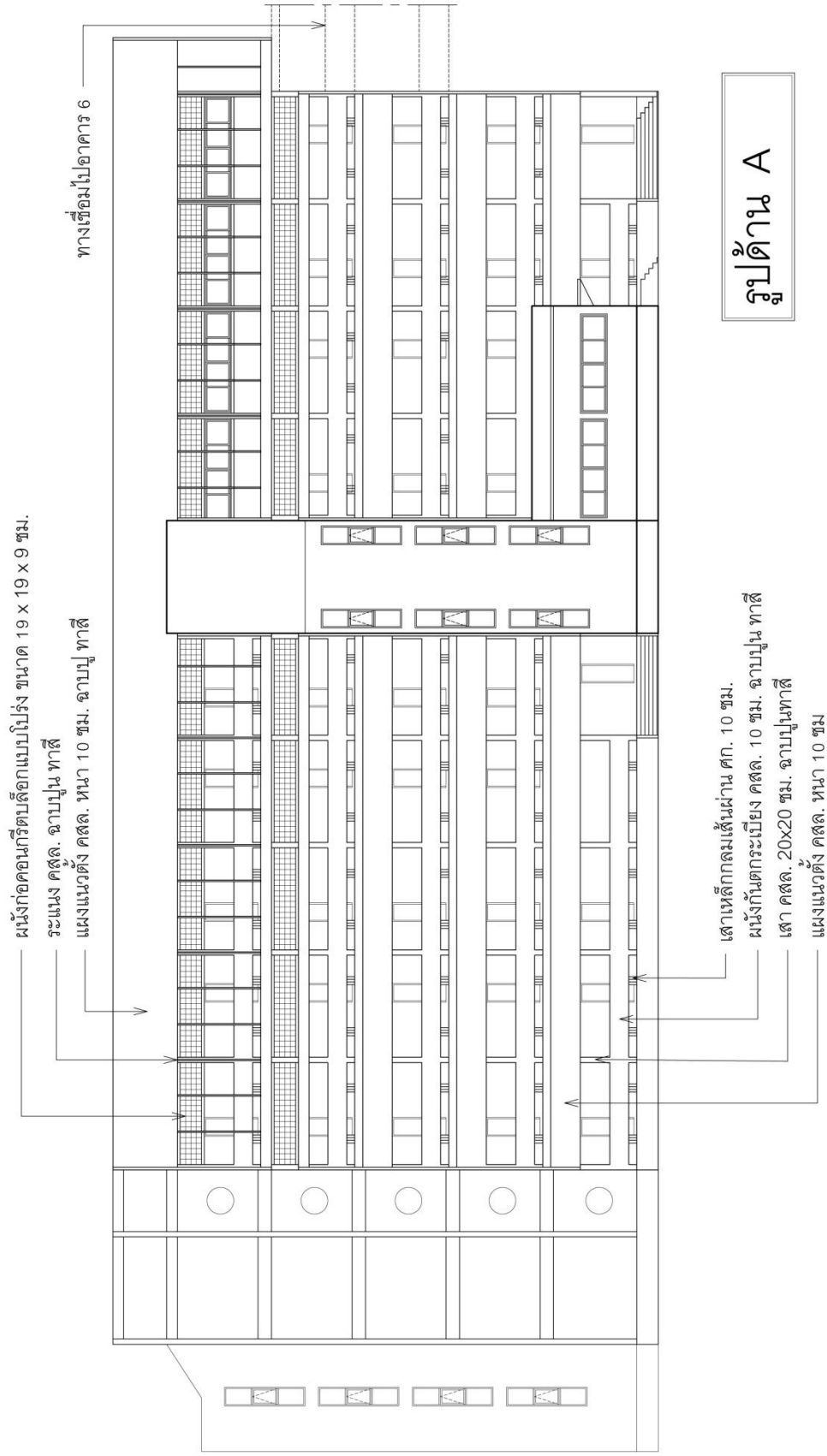
รูปที่ 72 อาคารกรณีศึกษา: ผังพื้นที่ชั้น 1



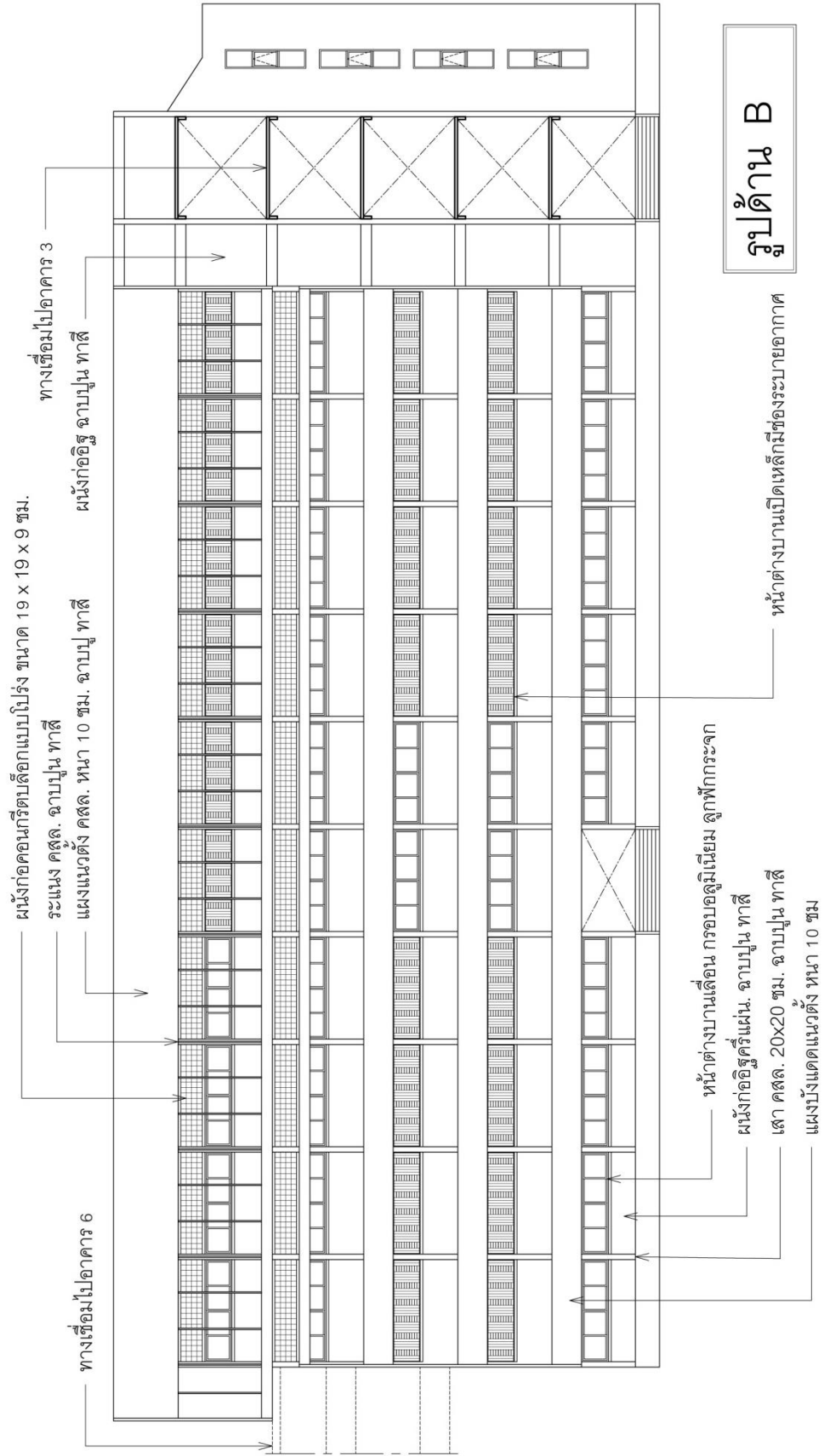
รูปที่ 74 อาคารกรณศึกษา: ผังพื้นที่ 3



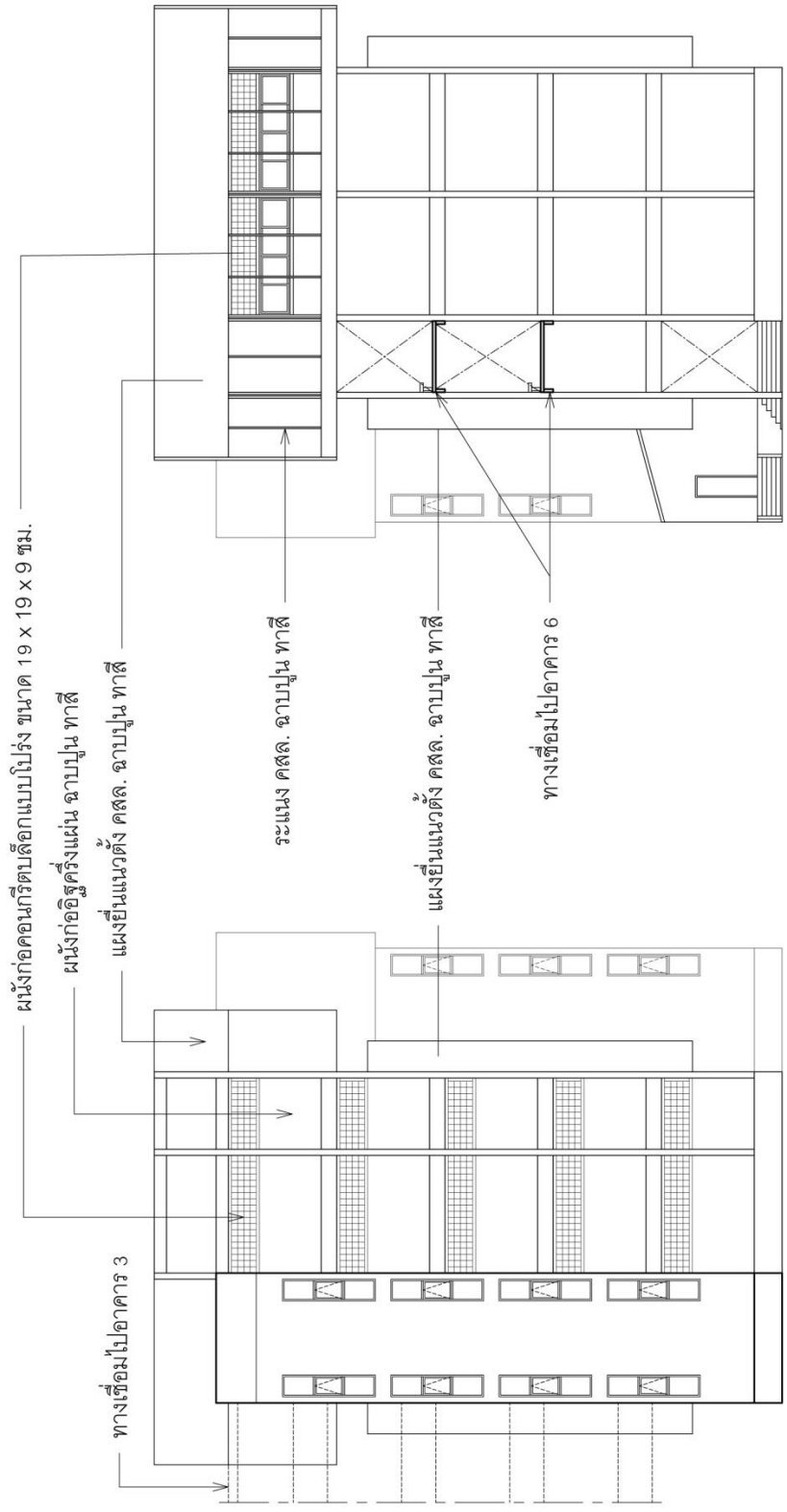
รูปที่ 76 อาคารกรณีศึกษา: ผังพื้นที่ 5



รูปที่ 77 อาคารกรณีศึกษา: รูปด้าน A



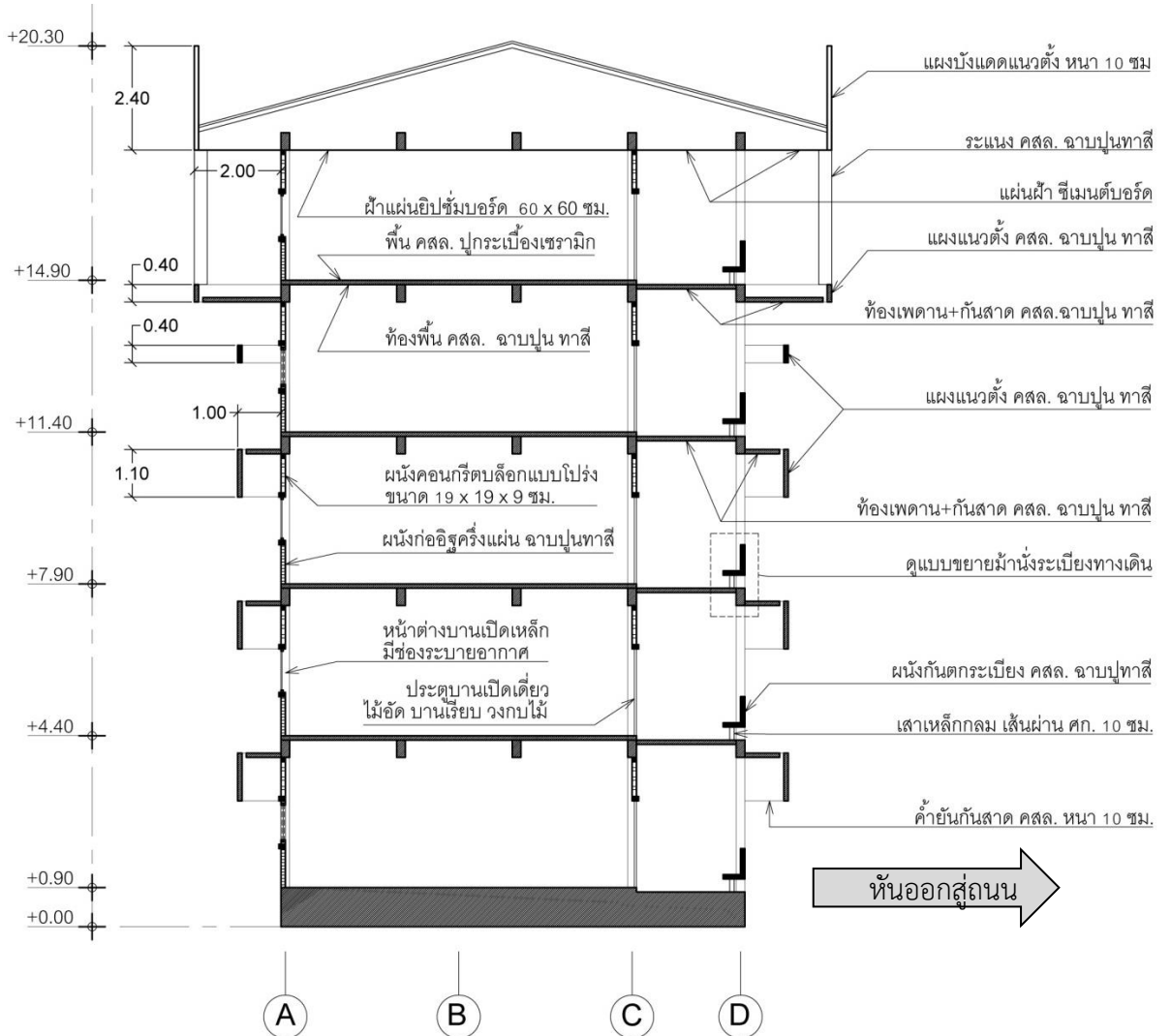
รูปที่ 78 อาคารกรณีศึกษา: รูปด้าน B



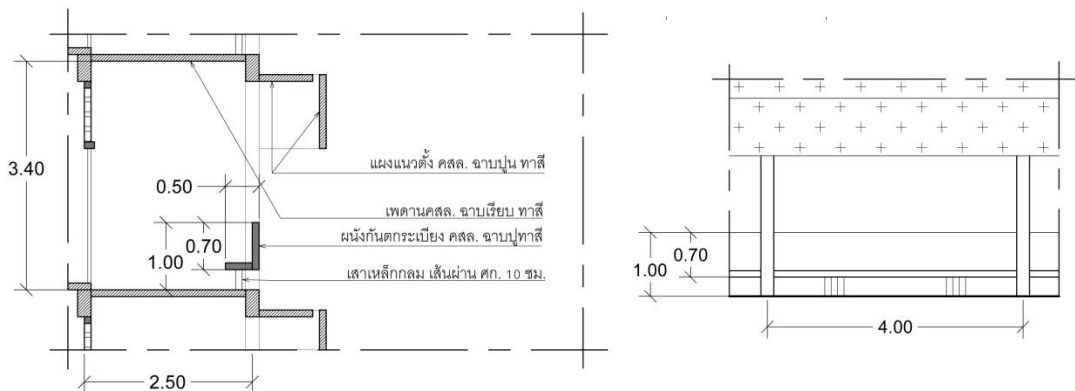
รูปด้าน C

รูปด้าน D

รูปที่ 79 อาคารกรณศึกษา: รูปด้าน C



รูปที่ 80 อาคารกรณีศึกษา: รูปตัดขวางผ่านห้องเรียน



รูปที่ 81 อาคารกรณีศึกษา: ขยายระเบียงทางเดินอาคารกรณีศึกษาและรูปด้าน

วัสดุที่ใช้ของอาคารกรณีศึกษา

ตารางที่ 27 รายละเอียดวัสดุอาคารกรณีศึกษา

โครงสร้าง	รายละเอียดวัสดุ
พื้น	- พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ปูกระเบื้องเซรามิก 30 × 30 ซม.
ผนัง	- ก่ออิฐครึ่งแผ่น ฉาบเรียบ ทาสี ทั้งผนังภายในและภายนอก
เพดาน	- ท้องพื้นคสล.+คานคสล. ฉาบเรียบ ทาสี (รูปที่ 82-ก)
	- ฝ้ายิปซัมบอร์ด 60 × 60 ซม. ใต้โครงหลังคา (รูปที่ 82-ข)
ประตู	- ประตูบานเปิดเดี่ยว 0.80 × 2.00 ม. บานไม้อัด แบบเรียบ วงกบไม้ (ห้องเรียนไม่ปรับอากาศ)
	- ประตูบานเปิดเดี่ยว 0.80 × 2.00 ม. บานไม้จริง ลูกฟักกระจกครึ่งบาน วงกบไม้ (ห้องเรียน+ห้องพักครู ปรับอากาศ)
	- ประตูบานเปิดเดี่ยว 0.80 × 2.00 ม. กรอบบานอลูมิเนียม ลูกฟักกระจก วงกบอลูมิเนียม (ฝ่ายบริหาร)
หน้าต่าง	- หน้าต่างบานเปิดเดี่ยว กรอบ+บาน เหล็ก เจาะช่องระบายอากาศ (ห้องไม่ปรับอากาศ) (รูปที่ 82-ค)
	- หน้าต่างบานเลื่อนกรอบบานอลูมิเนียม ลูกฟักกระจก (ห้องปรับอากาศ) (รูปที่ 81-ง)
ช่องระบายอากาศ	- คอนกรีตบล็อกแบบโปร่งขนาด 19×19×9 ซม. บนคานทับหลังเหนือ แนวประตู-หน้าต่าง ตลอดช่วงเสา (รูปที่ 82-ฉ)
แผงบังแดด/กันสาด	- แผงคสล.หนา 10 ซม. เสริมแผงแนวตั้งด้านหน้า ระยะยื่น 1-2 ม.
ระเบียงทางเดิน	- พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ปูกระเบื้องเซรามิก 30 × 30 ซม.
	- เพดานท้องพื้นคสล. ฉาบเรียบ ทาสี
	- ผนังกันตกคสล. หนา 10 ซม. สูง 1.00 ม. หล่อคอนกรีตยื่นออกมา สำหรับเป็นที่นั่งกว้าง 0.40 ม. (รูปที่ 82-ซ)



(ก) ฝ้าเพดานของห้องที่ติดชั้นหลังคา



(ข) เพดานของห้องเรียนชั้นที่ไม่ติดกับชั้นหลังคา



(ค) หน้าต่างบานเหล็กในห้องไม่ปรับอากาศ



(ง) หน้าต่างบานเลื่อนกระจกในห้องปรับอากาศ



(จ) ผนังด้านที่มีประตูออกสู่ระเบียงทางเดิน



(ฉ) ช่องระบายอากาศคอนกรีตบล็อกชนิดโปร่ง



(ซ) กันสาดระเบียงชั้น 1-3



กันสาดระเบียงชั้น 4



กันสาดระเบียงชั้น 5



(ช) ม้านั่งคอนกรีตริมระเบียงทางเดิน



(ก) ด้านที่ 1 ผนังด้านที่หันเข้าสู่ถนน



(ข) ด้านที่ 2 ผนังด้านที่หันเข้าภายในโรงเรียน



(ค) ด้านที่ 3 และ 4 ผนังกันระหว่างห้องเรียน

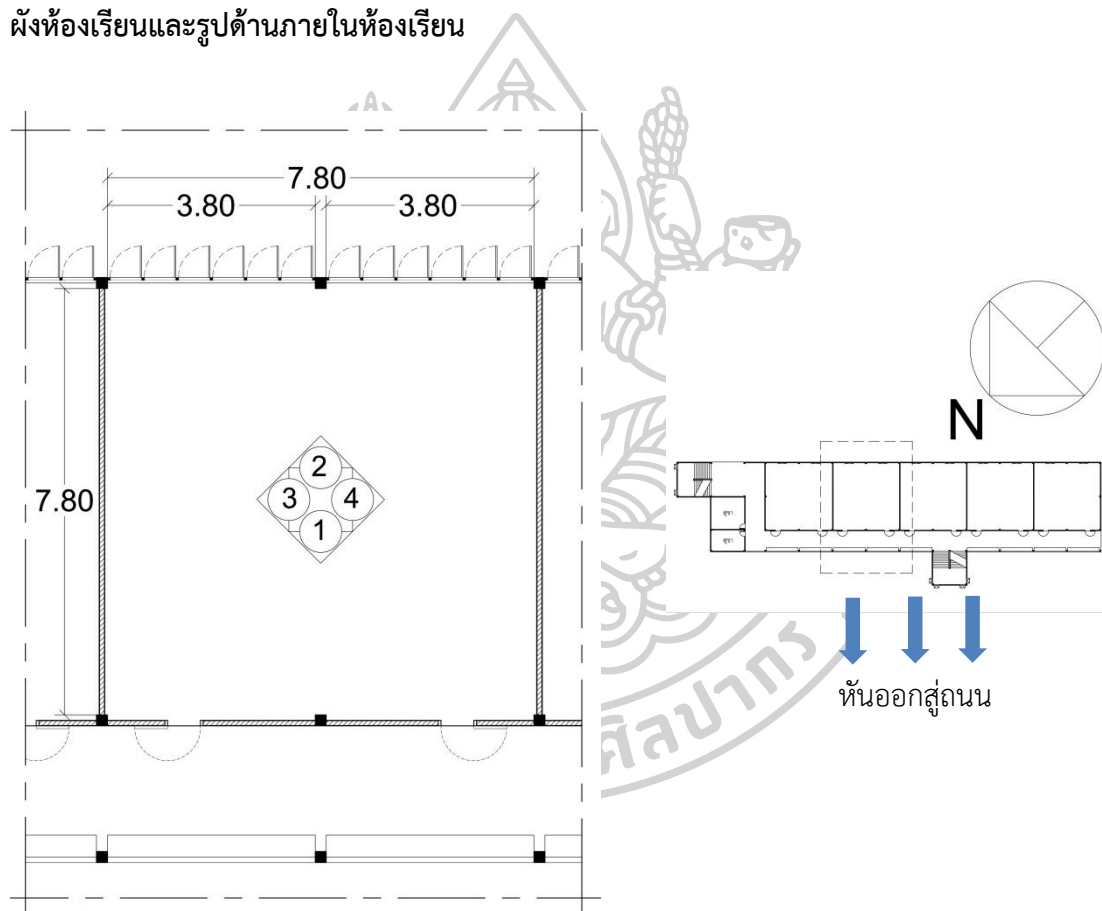


รูปที่ 83 ผนังทั้ง 4 ด้าน ภายในห้องเรียนกรณีศึกษา

3.2. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านเสียง และการตรวจวัด ค่าระดับความดันเสียง

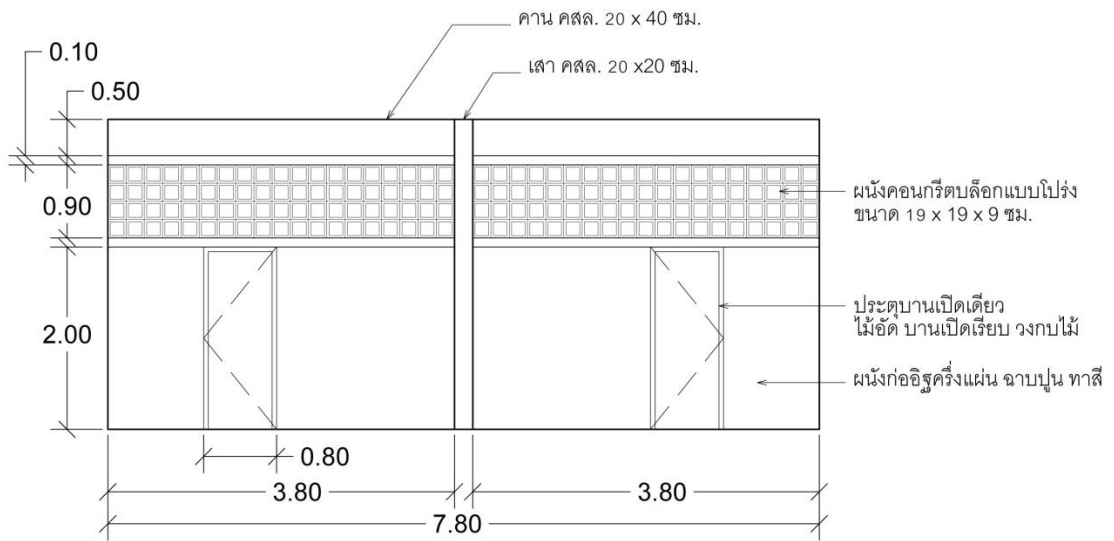
ในการศึกษานี้ผู้ศึกษาเลือกวิเคราะห์จากห้องเรียนชนิดไม่ปรับอากาศซึ่งเป็นห้องสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 8×8 เมตร ความสูง 3.50 เมตร ผนังส่วนใหญ่ทำจากอิฐก่อฉาบเรียบ ผนังด้านที่ติดต่อกับภายนอก 2 ด้าน ด้านหนึ่งเป็นช่องเปิดหน้าต่างบานเหล็ก และอีกด้านคือประตูเชื่อมกับระเบียงทางเดินความกว้าง 2.50 เมตร และมีช่องระบายอากาศที่ผนังด้านบนยกด้วยคอนกรีตบล็อกแบบโปร่ง (ดูรูปที่ 84)

ผังห้องเรียนและรูปด้านภายในห้องเรียน

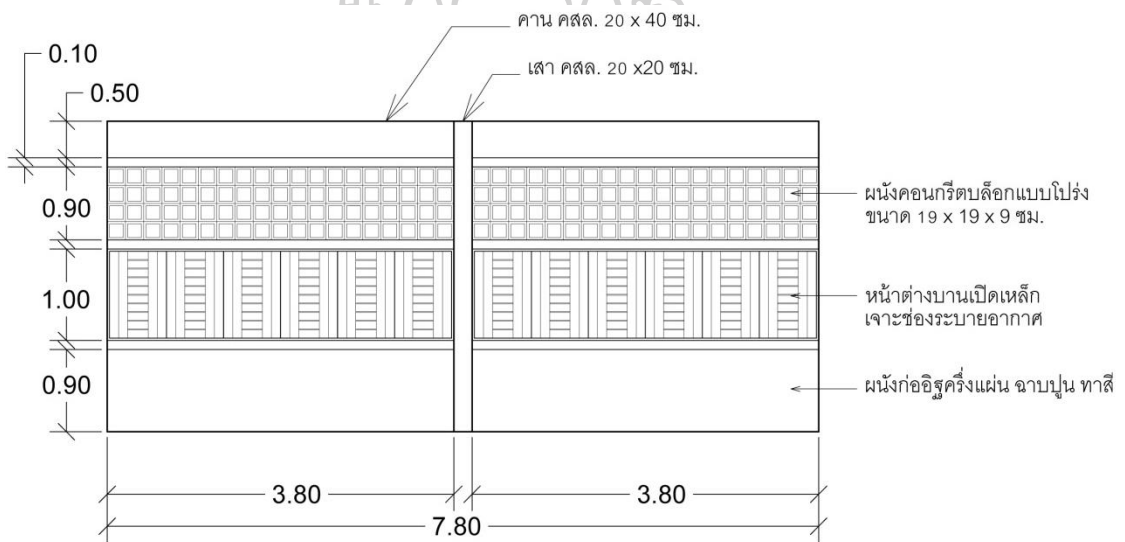


(ก) ผังพื้นที่ขยายห้องเรียน

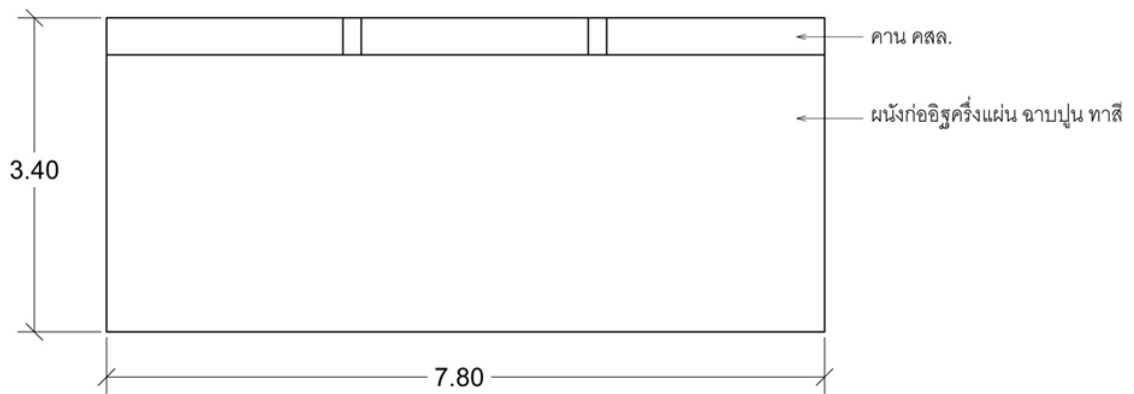
รูปที่ 84 แบบขยายรูปด้านภายในห้องเรียนกรณีศึกษา



(ข) รูปด้านภายใน 1



(ค) รูปด้านภายใน 2



(ง) รูปด้านภายใน 3

รูปที่ 84 (ต่อ) แบบขยายรูปด้านภายในห้องเรียนกรณีศึกษา

- การวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านเสียงและการตรวจวัด แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่
- ความสามารถในการลดเสียงผ่านผนัง (Sound Transmission Class)
 - เวลากังวานภายในห้อง (Reverberation Time)
 - ระดับความดันเสียงภายในห้องเรียนและระยะเบี่ยงทางเดิน (Sound Pressure Level)

3.2.1. ความสามารถในการลดเสียงผ่านผนัง (STC)

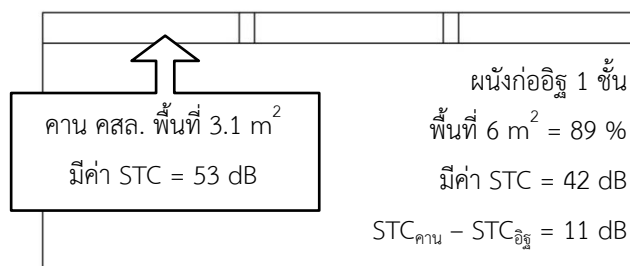
เป็นการศึกษาค่าความสามารถในการลดเสียงจากภายนอกของผนังโครงสร้าง โดยผลการคำนวณจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่า STC ที่เหมาะสมของห้องเรียนที่ขึ้นกับพื้นที่กิจกรรมใกล้เคียง (ดูตารางที่ 28) สำหรับห้องเรียนกรณีศึกษามีอยู่ 2 กรณี คือ

ตารางที่ 28 ค่า STC ที่ใช้อ้างอิงมาตรฐานการวิเคราะห์ผนังห้องเรียนกรณีศึกษา (ANSI, 2002)

กรณี	STC มาตรฐาน	ผนัง	แหล่งกำเนิดเสียงที่ต้องการปิดกั้น
1	60	ด้านที่ 1	ถนนที่มีเสียงดังอีกที
		ด้านที่ 2	สนามกีฬา
2	50	ด้านที่ 3	ห้องเรียนห้องอื่น
		ด้านที่ 4	

เนื่องจากการวิเคราะห์ค่า STC ของผนังด้วย “Chart For Determining STC of a Composite Structure” เป็นวิธีการคำนวณอย่างคร่าว และเป็นการยากในการระบุค่าที่ไม่ถูกแสดงตำแหน่งบนกราฟได้อย่างแม่นยำดังนั้นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้ศึกษาจึงเลือกวิเคราะห์ค่า STC ของผนังห้องเรียนกรณีศึกษาโดยใช้ตารางคำนวณด้วยโปรแกรม Excel ซึ่งจัดทำโดย Terry Montlick Labs LLC. ตารางคำนวณดังกล่าวใช้งานด้วยการระบุค่า STC และขนาดพื้นที่ของประเภทโครงสร้างผนังแต่ละชนิดลงในตาราง ได้ผลออกมาเป็นค่าความสามารถในการลดเสียงของผนังผสมที่นำถูกนำมาใช้ในการพิจารณา

หาค่า STC ของผนังนี้ (ดูรูปที่ 84)



นอกจากนี้ผนังแต่ละด้านของห้องเรียนหนึ่งห้องตั้งอยู่บน 2 ช่วงเสาที่มีวัสดุและขนาดพื้นที่ๆเหมือนกัน ดังนั้นการวิเคราะห์จึงสามารถพิจารณาเพียง 1 ช่วงเสา

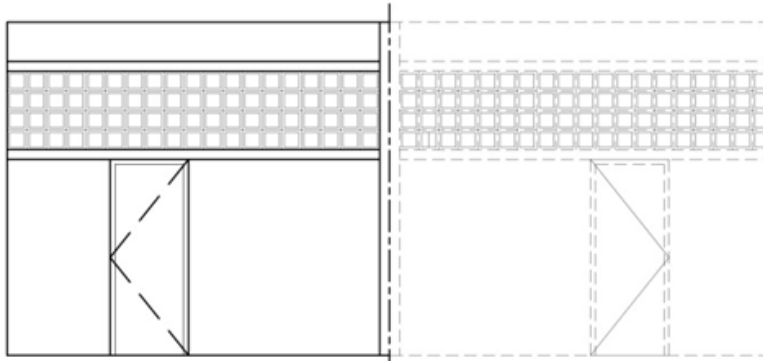
(1) ค่า STC ของโครงสร้างและวัสดุของผนังห้องเรียนกรณีศึกษา

ตารางที่ 29 รายการค่า STC ของโครงสร้างและวัสดุของผนังห้องเรียนกรณีศึกษา (เทียบตารางที่ 19) (Cavanaugh & Wilkes, 1999), (D. A. Harris, 1991)

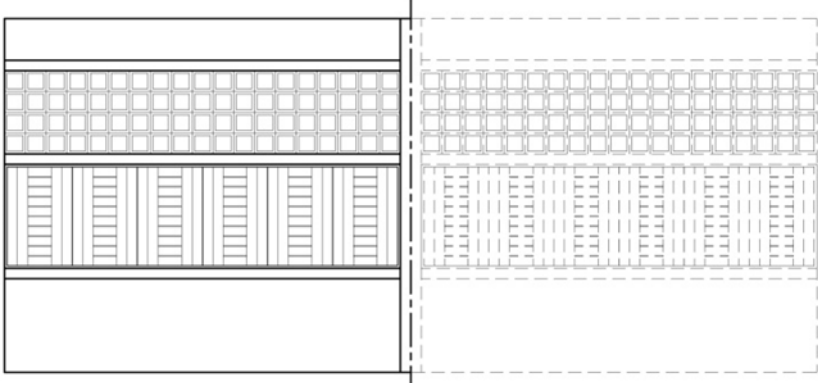
โครงสร้างและวัสดุผนัง		STC (dB)
1	เสา-คาน คสล. หน้า 20 ซม.	53
2	คอนกรีตบล็อก ขนาด 19 x 19 x 0.9 ซม.	45
3	ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่น ฉาบเรียบ ทาสี หน้า 10 ซม.	42
4	ประตูบานเปิดเดี่ยว บานไม้อัดแบบเรียบ วงกบไม้ ขนาด 0.8 x 2.0 ม.	17
5	หน้าต่าง กรอบและบานเหล็ก	31
6	ช่องอากาศ	0

(2) ขนาดพื้นที่ของโครงสร้างผนังห้องกรณีศึกษา


ตารางที่ 30 พื้นที่ของผนังผสมและโครงสร้างแต่ละชนิดห้องเรียนกรณีศึกษา: ด้านที่ 1

โครงสร้างและวัสดุผนัง		พื้นที่ (m ²)
ด้านที่ 1		
1.1	เสา-คาน คสล. หน้า 20 ซม.	2.62
1.2	คอนกรีตบล็อก ขนาด 19 x 19 x 0.9 ซม.	1.71
1.3	ผนังก่ออิฐ 1 ชั้น ฉาบเรียบ ทาสี หน้า 10 ซม.	6.00
1.4	ประตูบานไม้อัด ขนาด 0.8 x 2.0 เมตร	1.60
1.5	ช่องอากาศ	1.71
รวม		13.64

ตารางที่ 31 พื้นที่ของผนังผสมและโครงสร้างแต่ละชนิดห้องเรียนกรณีศึกษา: ด้านที่ 2

โครงสร้างและวัสดุผนัง		พื้นที่ (m ²)
ด้านที่ 2		
2.1	เสา-คาน คสล. หน้า 20 ซม.	3.00
2.2	คอนกรีตบล็อก ขนาด 19 x 19 x 0.9 ซม.	1.71
2.3	ผนังก่ออิฐ 1 ชั้น ฉาบเรียบ ทาสี หน้า 10 ซม.	3.42
2.4	หน้าต่าง กรอบและบานเหล็ก	3.60
2.5	ช่องอากาศ	1.91
รวม		13.64

ตารางที่ 32 พื้นที่ของผนังผสมและโครงสร้างแต่ละชนิดห้องเรียนกรณีศึกษา: ด้านที่ 3 และ 4

โครงสร้างและวัสดุผนัง		พื้นที่ (m ²)
ด้านที่ 3		
3.1	เสา-คาน คสล. หน้า 20 ซม.	3.1
3.2	ผนังก่ออิฐ 1 ชั้น ฉาบเรียบ ทาสี หน้า 10 ซม.	23.4
รวม		26.5

3.2.2. ค่าเวลากังวานในห้องเรียนกรณีศึกษา

ห้องเรียนที่มีค่าเวลากังวาน (Reverberation Time, RT) สูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน จะทำให้เกิดปัญหาไม่สามารถสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการศึกษาครั้งนี้จึงทำการวิเคราะห์ค่า RT เพื่อตรวจสอบเวลากังวานในห้องเรียนกรณีศึกษา และเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของค่าเวลากังวานที่เหมาะสมกับห้องเรียน

ในตารางที่ 16 ค่า RT ที่เหมาะสมสำหรับห้องเรียนกรณีศึกษาขนาด กว้าง : ยาว : สูง เท่ากับ 7.8 : 7.8 : 3.4 เมตร ซึ่งปริมาตรของห้องเท่ากับ 206.8 เมตร³ ทำให้สามารถทราบค่า RT ที่จะนำมาใช้เพื่อเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบกรณีศึกษาต้องมีค่าไม่เกิน 0.6 วินาที

ค่า RT ภายในห้องกรณีศึกษา คำนวณโดยใช้สมการ คือ

$$RT = 0.165 V / A \text{ วินาที}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของห้อง (m³)

A คือ ค่าการดูดกลืนเสียงรวม

$$\text{โดย } A = (a_1\alpha_1 + a_2\alpha_2 + \dots + a_n\alpha_n)$$

a_n คือ พื้นที่ของผนัง พื้น หรือเพดาน แต่ละด้านรอบๆห้อง (m²)

α_n คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของพื้นที่ผิว

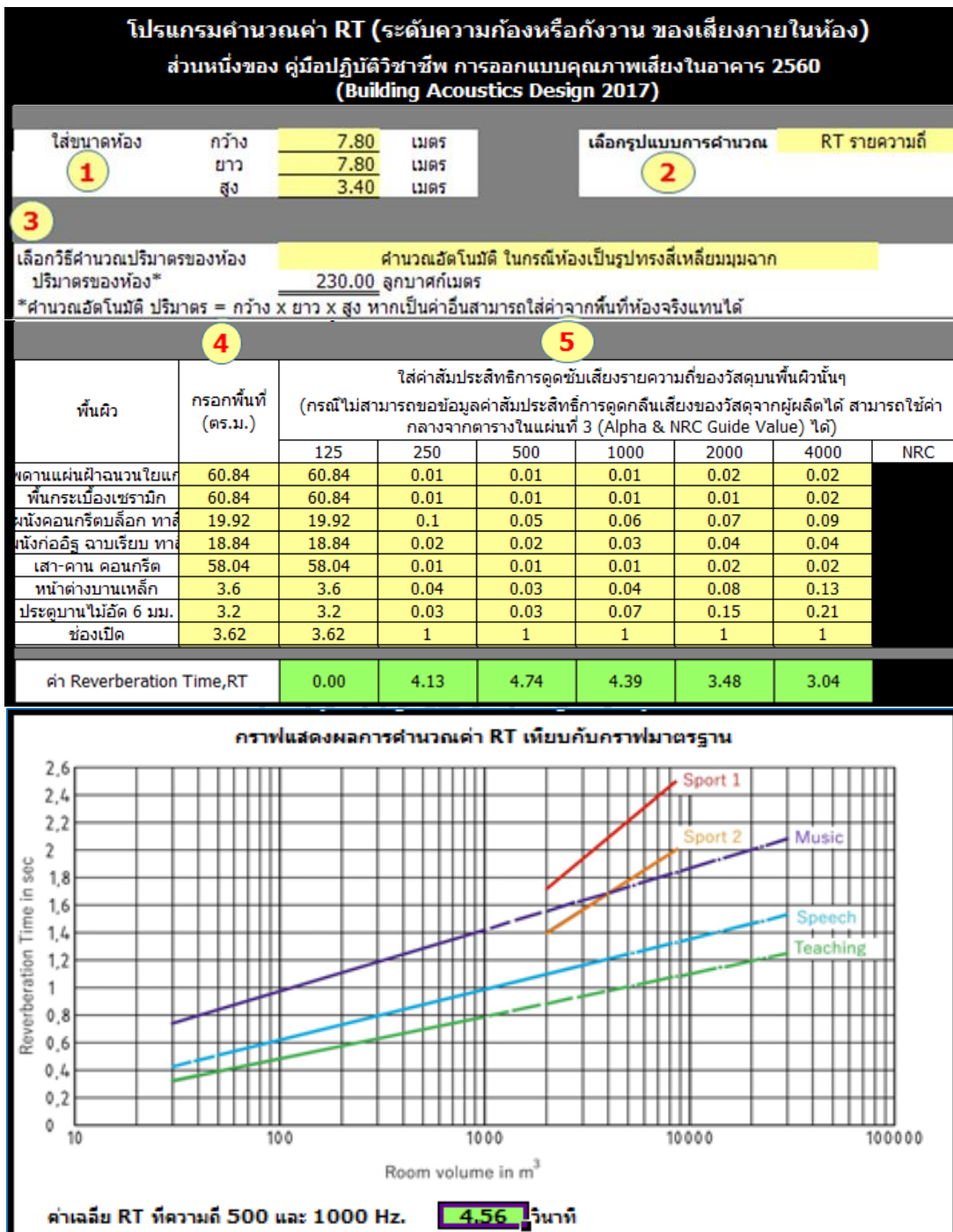
ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษาวิเคราะห์ค่า RT ของผนังห้องเรียนกรณีศึกษาโดยใช้ตาราง คำนวณด้วยโปรแกรม ซึ่งจัดทำโดย สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์

ภายในโปรแกรมประกอบด้วย

- ตารางสำหรับเพิ่มข้อมูลปริมาตรของห้อง ขนาดพื้นที่ และสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัสดุผนังภายในห้อง ที่สามารถเลือกจากช่วงความถี่ที่สนใจได้
- กราฟมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบผลการคำนวณค่า RT สำหรับพื้นที่ใช้สอยประเภทต่างๆ เฉลี่ยระหว่างความถี่ 500 และ 100

ข้อมูลที่ต้องการสำหรับการคำนวณค่า RT ประกอบด้วย

- สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของพื้นที่ผิวภายในของห้องเรียนกรณีศึกษา
- ขนาดพื้นที่ผิวของวัสดุภายในห้องเรียน



รูปที่ 86 โปรแกรมการคำนวณค่า RT ภายในห้อง โดย สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์ (สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2561)

(1) สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของพื้นที่ผิวภายในของห้องเรียนกรณีศึกษา

ตารางที่ 33 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของพื้นที่ผิววัสดุภายในของห้องเรียนกรณีศึกษา

(D. A. Harris, 1991), (Cavanaugh & Wilkes, 1999), (ปรีชญา รังสิรักษ์, 2541)

วัสดุ		สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของพื้นที่ผิววัสดุ						NRC
		125	250	500	1000	2000	4000	
1	เพดานคอนกรีต ทาสี	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00
2	พื้นกระเบื้องเซรามิก	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
3	ผนังคอนกรีตบล็อก ทาสี	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.05
4	ผนังก่ออิฐ ฉาบเรียบ ทาสี	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05
5	เสา-คาน คอนกรีต	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00
6	หน้าต่างบานเหล็ก	0.04	0.03	0.04	0.08	0.13	0.18	0.05
7	ประตูบานไม้อัด 6 มม.	0.03	0.03	0.07	0.15	0.21	0.25	0.10
8	ช่องเปิด	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

(2) ขนาดพื้นที่วัสดุบนผนังห้องเรียนกรณีศึกษาแต่ละด้าน

ตารางที่ 34 ขนาดพื้นที่ผิววัสดุภายในห้องเรียนกรณีศึกษา

วัสดุ		ขนาดพื้นที่ (m ²)						พื้นที่รวม
		เพดาน	พื้น	ผนัง 1	ผนัง 2	ผนัง 3	ผนัง 4	
1	เพดานคอนกรีต ทาสี	60.84	-	-	-	-	-	60.84
2	พื้นกระเบื้องเซรามิก	-	60.84	-	-	-	-	60.84
3	ผนังคอนกรีตบล็อก ทาสี	-	-	6.84	6.84	23.4	23.4	60.48
4	ผนังก่ออิฐ ฉาบเรียบ ทาสี	-	-	12.0	6.84	-	-	18.84
5	เสา-คาน คอนกรีต	-	-	5.24	6.00	3.10	3.10	17.44
6	หน้าต่างบานเหล็ก	-	-	-	3.60	-	-	3.60
7	ประตูบานไม้อัด 6 มม.	-	-	3.20	-	-	-	3.20
8	ช่องเปิด	-	-	3.42	0.20	-	-	3.62

3.2.3. การตรวจวัดค่าระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level, SPL)

(1) การกำหนดตำแหน่งตรวจวัดเสียง

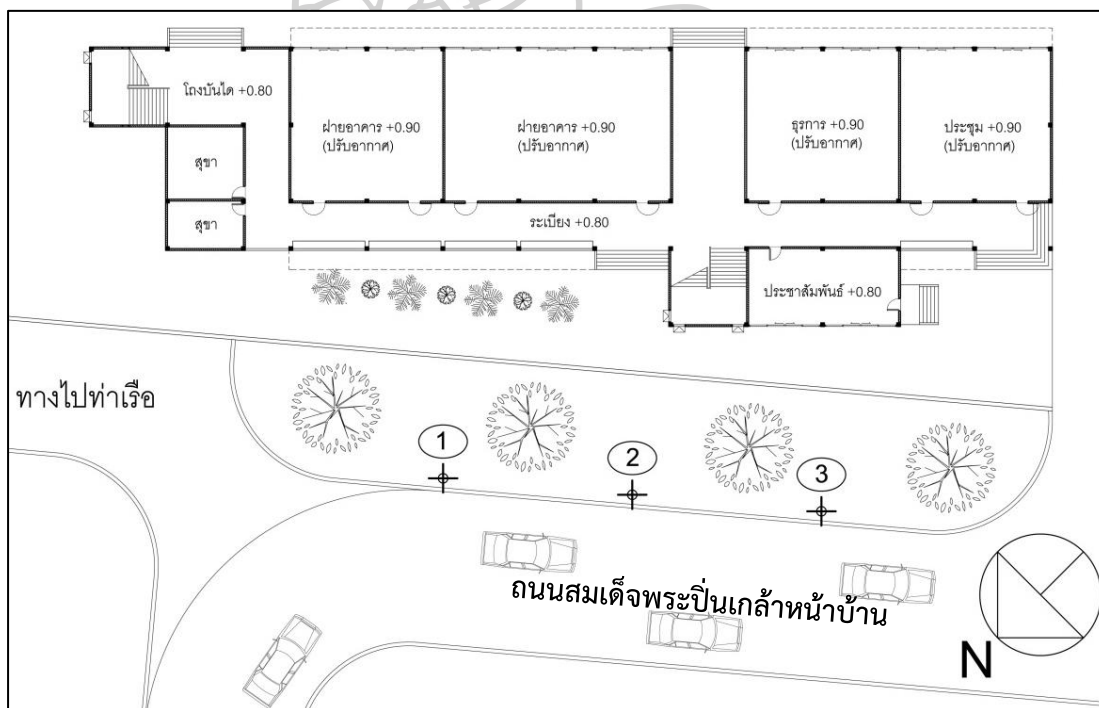
สำหรับการกำหนดตำแหน่งตรวจวัดเสียง จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

- การตรวจวัดระดับเสียงของแหล่งกำเนิดการจราจรบนถนน
- การตรวจวัดภายในห้องเรียน
- การตรวจวัดบนระเบียงทางเดิน

(1.1) การตรวจวัดระดับเสียงของแหล่งกำเนิดการจราจรบนถนน

แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนของโรงเรียน ได้แก่ ถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้านที่อยู่ด้านหน้าของโรงเรียน และสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า

จุดตรวจวัดริมถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้าน ทำการการตรวจวัดทั้งหมด 3 ตำแหน่ง (ดูรูปที่ 87) โดยในรัศมี 3.50 เมตร รอบจุดวัดเสียงต้องไม่มีวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง และมีความสูงจากระดับพื้นขึ้นมา 1.20 เมตร



รูปที่ 87 ตำแหน่งตรวจวัดเสียงริมถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้าน

ส่วนระดับเสียงการจราจรบนสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า ได้ทำการขึ้นไปตรวจวัดบนทางเดินสำหรับข้ามสะพาน ซึ่งอยู่เอียงจากบริเวณโรงเรียนไปทางริมแม่น้ำเจ้าพระยา



รูปที่ 88 ตำแหน่งตรวจวัดระดับเสียงบนสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า

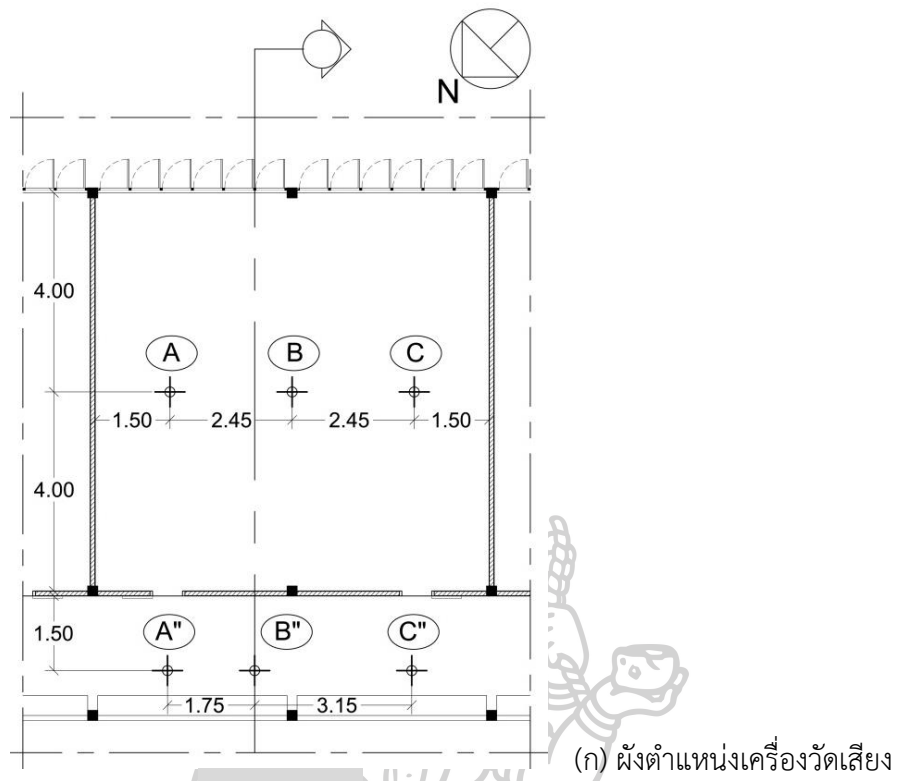
(1.2) การตรวจวัดระดับเสียงภายในห้องเรียน

ห้องเรียนแบบไม่ปรับอากาศที่ทำการตรวจวัดในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีจำนวน 3 ห้อง จากชั้นที่ 2, 3 และ 5 โดยเลือกห้องที่อยู่ลำดับที่สองของแต่ละชั้น ยกเว้นชั้น 5 ที่เลือกห้องลำดับที่หนึ่ง เนื่องจากบริเวณหน้าระเบียงทางเดินบางส่วนถูกบังด้วยแผ่นป้ายขนาดใหญ่ ชั้นละ 1 ห้อง

ตำแหน่งที่จะทำการวางอุปกรณ์วัดเสียงมีจำนวนทั้งหมด 3 ตำแหน่ง เท่ากับจำนวนอุปกรณ์วัดระดับเสียงที่มีในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ โดยจัดวางอุปกรณ์ไว้บนขาตั้งให้สูงจากพื้น 1.20 เมตร (ดูรูปที่ 86) สำหรับการตรวจวัดภายในห้องเรียนจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ตรวจวัดขณะ “เปิดประตู” และ “ปิดประตู” โดยทั้งสองกรณีจะเปิดหน้าต่างด้านที่หันเข้าสู่ภายในโรงเรียน การทดสอบในกรณีแรกเนื่องจากการใช้งานห้องเรียนตามปกติจะเปิดทั้งประตูและหน้าต่าง ส่วนการทดสอบในกรณีที่สองเพื่อทดสอบว่าการปิดประตูจะช่วยให้ลดเสียงรบกวนจากภายนอกได้เท่าใด

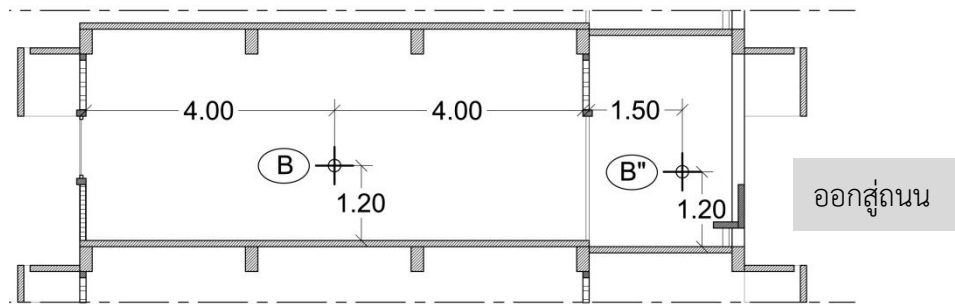
(1.3) การตรวจวัดบนระเบียงทางเดิน

ตำแหน่งที่จะทำการวางอุปกรณ์วัดเสียงมีจำนวนทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ได้แก่ บนระเบียงบริเวณหน้าประตูเข้า-ออก และตำแหน่งระหว่างกลาง โดยจัดวางอุปกรณ์ไว้บนขาตั้งให้สูงจากพื้น 1.20 เมตร ห่างจากผนังห้องเรียนเป็นระยะ 1.50 เมตร (รูปที่ 87) ในการตรวจวัดระดับเสียงที่ระเบียงทางเดินได้ดำเนินการที่ชั้น 2, 3 และ 5 ในบริเวณหน้าห้องเรียนที่ทำการตรวจวัดระดับเสียง



ออกสู่ถนน

รูปที่ 89 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเสียงวัดระดับเสียง

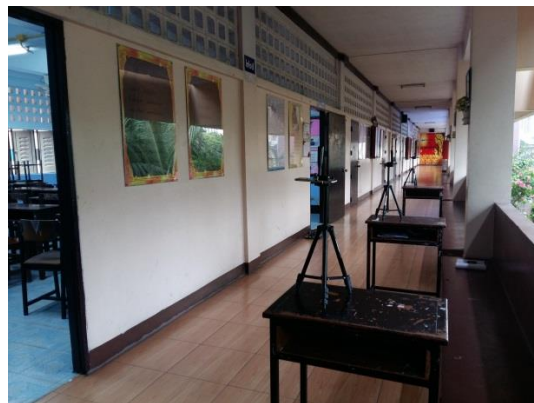


(ข) รูปตัดแสดงระดับความสูงของอุปกรณ์วัดเสียง

รูปที่ 87 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเสียง



(ก) การจัดวางอุปกรณ์วัดเสียงในห้องเรียน



(ข) การจัดวางอุปกรณ์วัดเสียงบนระเบียบทางเดิน

รูปที่ 90 การจัดวางอุปกรณ์ตรวจวัดระดับเสียงในห้องเรียน และระเบียบทางเดิน

(2) เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด

ในการสำรวจตรวจวัดเสียงในอาคารเรียนกรณีศึกษาครั้งนี้ ผู้ศึกษาเลือกที่จะใช้แอปพลิเคชันสำหรับตรวจวัดระดับเสียงบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการ Android เนื่องจากข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนเครื่องมือมาตรฐานซึ่งมีไม่เพียงพอต่อการเก็บข้อมูลครั้งนี้

แอปพลิเคชันที่เลือกใช้ในการศึกษา

จากงานวิจัยการทดสอบความถูกต้องของผลตรวจวัดระดับเสียง ในการใช้งานแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนของ Murphy (2016) โดยทดสอบแอปพลิเคชันสำหรับตรวจวัดระดับเสียงจำนวน 7 แอปพลิเคชัน จากทั้งระบบ IOS และ Android ในผลการทดสอบ แอปพลิเคชันที่ให้ผลตรวจวัดแตกต่างจากเครื่องวัดมาตรฐานอยู่ภายใน ± 2 เดซิเบลเอ ได้แก่ SLA Lite (IOS), Sound Meter (Android) และ Decibel Pro (Android)

จากการทบทวนงานวิจัยดังกล่าว ผู้ศึกษามีจุดประสงค์เพื่อค้นหาแอปพลิเคชันการตรวจวัดระดับเสียงที่สามารถนำไปอ้างอิง เพื่อนำไปใช้ในการสำรวจสภาพแวดล้อมทางเสียงบนอาคารกรณีศึกษาในการศึกษานี้ได้ แต่อย่างไรก็ตามผู้ศึกษาได้พบข้อจำกัดหลายประการ ที่ทำให้ไม่สามารถนำแอปพลิเคชันที่ถูกกล่าวถึงในงานวิจัยมาใช้งานได้ เช่น แอปพลิเคชันไม่สามารถดาวน์โหลดได้สำหรับผู้ใช้ในประเทศไทย บางอันสามารถดาวน์โหลดได้แต่ไม่สามารถวัดค่าระดับเสียงในหน่วยของเดซิเบลเอได้ เป็นต้น เหตุนี้ผู้ศึกษาจึงมีความจำเป็นต้องใช้งานแอปพลิเคชันนอกเหนือที่อ้างอิงในงานวิจัย โดยนำไปทดสอบความถูกต้องเทียบกับอุปกรณ์วัดเสียงที่ได้มาตรฐานก่อนนำไปใช้งาน

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษาได้ทำการดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน จากชื่อที่มีความคล้ายกันกับแอปพลิเคชัน Decibel Pro ได้แก่ Decibel X Pro จัดทำโดย SkyPaw Co.,Ltd โดยผลการตรวจวัดจะประกอบด้วย ค่าระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) และค่าระดับเสียงสูงสุด-ต่ำสุด นอกจากนี้ยังสามารถตั้งค่าการถ่วงน้ำหนักแบบ A และค่า Response Time ในหมวด Fast ตามที่ระบุในคู่มือการตรวจวัดเสียงรบกวน (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)



รูปที่ 91 ตัวอย่างรายการผลการตรวจวัดระดับเสียงของแอปพลิเคชัน Decibel X Pro

การทดสอบความถูกต้องของอุปกรณ์

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้ศึกษาสามารถรวบรวมสมาร์ตโฟนจากแบรนด์ผู้ผลิต Samsung Galaxy จำนวนทั้งหมด 3 เครื่อง ได้แก่ Samsung Galaxy A7, Samsung Galaxy A5, และ Samsung Galaxy S6

ในการทดสอบความเที่ยงตรงของการตรวจวัดระดับเสียง กระทำโดยเปรียบเทียบกับเครื่องวัดระดับเสียงของบริษัท Brüel & Kjær: Microphone Type 4950 For Hand-held Analyzer Type รุ่น 2250-L ซึ่งเป็นเครื่องวัดเสียงระดับ Class 1 โดยการวัดระดับเสียงต่อเนื่องเป็นเวลา 5 นาที พบว่าสมาร์ตโฟนที่นำมาใช้ มีค่าระดับเสียงต่างจากเครื่องวัดมาตรฐานอยู่ระหว่าง 1.3 -

4.0 เดซิเบลเอ และครึ่งหนึ่งของจำนวนผลการตรวจวัด มีผลต่างระดับเสียงจากเครื่องมาตรฐานอยู่ใน ± 2.0 เดซิเบลเอ (ดูตาราง 35)

ตารางที่ 35 ผลการเทียบระดับเสียงเฉลี่ย (LAeq) ที่วัดได้ระหว่างเครื่องวัดมาตรฐาน และแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 นาที

ตำแหน่งทดสอบ	ระดับเสียงเฉลี่ย (LAeq, dBA)			
	เครื่องมาตรฐาน	อุปกรณ์สมาร์ทโฟน		
		S6	A5	A7
ภายในห้องเรียน	62.8	61.5	59.9	61.3
ระดับเสียงที่คลาดเคลื่อน	-	-1.30	-2.90	-1.50
ระเบียงทางเดิน	69.0	67.10	65.0	66.50
ระดับเสียงที่คลาดเคลื่อน	-	-1.90	-4.00	-2.50



(ก) ผลการตรวจวัดภายในห้องเรียน



(ข) ผลการตรวจวัดบนระเบียงทางเดิน

รูปที่ 92 การเปรียบเทียบค่าระดับเสียงระหว่างเครื่องวัดมาตรฐานและแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน จากการทดสอบความเที่ยงตรงของการวัดระดับเสียงด้วยแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน Samsung Galaxy จำนวน 3 เครื่อง พบว่ามีอุปกรณ์บางเครื่องที่เกิดความคลาดเคลื่อนต่ำจากระดับเสียงจริงมากกว่า 2 เดซิเบลเอ ดังนั้นจึงควรนำปัจจัยนี้มาประกอบการพิจารณาผลการตรวจวัดด้วยทุกครั้ง

(3) ช่วงเวลาที่ใช้ในการตรวจวัด

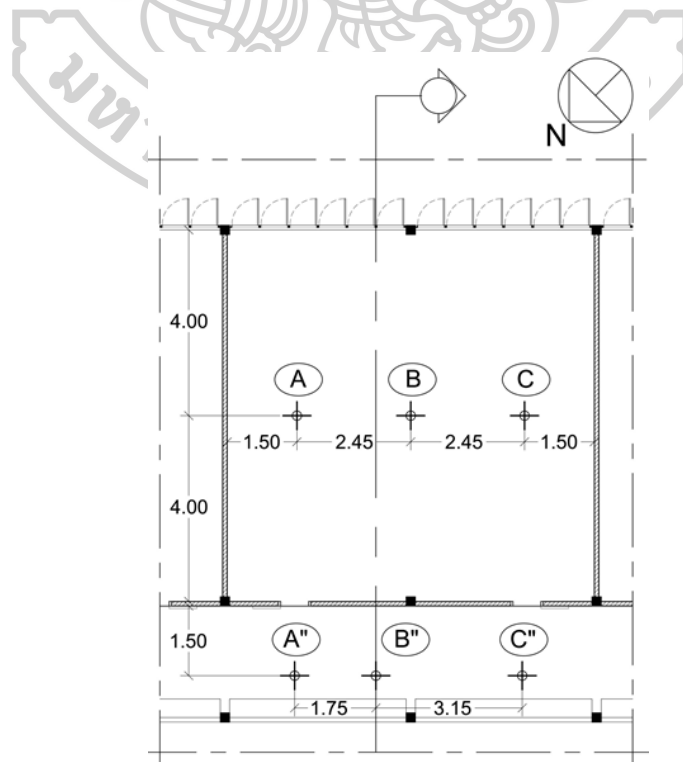
เพื่อศึกษาสภาพแวดล้อมทางเสียงของอาคารเรียน จะต้องทำการตรวจวัดในช่วงวันธรรมดา เพื่อที่จะได้ค่าระดับเสียงการจราจรที่สอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด แต่เนื่องจากช่วงเวลาการเข้าตรวจวัดอยู่ระหว่างเปิดภาคเรียน ซึ่งในวันธรรมดาห้องเรียนถูกใช้ในการเรียนการสอนจึงไม่สามารถเข้าตรวจวัดในวันธรรมดาได้ ผู้ศึกษาจึงจำเป็นต้องเลือกวันเข้าสำรวจตรงกับวันเสาร์ เนื่องจากย่านที่ตั้งของโรงเรียนอยู่ใกล้เคียงกับ แหล่งท่องเที่ยว และห้างสรรพสินค้า ผู้ศึกษาเห็นว่าระดับเสียงในวันดังกล่าวน่าจะยังอยู่ในระดับที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางเสียงได้ไม่ต่างกับสภาพแวดล้อมในวันธรรมดามากนัก

ในทางปฏิบัติจริงการเก็บข้อมูลเสียงจะต้องใช้อุปกรณ์ตรวจวัดจำนวนมากเท่ากับจำนวนตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดเนื่องจากระดับความดังเสียงควรต้องมาจากแหล่งกำเนิดเสียงที่วัด ณ วัน และเวลาเดียวกัน ในกรณีที่มีเครื่องมือไม่เพียงพอต่อการตรวจวัดเสียงพร้อมกันทุกจุด จากการสอบถามนักวิจัยด้านการจราจรให้ข้อเสนอแนะว่าสามารถขยายช่วงเวลาดำเนินการที่ถือว่าระดับเสียงแต่ละชั่วโมงในช่วงเวลานั้นไม่แตกต่างกันทางวิชาการ

ข้อมูลระดับเสียงที่จะนำมาวิเคราะห์ครั้งนี้ใช้ระยะเวลาเก็บข้อมูลต่อเนื่องจุดตรวจละ 5 นาที จากการกำหนดจุดติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดภายในอาคารเรียนจำนวนทั้งหมด 18 จุด และตำแหน่งริมถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้าน 3 จุด และบนริมสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้าอีก 1 จุด ด้วยอุปกรณ์สมาร์ตโฟนทั้งหมด 3 เครื่อง การตรวจวัดครั้งนี้ทำในช่วงเวลาระหว่าง 11.00 – 15.00 น.

แบบฟอร์มบันทึกการตรวจวัดเสียง						
ชั้นที่ 2, 3, 5	ในห้องเรียน					
จุดวัด	SPL (dBA)					
	เปิด ประตู-หน้าต่าง			ปิด ประตู-หน้าต่าง		
	Min	Max	Average	Min	Max	Average
A						
B						
C						
เฉลี่ย						

ชั้นที่ 2, 3, 5	ระเบียบทางเดิน			ผู้จัดบันทึก วัน เวลา
จุดวัด	SPL (dBA)			
	Min	Max	Average	NOTE
A''				
B''				
C''				
เฉลี่ย				

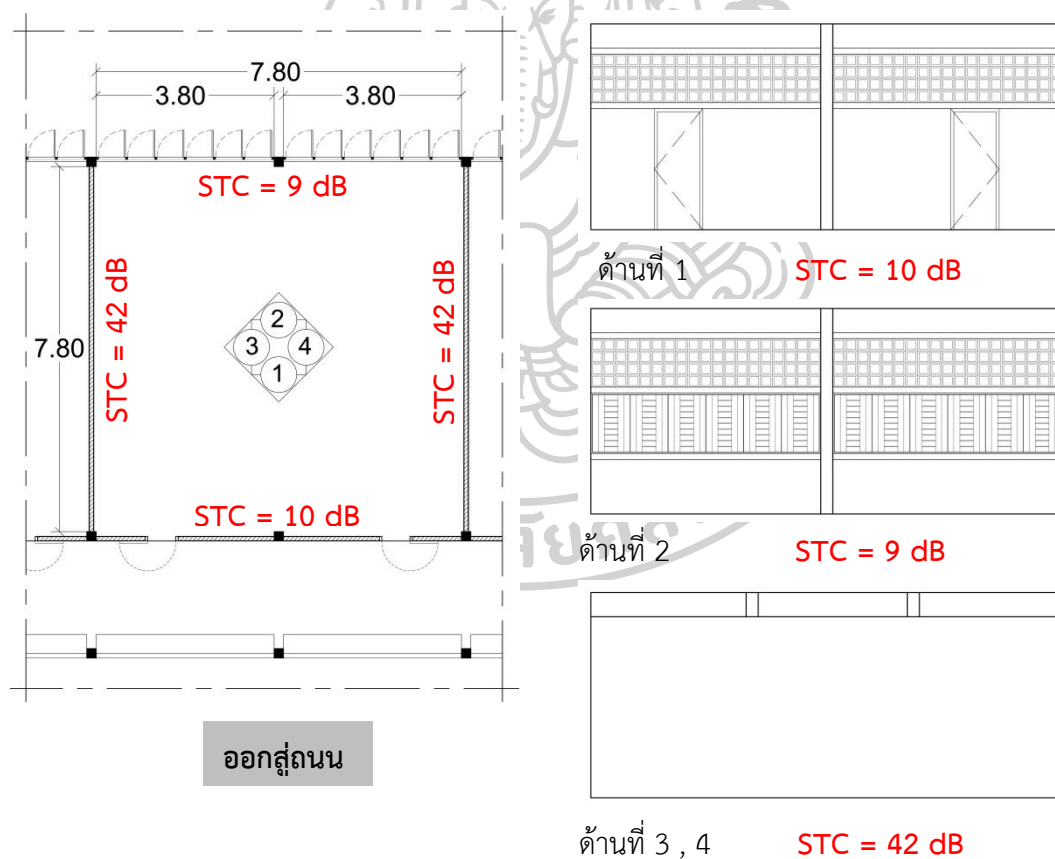


บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1. ผลการวิเคราะห์ค่า Sound Transmission Class (STC)

จากตารางที่ 18 ที่กำหนดค่า STC สำหรับห้องเรียนที่อยู่ติดกับพื้นที่และสภาพแวดล้อมต่างๆทำให้ทราบว่า การออกแบบผนังห้องเรียนที่คำนึงถึงประสิทธิภาพการป้องกันเสียงควรรออกแบบให้มีค่า STC อย่างน้อย 45 – 60 เดซิเบล

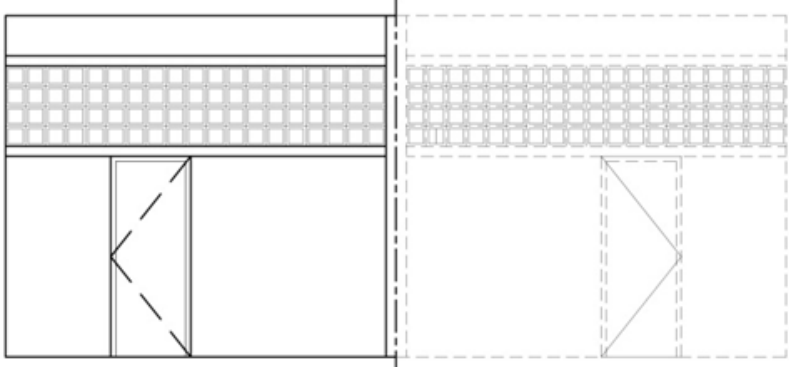
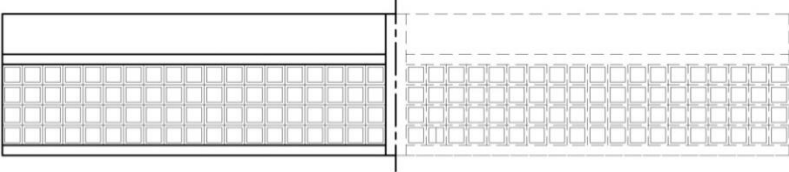
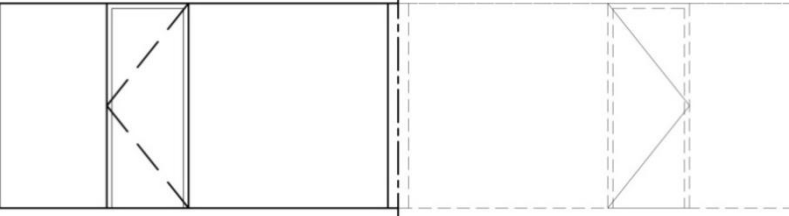
แต่จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การแทรกผ่านเสียงของผนังห้อง (STC) ของห้องเรียนไม่ปรับอากาศบนอาคาร 2 โรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม พบว่าผนังแต่ละด้านมีค่า STC ตั้งแต่ 9-42 เดซิเบล โดยด้านที่หันเข้าสู่ถนนมีค่า STC เท่ากับ 10 เดซิเบล (ดูรูป 93)



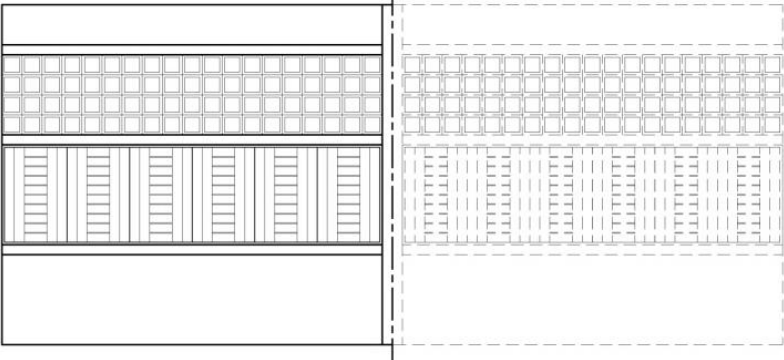
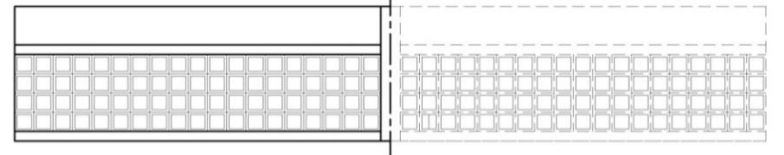
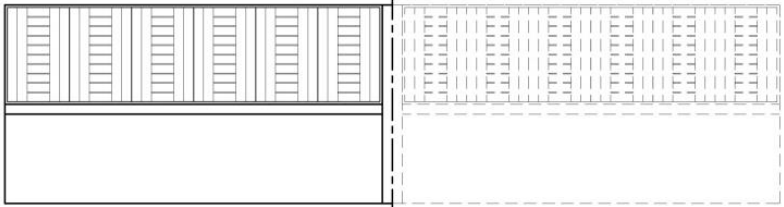
รูปที่ 93 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกั้นเสียงจากภายนอกของผนังห้องเรียน

รายละเอียดผลการวิเคราะห์ค่า STC แบบแยกส่วน

ตารางที่ 36 รายละเอียดการวิเคราะห์ค่า STC แบบแยกส่วนของผนังด้านที่ 1

ผนังด้านที่ 1		STC (dB)
1		
	ผนังด้านที่ 1 ด้านที่หันเข้าหาถนน	10
1.1		
	ผนังช่วงบน คอนกรีตบล็อกชนิดโปร่ง + คานคอนกรีต	6
1.2		
	ผนังช่วงล่าง ผนังก่ออิฐ + บานประตูไม้ + เสาคอนกรีต	24

ตารางที่ 37 รายละเอียดการวิเคราะห์ค่า STC แบบแยกส่วนของผนังด้านที่ 2

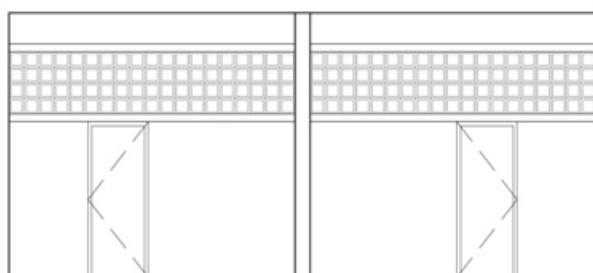
ผนังด้านที่ 2		STC (dB)
2.		
	ผนังด้านที่ 2 ด้านที่หันเข้าภายในโรงเรียน	9
2.1.		
	ผนังช่วงบน คอนกรีตบล็อกชนิดโปร่ง + คานคอนกรีต	6
2.2.		
	ผนังช่วงล่าง ผนังก่ออิฐ + บานหน้าต่างเหล็ก + เสาคอนกรีต	18

ตารางที่ 38 รายละเอียดการวิเคราะห์ค่า STC แบบแยกส่วนของผนังด้านที่ 3 และ 4

ผนังด้านที่ 3 และ 4		STC (dB)
3		
	ผนังกั้นระหว่างห้องเรียน	42

การทดสอบเปลี่ยนวัสดุผนังด้านที่ติดแหล่งกำเนิดเสียงจากถนน (ด้านที่ 1)

จากการวิเคราะห์ผนังห้องเรียนกรณีศึกษาด้านที่ 1 ซึ่งเป็นด้านที่ติดต่อกับแหล่งกำเนิดเสียงถนนโดยตรงพบว่าผนังมีสัมประสิทธิ์การแทรกผ่านเสียง (STC) 10 เดซิเบล ในกรณีปิดประตูและเหลือเพียง 6 เดซิเบลในกรณีที่เปิดประตูไว้ (รูปที่ 94) เนื่องจากเสียงที่เดินทางผ่านช่องระบายอากาศคอนกรีตบล็อกแบบโปร่ง และช่องประตูที่ถูกเปิดไว้ระหว่างใช้งานเข้ามาเป็นปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพของผนังก่ออิฐที่มีค่า STC เท่ากับ 42 เดซิเบล มีค่าลดลงอย่างมาก



ผนังด้านที่ 1

ค่า STC เฉลี่ย

ขณะปิดประตู = 10 เดซิเบล

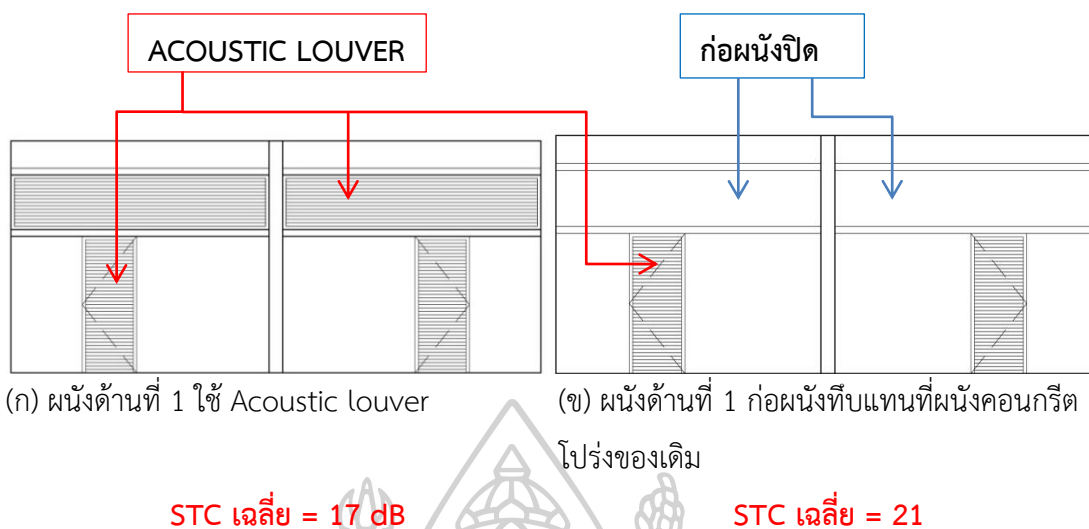
ขณะเปิดประตู = 6 เดซิเบล

รูปที่ 94 ค่า STC ของผนังห้องกรณศึกษาด้านที่ 1เปรียบเทียบระหว่าง เปิด และปิดประตู

ดังนั้นผู้ทดสอบจึงได้ทดลองแทนที่วัสดุเดิมด้วย แนวทางที่ 1 คือ เปลี่ยนจากคอนกรีตบล็อกแบบโปร่ง และบานประตูไม้ด้วยบานเกล็ดระบายอากาศชนิดกันเสียง (Acoustic louver) ที่มีความหนา 15 เซนติเมตร มีค่า STC เท่ากับ 12 เดซิเบล (ดูตารางที่ 24) เพื่อรักษาคุณสมบัติการระบายอากาศ พบว่าวัสดุดังกล่าวสามารถเพิ่มค่า STC เฉลี่ยของผนังด้านที่ 1 จาก 6 เดซิเบล ในกรณีเปิดประตูทิ้งไว้ เป็น 17 เดซิเบล โดยที่ยังคงความสามารถในการระบายอากาศแม้ว่าประตูถูกปิดอยู่ได้อีกด้วย

แนวทางที่ 2 คือ เปลี่ยนประตูไม้ด้วยบานเกล็ดระบายอากาศชนิดกันเสียง และก่อผนังทับแทนผนังคอนกรีตโปร่งแบบเดิม จะมีค่า STC เท่ากับ 21 เดซิเบล เนื่องจากโดยปกติ ในห้องเรียนจะมีการเปิดใช้พัดลมไฟฟ้าเป็นตัวช่วยเพิ่มการถ่ายเทอากาศจากหน้าต่างอยู่แล้ว ทำให้การมีผนังก่อคอนกรีตแบบโปร่งทั้งสองฟากผนังห้องอาจไม่ได้มีความจำเป็นนัก ในทางกลับกัน สำหรับอาคารเรียนที่ตั้งอยู่ริมถนน การลดขนาดช่องเปิดบนผนังให้มีพื้นที่น้อยลงอาจช่วยให้สภาพแวดล้อมทางด้านเสียงดีขึ้นได้

แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการถ่ายเทอากาศเมื่อใช้เกล็ดระบายอากาศชนิดกันเสียงอาจน้อยกว่าการใช้คอนกรีตบล็อกแบบโปร่ง จึงควรมีการศึกษาผลกระทบเพิ่มเติมในการศึกษาต่อไปในอนาคต



รูปที่ 95 เปรียบค่า STC เฉลี่ยของผนังห้องกรณีศึกษาด้านที่ 1 หลังได้รับการปรับปรุง

4.2. ผลการวิเคราะห์ค่า Reverberation time (RT)

จากตารางที่ 16 ที่กำหนดค่า RT สำหรับห้องเรียนทำให้ทราบว่า การออกแบบผนังห้องเรียนที่มีปริมาตรน้อยกว่า 283 m^3 ($10,000 \text{ ft}^3$) โดยคำนึงถึงคุณภาพความก้องของเสียงภายใน ควรออกแบบให้มีค่า RT ไม่เกิน 0.6 วินาที

จากการวิเคราะห์ค่า RT ผนังภายในห้องเรียนไม่ปรับอากาศของอาคารกรณีศึกษา (อาคาร 2) โรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม พบว่า ห้องเรียนดังกล่าวในกรณีปิดประตู จะมีค่า RT เท่ากับ 3.91 วินาที และกรณีเปิดประตูมีค่า RT เท่ากับ 2.24 วินาที ซึ่งเกินกว่ามาตรฐานที่นำมาใช้อ้างอิง เนื่องจากผิววัสดุภายในห้องมีคุณสมบัติการดูดซับเสียงต่ำ

ตารางที่ 39 ตารางแสดงผลการคำนวณค่า RT ของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบแจกแจงตามความถี่:
กรณี ปิดประตู-หน้าต่าง

พื้นผิว	พื้นที่ (m ²)	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงรายความถี่ของวัสดุบน พื้นผิวนั้นๆ						
		125	250	500	1000	2000	4000	NRC
เพดานคอนกรีต ทาสี	60.84	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00
พื้นกระเบื้องเซรามิก	60.84	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
ผนังคอนกรีตบล็อก ทาสี	60.48	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.05
ผนังก่ออิฐ ฉาบเรียบ ทาสี	18.84	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05
เสา-คาน คอนกรีต	17.44	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00
หน้าต่างบานเหล็ก	3.60	0.04	0.03	0.04	0.08	0.13	0.18	0.05
ประตูบานไม้อัด 6 มม.	3.20	0.03	0.03	0.07	0.15	0.21	0.25	0.10
ช่องระบายอากาศ	3.62	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ค่า Reverberation Time, RT		4.13	4.74	4.39	3.48	3.04	3.06	4.13
ค่า RT เฉลี่ยของความถี่ 250, 500, 1000, 2000 Hz							3.91 วินาที	
ค่า RT เฉลี่ยของความถี่ 500, 1000 Hz							3.93 วินาที	

ตารางที่ 40 ตารางแสดงผลการคำนวณค่า RT ของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบแจกแจงตามความถี่: กรณี เปิดประตู-หน้าต่าง พบว่า

ตารางที่ 40 ตารางแสดงผลการคำนวณค่า RT ของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบแจกแจงตามความถี่:
กรณี เปิดประตู

พื้นผิว	พื้นที่ (m ²)	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงรายความถี่ของวัสดุบน พื้นผิวนั้นๆ						
		125	250	500	1000	2000	4000	NRC
เพดานคอนกรีต ทาสี	60.84	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00
พื้นกระเบื้องเซรามิก	60.84	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
ผนังคอนกรีตบล็อก ทาสี	60.48	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.05
ผนังก่ออิฐ ฉาบเรียบ ทาสี	18.84	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05
เสา-คาน คอนกรีต	17.44	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00
หน้าต่างบานเหล็ก	3.60	0.04	0.03	0.04	0.08	0.13	0.18	0.05
ประตูบานไม้อัด 6 มม. (เปิด)	3.20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ช่องระบายอากาศ	3.62	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ค่า Reverberation Time, RT		2.27	2.44	2.37	2.13	2.00	2.05	2.27
ค่า RT เฉลี่ยของความถี่ 250, 500, 1000, 2000 Hz								2.24 วินาที
ค่า RT เฉลี่ยของความถี่ 500, 1000 Hz								2.25 วินาที

การทดสอบเปลี่ยนวัสดุเพดานภายในห้องเพื่อปรับปรุงค่า RT ของห้องเรียนกรณีศึกษา

ผู้ศึกษาได้ทดลองปรับปรุงประสิทธิภาพโดยเพิ่มการติดตั้งแผ่นฝ้าดูดซับเสียงจากฉนวนใยแก้วความหนา 1 นิ้ว มีค่า NRC = 0.9 (ดูตาราง 15) บนเพดานเดิม พบว่าสามารถลดค่า RT ของเพดานเหลือ 0.6 วินาทีในกรณีปิดประตู-หน้าต่าง และ 0.5 วินาทีในกรณีเปิดประตู-หน้าต่าง



รูปที่ 96 ตัวอย่างการติดตั้งแผ่นฝ้าดูด
ซับเสียง

(ที่มา:

<http://www.ubpindia.com/decosonic-range/decosonic-glass-fiber-ceiling-tiles>)

ตารางที่ 41 ตารางแสดงผลการคำนวณค่า RT ของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบแจกแจงตามความถี่:
กรณี ปิดประตู + ติดตั้งแผ่นฝ้าฉนวนใยแก้ว

พื้นผิว	พื้นที่ (m ²)	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงรวมความถี่ของวัสดุบน พื้นผิวนั้นๆ						
		125	250	500	1000	2000	4000	NRC
เพดานแผ่นฝ้าฉนวนใยแก้ว	60.84	0.55	0.89	0.73	0.99	0.99	0.99	0.90
พื้นกระเบื้องเซรามิก	60.84	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
ผนังคอนกรีตบล็อก ทาสี	60.48	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.05
ผนังก่ออิฐ ฉาบเรียบ ทาสี	18.84	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05
เสา-คาน คอนกรีต	17.44	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00
หน้าต่างบานเหล็ก	3.60	0.04	0.03	0.04	0.08	0.13	0.18	0.05
ประตูบานไม้อัด 6 มม.	3.20	0.03	0.03	0.07	0.15	0.21	0.25	0.10
ช่องระบายอากาศ	3.62	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ค่า Reverberation Time, RT		0.81	0.55	0.64	0.48	0.47	0.47	0.81
ค่า RT เฉลี่ยของความถี่ 250, 500, 1000, 2000 Hz								0.53 วินาที
ค่า RT เฉลี่ยของความถี่ 500, 1000 Hz								0.56 วินาที

ตารางที่ 42 ตารางแสดงผลการคำนวณค่า RT ของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบแจกแจงตามความถี่: กรณี เปิดประตู-หน้าต่าง + ติดตั้งแผ่นฝ้าฉนวนใยแก้ว

พื้นผิว	พื้นที่ (m ²)	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงรายความถี่ของวัสดุบน พื้นผิวนั้นๆ						
		125	250	500	1000	2000	4000	NRC
เพดานแผ่นฝ้าฉนวนใยแก้ว	60.84	0.55	0.89	0.73	0.99	0.99	0.99	0.90
พื้นกระเบื้องเซรามิก	60.84	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
ผนังคอนกรีตบล็อก ทาสี	60.48	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.05
ผนังก่ออิฐ ฉาบเรียบ ทาสี	18.84	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05
เสา-คาน คอนกรีต	17.44	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00
หน้าต่างบานเหล็ก	3.60	0.04	0.03	0.04	0.08	0.13	0.18	0.05
ประตูบานไม้อัด 6 มม. (เปิด)	3.20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ช่องระบายอากาศ	3.62	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ค่า Reverberation Time, RT		0.70	0.49	0.57	0.44	0.44	0.44	0.49
ค่า RT เฉลี่ยของความถี่ 250, 500, 1000, 2000 Hz								0.49 วินาที
ค่า RT เฉลี่ยของความถี่ 500, 1000 Hz								0.51 วินาที

4.3. ผลการตรวจวัดค่าระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level, SPL)

4.3.1. ระดับความดันเสียงที่ริมการจราจรบนถนน

ระดับความดันเสียงเฉลี่ยที่ตรวจวัดบนสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า บริเวณทางเดินริมสะพานคนข้าม จากจุดวัดเสียงจำนวน 3 จุด พบว่า มีค่าเท่ากับ 84.13 เดซิเบลเอ (ตารางที่ 43)

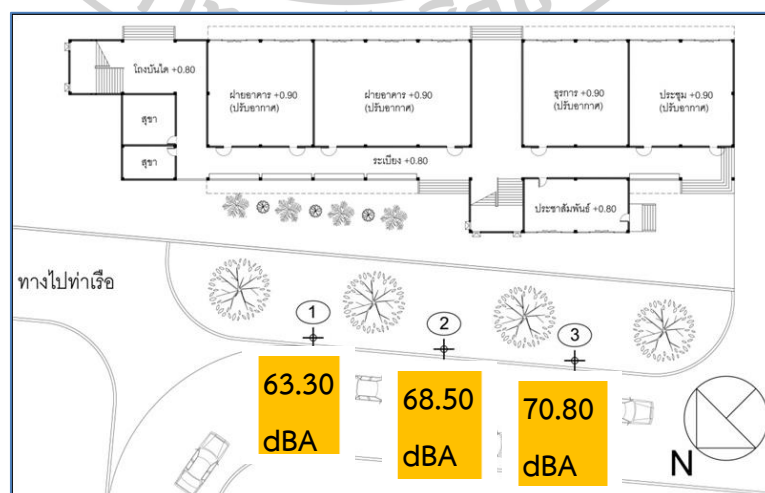
ตารางที่ 43 ค่าระดับเสียงบนทางเดินริมสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า

จุดวัด	ริมสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า		
	Leq	Min	Max
1	83.90	69.40	104.20
2	85.50	68.50	101.50
3	83.00	66.70	103.20
เฉลี่ย	84.13	68.20	102.97

ระดับความดันเสียงเฉลี่ยที่ตรวจวัดที่ริมถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้านบริเวณหน้าโรงเรียน จากจุดวัดเสียงจำนวน 3 จุด พบว่ามีค่าเท่ากับ 67.53 เดซิเบลเอ (ตาราง 44)

ตารางที่ 44 ค่าระดับเสียงริมถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้าน

จุดวัด	ริมถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้า		
	Leq	Min	Max
1	63.30	60.70	79.10
2	68.50	64.70	80.40
3	70.80	66.90	87.40
เฉลี่ย	67.53	64.10	82.30



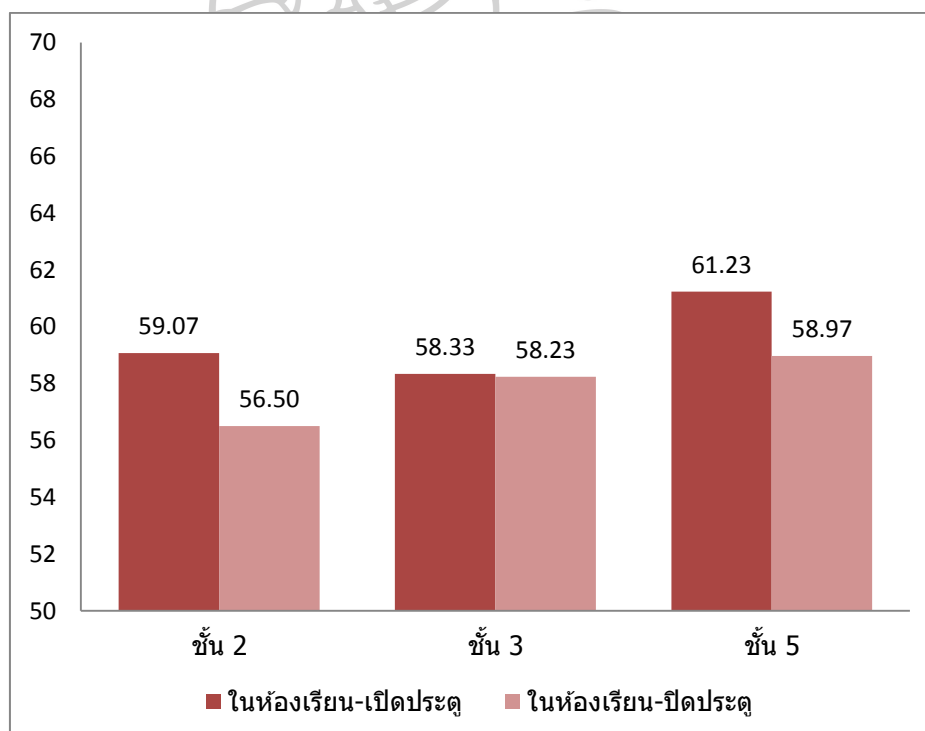
รูปที่ 97 ระดับเสียงที่ตรวจวัดได้ในแต่ละจุดริมถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้าน

4.3.2. ระดับความดันเสียงเฉลี่ยภายในห้องเรียน

ในการสำรวจวัดค่าระดับความดันเสียง (SPL) ภายในห้องเรียนแบบไม่ปรับอากาศของอาคารเรียนกรณีศึกษาที่ชั้น 2, 3 และ 5 ที่มีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดถนนขนาด 2 ทางสัญจร และสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้าขนาด 6 ทางสัญจร เป็นระยะทาง 7 และ 36 เมตร ตามลำดับ เปรียบเทียบจากสองกรณี คือ (1) ตรวจวัดขณะเปิดประตู และ (2) ปิดประตู พบว่ามีค่าระดับความดันเสียงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 56.50 – 61.23 เดซิเบลเอ โดยความแตกต่างของระดับเสียงของทั้ง 2 กรณีไม่ต่างกันนัก แต่มีแนวโน้มว่าระดับเสียงจะลดลงเล็กน้อยเมื่อมีการปิดประตูห้องเรียน เนื่องจากห้องเรียนยังคงได้รับอิทธิพลเสียงที่ผ่านเข้ามาทางช่องคอนกรีตบล็อกแบบโปร่งแม้ว่าจะมีการปิดประตูแล้วก็ตาม (ดูรูปที่ 95)

โดยระดับความดันเสียงเฉลี่ยมีค่าสูงสุดที่ชั้น 5 โดยที่แต่ละชั้นมีความแตกต่างกันไม่มากนักเนื่องจากอาคารเรียนกรณีศึกษาหลังนี้ได้รับผลกระทบสภาพแวดล้อมทางเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงทั้งระดับพื้นถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้านและจากสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า

ระดับเสียง (dBA)



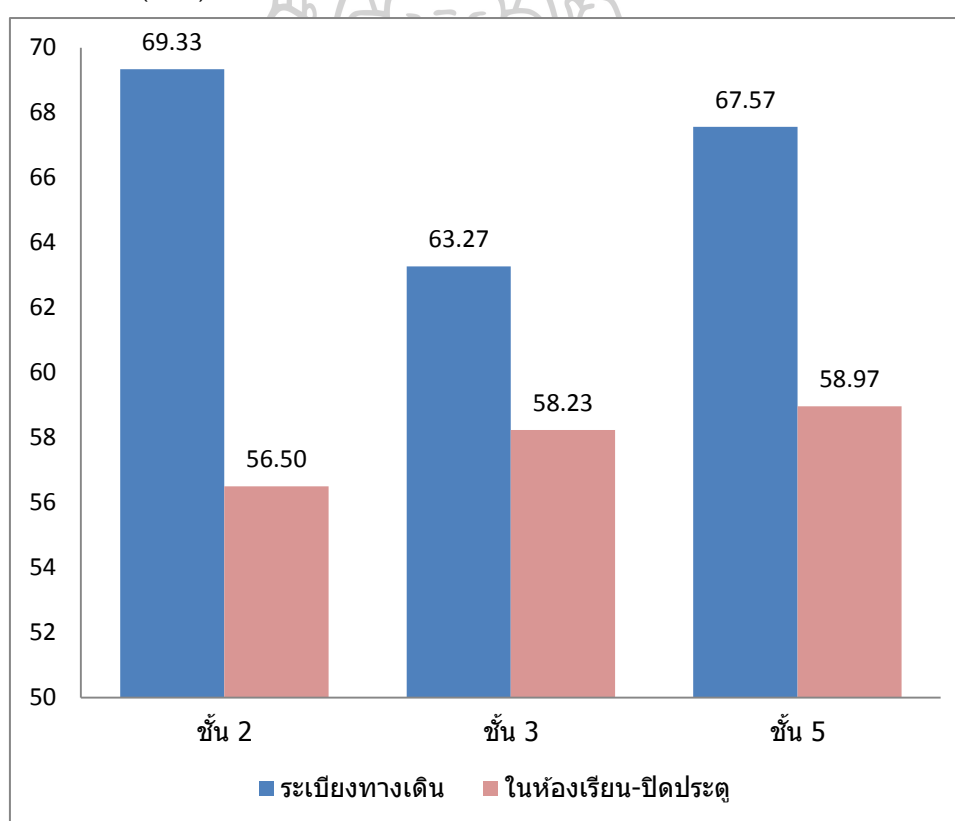
รูปที่ 98 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบระดับความดันเสียงเฉลี่ยที่ตรวจวัดภายในห้องเรียนกรณีศึกษา ระหว่างกรณีปิดประตูห้อง และเปิดประตูห้อง

4.3.3. ระดับความดันเสียงเฉลี่ยบนระเบียงทางเดิน

สำหรับผลการตรวจวัดระดับความดันเสียงบนระเบียงทางเดินของอาคารเรียนกรณีศึกษาตั้งแต่ชั้นที่ 2, 3 และ 5 พบว่ามีค่าระดับความดันเสียงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 63.27 – 69.33 เดซิเบลเอ และมีค่ามากที่สุดใ้ระเบียงชั้น 2 (ดูภาพ 96)

เมื่อเปรียบเทียบค่าระดับความดันเสียงเฉลี่ยระหว่างภายในห้องและระเบียงทางเดิน พบว่าค่าระดับความดันเสียงลดลงตั้งแต่ 5.04-12.83 เดซิเบลเอ โดยชั้นที่มีความแตกต่างกันมากที่สุดคือ ชั้น 2 รองลงมาคือ ชั้น 5 และ 3 ตามลำดับ

ระดับเสียง (dBA)



รูปที่ 99 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบระดับความดันเสียงเฉลี่ยระหว่างภายในห้องเรียนขณะปิดประตูและในระเบียงทางเดินของอาคารกรณีศึกษา

ตารางที่ 45 รายละเอียดผลการตรวจวัดระดับเสียงอาคารเรียนกรณีศึกษา (อาคาร 2)

ชั้น	ระดับความดันเสียง (เดซิเบลเอ)												
	จุดวัด	ภายในห้องเรียน กรณี: เปิด ประตู			ภายในห้องเรียน กรณี: ปิด ประตู			จุดวัด	ระยะเสียงทางเดิน				
		Leq	Min	Max	Leq	Min	Max		Leq	Min	Max		
2	A	60.40	49.00	69.90	56.80	50.20	68.40	A"	67.10	58.60	78.10		
	B	57.90	53.90	69.20	56.40	50.70	67.20	B"	70.60	57.50	75.20		
	C	58.90	54.70	71.10	56.30	51.50	68.00	C"	70.30	60.00	76.30		
	เฉลี่ย	59.07	52.53	70.07	56.50	50.80	67.87	เฉลี่ย	69.33	58.70	76.53		
3	A	59.30	53.30	69.00	57.30	51.30	67.80	A"	65.10	57.00	77.20		
	B	57.20	51.80	67.30	56.30	49.40	68.10	B"	61.90	59.00	76.90		
	C	58.50	67.30	60.90	61.10	50.20	70.90	C"	62.80	44.10	77.10		
	เฉลี่ย	58.33	57.47	65.73	58.23	50.30	68.93	เฉลี่ย	63.27	53.37	77.07		
5	A	62.60	59.90	78.10	59.80	58.00	73.00	A"	67.30	57.00	82.20		
	B	59.50	43.90	76.70	57.40	57.20	74.60	B"	68.50	58.10	82.80		
	C	61.60	58.20	75.20	59.70	57.70	74.70	C"	66.90	57.40	83.00		
	เฉลี่ย	61.23	54.00	76.67	58.97	57.63	74.10	เฉลี่ย	67.57	57.50	82.67		

4.4. สรุปผลการวิเคราะห์และสำรวจอาคารกรณีศึกษา

1. จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการลดเสียงผ่านผนัง (STC) ของผนังห้องเรียนกรณีศึกษา พบว่ามีค่าอยู่ที่ 9, 10 และ 42 เดซิเบล เมื่อเทียบกับมาตรฐานที่นำมาอ้างอิง ค่า STC สำหรับห้องเรียนควรอยู่ที่ 45 สำหรับผนังกันระหว่างห้องเรียน และ 60 เดซิเบล สำหรับผนังภายนอกอาคาร ดังนั้นผนังห้องเรียนทุกด้านจึงมีค่า STC ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน และเมื่อคำนวณกรณีปรับปรุงด้านที่ 1 ซึ่งหันเข้าสู่ถนน โดยการแทนที่วัสดุบานประตูไม้ ด้วย Acoustic Louver และ เปลี่ยนผนังคอนกรีตบล็อกแบบโปร่ง เป็นผนังก่อทึบ พบว่าผนังมีค่า STC สูงขึ้นจากเดิม 10 เดซิเบล เป็น 21 เดซิเบล (ตารางที่ 46)

ตารางที่ 46 สรุปผลการคำนวณค่า STC ของผนังห้องเรียนกรณีศึกษาเทียบกับค่ามาตรฐาน

ค่า STC (dB)	ด้านที่ 1	ด้านที่ 2	ด้านที่ 3	ด้านที่ 4
STC มาตรฐาน (dB)	60	60	45	45
STC ที่คำนวณได้	10	9	42	42
STC เมื่อมีการปรับปรุง โดยแทนที่วัสดุประตูบานไม้ เป็น บาน Acoustic Louver ผนังคอนกรีตบล็อกแบบโปร่ง เป็น ผนังก่อทึบ	21	-	-	-

2. จากการวิเคราะห์ค่าเวลากังวาน (RT) ภายในห้องเรียนกรณีศึกษา พบว่า กรณีที่ปิดประตู ภายในห้องเรียนจะมีค่า RT คือ 3.91 วินาที และ กรณีเปิดประตู-หน้าต่าง RT คือ 2.24 วินาที เมื่อเทียบกับมาตรฐานอ้างอิง ค่า RT ของห้องเรียนที่มีปริมาตร 207 ม.³ (ไม่เกิน 224 ม.³) เท่ากับ 0.6 วินาที ดังนั้นห้องเรียนกรณีศึกษาจึงมีค่าเวลากังวานภายในห้องเกินกว่าค่ามาตรฐานอ้างอิง และเมื่อทดลองคำนวณกรณีที่ติดตั้งแผ่นฝ้าฉนวนใยแก้วซึ่งมีค่า NRC เท่ากับ 0.9 ที่เพดาน พบว่า ค่า RT ลดลงเหลือ 0.49 วินาที (กรณีเปิดประตู) (ดูตารางที่ 47)

ตารางที่ 47 สรุปผลการคำนวณค่า RT ของผนังห้องเรียนกรณีศึกษาเทียบกับค่ามาตรฐาน

ค่าเวลากังวานของห้องเรียน (RT) (วินาที)	ปิดประตู	เปิด ประตู
RT มาตรฐาน (dB) (ปริมาตรไม่เกิน 224 ม. ³)	0.6	0.6
RT ที่คำนวณได้	3.91	2.24
RT เมื่อมีการปรับปรุง ติดตั้งแผ่นฝ้าฉนวนใยแก้ว	0.53	0.49

3. จากการตรวจวัดค่าระดับความดันเสียง (SPL) ภายในห้องเรียนกรณีศึกษา พบว่า มีค่าระดับความดันเสียงเฉลี่ย ระหว่าง 56.50-61.23 เดซิเบลเอ ซึ่งเกินกว่าค่าเสียงพื้นหลังที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมการเรียนการสอน (Background Noise) ควรมีค่าไม่เกิน 35 เดซิเบลเอ
4. จากการตรวจวัดค่าระดับความดันเสียง (SPL) ภายในห้องเรียนกรณีศึกษา เปรียบเทียบระหว่างกรณี เปิดประตู และ ปิดประตู พบว่า ระดับเสียงภายในห้องขณะปิดประตูมีค่าน้อยกว่าขณะเปิดประตู และมีความแตกต่างกันตั้งแต่ 0.10-2.57 เดซิเบล ซึ่งคนทั่วไปไม่สามารถสัมผัสถึงความแตกต่างได้ เนื่องจากเสียงยังคงสามารถผ่านเข้าทางผนังคอนกรีตบล็อกแบบโปร่งได้อยู่
5. จากการตรวจวัดค่าระดับความดันเสียงภายในระเบียงอาคารเรียนกรณีศึกษา พบว่า มีค่าระหว่าง 63.27-69.33 เดซิเบลเอ โดยมีค่าระดับเสียงสูงสุดที่ชั้น 2 รองลงมาคือ ชั้น 5 และน้อยที่สุดที่ ชั้น 3 เนื่องจาก ที่ชั้น 2 ได้รับผลกระทบทางเสียงจากแหล่งกำเนิดการจราจรบนถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้าน โดยเฉพาะจากพฤติกรรมของรถยนต์ เมื่อกลับรถได้สะพานและมีการเร่งความเร็วขึ้นเมื่อพ้นจากทางโค้ง และพฤติกรรมการหยุดรับ-ส่งนักท่องเที่ยว ไปยังท่าเรือของรถโดยสารบริการนักท่องเที่ยว ทำให้เกิดเสียงเครื่องยนต์อันเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดเสียงรบกวนในอาคารเรียน และที่ชั้น 5 ได้รับผลกระทบทางเสียงจากแหล่งกำเนิดการจราจรที่มีความหนาแน่นบนสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า ส่วนที่ชั้น 3 ระดับความดันเสียงน้อยกว่าเนื่องจากมีแนวพุ่มไม้สูงขึ้นมาบดบังบริเวณหน้าอาคารไว้ ต่างกับชั้น 5 ที่กระทบกับแหล่งกำเนิดเสียงโดยตรง
6. เมื่อเปรียบเทียบระดับเสียงภายในระเบียงและภายในห้อง พบว่าระดับเสียงภายในห้องขณะปิดประตูมีค่าลดลงต่ำกว่าระเบียงระหว่าง 5.04-12.83 เดซิเบลเอ

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการศึกษา

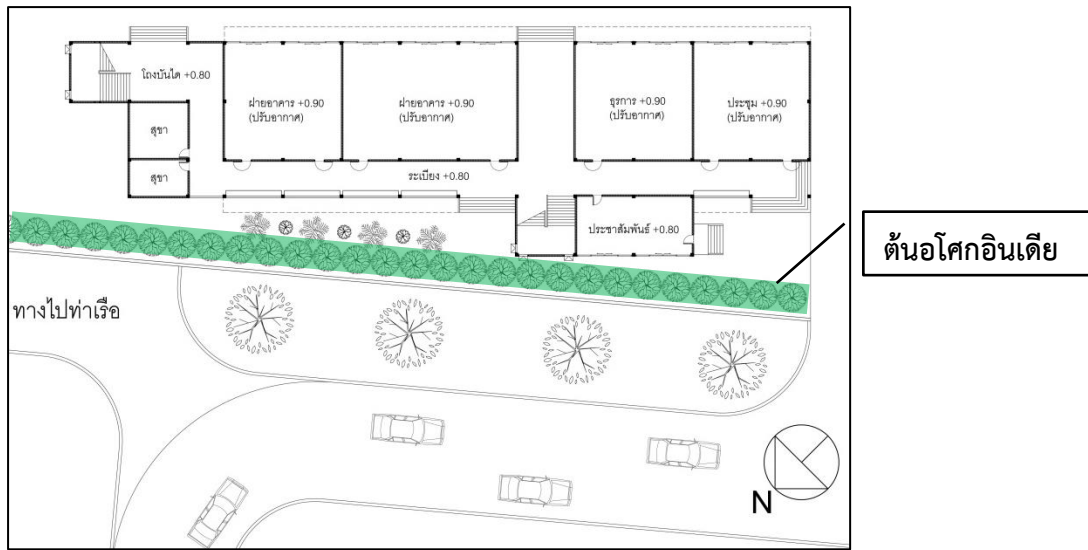
1. การศึกษานี้ เป็นการศึกษาสภาพแวดล้อมทางเสียงจากแบบอาคารและการสำรวจจากอาคารจริงของอาคารเรียนประเภททางเดินเดี่ยวจำนวน 5 ชั้น ซึ่งมีห้องเรียนชนิดไม่ปรับอากาศเป็นองค์ประกอบ โดยอาคารกรณีศึกษาโรงเรียนมัธยมวัดดุสิตารามซึ่งตั้งอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดถนน 2 แหล่ง คือ ถนนสมเด็จพระปิ่นเกล้าหน้าบ้านขนาด 2 ทาสัญจร และสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้าขนาด 6 ทางสัญจรเป็นระยะ 7 และ 36 เมตร ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านเสียงจากแบบห้องเรียนกรณีศึกษา แบ่งเป็น 3 ประเด็น คือ
 - 1) ความสามารถในการลดเสียงผ่านผนัง (STC) ของผนังห้องเรียนกรณีศึกษา
 - 2) ค่าเวลากังวาน (Reverberation time, RT) ภายในห้องเรียนกรณีศึกษา
 - 3) การตรวจวัดระดับความดันเสียง (SPL) ด้วยแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน ภายในห้องและระเบียงทางเดิน ของห้องเรียนแบบไม่ปรับอากาศจำนวน 3 ห้อง จากชั้นที่ 2, 3 และ 5 รวมถึงระดับเสียงบริเวณแหล่งกำเนิดเสียงริมถนนหน้าอาคารเรียน
2. ผลการศึกษาไม่เป็นไปตามการตั้งสมมุติฐาน ว่าการออกแบบภูมิทัศน์และองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม ได้แก่ ผนังอาคาร ช่องเปิด ระเบียงทางเดินนอกอาคาร และแผงบังแดด สามารถช่วยป้องกันและลดเสียงรบกวนจากถนนที่มีการจราจรหนาแน่นในเขตเมืองให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมการเรียนการสอนในโรงเรียนได้ เมื่อเปรียบเทียบระดับเสียงที่ตรวจวัดในห้องเรียนซึ่งมีค่าระหว่าง 56.50 – 61.23 เดซิเบลเอ กับค่าระดับเสียงพื้นหลังที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมการเรียนการสอนที่ไม่ควรเกิน 35 เดซิเบลเอ เนื่องจากปัจจัยเรื่องการเว้นระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและอาคารกรณีศึกษา ซึ่งอาจมีระยะทางไม่เพียงพอที่จะสามารถลดระดับเสียงจากถนน ตามกฎการลดระดับความเข้มเสียง 3-6 เดซิเบล ทุกระยะห่างที่เพิ่มขึ้น 2 เท่า เมื่อมีแหล่งกำเนิดเสียงเป็นการจราจรบนถนนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเสียงประเภทผสมระหว่างแบบจุดและแบบเส้น

3. โครงสร้างของผนังอาคารเรียนกรณีศึกษาด้านที่หันเข้าหาถนน สามารถลดระดับเสียงบนระเบียบทางเดินริมอาคารได้ระหว่าง 5.04-12.83 เดซิเบลเอ
4. จากการวิเคราะห์ความสามารถในการลดเสียงผ่านผนัง (STC) ของห้องเรียนด้านที่หันสู่ถนน พบว่ามีค่า 10 เดซิเบล ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐานเท่ากับ 60 เดซิเบล ส่วนค่าเวลากังวานภายในห้องเรียน (RT) พบว่า มีค่า เท่ากับ 3.91 วินาที (กรณีปิดประตู) และ 2.24 วินาที (กรณีปิดประตู) ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานเท่ากับ 0.6 วินาที
5. จากการสำรวจและตรวจวัดระดับเสียงบนอาคารเรียนที่ตั้งอยู่ริมถนน ทำให้ทราบว่าริมถนนที่มีการจราจรหนาแน่นในเมืองใหญ่ อาจไม่ใช่ที่ๆเหมาะสมแก่การสร้างโรงเรียนที่มีสภาพแวดล้อมทางเสียงที่ดีโดยเฉพาะโรงเรียนที่ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ และการก่อสร้างสะพานยกระดับที่ผ่านบริเวณชุมชนควรมีการติดตั้งกำแพงกันเสียงบริเวณขอบกันสะพานเพื่อลดปัญหาเสียงรบกวนแก่ชุมชนบริเวณนั้นด้วย

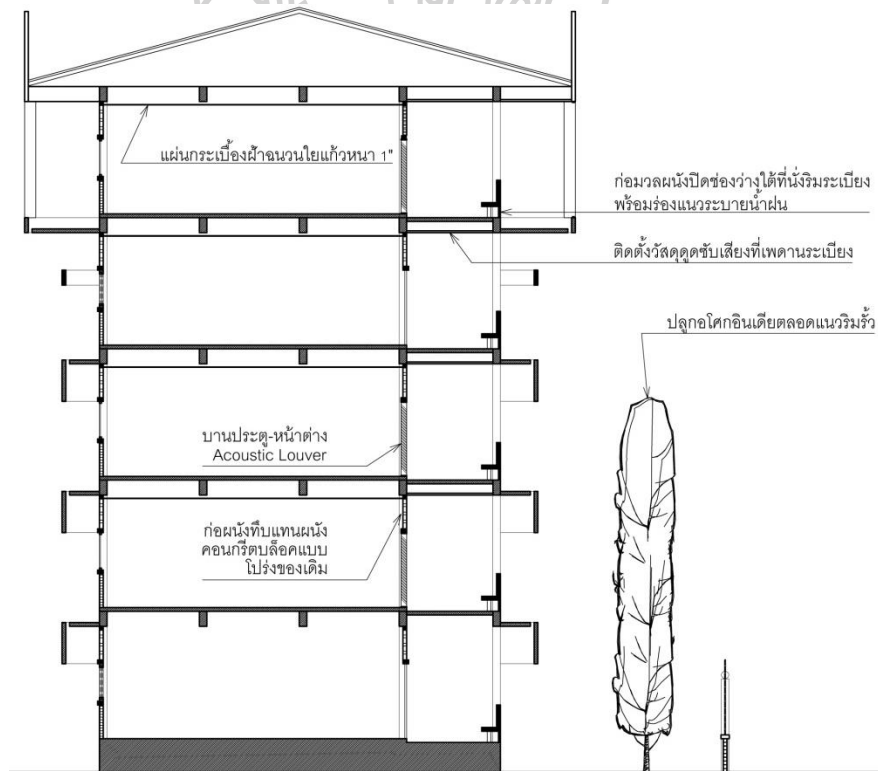
5.2. ข้อเสนอแนะการปรับปรุงสภาพแวดล้อมและสถาปัตยกรรม

1. ในการออกแบบหรือปรับปรุงโครงสร้างอาคารเรียนในอนาคตควรเลือกใช้วัสดุโครงสร้างที่มีค่า STC ไม่ต่ำกว่า 45 เดซิเบล ได้แก่ ผนังก่ออิฐ 2 ชั้น หรือผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก แทนการใช้ผนังก่ออิฐชั้นเดียวกับผนังกันระหว่างห้องเรียน
2. เพิ่มสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของพื้นที่ผิวโดยรวมภายในห้องเรียนกรณีศึกษาเพื่อลดค่า RT และระดับความดันเสียงที่เกิดจากการกระทบและสะท้อนกับโครงสร้างเรียบแข็งภายในห้อง โดยการติดตั้งแผ่นฝ้าฉนวนใยแก้วบนพื้นที่เพดานของเดิม
3. ปรับปรุงผนังด้านที่หันเข้าสู่ถนน โดยปรับปรุงวัสดุผนังจากผนังคอนกรีตบล็อกแบบโปร่งให้เป็นผนังก่อทึบ และปรับปรุงวัสดุบานประตูไม้อัด เป็นเกล็ดระบายอากาศชนิดกันเสียง (Acoustic Louver) ความหนา 15 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มความสามารถในการลดเสียงผ่านผนัง พร้อมด้วย การมีทางระบายอากาศทดแทนผนังคอนกรีตบล็อกแบบโปร่งที่ถูกปิดทึบไป เมื่อทดสอบค่า STC ของผนังที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว จะมีค่า STC เพิ่มจากของเดิม 10 เดซิเบล เป็น 21 เดซิเบล
4. ติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงบนเพดานระเบียบ โดยเลือกใช้วัสดุดูดซับเสียงที่มีคุณลักษณะเหมาะแก่การติดตั้งบนพื้นที่กึ่งภายนอกอาคาร
5. ปรับปรุงรายละเอียดของกำแพงริมระเบียบโดยการก่อปิดช่องว่างข้างใต้ม้านั่งระเบียบ และเพิ่มงานเซาะพื้นเป็นแนวระบายน้ำฝนตลอดริมระเบียบให้ไหลไปลงท่อน้ำฝนแทนการปล่อยให้ระบายออก

- จากระเบียงโดยตรง นอกจากเป็นการปิดกั้นทางเสียงที่อาจผ่านเข้ามาแล้ว ยังเป็นการ ป้องกันอุบัติเหตุจากการร่วงหล่นของคนและสิ่งของผ่านทางช่องดังกล่าวได้ด้วย
6. ปลุกต้นโอศกอินเดียเป็นแนวกันเสียงจากริมถนนบริเวณริมรั้ว เนื่องจากเป็นพืชที่ใช้พื้นที่ในการปลูกน้อยเพียงต้นละ 1.5×1.5 เมตร และสามารถเติบโตสูงได้ถึง 10 เมตร หากปลูกเรียงกันเป็นแนวยาวจำนวน 1 แถว จะสามารถช่วยลดเสียงจากริมถนนได้ประมาณ 3 เดซิเบลเอ
 7. ในแง่การวิเคราะห์ข้อดีของการจัดประเภทพื้นที่ของอาคารเรียนเดิม ในกรณีชั้นที่ 4 จากการตรวจวัดระดับเสียงเป็นชั้นที่มีแนวโน้มว่าจะมีระดับเสียงรบกวนสูงที่สุด อย่างไรก็ตามการกำหนดให้ห้องเรียนชั้นที่ 4 เป็นห้องเรียนระบบปรับอากาศทั้งหมดถือเป็นข้อดีเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวที่อาจเกิดขึ้นได้
 8. ในกรณีชั้นที่ 1 เนื่องจากรั้วโรงเรียนมีลักษณะโปร่งเป็นลูกกรงเหล็กตัด มีส่วนที่บสูงขึ้นมาจากพื้นเพียง 1.2 เมตร ทำให้มีประสิทธิภาพการเป็นกำแพงกันเสียง (wall barriers) ต่ำ การกำหนดให้พื้นที่ชั้น 1 เป็นพื้นที่ห้องทำงานของฝ่ายบริหารโรงเรียนและเป็นชนิดปรับอากาศทำให้ความต้องการด้านสภาพแวดล้อมทางเสียง และปัญหาไม่มากเท่าห้องเรียนแบบไม่ปรับอากาศ และไม่มี ความจำเป็นต้องปรับรูปแบบของรั้วโรงเรียนให้เป็นกำแพงกันเสียง ดังนั้นการคงรูปแบบรั้วให้เป็นแบบเดิมโดยไม่เปลี่ยนเป็นกำแพงที่บสูงจึงเป็นการรักษาความงามของทัศนียภาพบนถนนหน้าโรงเรียนที่ควรแก่การอนุรักษ์ไว้
 9. เนื่องจากบริเวณสะพานประกอบด้วยแหล่งชุมชน รวมถึงสถานศึกษาซึ่งเป็นทีุ่ถูกนำมาเป็นกรณีศึกษาครั้งนี้ และพบว่าผู้ใช้งานอาคารประสบผลกระทบสภาพแวดล้อมทางเสียงที่มาจาก การจราจรบนสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้า ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีมาตรการเพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้น ผู้ศึกษาเห็นว่าสะพานสมเด็จพระปิ่นเกล้าสมควรมีการพิจารณาติดตั้งกำแพงกันเสียงที่ขอบกั้นสะพานช่วงที่ผ่านบริเวณชุมชน และโรงเรียนโดยรอบสะพาน เพื่อบรรเทาปัญหาที่เกิดขึ้น



รูปที่ 100 การปลูกต้นไม้โตริมรั้วโรงเรียนเพื่อเป็นแนวกันเสียงจากการจราจรบนถนน



รูปที่ 101 รูปตัดอาคารกรณีศึกษาแสดงข้อเสนอแนะการปรับปรุงเพื่อการลดเสียงของอาคารกรณีศึกษา

5.3. ข้อเสนอแนะจากการศึกษา

1. การปรับปรุงการออกแบบเพื่อลดเสียงรบกวนสำหรับอาคารที่ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ โดยการลดขนาดช่องทางระบายอากาศอาจส่งผลกระทบต่อปริมาณการระบายอากาศที่มีอยู่เดิมได้ ดังนั้นควรมีการศึกษาผลกระทบดังกล่าวเพิ่มเติมในการศึกษาครั้งต่อไป
2. จากการทบทวนวรรณกรรมในเรื่องเกี่ยวกับ การออกแบบระเบียงรูปร่างต่างๆ สามารถช่วยลดเสียงรบกวนจากภายนอกเข้าสู่อาคารได้ จึงเป็นเรื่องที่ควรนำมาศึกษาต่อในอนาคต
3. ในการทดสอบความถูกต้องของแอปพลิเคชันวัดเสียงบนสมาร์โฟนในการศึกษานี้ เป็นการทดสอบเพียง 2 กรณี คือ การตรวจวัดภายในห้องเรียน และบริเวณระเบียงทางเดิน ดังนั้นจึงควรมีการทดสอบในสภาพแวดล้อมอื่นๆอีก เพื่อที่จะทราบค่าความถูกต้องได้แม่นยำขึ้น
4. ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาในการศึกษาครั้งนี้ เช่น การติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงที่ฝ้าเพดานของระเบียงทางเดิน ควรนำมาทดสอบประสิทธิภาพ ด้วยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือการตรวจวัดจากสถานที่จริง เพื่อให้ทราบประสิทธิภาพการลดเสียงรบกวน



รายการอ้างอิง

- ANSI. (2002). *Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for School*.
- ASHRAE. (2011). *CHAPTER 48. NOISE AND VIBRATION CONTROL*.
- Busa, L., Secchi, S., & Baldini, S. (2011). Effect of Facade Shape for the Acoustic Protection of buildings. *BUILDING ACOUSTICS*.
- Cavanaugh, W. J., & Wilkes, J. A. (1999). *Architectural Acoustics Principle and Practice*. Canada: simultaneously.
- Harris, C. M. (1979). *Handbook of Noise Control*. United States of America: McGraw-Hill, Inc.
- Harris, D. A. (1991). *Noise Control Manual*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Hossam, H., Dien, E., & Woloszyn, P. (2003). Prediction of the sound field into high-rise building facade due to its balcony ceiling form. *Sciencedirect*.
- Hossam, H., & EL, D. (2004). The acoustical influence of balcony depth and parapet form: experiments and simulations. *ELSEVIER*.
- Hothersall, D. C., Horoshenkov, & Mercy, S. E. (1996). NUMERICAL MODELLING OF THE SOUND FIELD NEAR A ROAD. *Journal of Sound and Vibration*.
- Irvine, L. K., & Richards, R. L. (1998). *Acoustics and Noise Control Handbook for Architects and Builders*. FLORIDA: KRIEGER PUBLISHING COMPANY.
- Ishizuka, T., & Fausti, P. (2012). Traffic noise reduction at balconies on high-rise building.
- Ishizuka, T., & Fujiwara, K. (2003). Performance of noise barrier with various edge shapes and acoustical conditions. *ELSEVIER*.
- LEED. (2017). *LEED v4 for Building Design and Construction*.
- Naish, D. A., Tan, A. C. C., & Demirbilek, F. N. (2012). Speech interference and transmission on residential balconies with road traffic noise. *Acoustic Society of America*.
- Naish, D. A., Tan, A. C. C., & Demirbilek, F. N. (2013). Simulating the effect of acoustic treatment types for residential balconied with road traffic noise. *ELSEVIER*.

Paul N .Cheremisinoff, & Peter P. Cheremisinoff. (1978). *Industrial Noise Control Handbook* (2 Ed.). Michigan: Ann Arbor Science Publishers, Inc.

Sharland, I. (1972). *Woods Practical Guide To Noise Control*: WOODS OF COLCHESTER LIMITED.

Terry Montlick. (2003). Sound Isolation Calculator. Retrieved from <http://www.tmlaboratories.com/SoundIsolationCalculator.html>

Volkovas, V., & Saliunas, D. (2015). Investigation of noise barriers enhancement efficiency for attenuation of low frequency traffic noise.

กรมควบคุมมลพิษ. (2560). สถานการณ์เสียงและการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงของประเทศไทย ปี 2559: บริษัท ฮีลท์ จำกัด.

กรมควบคุมมลพิษ. (2550). คู่มือวัดเสียงรบกวน. กรุงเทพฯ: บริษัท ไอดี.ปรีนท์ จำกัด.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2553). การศึกษามลกระทบของเสียงรบกวนต่อการรับรู้จากการฟัง. Retrieved from

เฉลิมวัฒน์ ต้นสวัสดิ์. (2554). การออกแบบที่ฟังพาธรรมชาติเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ โรงเรียนอนุรักษ์พลังงานแห่งอนาคต.

ธนารุช โนราช. (2551). การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของต้นไม้ที่นิยมปลูกริมทางหลวง. (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

บุรฉัตร วิริยะ. (2544). การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของวัสดุพืชแห้งและเส้นใยแก้ว. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ปรีชญา รังสิรักษ์. (2541). เสียงและสภาพแวดล้อมทางการได้ยิน. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พิชัย ปมาณิกบุตร. (2552). เสียงจราจรและการสร้างแบบจำลองของเสียงจราจร. กรุงเทพฯ: หจก. เม็ดทรายพรีนติ้ง.

พิพัฒน์ ละอองศรี. (2556). การประเมินประสิทธิภาพของกำแพงกันเสียงตามแนวทางหลวงพิเศษหมายเลข 9 ตามสภาพปัจจุบัน. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

รัฐวุฒิ ยอดแก้ว, โสภภาพรรณ แสงศัพท์, & สิงห์ อินทรชูโต. (ม.ป.ป.). การดูดซับเสียงของแผ่นผ้าเปดาน แกลบ.

วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์. (2558). *Archtectural Acoustics Basic*.

สมรรถ บุญยรัตพันธุ์. (ม.ป.ป.). เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 263 113 อุโฆษวิทยาสถาปัตย์: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2561). โปรแกรมคำนวณค่า RT : “การออกแบบ

คุณภาพเสียงในอาคาร ปี 2561”. Retrieved from
<http://asa.or.th/handbook/acoustics2018/>
สวัสดี โนนสูง, & สุธิลา ตุละเสถียร. (ม.ป.ป.). ความรู้เกี่ยวกับมลพิษทางเสียง. Retrieved from
http://www.tei.or.th/cef/nonoise/nonoise_knowledge_4detail.html
อิษฎา แก้วประเสริฐ. (2549). การเพิ่มประสิทธิภาพการกันเสียงของผนังคอนกรีตบล็อกชนิดมีช่องลม
ระบายอากาศ. (สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อภิญา จารุศิริสมบัติ
วัน เดือน ปี เกิด	25 สิงหาคม 2531
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สถาปัตยกรรม
ที่อยู่ปัจจุบัน	49/1221 หมู่2 ถ.แจ้งวัฒนะ ต.บางตลาด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120

