สัดส่วนพื้นผิวดูดซับเสียงต่อความเป็นส่วนตัวของคำพูด ในสำนักงานแบบเปิดโล่ง

ร.อ.หญิงตระการตา มหาสุคนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE PROPORTION OF SOUND-ABSORBING TEXTURES ON SPEECH PRIVACY IN OPEN-PLAN OFFICE

Flt.Lt. Trakanta Mahasukhon

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Architecture
Department of Architecture
FACULTY OF ARCHITECTURE
Chulalongkorn University
Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สัดส่วนพื้นผิวดูดซับเสียงต่อความเป็นส่วนตัวของคำพูด ในสำนักงานแบบเปิดโล่ง
โดย	ร.อ.หญิงตระการตา มหาสุคนธ์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตระการตา มหาสุคนธ์ : สัดส่วนพื้นผิวดูดซับเสียงต่อความเป็นส่วนตัวของคำพูด ในสำนักงานแบบเปิดโล่ง. (THE PROPORTION OF SOUND-ABSORBING TEXTURES ON SPEECH PRIVACY IN OPEN-PLAN OFFICE) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัดส่วนพื้นผิวดูดซับเสียงที่ส่งผลต่อความเป็นส่วนตัวของคำพูด ในสำนักงานแบบเปิดโล่ง โดยนำข้อมูลสภาพแวดล้อมจริงจากสำนักงานต้นแบบที่มีมลภาวะทางเสียงในสำนักงานแบบเปิดโล่งมาทำการวิเคราะห์ด้วยซอฟท์แวร์จำลองสถานการณ์มลภาวะเสียง EASE 4.2 โดยการคำนวณค่าระดับความดันเสียง SPL ที่ลดลงจากการดูดซับเสียงของวัสดุ จนส่งผลให้ดัชนีความเข้าใจในคำพูด STI ลดลง ด้วยการวัดและประเมินตามข้อกำหนด ISO 3382-3 Open-plan office ผลจากการวิเคราะห์ด้วยซอฟท์แวร์จำลองสถานการณ์ของสภาพแวดล้อมใหม่ พบว่า การใช้ฝ้าแบบ A1 หรือ A2 ที่มีลักษณะพื้นผิวเป็นรูพรุนมีค่าการดูดซับเสียงมากมาใช้แทนฝ้าแบบฉาบเรียบเดิมที่มีค่าการดูดซับเสียงน้อยตรงบริเวณแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนจากการสนทนา ในระดับติดตั้งที่ความสูง 3.40 เมตร และใช้แผงกั้นส่วนสูง 1.50 ปิดผิวลามิเนท ที่ ตลอดจนการใช้พื้นกระเบื้องยางร่วมด้วย ก็สามารถลดมลภาวะทางเสียงได้ และผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6173320625 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORD: sound-absorbing material, speech privacy, height of partition, ceiling height, open-plan office

Trakanta Mahasukhon : THE PROPORTION OF SOUND-ABSORBING TEXTURES ON SPEECH PRIVACY IN OPEN-PLAN OFFICE. Advisor: Assoc. Prof. ATCH SRESHTHAPUTRA

The objective of this research was to study the proportion of sound-absorbing surfaces of materials that was affectted to the speech privacy in an open-air office by identified real environment data that survey from a real open-air office in case of noise pollution to be a model in the software Enhanced Acoustic Simulation for Engineers Version 4.2 (EASE 4.2) to calculate sound pressure level (SPL) and speech transmission index (STI) to be compared with ISO 3382-3 Open-plan office requirements standard The results of the analysis with simulation software of the new environment revealed that used A1 or A2 types of material with porous surface-high sound absorption value to be a ceiling replace to the original smooth plastered ceiling has low sound absorption value at the area of noise source occurred. at the level of 3.40 meters and used together a 1.50 height laminate surface cover partition and with a vinyl floors tile. It could reduce the noise pollution. and passed the ISO 3382-3 Standard.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Architecture Student's Signature .....

Academic Year: 2020 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดความรู้ และประสบการณ์ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร ที่ให้คำปรึกษาพร้อมแนวทางในการทำงานวิทยานิพนธ์ รวมถึงคำแนะนำที่มีนำไปสู่การแก้ไขข้อบกพร้องที่ผิดพลาดที่ต้องแก้ไขให้ถูกต้องมาโดยตลอด รวมไปถึงกรรมการวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร ที่วิพากษ์วิจารณ์ ชี้แนะแนวทางในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ นำมาสู่กระบวนการทำวิทยานิพนธ์ที่ถูกต้องรัดกุม ขอบคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ประจำคณะสถาปัตยกรรมทุกท่าน รวมไปถึง อาจารย์วิสิทย์ ลีลาศิริวงศ์ คณะวิทยาศาสตร์ และอาจารย์ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านความรู้ เอื้ออำนวยในการให้อุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอบคุณเพื่อนๆพี่ น้องทุกคนที่ไดร่วมศึกษา และเป็นส่วนนึงในการร่วมกันทำงานต่างๆ ตลอดการศึกษา ขอขอบคุณกองทัพอากาศที่เปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาในครั้งนี้ และที่สำคัญที่สุด ขอขอบคุณครอบครัว เพื่อนทุกคนของข้าพเจ้าที่ช่วยเป็นกำลังใจในการแก้ปัญหาตลอดมา

ตระการตา มหาสุคนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บรรณานุกรม 2

บทที่ 1 บทนำ 5

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 5

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 6

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 6

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา 7

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

2.1 ศึกษารูปแบบพื้นที่ ลักษณะการจัดวาง และองค์ประกอบในสำนักงานแบบเปิดโล่ง (Open-plan office) 10

การจัดแบบเปิดโดยจัดแบบธรรมชาติ (Landscape Form) 11

2.2 ศึกษาด้านกายภาพของเสียง และการรับเสียงของมนุษย์ 12

2.3 ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย 20

2.4 ศึกษาการวัดและประเมินผลตามเกณฑ์ ISO 3382-3 Speech privacy in open plan office 25

2.4.1 ข้อกำหนดในการติดตั้งเครื่องมือวัดเสียงภายในสำนักงาน 25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4.2 วิธีการอภิปรายผลเพื่อประเมินผลตามเกณฑ์ ISO 3382-3 2012EN 26
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 29
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย 29
3.2 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย 30
3.3 ตัวแปรในงานวิจัย 35
3.4 วิเคราะห์สถานที่ทดลอง 38
3.5 การศึกษาวิจัยนำร่อง (PILOT STUDY) 41
บทที่ 4 อภิปรายผลการทดลอง 45
4.1 ข้อมูลจากการสำรวจสำนักงานแบบเปิดโล่งที่ใช้เป็นต้นแบบในการทำ Pilot Test 45
4.2 การวิเคราะห์ผลสภาพแวดล้อมอะคูสติกจากการทำ Pilot Test 48
4.3 เปรียบเทียบวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง 49
4.3.1 สำนักงานทั่วไปที่ไม่มีการสร้างสภาพแวดล้อมทางอะคูสติก 49
4.3.2 ปรับปรุงโดยการเลือกวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง 49
4.4 เปรียบเทียบผลการทดลอง ก่อนและหลังการปรับปรุงสำนักงานแบบเปิดโล่งด้านอะคูสติก . 50
4.3 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการตกแต่งอาคารสำนักงานตามเงื่อนไขสภาพอะคูสติก 87
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 89
5.1 ความสัมพันธ์กายภาพด้านเสียงที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมภายในสำนักงานแบบเปิดโล่ง 90
5.2. สรุปแนวทางการแก้ปัญหาเสียงรบกวนในสำนักงานแบบเปิดโล่งโดยวิธีทางสถาปัตยกรรม .. 91
5.3 สรุปแนวทางการวางแผนในการออกแบบสภาพแวดล้อมอะคูสติกภายในสำนักงานแบบเปิดโล่ง 96
ประวัติผู้เขียน 97

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 คำนิยามศัพท์เฉพาะค่าเสียง 9

ตารางที่ 2 ระดับผลดัชนีความเข้าใจในคำพูดต่อคุณภาพในการสื่อสารภายในนักงาน 16

ตารางที่ 3 ระดับเสียงพื้นหลังที่แนะนำตามพื้นที่ใช้งาน 17

ตารางที่ 4 เกณฑ์ประเมินผลสภาพแวดล้อมทางอะคูสติกในสำนักงานแบบเปิดโล่ง ISO 3382-3 2012 27

ตารางที่ 5 ข้อมูลสภาพแวดล้อมของสำนักงานแบบเปิดโล่งต้นแบบ 30

ตารางที่ 6 ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการทดลองตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 3382-3 (2012) 32

ตารางที่ 6 ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการทดลองตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 3382-3 (2012) 35

ตารางที่ 7 วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียงที่ใช้ในการทดลอง 37

ตารางที่ 8 เกณฑ์มาตรฐานการประเมินผลสภาพแวดล้อมทางอะคูสติกในสำนักงานแบบเปิดโล่ง ISO 3382-3 2012(EN) 37

ตารางที่ 9 เงื่อนไขระดับเสียงต่อสภาพแวดล้อมในสำนักงานแบบเปิดโล่ง 37

ตารางที่ 10 ค่าการดูดซับเสียง ในสำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ 38

ตารางที่ 11 การวัดระดับความดันเสียงในสำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคารกรมช่างโยธาทหารอากาศ เปรียบเทียบการวัดระดับเสียงในโปรแกรมจำลองโมเดลวิเคราะห์เสียง EASE 4.2 44

ตารางที่ 10 ค่าการดูดซับเสียง ในสำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ 45

ตารางที่ 12 ค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ ในสำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ 49

ตารางที่ 13 ค่าการการดูดซับเสียงของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง และระดับในการติดตั้ง 49

ตารางที่ 14 การจับคู่ตัวแปรในการทดลองกลุ่มการทดลอง ที่ 1-18 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60 50

ตารางที่ 15 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลอง ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60 50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 16 ผลคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร และแผงกั้น 1.20 เมตร 51

ตารางที่ 17 ผลคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร 52

ตารางที่ 18 สรุปผลการทดลอง กลุ่มที่ 1 ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร (A1 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60) 52

ตารางที่ 19 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลอง กลุ่มที่ 2 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร 53

ตารางที่ 20 แสดงผลการคำนวณกลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20 เมตร 54

ตารางที่ 21 แสดงผลการคำนวณกลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร 54

ตารางที่ 22 สรุปผลการทดลองกลุ่มที่ 2 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร (A1 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60) 55

ตารางที่ 23 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลอง กลุ่มที่ 3 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร 56

ตารางที่ 24 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20 เมตร 57

ตารางที่ 25 ผลการคำนวณ ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร 57

ตารางที่ 26 สรุปผลการทดลองกลุ่มที่ 3 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร (A1 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60) 58

ตารางที่ 27 การจับคู่ตัวแปรในการทดลองกลุ่มการทดลอง ที่ 19-36 59

ตารางที่ 28 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลองกลุ่มที่ 4 ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร 59

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 29 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลองBASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตรและแผงกั้น 1.20 เมตร 60

ตารางที่ 30 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร 60

ตารางที่ 31 สรุปผลการทดลองกลุ่มที่ 4 ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร (A2 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.80) 61

ตารางที่ 32 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลองกลุ่มที่ 5 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร 62

ตารางที่ 33 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20 เมตร 63

ตารางที่ 34 ผลการคำนวณ ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร 63

ตารางที่ 35 สรุปผลการทดลองกลุ่มที่ 5 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร (A2 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.80) 64

ตารางที่ 36 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลองกลุ่มที่ 6 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร 65

ตารางที่ 37 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20 เมตร 66

ตารางที่ 38 ผลการคำนวณ ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร 66

ตารางที่ 39 ผลการทดลองกลุ่มที่ 6 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร (A2 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.80) 67

ตารางที่ 40 การไขว้ตัวแปรในการทดลองกลุ่มการทดลอง ที่ S1-S18 68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 41 กลุ่มการคำนวณความสัมพันธ์ตัวแปรในการทดลองกลุ่มทดลองระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตรติดตั้งเฉพาะพื้นที่ทำงาน (Work station)..... 68

ตารางที่ 42 ผลการคำนวณกลุ่มทดลอง (S1) ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้น 1.20 เมตร 69

ตารางที่ 43 ผลการคำนวณ ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร..... 70

ตารางที่ 44 สรุปผลการทดลอง กลุ่มที่ S1 ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร (A1 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60)..... 70

ตารางที่ 45 กลุ่มการคำนวณ ความสัมพันธ์ตัวแปรในการทดลองกลุ่มทดลองระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตรติดตั้งเฉพาะพื้นที่ทำงาน (Work station)..... 71

ตารางที่ 46 ผลการคำนวณกลุ่มทดลอง (S2) ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้น 1.20 เมตร 72

ตารางที่ 47 ผลการคำนวณ ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร..... 73

ตารางที่ 48 ผลการทดลอง กลุ่มที่ S2 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร (A1 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60)..... 73

ตารางที่ 49 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลอง ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตรติดตั้งเฉพาะพื้นที่ทำงาน (Work station)..... 74

ตารางที่ 50 ผลการคำนวณกลุ่มทดลอง (S3) ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้น 1.20 เมตร 75

ตารางที่ 51 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร..... 75

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 52 สรุปผลการทดลองกลุ่มที่ S3 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร (A1 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60)..... 76

ตารางที่ 53 การจับคู่ตัวแปรในการทดลองกลุ่มการทดลอง ที่ S19-S36 77

ตารางที่ 54 กลุ่มการคำนวณ(S4) ความสัมพันธ์ตัวแปรในการทดลองกลุ่มทดลองระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตรติดตั้งเฉพาะพื้นที่ทำงาน (Work station)..... 77

ตารางที่ 55 ผลการคำนวณกลุ่มทดลอง (S4) ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้น 1.20 เมตร 78

ตารางที่ 56 ผลการคำนวณ ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร..... 78

ตารางที่ 57 สรุปผลการทดลอง กลุ่มที่ S4 ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร (A2 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.80)..... 79

ตารางที่ 58 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลอง (S5) ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร..... 79

ตารางที่ 59 ผลการคำนวณกลุ่มทดลอง (S5) ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้น 1.20 เมตร 81

ตารางที่ 60 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร..... 81

ตารางที่ 61 สรุปผลการทดลอง กลุ่มที่ S5 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร (A2 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.80)..... 81

ตารางที่ 62 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลอง (S3) ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร..... 83

ตารางที่ 63 ผลการคำนวณกลุ่มทดลอง (S6) ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้น 1.20 เมตร 84

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 64 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร 84

ตารางที่ 65 ผลการทดลอง กลุ่มที่ (S6) ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร (A2 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.80) 85

ตารางที่ 66 ราคาส่วนต่างของพื้นผิววัสดุในการตกแต่งสำนักงานแบบเปิดโล่ง 88

ตารางที่ 67 สัดส่วนพื้นผิววัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง (NRC) ต่อความสูงฝ้าเพดาน (การติดตั้งทั้งพื้นที่) 91

ตารางที่ 68 สัดส่วนพื้นผิววัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง (NRC) ต่อความสูงฝ้าเพดาน (การติดตั้งทั้งพื้นที่) 92

ตารางที่ 69 สัดส่วนพื้นผิววัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง (NRC) ต่อความสูงฝ้าเพดาน (ติดตั้งเฉพาะพื้นที่กลุ่มงาน) 93

ตารางที่ 70 สัดส่วนพื้นผิววัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง (NRC) ต่อความสูงฝ้าเพดาน (ติดตั้งเฉพาะพื้นที่กลุ่มงาน) 94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แผนผังงานวิจัย 8
ภาพที่ 2 รูปแบบการจัดผังอาคารสำนักงานแบบเปิดโล่ง 11
ภาพที่ 3 ตัวอย่างการจัดสำนักงานแบบ Workstations cubicles 12
ภาพที่ 4 ทิศทางการรับรู้เสียงของมนุษย์ ที่ขึ้นอยู่กับกับความเข้มข้นของคลื่นเสียง 12
ภาพที่ 5 ช่วงความดันเสียงพูดต่อคลื่นความถี่ 13
ภาพที่ 6 ระดับความดันเสียง (dBA) ตามกิจกรรมในพื้นที่ต่าง 14
ภาพที่ 7 ตัวอย่างการถ่วงน้ำหนัก A-weight ที่มีต่อคลื่นความถี่เสียง 15
ภาพที่ 8 ค่าที่แนะนำของเวลาการสะท้อนกลับ ค่าเฉลี่ย RT 16
ภาพที่ 9 รัศมีของระยะทางเสียง(r) เมื่อระยะทางเพิ่มเป็นสองเท่า (D^2) 18
ภาพที่ 10 ปรากฏการณ์ของเสียงที่กระทบผนัง 19
ภาพที่ 11 ตัวอย่างการติดตั้ง แหล่งกำเนิดเสียง และตัวรับเสียง ติดตั้งเป็นแนวเส้นตรง 26
ภาพที่ 12 ค่าความสัมพันธ์ระดับเสียง (SPL) ที่ลดลงตามระยะทางสองเท่า(D2) อัตราการลดลงของแรงดันเสียง (D2,s= 6.5 dB), อัตราเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ระยะ 4 เมตร (Lp,A,S,4m.) 26
ภาพที่ 13 ค่าความสัมพันธ์ดัชนีความเข้าใจในคำพูด(STI) ต่อระยะทางเมื่อ STI ลดลง = 0.50 27
ภาพที่ 14 วิธีดำเนินการวิจัย 29
ภาพที่ 15 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลผลการจำลองโมเดล ใน Excel 31
ภาพที่ 16 กราฟผลการวัดดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) 31
ภาพที่ 17 กราฟผลการวัดระดับความดันเสียง (SPL) 31
ภาพที่ 18 ตัวอย่างการสร้างโมเดลห้องทดลองบน Sofware EASE 4.2 33
ภาพที่ 19 ตัวอย่างการคำนวณปริมาตรพื้นที่ห้องทดลอง ค่า RT และกำหนด ค่าNC 33
ภาพที่ 20 ตัวอย่างการกำหนดแหล่งกำเนิดเสียงใน Simulation Model EASE 4.2 33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 21 ตัวอย่างการแสดงผลจากการทดลอง Simulation Model EASE 4.2 34
ภาพที่ 22 ตัวอย่างชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลอง Simulation Model EASE 4.2 34
ภาพที่ 23 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลผลการจำลองโมเดล ใน Excel 34
ภาพที่ 24 กราฟผลการวัดดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) 35
ภาพที่ 25 กราฟผลการวัดระดับความดันเสียง (Sound pressure level:SPL) 35
ภาพที่ 26 วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง วัสดุผ้าเพดาน, แผงกั้นส่วน และพื้น 36
ภาพที่ 27 สำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ 39
ภาพที่ 28 ภาพ 3 มิติโมเดลสำนักงานในการทดลองสภาพอะคูสติก EASE 4.2 39
ภาพที่ 29 ตำแหน่งในการติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียงและตำแหน่งรับเสียงในการทดลอง 40
ภาพที่ 30 ภาพถ่ายสำนักงานที่ใช้ในการทดลอง 40
ภาพที่ 31 ขั้นตอนการคำนวณและประเมินผล BASECASE 41
ภาพที่ 32 ขั้นตอนการคำนวณและประเมินผล CASE 1 42
ภาพที่ 33 ขั้นตอนการคำนวณและประเมินผล CASE 2 43
ภาพที่ 34 ผลการคำนวณของกรณีศึกษาสัดส่วนพื้นผิวดูดซับเสียงต่อความเป็นส่วนตัวของคำพูดในสำนักงานแบบเปิดโล่ง 44
ภาพที่ 35 สำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ 46
ภาพที่ 36 ภาพ 3 มิติโมเดลสำนักงานในการทดลองสภาพอะคูสติก EASE 4.2 46
ภาพที่ 37 ตำแหน่งในการติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียงและตำแหน่งรับเสียงในการทดลอง 47
ภาพที่ 38 ภาพถ่ายสำนักงานที่ใช้ในการทดลอง 47
ภาพที่ 39 ขั้นตอนการคำนวณและประเมินผล BASECASE 48
ภาพที่ 40 ห้องทดลองที่ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร และ 1.50 เมตร 50
ภาพที่ 41 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2 51
ภาพที่ 42 ห้องทดลองที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร และ 1.50 เมตร . 53

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 43 แสดงการคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2 54

ภาพที่ 44 ห้องทดลองที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร และ 1.50 เมตร 56

ภาพที่ 45 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2 57

ภาพที่ 46 แสดงการคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2 60

ภาพที่ 47 ห้องทดลองที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร และ 1.50 เมตร 62

ภาพที่ 48 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2 63

ภาพที่ 49 ห้องทดลองที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร และ 1.50 เมตร 65

ภาพที่ 50 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2 66

ภาพที่ 51 ห้องทดลอง(S1) ที่ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร, 1.50 เมตร 69

ภาพที่ 52 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2 69

ภาพที่ 53 ห้องทดลอง(S2) ที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร, 1.50 เมตร 71

ภาพที่ 54 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2 72

ภาพที่ 55 ห้องทดลอง(S3) ที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร และ 1.50 เมตร 74

ภาพที่ 56 แสดงการคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2 74

ภาพที่ 56 (ต่อ) แสดงการคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2 75

ภาพที่ 57 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2 77

ภาพที่ 58 ห้องทดลอง(S5) ที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20 เมตร, 1.50 เมตร 80

ภาพที่ 59 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2 80

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 60 ห้องทดลอง (S3) ที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20 เมตร, 1.50 เมตร 83
ภาพที่ 61 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2 83
ภาพที่ 62 ผลการทดลองกลุ่มทดลองที่ 1-36 ติดตั้งฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงที่ 86
ภาพที่ 63 ผลการทดลองกลุ่มทดลองที่ S1-S36 ติดตั้งฝ้าเพดาน เฉพาะพื้นที่นั่งทำงาน 87

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Ahnert, W., & Schmidt, W. (2015). *Fundamentals To Perform Acoustical Measurements*.

BLT. (2018). คนไทยมีชั่วโมงงานเกินมาตรฐานโลก หลายชาติเล็งลดวันทำงานลง.

D'Orazio, Dario, Rossi, Elena, Garai, & Massimo. (2018). Comparison of different in situ measurements techniques of intelligibility in an open-plan office. *Building Acoustics, 25*.

Everest, F. a. S., Neil. (2014). *Master Handbook of Acoustics, Fourth Edition*: The McGraw-Hill Companies, Inc.

Haapakangas, Annu, Valtteri, H. a., Jukka, H. a., Kokko, Keränen, J. a., & Jukka. (2014). Effects of unattended speech on performance and subjective distraction: The role of acoustic design in open-plan offices. *Applied Acoustics, 86*, 1-16.

Hongisto, V. (2007). Office noise and work performance. *Finland WELL –BEING INDOOR*.

Karmann, Caroline, Bauman, Fred, Raftery, Paul, . . . Kenneth. (2017). Cooling Capacity And Acoustic Performance Of Radiant Slab Systems With Free-Hanging Acoustical Clouds. *Energy and Buildings, 138*.

Keränen, Jukka, Hakala, Jarkko, Hongisto, & Valtteri. (2020). Effect of sound absorption and screen height on spatial decay of speech – Experimental study in an open-plan office. *Applied Acoustics, 166*, 107340.

Keränen, Jukka, Virjonen, Petra, Oliva, David, . . . Valtteri. (2008). Design of room acoustics for open offices. *SJWEH Supplements*.

Kohlert, C. (2016). *Wellbeing at new ways of working – acoustics*. Paper presented at the Inter.noise.

Lenne, Lucas, Chevret, Patrick, Marchand, & Julien. (2020). Long-Term Effects Of The Use Of A Sound Masking System In Open-Plan Offices: A Field Study. *Applied Acoustics, 158*, 107049.

Metha, M., Johnson, J., & Rocafort, J. (1999). *Architectural Acoustics Principlea and Design* ห้องสมุดภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาฯ: United State of America.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Nelson, & Koopmann. (1977). Model studies of the effect of V-form ceilings on the acoustics of open plan offices. *Sound and Vibration, 50*(3), 455-468.

Passero, Carolina, Zannin, & Paulo. (2012). Acoustic evaluation and adjustment of an open-plan office through architectural design and noise control. *Applied ergonomics*, 1066-1071.

Pop, Rindel, C. a., & Jens. (2005). *Perceived Speech Privacy in Computer Simulated Open-plan Offices*.

Sarwono, Rachman, J. a., Azzahra, A. a., Utami, I. a., & Sentagi. (2014). *The Influence of Abfusor Configuration to the Speech Privacy and Intelligibility in an Open Plan Office*. Melbourne Australia.

Standardization, I. O. f. (2012). INTERNATIONAL STANDARD. In *ISO 3382-3 Acoustic Measurement of room acoustic parameters*.

Sykes, D. (2004). *Productivity: How Acoustics Affect Workers' Performance In Offices & Open Areas.* Paper presented at the Sykes2004ProductivityH.

Utami, Arifianto, S. a., & Dhany and Nadiroh, A. (2017). *Study on the Effect of Partition Heights in Open Plan Office to the Privacy and Distraction Level Utilizing Computational Fluid Dynamics*. Paper presented at the Procedia Engineering.

Utami, Sentagi, Sarwono, Joko, Rochmadi, N.A., . . . Nanan. (2014). *Speech privacy and intelligibility in open-offices as an impact of sound-field diffuseness.* Paper presented at the Engineering Physics, Universitas Gadjah Mada Indonesia.

Yadav, Manuj, Kim, Jungsoo, Cabrera, Densil, . . . Richard. (2017). Auditory distraction in open-plan office environments: The effect of multi-talker acoustics *Applied Acoustics, 126*.

กลุ่มชุมชนคนวิจัย. (2557). การดูดซับเสียงและปัจจัยที่มีต่อการดูดซับเสียง. In กิจกรรมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ชุมชนนักปฏิบัติ(*Cop).*

คีรินท์ เมฆโหรา. (2548). สิ่งแวดล้อมกับการทำงาน.

แผนงานพัฒนานวัตกรรมเชิงระบบเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพจิต (2560). การส่งเสริมสุขภาพจิต แนวคิด หลักฐาน และแนวทางปฏิบัติ. Retrieved

พีอาร์นิวส์ไวร์. (2015). สภาพแวดล้อมภายในอาคารส่งผลต่อการรับรู้-การคิด.

เยาวลักษณ์ กุลพานิช. (2533). สภาพแวดล้อมกับประสิทธิภาพของงาน. ข้าราชการ, 16-18.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2561). คู่มือปฏิบัติวิชาชีพ. การออกแบบคุณภาพเสียงในอาคาร.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สภาพแวดล้อมทางกายภาพเป็นส่วนสำคัญ แสงสว่าง เสียง อุณหภูมิ เป็นต้น หากสภาพแวดล้อมในการทำงานไม่มีความเหมาะสม อาจก่อให้เกิดอันตรายจากการทำงานได้ (เยาวลักษณ์ กุลพานิช, 2533) ผลการวิจัยของคณะนักวิจัยแห่งศูนย์สุขภาพและสภาพแวดล้อมโลกของ Harvard University ก่อให้เกิดนัยยะที่สำคัญ สำหรับประเทศกำลังพัฒนา เช่น ประเทศไทย ซึ่งมีการขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็ว จนทำให้มีประชากรหนาแน่นตามอาคารสูงในศูนย์กลางเมืองใหญ่อย่างกรุงเทพฯ โดยคนที่ทำงานในเมืองส่วนใหญ่จะใช้เวลาเกือบ 90% ทำงานอยู่ภายในอาคาร ผู้ว่าจ้างจึงควรประเมินคุณภาพของสภาพแวดล้อมในตัวอาคารที่เหมาะสม และเอื้ออำนวยต่อประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงาน (พีอาร์นิวส์ไวร์, 2015) สภาพแวดล้อมในร่มที่มนุษย์ใช้ร่วมกันอย่างต่อเนื่อง คือ สถานที่ทำงานใช้เวลานานโดยเฉลี่ย 50.9 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ เฉลี่ย8-10 ชั่วโมงต่อวัน (BLT, 2018)

ในปัจจุบันสำนักงานแบบเปิดโล่งเป็นที่นิยมมากที่สุด ซึ่งลักษณะเปิดกว้างทั่วทั้งพื้นที่ กระบวนการทำงานที่สะดวก ง่ายต่อการสื่อสาร ต้นทุนในการก่อสร้างต่ำ การใช้พื้นที่ต่อคนน้อย และง่ายต่อการปรับเปลี่ยนการจัดพื้นที่ใหม่ ในขณะเดียวกันแต่เมื่อปี 1970-1980 เริ่มพบว่ามีรายงานปัญหาของผู้คนเกี่ยวกับการขาดความเป็นส่วนตัว และเสียงรบกวนจากเพื่อนร่วมงานปรากฏขึ้นในสำนักงานแบบเปิดโล่ง (Hedge, 1982) จากผลกระทบดังกล่าว จึงมีการทำวิจัยโดยวิธีการสำรวจด้านความพึงพอใจในสภาพแวดล้อมสำนักงานแบบเปิดโล่ง ด้านความพึงพอใจในงาน, สุขภาพ , สุขภาพจิต, เมื่อประเมินผลกระทบทางสภาพแวดล้อมที่เป็นปัญหา คือ สภาพอากาศที่อบอ้าว และเสียงรบกวนปริมาณสูงมากในสำนักงานแบบเปิดโล่ง (Pop, Rindel, & Jens, 2005)

ปัญหาในสำนักงานแบบเปิดโล่ง เสียงรบกวนเสียงที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำงานในสำนักงาน และงานคอมพิวเตอร์เกิดขึ้นได้จากเครื่องมืออุปกรณ์ เช่น เสียงเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ดีด นอกจากนั้นเป็นเสียงของการพูดคุยสนทนา เสียงเหล่านี้แปรเปลี่ยนเป็นเสียงรบกวนได้ ซึ่งก่อให้เกิดความรำคาญ การเสียสมาธิในการทำงาน และอาจทำให้ผลงานลดน้อยลง การทำงานที่ผิดพลาดความเสียหายจากความผิดพลาดนี้อาจรุนแรงได้ (คีรินท์ เมฆโหรา, 2548) การขาดความเป็นส่วนตัวในที่ทำงาน ทำให้พนักงานรู้สึกว่าถูกเฝ้าดูอยู่ตลอดเวลา และเสียงรบกวนรอบข้างเป็นเรื่องยากมากที่จะทำให้เกิดสมาธิในการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการสนทนาต่างๆอยู่รอบตัว (Sykes, 2004) ในปี 1972 จัดทำงานวิจัยจำนวนมากเกี่ยวกับผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานในสำนักงาน เพื่อจัดทำและเผยแพร่การวัดและมาตรฐานด้านอะคูสติก ต่อเงื่อนไขในการปรับปรุงสภาพการทำงานของพนักงานออฟฟิศ ซึ่งเงื่อนไขในการเพิ่มผลผลิตของพนักงานออฟฟิศ แต่การเชื่อมโยงสภาพเสียงยังไม่ได้รับความสนใจในกลุ่มสถาปนิก และนักวางแผนการออกแบบอาคาร จึงมีการจัดตั้งกลุ่ม Information Work Productivity Concil เพื่อพัตนามาตรฐานของมนุษย์ ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสภาพเสียงในสำนักงานต่อผลกระทบของพนักงานใน 7 ด้าน ดังนี้ 1. ความเร็วในการทำงาน 2. ความแม่นยำในการปฏิบัติงาน 3. ระดับความเครียดที่พบในพนักงาน 4. ผลกระทบต่อแรง

กดดันต่าง (เสียงรบกวน) ที่มีต่อความสามารถในการทำงาน 5. จำนวนหยุดงาน และลาป่วยความเสียหายต่อการได้ยิน 6. อัตราการลาออกของพนักงาน 7. อัตราความพึงพอใจต่อสภาพการทำงาน จากการสำรวจข้างต้น พบว่าสาเหตุใหญ่ที่สุดในสำนักงานแบบเปิด คือ การรบกวนจากเสียงสนทนา โดยประเด็นสำคัญ คือ ความเข้าใจในการสนทนาภายในกลุ่ม และลดเสียงรบกวนจากการสนทนาข้างเคียง จึงได้จัดทำชุดมาตรฐานทางเทคนิคที่เผยแพร่ต่อสาธารณะชน ดังนี้ ISO, ANSI, ASTM และยังได้รับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ภายใต้คำจำกัดความ ความเป็นส่วนตัวของคำพูด หรือ เงื่อนไขความเข้าใจต่ำ โดยคณะวิจัยได้ทำการทดสอบผลในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมด้านเสียงในสำนักงานเปิดโล่ง ตามเงื่อนไขเพื่อเป้าหมายต่อความเป็นส่วนตัวของคำพูดโดยการลดการรบกวนจากการสนทนา ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า 1. ความตั้งใจที่มีผลต่อความสามารถของพนักงานที่มุ่งเน้นต่องานของตนเองเพิ่มขึ้น 48% 2. การรบกวนของเสียงสนทนาลดลง 51% 3. อัตราข้อผิดพลาดของงานลดลง10 % 4.ความเครียดลดลง 27% ภายใต้ผลการวิจัยนี้ ทางวิศวกรด้านเสียงและที่ปรึกษา แนะนำ 3 ปัจจัยที่ต้องควบคุมเพื่อให้บรรลุเป้าหมายความเป็นส่วนตัวของคำพูด เป็นอักษร A, B, C ความหมายดังนี้

(A) Absorbtion of sound waves : การใช้วัสดุที่มีค่าในการดูดซับคลื่นเสียง (NRC)

(B) Blocking :การกั้นเสียง เช่นการใช้แผงกั้น ผนัง หรือหน้าต่างที่มีค่าการกั้นเสียง

(C) Covering : การควบคุมเสียงพื้นหลังให้ได้ระดับที่แนะนำ
(ไม่ใช่เสียงเพลง เนื่องจากเกิดการดึงความสนใจในเนื้อหาทำให้เสียสมาธิ)

สภาพสุขภาวะ ที่บุคคลรับรู้ศักยภาพของตน สามารถรับมือกับความเครียดในชีวิต สามารถทำงานให้เกิดประโยชน์และสร้างสรรค์ และสามารถทำประโยชน์ให้แก่สังคมของตนได้ (แผนงานพัฒนานวัตกรรมเชิงระบบเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพจิต, 2560)

ในการออกแบบสถาปัตยกรรม ความรู้เกี่ยวกับ “เสียง” เป็นเรื่องที่สถาปนิกยังขาดความรู้ความเข้าใจอยู่ค่อนข้างมาก เพราะเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับฟิสิกส์อาคาร และการคำนวณอยู่พอควรทำให้สถาปนิกไม่ค่อยให้ความสนใจ อาศัยประสบการณ์ของตนเองมาออกแบบกำหนดรูปแบบ ขนาด ปริมาตร วัสดุของพื้นที่ประโยชน์ใช้สอยทั้งในและนอกอาคาร โดยมิได้ตรวจสอบหรือคำนวณเรื่องของ “เสียง” ทั้งที่บางครั้งมีผลต่อผู้ใช้อาคารจากการสะท้อนหรือเบี่ยงเบน หรือการดูดซับของเสียงโดยไม่ได้ตั้งใจ (สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2561)

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1. เพื่อศึกษาพื้นผิววัสดุซับเสียง ต่อการแก้ปัญหาเสียงรบกวนในสำนักงานแบบเปิดโล่ง

1.2.2 เพื่อเสนอแนะแนวทางการใช้สัดส่วนพื้นผิวดูดซับเสียง ในการสร้างความเป็นส่วนตัวในคำพูดในสำนักงานแบบเปิดโล่ง

1.2.3 เพื่อเสนอแนวทางการวางแผนด้านงบประมาณการสร้างสภาพแวดล้อม ในสำนักงานแบบเปิดโล่ง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษา แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาองค์ประกอบการจัดสำนักงานแบบเปิดโล่ง โดยสำรวจพื้นที่สำนักงานแบบเปิดโล่ง และการวัดเสียงสนทนาในสถานการณ์ในช่วงเวลาปฏิบัติงาน เพื่อทราบถึงระดับเสียงจากการสนทนาในพื้นที่ โดยนำมาเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานด้านเสียง

ส่วนที่ 1 ศึกษาประเภทของสำนักงานเปิดโล่ง ปัญหาเสียงรบกวน รูปแบบการเลือกใช้วัสดุในสำนักงาน จากบทความ เอกสารทางวิชาการ และการสำรวจจากสถานที่จริง

1) ศึกษาลักษณะประเภทและการจัดวางผังสำนักงานแบบเปิดโล่ง จากบทความและเอกสารทางวิชาการ

2) ศึกษาปัญหาด้านเสียงรบกวนในสำนักงาน จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ

3) ศึกษาและสำรวจการเลือกใช้วัสดุซับเสียง ที่พื้นผิว ต่างๆ ภายในสำนักงาน

ส่วนที่ 2 ศึกษาเกณฑ์มาตรฐานด้านเสียง การวัดและประเมินผลวิธีการทดลองเพื่อแก้ปัญหาด้านสียงรบกวนจากการสนทนา

จากการศึกษาบทความงานวิจัยด้านการแก้ปัญหาเสียงในสำนักงานเปิดโล่ง

1) ศึกษาความสัมพันธ์ด้านเสียง วัดและประเมินผลตามเกณฑ์มาตรฐานด้านอะคูสติก ISO 3382-3 Speech privacy in open plan office

2) ศึกษาการทดลองแก้ปัญหาด้านเสียงรบกวนโดยโปรแกรมคำนวณด้านเสียง EASE 4.2

3) ศึกษาวิธีการในการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาเสียงรบกวนในสำนักงานแบบเปิดโล่งโดยการเลือกใช้วัสดุซับเสียง

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

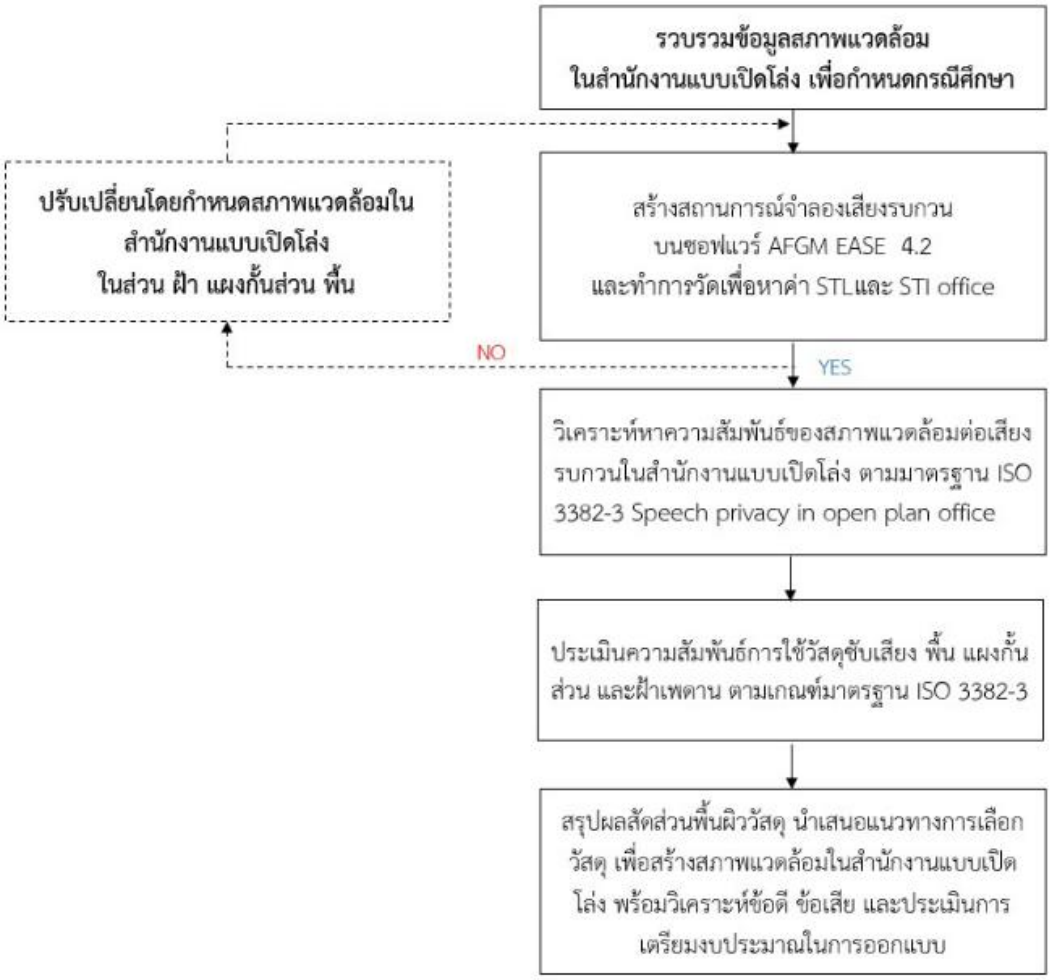
กำหนดขั้นตอนในการวิจัยรวมไปถึงกระบวนการทดลองโดยโปรแกรมคำนวณด้านเสียง EASE 4.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ในการเลือกใช้วัสดุที่มีค่าในการดูดซับเสียงติดตั้ง ที่พื้น แผงกั้นส่วน และฝ้าเพดาน เพื่อเสนอวิธีทาสถาปัตยกรรมในการแก้ปัญหาเสียงรบกวนจากการสนทนาภายนสำนักงานแบบเปิดโล่ง

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาเสียงรบกวนในสำนักงานแบบเปิดโล่ง

1.4.2 ศึกษาการวัดและประเมินผลตามเกณฑ์ ISO 3382-3 Speech privacy in open plan office

1.4.3 การจำลองโมเดลในโปรแกรม EASE 4.2 โดยนำรูปแบบการจัดผัง วัสดุที่ใช้ในสถานที่จริง เพื่อคำนวณผ่านโปรแกรมคำนวณด้านเสียง เปรียบเทียบอัตราเสียงจากการวัดในสถานที่จริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 1 แผนผังงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ทราบความสัมพันธ์กายภาพด้านเสียงที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมภายในสำนักงานแบบเปิดโล่ง

1.5.2. ได้แนวทางการแก้ปัญหาเสียงรบกวนในสำนักงานแบบเปิดโล่งโดยวิธีทางสถาปัตยกรรม

1.5.3 ได้แนวทางการวางแผนในการออกแบบสภาพแวดล้อมอะคูสติกภายในสำนักงานเปิดโล่ง ทั้งด้านการติดตั้งและงบประมาณในการก่อสร้าง

ตารางที่ 1 คำนิยามศัพท์เฉพาะค่าเสียง

dB, dBA	Decibel , Decibel scale A	หน่วยเสียง, หน่วยเสียงที่ถ่วงน้ำหนักให้ใกล้เคียงกับหูมนุษย์
SPL	Sound pressure level	ระดับความดันเสียง มีค่าตั้งแต่ 0 – 140 dB ขึ้นอยู่กับกิจกรรม (สำนักงานแนะนำค่าที่ 50-60 dB)
STI	Sound transmission index	ค่าดัชนีการส่งผ่านเสียงพูด ต่อความเข้าใจในคำพูด มีค่าตั้งแต่ 0.00-1.00 หมายถึง ผู้พูด 100 คำ ผู้ฟังเข้าใจได้กี่คำพูด เช่น เข้าใจในคำพูด 90 คำ คิดเป็น STI=0.90
RT	Reverberation time	ค่าความก้องกังวานเสียง หน่วยเป็น วินาที RT/s (เวลาในการสะท้อนกลับของเสียง ที่คงเหลืออยู่ เมื่อต้นเสียงหยุดลง โดยวัดค่าของเวลาที่สะท้อนกลับ)
NRC	Noise reduction criteria	ค่าเฉลี่ยถูกวัดทีความถี่ 250, 500, 1,000, 2,000 Hz และปัดเศษให้อยู่ที 0.05 โดยทั่วไปค่า NRC จะต้องมีค่ามากกว่า 0.40 ถึงจะถือว่าเป็นวัสดุดูดซับเสียง
rD	Distraction distance rate	ระยะทางเมื่อเสียงรบกวนสลายไป จนระดับความเข้าใจในคำพูด ที่ STI=0.50
rP	Privacy distance	ระยะทางเมื่อเสียงรบกวนสลายไป จนระดับความเข้าใจในคำพูด ที่ STI=0.20 มีความเป็นส่วนตัวในคำพูด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

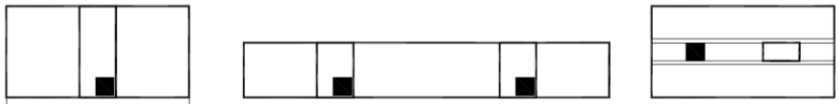
บทที่ 2
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำนักงานแบบเปิดโล่ง (Open-plan office) เป็นที่นิยมในการนำมาออกแบบสถานที่ทำงานตั้งแต่ในอดีต จนถึงปัจจุบัน เนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่ายในการตกแต่งสถานที่ สะดวกต่อการติดต่อประสานงาน สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวาง หรือเพิ่มลดจำนวนตามจุดประสงค์ขององค์กรได้ ถึงแม้ข้อดีที่กล่าวข้างต้น ปัญหาที่ถูกค้นพบในสำนักงานแบบเปิดโล่ง พบว่ามีปริมาณเสียงรบกวนที่ก่อให้เกิดความรำคาญใจ และขาดสมาธิในการทำงาน ส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดในเนื้องาน และยังส่งผลต่อสุขภาพในด้านเกิดความเครียดสะสมจนอาจส่งผลต่อสุขภาวะทางร่างกาย มีงานวิจัยในนานาชาติเป็นจำนวนมากที่ให้ความสำคัญในการศึกษาหาวิธีในการปรับปรุงสถานที่ทำงานเพื่อลดปัญหาที่เกิดจากเสียงรบกวนที่มากเกินไป เพื่อค้นหาวิธีการในการปรับปรุงสถานที่ทำงานให้มีสุขภาวะที่ดีในการปฏิบัติงานของพนักงาน และลดปัญหาด้านสภาวะความเครียดลง และก่อให้เกิดประสิทธิภาพของงานมากขึ้น

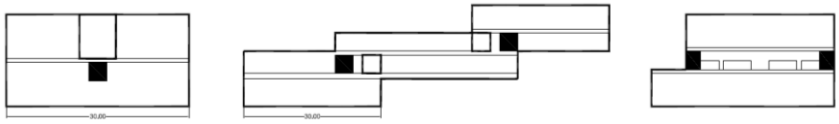
2.1 ศึกษารูปแบบพื้นที่ ลักษณะการจัดวาง และองค์ประกอบในสำนักงานแบบเปิดโล่ง (Open-plan office)

นิยามสำนักงาน สถานที่สำหรับเป็นศูนย์กลางของงาน ที่รวมคนนโยบายและแนวทางในการปฏิบัติงาน ก่อนกระจายงานสู่ส่วนภายนอกสำนักงานแบบเปิดโล่ง คือ พื้นที่ที่มีกลุ่มคนจำนวนมากใช้งานเพื่อจุดประสงค์ในการทำงาน ซึ่งพบว่าเป็นสถานที่ทำงานที่ได้รับความนิยมมากตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากมีข้อดีในด้านเศรษฐศาสตร์การลงทุน ด้านการประหยัดงบประมาณในการก่อสร้าง สะดวกต่อการปรับเปลี่ยนองค์กรของเจ้าของกิจการ ง่ายต่อกระบวนการสื่อสารงาน แต่ในขณะเดียวกันปัญหาสำคัญที่พบในสภาพแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งส่งผลต่อผู้ใช้งานในพื้นที่เป็นอย่างมาก คือ ปัญหาเสียงรบกวน ที่ควรได้รับการปรับปรุงสภาพแวดล้อม เพื่อส่งเสริมผลิตผลของงาน และสุขภาวะของมนุษย์สำนักงานเปิดโล่ง แบ่งรูปแบบตามลักษณะดังต่อไปนี้

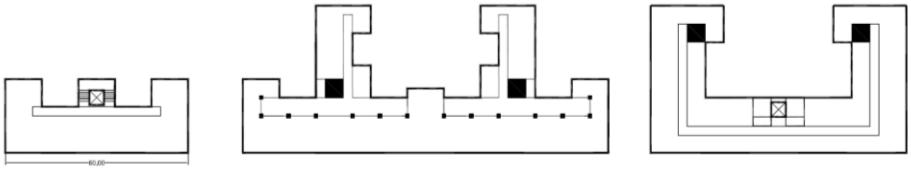
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



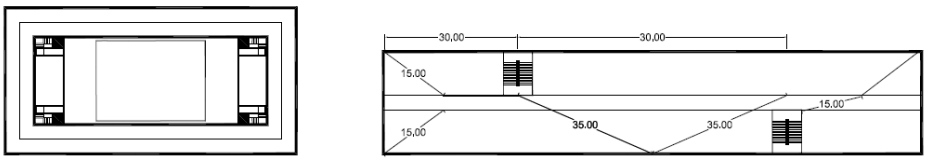
1.การจัดผังแบบแถวเดียว 2.การจัดผังสองช่วงเสา 3.การจัดผังสามแถว



4.การจัดผังแบบสองพื้นที่ มี core กลางพื้นที่ 5. การจัดโดยแยกทางสัญจรหลักของอาคาร



6. การจัดแบบทางสัญจรหลักของอาคารเป็นจุดศูนย์การในการกระจายพื้นที่



7. การจัดแบบกั้นพื้นที่ด้วยผนังเบา และการจัดพื้นที่กำหนดให้ระยะห่างจากทางสัญจรหลัก 35 เมตร

ภาพที่ 2 รูปแบบการจัดผังอาคารสำนักงานแบบเปิดโล่ง

(ที่มา: Neufert, 2014)

2.1.1 รูปแบบการจัดเฟอร์นิเจอร์ ภายในสำนักงานแบบเปิดโล่ง

การจัดสำนักงานแบบเปิด (Open Layout System) คือ การจัดสัดส่วนทำงานที่มีความต่อเนื่องกันตลอด การติดต่อประสานงานภายในมีความสะดวกรวดเร็ว การจัดแบบสำนักงานแบบเปิดโล่ง เหมาะกับสำนักงานที่มีขั้นตอนการทำงาน ที่ต้องการความต่อเนื่องรวดเร็ว มีผู้รับผิดชอบงานเป็นลำดับต่อเนื่องกันในหลายหน่วยงาน สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ

การจัดแบบเปิดโดยใช้เส้นเรขาคณิต (Geometric Form) *รูปแบบการจัดผังแบ่งพื้นที่ทำงานกับทางเดิน โดยแบ่งทางเดินหลัก และทางเดินย่อยในส่วนทำงาน โดยการใช้เส้นเรขาคณิตมาเป็นแนวการแบ่งพื้นที่ทำงาน และทางเดิน จัดแยกเป็นกลุ่มงานได้ชัดเจน*

การจัดแบบเปิดโดยจัดแบบธรรมชาติ (Landscape Form) แยกกลุ่มทำงานเป็นส่วนๆ ส่วนไหนที่ต้องติดต่อกันบ่อยครั้งมีพื้นที่ติดกัน เน้นในเรื่องความคล่องตัวในการทำงาน

2.1.2 ประเภทของวัสดุที่ใช้ในการตกแต่ง

วัสดุพื้น พื้นพรม พื้นไม้ พื้นกระเบื้อง และพื้นปูนทาสีชนิด Epoxy

วัสดุผนัง เฟรมอลูมิเนียมภายในกรุกระจก ผนังไม้ ผนังปูหิน ผนังหุ้มผ้า เป็นต้น

ฝ้าเพดาน โครงสร้างเปลือย ปิดแผ่นยิปซั่มบอร์ด ปิดแผ่อะลูมิเนียม

อุปกรณ์บังแสง ม่านผ้า ม่านพลาสติก มูลี่ไม้สังเคราะห์

2.1.3 ระบบที่เกี่ยวข้อง

ระบบแสงสว่าง ใช้แสงธรรมชาติ และแสงประดิษฐ์

ระบบปรับอากาศ window type, Split type

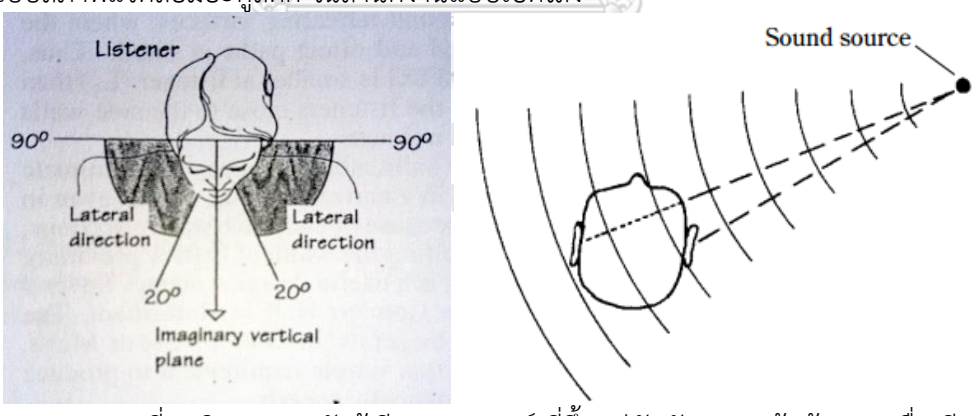
ภาพที่ 3 ตัวอย่างการจัดสำนักงานแบบ Workstations cubicles

(ที่มา : https://www.flickr.com/photos/9437343)

2.2 ศึกษาด้านกายภาพของเสียง และการรับเสียงของมนุษย์

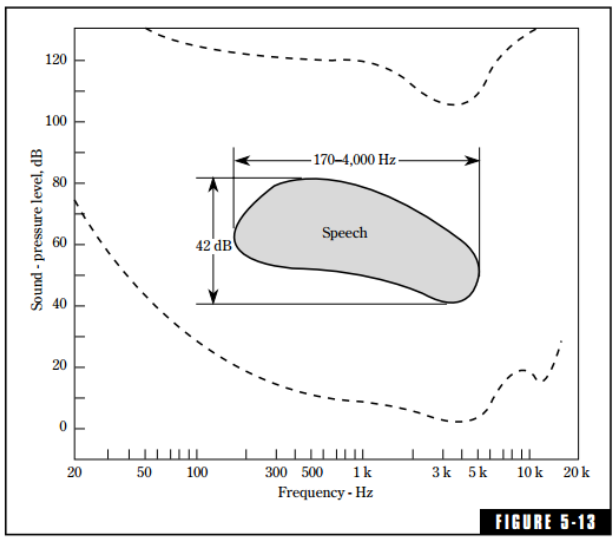
เสียง (Sound) เป็นพลังงานรูปหนึ่งที่เกิดจากการสั่นสะเทือนโมเลกุลของอากาศ ความดันบรรยากาศจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของโมเลกุลอากาศ เรียกว่า คลื่นเสียงเสียงดัง (Noise) หมายถึง เสียงที่ไม่พึงประสงค์ต่อการรับรู้ของหูมนุษย์ และเป็นเสียงที่อันตรายต่อการได้ยิน

ทฤษฎีด้านอะคูสติก และลักษณะกายภาพเสียงที่เดินทางจากแหล่งกำเนิดเสียง (เสียงคนพูด) ต่อตำแหน่งรับเสียง ช่วงความถี่เสียงพูดที่มีผลต่อมนุษย์และเกณฑ์มาตรฐานเสียงที่เกี่ยวข้องในการออกแบบสภาพแวดล้อมอะคูสติก ในสำนักงานแบบเปิดโล่ง



ภาพที่ 4 ทิศทางการรับรู้เสียงของมนุษย์ ที่ขึ้นอยู่กับกับความเข้มข้นของคลื่นเสียง

(ที่มา : Metha, 1999)



The portion of the auditory region utilized for typical speech sounds.

ภาพที่ 5 ช่วงความดันเสียงพูดต่อคลื่นความถี่

ที่มา: Everest, 2014)

- ระดับอัตราการเปล่งเสียงพูดปกติ จัดอยู่ในความถี่ 170-4000 Hz ระดับความดันเสียง (SPL) อยู่ในระดับ 42-84 dB

- แหล่งกำเนิดเสียงพูด ระดับความดันเสียง (Sound pressure level) มีหน่วยเป็น dB ที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดเสียง

สมการ **Sound Pressure Level (SPL) = 20 Log[P/P_0]** (1)

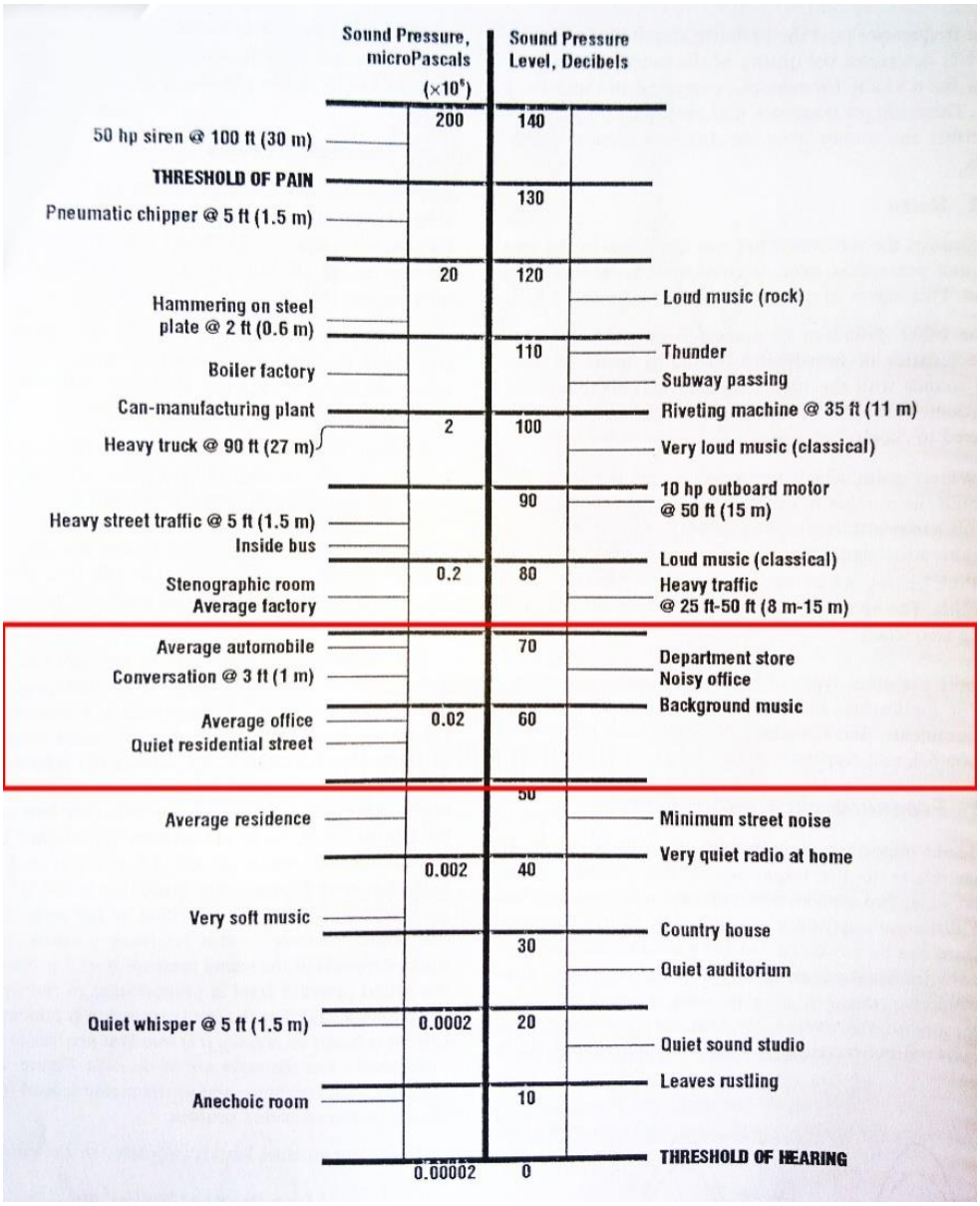
เมื่อ Sound Pressure Level คือระดับความดันเสียง (dB)

P คือ ความดันเสียง (N/m^2)

P_0 คือ ความดันเสียงที่มนุษย์เริ่มได้ยิน คือ 0.00002 N/m^2

หมายเหตุ : ระดับความหนาแน่นของเสียงนั้นเป็นค่าที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ แต่ความดันเสียงนั้นสามารถตรวจวัดได้ ในการวัดเสียงจึงนิยมใช้ ระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level, SPL) มากกว่า ตามสมการด้านบน โดยระดับความดันเสียงนั้น (SPL) มีค่าเท่ากับระดับความหนาแน่นของเสียง หมายถึง ค่าความดันของคลื่นเสียงที่เปลี่ยนแปลงไปจากความดันบรรยากาศปกติ ดังนั้น ค่าระดับความดันเสียงที่อ่านได้จากการตรวจวัดโดยเครื่องวัดเสียง หน่วยวัดเสียงคือ dB ในการประเมินเสียงตามมาตรฐานในประเทศและต่างประเทศ ในงานอาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม จะใช้ระดับความดันเสียงสเกล A ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการตอบสนองต่อเสียงของหูมนุษย์มากที่สุด

ค่าระดับความดันเสียงตามกิจกรรมและพื้นที่ในสำนักงาน ที่แนะนำอยู่ที่ระดับความดันเสียง 50-60 dB และระดับความดันเสียงที่ระยะ 1 เมตร อยู่ที่ระดับ 60-70 dB

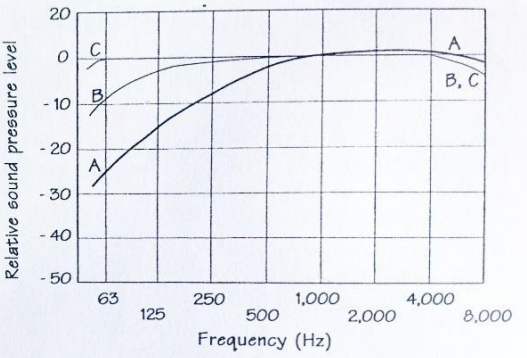


ภาพที่ 6 ระดับความดันเสียง (dBA) ตามกิจกรรมในพื้นที่ต่าง

(ที่มา : Leland K, 1998)

- ระดับความดันเสียง เมื่อมีการถ่วงน้ำหนักแยกตามความถี่ ตั้งแต่ 63-8000 Hz ลดลงหรือเพิ่มขึ้น นำค่าเฉลี่ยมาคำนวณ เพื่อเทียบหาระดับความดันเสียงการรับรู้ของหูมนุษย์ ระดับความดันเสียงนี้เรียกว่า ระดับเสกล A (A-Weight) ตารางถ่วงน้ำหนักดังต่อไปนี้

Center frequency of octave (Hz)	A-weighting (dB)
63	-26
125	-16
250	-9
500	-3
1,000	0
2,000	+1
4,000	+1
8,000	-1



ภาพที่ 7 ตัวอย่างการถ่วงน้ำหนัก A-weight ที่มีต่อคลื่นความถี่เสียง

(ที่มา : Leland K, 1998)

- ดัชนีความเข้าใจในคำพูด (Speech Transmission Index) หรือ STI และดัชนีการส่งผ่านเสียงพูดแบบเร็ว (Rapid Speech Transmission Index) หรือ RASTI คือ ค่าที่ใช้ในการวัดความเข้าใจในคำพูด (Speech Intelligibility) การคำนวณ STI คำนวณบนความถี่ 7 แถบออกเทฟ (Octave Band) ระดับความถี่ 125-8,000 Hz และในการคำนวณของ RASTI ทำการคำนวณความเข้าใจในคำพูดที่ 500 1000 2000 Hz เท่านั้น

สมการ

$$STI_{total}= \frac{w_{125}STI_{125}x\ w_{250}STI_{250}x\ w_{500}STI_{500}x\ w_{1000}STI_{1000}x\ w_{2000}STI_{2000}x\ w_{4000}STI_{4000}x\ w_{8000}STI_{8000}}{w_{125}+w_{250}+w_{500}+w_{1000}+w_{2000}+w_{4000}+w_{8000}} \quad (2)$$

เมื่อ : นำค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูดถ่วงน้ำหนักใน Octave-band โดยที่ค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละแถบเสียง ดังนี้

$$W_{125}=0.13,\ W_{250}=0.14, W_{500}=0.11, W_{1000}=0.12, W_{2000}=0.19, W_{4000}=0.17, and W_{8000}=0.14$$

การคำนวณหาค่า STI ได้มาจากการวัดหาค่าเฉลี่ยแต่ละคลื่นความถี่ ตั้งแต่ 125-8000 Hz

ค่าระดับดัชนีการเข้าใจในคำพูด STI ที่วัดอยู่ในช่วง 0-1 วัดได้ 0.90 หมายถึง ต้นเสียงส่งข้อมูล 100 คำพูด ผู้ฟังเข้าใจได้ 90 คำพูด ค่าระดับแสดงถึงคุณภาพของการส่งผ่านเสียงพูดระหว่างผู้ส่งเสียงกับผู้รับเสียง ค่าระดับดัชนีอยู่ระหว่าง 1 คือ ค่าดีที่สุด และ 0 คือ ค่าแย่ที่สุด

ในสำนักงานแบบเปิดโล่ง ค่าระดับ STI ที่แนะนำนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่มีความต้องการด้านความเป็นส่วนตัวในคำพูด สมาธิในการปฏิบัติงาน และปริมาณผู้ใช้พื้นที่นั้นๆ เช่น พื้นที่ทำงานที่กั้นแผงกั้นส่วน ค่าแนะนำอยู่ระดับ 0.20-0.40 และค่าระดับ STI ในพื้นที่ระหว่างโต๊ะทำงาน ในสำนักงานแบบเปิดโล่ง ค่าแนะนำอยู่ระดับ 0.20-0.60 (ตามตารางที่ 2)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2 ระดับผลดัชนีความเข้าใจในคำพูดต่อคุณภาพในการสื่อสารภายในนักงาน

STI	Speech intelligibility	Speech privacy	Examples in office
0.00-0.05	Very bad	Confidential	Between two single-person office rooms, high sound insulstion
0.05-0.20	bad	good	Between two single-person office rooms, normal sound insulstion
0.20-0.40	*poor*	*reasonable*	*- Between workstation in a high-level open-plan office* *- Between two single-person office rooms, door open*
0.40-0.60	*fair*	*poor*	*Between desk in a well designed open-plan office*
0.60-0.75	good	Very poor	Between desk in an open-plan office, resonable acoustical design
0.75-0.99	excellent	no	Face-to-face dicussion, good meeting rooms Between desk in an open-plan office, no acoustical design

(ที่มา : Hongisto, 2007)

ค่าการก้องกังวานเสียง (Reverbaretion time RT/s) หน่วยเป็นวินาที เมื่อเสียงเดินทางผ่านอากาศ วัดเวลาที่ต้นเสียงหยุดลง เสียงที่กระทบวัตถุ และสะท้อนกลับหยุดลงในกี่วินาที

เมื่อ RT = 0.161 V/A (In metric Units) (3)

RT = Reverberation Time (RT), Second

V = ปริมาตรของห้อง, m^3

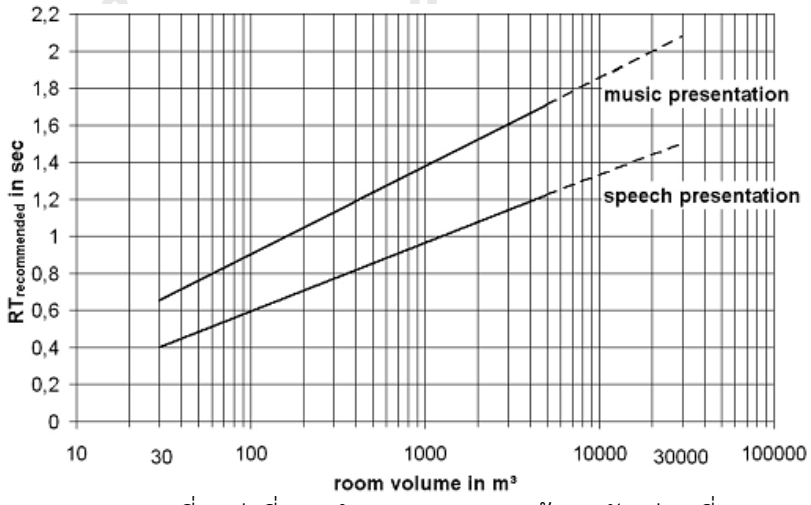
A = ค่าการดูดซับเสียงรวมของห้อง, (Sabine, m^3)

= $S1\alpha1 + S2\alpha2 + S3\alpha3 + \ldots\ldots\ldots\ldots Sn\alpha n$

S1,2,3 = พื้นที่ผิวของห้อง, m^2

α1,2,3 = สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

(ที่มา : Cabanaugh, 2007)



ภาพที่ 8 ค่าที่แนะนำของเวลาการสะท้อนกลับ ค่าเฉลี่ย RT

ที่มา : (Ahnert & Schmidt, 2015)

RT60/s คือเวลาในการสะท้อนกลับของเสียงที่คงเหลืออยู่เมื่อต้นเสียงหยุดลงโดยวัดค่าของเวลาที่สะท้อนกลับ ระดับที่แนะนำ อยู่ที่ 0.7-1.2 วินาที

- ระดับเสียงพื้นหลังต่อการรับรู้ของหูมนุษย์ ที่แนะนำให้ใช้ในสำนักงานแบบเปิดโล่งเสียงพื้นหลังที่นี่หมายถึง เสียงต่อเนื่องทั้งหมดที่ไม่ได้เกิดจากคน เช่น อุปกรณ์ทำความร้อน, ระบบระบายอากาศและปรับอากาศ (HVAC), เสียงการสัญจรในพื้นที่, อุปกรณ์สำนักงานหรือระบบเสียง

ตารางที่ 3 ระดับเสียงพื้นหลังที่แนะนำตามพื้นที่ใช้งาน

SPACE	Recommended RC(N) value	Recommended NC(N) value	Approximate dBA value
Private residence, apertment, condominium	25-35	25-35	33-43
Hote; or motels:			
- Individual rooms, meeting rooms	25-35	25-35	33-43
- Hall, coridors, lobbies	35-45	35-45	43-53
Office buildings:			
- *Excutive and private offices*	*25-35*	*25-35*	*33-43*
- *Open plan offices*	*30-40*	*30-40*	*38-48*
- *Circulation areas*	*40-45*	*40-45*	*48-53*
Hospitals and clinics:			
- Private rooms and operating rooms	25-35	25-35	33-43
- Ward, corridors and plublic spaces	30-40	30-40	38-48
Performing arts spaces:			
Drama theaters, music teaching spaces	25(MAX)	25(MAX)	
Music practice rooms	35(MAX)	35(MAX)	
Concert and recital halls	Consult an anacoustical consultant	Consult an anacoustical consultant	
Laboratories (with fume hoods):			
- Testing/reserch with minimal speech Communication	45-55	45-55	53-58
- Reserch with extensive telephone use	40-50	40-50	48-58
- Group teaching	35-45	35-45	43-53
Chruches, mosques and sysnagogues	25-35	25-35	33-38
Schools:			
- Classrooms up to 70 m^2 (750 ft^2)	40(MAX)	40(MAX)	
- Classrooms over 70 m^2 (750 ft^2)	30(MAX)	30(MAX)	
Libraries			
Courtrooms			
- Unumplified speech	25-35	25-35	33-43
- Amplified speech	30-40	30-30	38-48
Indoor stadiums and gymnasiums	40-50	40-50	48-58

ที่มา : (Metha, Johnson, & Rocafort, 1999)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- การกระจายเสียงเชิงพื้นที่ของระดับแรงดันเสียง (SPL: Spatial decay rate of speech D2,s) ลักษณะการกระจายดัชนีการส่งคำพูด รัศมีแสดงพลังงานเสียงเดียวกันที่กระจายไปทั่วพื้นผิวทรงกลมของ ความเข้มของเสียงนั้นแปรผกผันกับพื้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางที่เสียงเดินทางเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าจากจุดกำเนิด

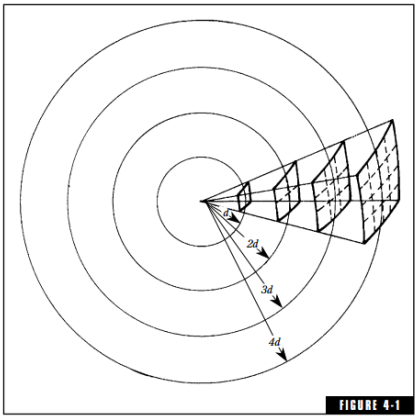


FIGURE 4-1

In the solid angle shown, the same sound energy is distributed over spherical surfaces of increasing area as *d* is increased. The intensity of sound is inversely proportional to

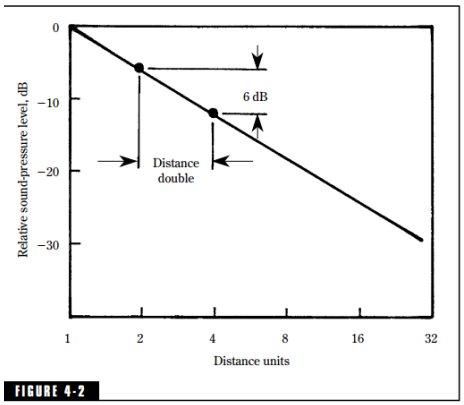


FIGURE 4-2

he inverse square law of sound intensity becomes the inverse distance law for sound ressure. This means that sound-pressure level is reduced 6 dB for each doubling of he distance.

ภาพที่ 9 รัศมีของระยะทางเสียง(r) เมื่อระยะทางเพิ่มเป็นสองเท่า (D^2)

ที่มา : (Everest, 2014)

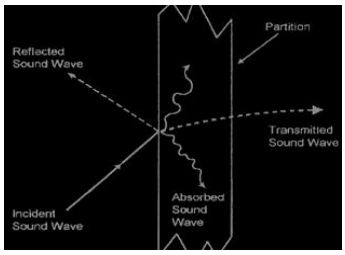
สมการ

$$L_2 = L_2 - 20\log\frac{d_2}{d_1}, decible \qquad (4)$$

คือ ความแตกต่างของระดับแรงดันเสียงระหว่างสองจุดที่ห่างจากแหล่งกำเนิด d1และ d2 คำนวณอัตราแรงดันเสียง(SPL(dB) จากระยะรับเสียงที่1 ไปที่ระยะทาง x2 เท่าของระยะที่ 1 จะได้ค่าการลดลงของความดันเสียง (D2s) หน่วยเป็น dB

ค่าการดูดซับเสียง Noise reduction coefficient (NRC) คือ ค่าเฉลี่ยถูกวัดทีความถี่ 250, 500, 1,000, 2,000 Hz และปัดเศษให้อยู่ที่ 0.05 โดยทั่วไปค่า NRC จะต้องมีค่ามากกว่า 0.40 ถึงจะถือว่าเป็นวัสดุดูดซับเสียงอะคูสติก วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง (NRC) หมายถึงวัสดุที่มีรูพรุนซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดเสียงสะท้อนกลับ เมื่อคลื่นเสียงวิ่งกระทบวัสดุ จะมีบางส่วนของพลังงานเสียงถูกดูดซับและที่เหลือจะสะท้อนกลับ ระบุค่าเป็นตัวเลขตั้งแต่ 0 – 1 ที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุตัวอย่างเช่น ความสามารถในการดูดซับเสียง 100% แสดงให้เห็นถึงคลื่นเสียงถูกดูดซับทั้งหมดโดยไม่มีคลื่นเสียงสะท้อนกลับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 10 ปรากฏการณ์ของเสียงที่กระทบผนัง

การดูดซับเสียง (Sound Absorption) เป็นการทำให้พลังงานเสียงมีแนวโน้มที่ลดน้อยลงเมื่อผ่านตัวกลางใดๆ ซึ่งก็คือ เมื่อคลื่นเสียงสัมผัสกับพื้นผิวของวัสดุ เสียงส่วนหนึ่งถูกสะท้อน ส่วนหนึ่งถูกส่งผ่านออกไป และส่วนที่เหลือถูกดูดซับโดยตัวของวัสดุ ดังนั้นวัสดุดูดซับเสียงจึงเป็นวัสดุที่ช่วยลดพลังงานของคลื่นเสียงที่ตกกระทบทำให้แอมพลิจูดของเสียงสะท้อนลดลง วัสดุที่สามารถดูดซับเสียงได้โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นเส้นใย (fibrous) หรือรูพรุน (porous) ตัวอย่างวัสดุดังกล่าว เช่น เส้นใยแก้ว ใยหิน และวัสดุโฟม เป็นต้น วัสดุที่มีรูพรุนถูกใช้ในการควบคุมเสียงรบกวน สามารถแบ่งเป็นประเภทได้เป็นแผ่นเส้นใย หรือเป็นวัสดุโฟมที่มีรูพรุน วัสดุดูดซับเสียงทำหน้าที่กั้นคลื่นเสียงและลดพลังงานของคลื่นเสียงโดยการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ทางกลของอนุภาคอากาศให้กลายเป็นความร้อนที่มีพลังงานต่ำ หลักการทำงานนี้มีส่วนช่วยในการป้องกันการสะสมของเสียงในพื้นที่ปิดและลดปริมาณการสะท้อนของเสียง

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของวัสดุ ดังต่อไปนี้

1. ขนาดของเส้นใย: ทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย พื้นที่ผิวของเส้น โดยเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยลดลง หรือมีพื้นที่ผิวเส้นใยมากขึ้น มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้านทานการเคลื่อนที่ของอากาศเพิ่มสูงขึ้น

2. ความต้านทานการไหลของอากาศ (airflow resistance): เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญมากสำหรับวัสดุดูดซับเสียงที่มีลักษณะเป็นเส้นใย ในกรณีเส้นใยที่ไม่ได้ถักทอมีมากขึ้น หรือเส้นใยที่มีความขรุขระมากขึ้น มีผลทำให้ค่าความต้านทานการไหลของอากาศเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้คลื่นเสียงเกิดการเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น โดยปกติค่าความต้านทานการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเพิ่มสูงขึ้น แต่ถ้าค่าความต้านทานการไหล ของอากาศ > 1000 จะมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงลดลง เพราะการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงทะลุผ่านได้ยากขึ้น

3. ความเป็นรูพรุน (porosity): สำหรับวัสดุที่ไม่มีการถักทอของเส้นใยจะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเพิ่มขึ้นไปตามแนวการแพร่ของเสียง รูปร่าง ขนาด และจำนวนของรูพรุนล้วนเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการกระจายของเสียงเข้าไปภายในวัสดุ

สมการ

$$NRC = \frac{\left(\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}\right)}{4} \quad (5)$$

การวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. ความคดเคี้ยวของรูพรุน (tortuosity) เป็นการวัดเส้นทางในการเดินทางของเสียงในแนวตามยาวตลอดรูพรุนเปรียบเทียบกับความหนาของชิ้นงานตัวอย่าง ดังนั้นความคดเคี้ยวของรูพรุนจึงถูกใช้ในการอธิบายอิทธิพลของโครงสร้างภายในที่มีสมบัติการดูดซับเสียง ความคดเคี้ยวของรูพรุนมีผลในการกำหนดพฤติกรรมของวัสดุดูดซับเสียงที่มีรูพรุน ณ ความถี่สูง

5. ความหนาของชิ้นงานวัสดุที่มีรูพรุนมีผลเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อการดูดซับเสียงช่วงความถี่ต่ำ ในขณะที่ความถี่สูง ความหนาของชิ้นงานไม่มีผลกระทบต่อการดูดซับเสียง

6. การกดอัดตัวของเส้นใย (compression): การกดอัดตัวของเส้นใยในวัสดุดูดซับเสียงที่เป็นแผ่นเส้นใยมีผลทำให้การดูดซับเสียงลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการลดลงของความคดเคี้ยวของรูพรุนและความต้านทานการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ขณะที่รูพรุนและความหนาของชิ้นงานลดลง ซึ่งปัจจัยหลักที่ทำให้การดูดซับเสียงลดลง เมื่อการกดอัดตัวของเส้นใยมากขึ้น เพราะ ความหนาที่ลดลง

7. การกั้นขวางเสียงของพื้นผิวมีมากขึ้น เมื่อความต้านทานของผิวมากขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของเสียงสะท้อนที่ผิวมีมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับเสียงลดลง นอกจากนี้การกั้นขวางเสียงยังขึ้นอยู่กับความถี่ด้วย เช่น ถ้าความถี่ของเสียงต่ำลง ความหนาของชิ้นงานผิวเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความต้านทานของผิวลดลง

8. ตำแหน่งของการวางวัสดุดูดซับเสียงมีอิทธิพลต่อการดูดซับเสียง เช่น ในห้องสี่เหลี่ยม การวางวัสดุดูดซับเสียงควรวางในตำแหน่งใกล้ๆ มุมและตามขอบของพื้นผิวห้องจะทำให้วัสดุดูดซับเสียงมีประสิทธิภาพมากที่สุด

9. วัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนาแน่นต่ำสามารถดูดซับเสียงช่วงความถี่ต่ำ (500Hz) ได้ดี ในขณะที่วัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนาแน่นมากดูดซับเสียงช่วงความถี่สูง (2000 Hz) ได้ดี

10. การสร้างช่องว่างอากาศด้านหลังวัสดุดูดซับเสียง ช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับเสียงโดยเฉพาะ ณ ช่วงความถี่ปานกลางและสูง (กลุ่มชุมชนคนวิจัย, 2557)

2.3 ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

ความต้องการด้านอะคูสติกในสำนักงานแบบเปิดโล่งพื้นฐานที่ดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้สำหรับการสื่อสารภายในสำนักงานคือการประเมินความเข้าใจในคำพูด ในพื้นที่ระดับเสียงพื้นหลังที่เหมาะสมข้อกำหนดนี้แสดงถึงความเป็นส่วนตัวของพื้นที่สำนักงานแบบเปิดโล่ง การควบคุมเสียงในสำนักงาน ทำได้โดยการการออกแบบฉากกั้น การส่งผ่านเสียงจากผนัง, เพดาน และพื้นอาคาร การเลือกพื้นผิวดูดซับเสียงเพื่อลดการสะท้อนเสียง และการสร้างเสียงรบกวนพื้นหลัง Francis Duffy,(1976)

จากการศึกษาวิจัยผลกระทบของเสียงพูดต่อประสิทธิภาพการทำงานที่เกิดขึ้นครั้งแรก โดย Colle ในปี 1976 ทำให้นักวิจัยในต่างประเทศจำนวนมากที่พยายามค้นหาความสัมพันธ์ของกายภาพเสียงที่ส่งผลต่อการรับรู้ของมนุษย์ ที่ก่อให้เกิดความพึงพอใจในความเป็นส่วนตัวของคำพูดในพื้นที่

เปิดโล่งของสำนักงาน เพื่อหาดัชนีการเข้าใจในคำพูดที่ใช้ในการพิจารณาปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายในระดับเสียงสนทนา Hongisto (2007) ระดับความดันของเสียงพูดไม่ใช่ปัจจัยหลักของการรบกวน แต่ดัชนีการเข้าใจเสียงพูดเป็นสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบก่อให้เกิดความฟุ้งซ่านรำคาญใจจนชาดสมาธิและความเป็นส่วนตัว จึงทำการศึกษาวิจัยด้านเสียงรบกวน ในพื้นที่ของสำนักงานแบบเปิดโล่ง โดยการทดลองในสถานที่จริง เพื่อประเมินโดยการใช้แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้อาคาร พบว่าสาเหตุที่มาของปัญหาเสียงรบกวนในสภาพแวดล้อม ต่อประสิทธิภาพของการทำงานลดลง เกิดจากความเข้าใจในคำพูด (STI) เสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหาโดยการใช้แผงกั้น ระหว่างกลุ่มทำงานร่วมกับการควบคุมเสียงพื้นหลังให้อยู่ในเกณฑ์ที่แนะนำ โดยพิจารณาตามเป้าหมายระดับความเข้าใจในคำพูด(STI) ที่ 0.20-0.60 Keränen et al. (2008) พิสูจน์ว่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด(STI) คือตัวชี้วัดที่ดีสำหรับการประเมินด้านเสียงรบกวน เสนอระดับ STI 0.35 คือ ระดับความเป็นส่วนตัวในคำพูด (PI) และระดับ STI ที่ 0.65 คือ ไม่มีความเป็นส่วนตัวในคำพูด วิธีการศึกษาเปรียบเทียบสภาพแวดล้อมเสียงในสำนักงาน 4 แห่ง โดยใช้ตัวแปรแผงกั้นส่วนที่ระดับความสูงต่างกัน ฝ้าซับเสียงชนิดแขวนแนวตั้ง ผ้าม่านดูดซับเสียงกั้นส่วน เพื่อหาค่าระดับอะคูสติกที่เหมาะสม และตัวบ่งชี้ในการประเมิน พบว่าค่าที่สำคัญคือ ระยะทางที่ทำให้เสียสมาธิจากความ เข้าใจในคำพูด(rD) และระดับการลดลงของเสียงต่อระยะทางที่เพิ่มขึ้นสองเท่า (D2,s) Haapakangas et al. (2014) ศึกษาระดับความสูง 1.30 1.60 และ 1.70 เมตร ของแผงกั้นส่วนต่อการกั้นเสียงรบกวนจากเสียงพูดในห้องทดลอง โดยควบคุมพื้นผิวฝ้าเพดานฉาบเรียบ พบว่าระดับความสูงแผงกั้น ช่วยลดดัชนีความเข้าใจในคำพูดลงและเพิ่มสมาธิในการทำงาน ส่งผลให้ระดับความเสียงกลุ่มงานข้างเคียงลดลงไป แนะนำให้เห็นถึงกระจายเสียงพูดของคนจำนวนมาก ช่วยในการสลายตัวของเสียงรบกวนได้ ระดับเสียงพื้นหลังที่แนะนำอยู่ที่ 33 dB

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Yadav et al. (2017) ศึกษาระดับเสียงพูดเดี่ยว และเสียงพูดกลุ่มคน โดยกำหนดตัวแปรต้นเป็นแผงกั้น ระดับสูง1.50 เมตร เพื่อทดสอบระดับความพึงพอใจ และระดับการขาดสมาธิจากเสียงพูดสนทนา ในห้องทดลองขนาด 60 ตารางเมตร โดยการวัดระดับความดันเสียง (SPL) ที่ส่งผลต่อการเข้าใจเสียงพูด (STI) พบว่าเสียงพูดเดี่ยวก่อให้เกิดความรำคาญมากกว่าการสนทนาแบบกลุ่ม Karmann et al. (2017) ในขณะเดียวกันปริมาณการติดตั้งชนิดฝ้าที่มีค่าการดูดซับเสียงในการแก้ปัญหาเสียงรบกวน โดยหาความสัมพันธ์ปริมาณการติดตั้งฝ้า ที่มีผลต่อการลดเสียงก้องกังวานในพื้นผิวโครงสร้างคอนกรีต ในห้องทดลองแบบปิด พื้นที่ 18.2 ตารางเมตร,54.7 ลบ.เมตรระดับความสูงในการติดตั้ง 2.50 เมตร ขอบเขตการติดตั้ง 73.50% ของพื้นที่ รวมถึงติดตั้งแผงกั้นชนิดไฟเบอร์กลาส สูง 1.20 เมตร ในพื้นที่ 4.55 ตารางเมตร พบว่าปริมาณฝ้าแขวนที่ 30% ใช้ควบคุมเสียงรบกวนในสำนักงานแบบปิด และปริมาณ 50% ใช้ควบคุมเสียงรบกวนในสำนักงานแบบเปิด ระดับการลดลงเสียงก้องกังวาน(RT) อยู่ในช่วง 0.60-0.80 วินาที Lenne et al. (2020) ความสัมพันธ์ระดับเสียงพื้น

หลัง(BN) มีผลต่อการลดทอนดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) จากการทดสอบการรับรู้ของพนักงานในสำนักงาน โดยปรับเปลี่ยนวัสดุผนัง และฝ้าเพดาน ความสูงของแผงกั้นส่วน ผลสรุประดับเสียงพื้นหลังที่ 45dB มีผลต่อความพึงพอใจในการลดลงของความเข้าใจในเสียงพูด การลดลงของ STI หมายถึงการลดระดับเสียงรบกวน และสัมพันธ์ต่อความเป็นส่วนตัวในคำพูด Keränen et al. (2020) สำนักงานที่พร้อมใช้งาน ต้องการมีระดับความเป็นส่วนตัวในคำพูด และความสงบสุขในการทำงานขาดจากการรบกวนในเสียงสนทนาระหว่างกลุ่มงานจากการตรวจสอบระดับความดันเสียง(SPL) ในสำนักงานแบบเปิดโล่ง (Open-plan office) อยู่ที่ 50-60dB โดยที่การติดตั้งผนัง และฝ้าเพดานใช้วัสดุซับเสียงทั้งหมด วัดค่าระดับความดันเสียง (SPL) 55dB ไม่มีความเป็นส่วนตัวในคำพูด ระดับความดันเสียงที่ 35dB ไม่มีความเข้าใจในคำพูด ระดับความดันเสียง(SPL) ต่อระดับความเข้าใจในคำพูด (STI) มีความผกผันต่อกัน เป้าหมายที่ได้ในการทดลอง ระดับความเข้าใจในคำพูดที่ 0.30 แสดงถึงประสิทธิภาพของการใช้แผงกั้นเสียงและวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียงได้ผลดี และคือองค์ประกอบหลักในการออกแบบสภาพแวดล้อมทางอะคูสติก

Nelson and Koopmann (1977) ระบุว่าเสียงรบกวนมี 2 ประเภท คือเสียงรบกวนจากภายนอกอาคาร เช่น เสียงจราจรที่ผ่านข้ามาจากเฟรมหน้าต่าง และเสียงที่เกิดภายในอาคาร เช่น เสียงจากการสั่นสะเทือนผ่านโครงสร้างชั้นบน เสียงจากการทำงานของระบบปรับอากาศ โดยทั่วไปอยู่ที่ 30-45 dBA เสียงก้องกังวานในพื้นที่ จากการศึกษาลักษณะการกระเจิงของเสียงต่อฝ้าเพดานที่มีลักษณะรูปร่างวี (V-shape) สัมพันธ์กับการตั้งแผงกั้น พบว่าเส้นการสะท้อนกลับของเสียงในฝ้าเพดานรูปแบบ 3 มิติ ส่งผลให้ลดการกระจายเสียงได้ระยะทางสั้นลง และเกิดองศาสะท้อนเสียงรบกวนต่อพื้นที่ข้างเคียงน้อยลง Pop et al. (2005) ศึกษาแนวทางการแก้ปัญหา โดยวิธีการทดลองโมเดล เพื่อหาการลดลงของประสิทธิภาพของการทำงาน ที่เกิดจากเสียงรบกวนจากการสนทนา โดยศึกษาการใช้แผงกั้นส่วนเพื่อลดเสียงรบกวนระหว่างพื้นที่ทำงาน ฝ้าเพดานใช้วัสดุซับเสียงทั่วบริเวณ วัดระดับความดันเสียงในพื้นที่ และนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการจำลองโมเดลโดยซอฟแวร์ ODEON 9.0 พบว่าค่าความเข้าใจในคำพูด (STI) ระหว่างโต๊ะทำงานลดลงที่ระดับ 0.45-0.30 แสดงถึงระดับความเป็นส่วนตัว “ปานกลาง” และ ระดับที่ 0.15 ถือเป็นระดับชั้นความลับในคำพูด และอธิบายถึงความเป็นส่วนตัวในคำพูดนั้น สัมพันธ์ต่อระยะทางการสลายตัวของระดับเสียงพูด(D2,s) เมื่อระยะทางเพิ่มเป็น 2 เท่า ใช้ในการประเมินคุณภาพเสียงที่มีความเป็นส่วนตัวของ คำพูดในสำนักงานแบบเปิดโล่ง Passero, Carolina, Zannin, and Paulo (2012) ศึกษาการจัดพื้นที่สำนักงานแบบเปิดโล่ง โดยการสำรวจสำนักงานจริง เพื่อหาค่าเสียงเฉลี่ยสะสม (LA,p,q) ในเวลา 5 นาที นำข้อมูลจำลองโมเดลโดยใช้ซอฟแวร์ ODEON 9.0 เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมตามเกณฑ์ของ Hongisto และคณะ,2007 โดยกำหนดแผงกั้นส่วนระดับสูง 1.30 เมตร ผิววัสดุลามิเนท, แผ่นฝ้าอะคูสติก พื้นพรมที่มีความหนาแน่นสูง พบว่าการเพิ่มแผงกั้นช่วยลดระดับความดันเสียง (SPL) วัสดุซับเสียงที่อยู่ใน

ระนาบฝ้าเพดาน และพื้นมีผลต่อการกระจายตัวของระยะทางที่ทำให้เสียสมาธิ ทำการเปรียบเทียบเมื่อดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) ลดลงที่ระดับ 0.50 คือ สำนักงานแบบเปิดโล่งที่มีความเป็นส่วนตัวในคำพูด (PI) กำหนดให้มีองค์ประกอบของ แผงกั้นส่วน และวัสดุซับเสียงที่ฝ้าเพดาน และพื้น และในปีเดียวกันได้ทำการศึกษา ลักษณะพื้นผิวของวัสดุซับเสียง สามารถแก้ไขเสียงรบกวนจากพื้นที่ข้างเคียงได้ โดยเสนอแนะแนวทางการหาระยะทางที่มีความเป็นส่วนตัวในคำพูด (rP) เมื่อระดับความเข้าใจเสียงพูด(STI) ลดลงที่ระดับ 0.20 และระยะทางที่ทำให้มีสมาธิจากความเข้าใจในคำพูด(rD) เมื่อระดับความเข้าใจในคำพูด(STI) ลดลงที่ระดับ 0.50 โดยค่าข้างต้นอ้างอิงการคำนวณจากการสลายตัวเชิงพื้นที่เมื่อระยะทางเพิ่มเป็นสองเท่า(D2,s) จึงสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดวางผังเฟอร์นิเจอร์ในสำนักงานเปิดโล่งที่มีสภาพแวดล้อมเสียงที่ดี มีความเป็นส่วนตัวในคำพูดทั้งในพื้นที่ภายในกลุ่ม ไม่สร้างเสียงรบกวนพื้นที่ข้างเคียง และมีสมาธิในการทำงาน และในปีเดียวกันระบุปัญหาเสียงระหว่างกลุ่มงานที่มีการกั้นเสียงที่ไม่ดีก่อให้เกิดเสียงรบกวน ซึ่งทำให้ขาดสมาธิในการทำงานและรบกวนต่อจิตใจจนเกิดความเครียดได้ Utami et al. (2014) ศึกษาวิจัยเกณฑ์ ISO-3382-3 (2012) มาตรฐานเพื่อการออกแบบและประเมินคุณภาพเสียง ในสำนักงานแบบเปิดโล่ง พบว่าการควบคุมเสียงก้องกังวาน (RT) ไม่ใช่ทางออกในการออกแบบสภาพแวดล้อมทางอะคูสติก คุณภาพความเป็นส่วนตัวของคำพูด คือการสร้างสนามเสียงแบบกระจายในหลายพื้นที่ การใช้แผงกั้นที่เป็นวัสดุซับเสียง เฟอร์นิเจอร์ รวมถึงชั้นเอกสาร ประเมินหาค่าเสียงก้องกังวาน RT(T30) ระดับความชัดเจนสำหรับคำพูดระหว่างแผงกั้น (C50) และดัชนีการเข้าใจเสียงพูด (RaSTI) เพื่อคำนวณหาระยะทางที่ทำให้เสียสมาธิจากความเข้าใจในคำพูด (rD) ระยะความเป็นส่วนตัวในคำพูด (rP) เสนอแนะแนวทางการออกแบบการปรับปรุงผังมีส่วนช่วยในการจัดการเสียงรบกวน และในการศึกษาแนวทางการปรับปรุงพื้นผิวที่มีการดูดซับเสียงงานวิจัยนี้มุ่งหวังที่จะปรับปรุงการรบกวนเสียงพูด และเพิ่มความชัดเจนเสียงพูดในกลุ่มงาน โดยผู้วิจัยนำผังเฟอร์นิเจอร์ของ Novianto ทดลองภายใต้เกณฑ์การทดลอง ISO3382-3 เพื่อหาข้อพิสูจน์การติดตั้งวัสดุซับเสียงในการจัดวางที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบที่ฝ้าเพดาน จำลองโมเดลโดยซอฟแวร์ Comsol ศึกษาการสะท้อนเสียงต่อการดูดซับเสียงที่ส่งผลลดการกระจายเสียงรบกวน พบว่าการติดตั้งแบบต่อเนื่องมีผลต่อการลดระดับความดันเสียงพูดได้ ศึกษาวิจัยเพื่อพิสูจน์ความสามารถของวัสดุซับเสียง ที่มีผลต่อการเข้าใจในคำพูด(STI) โดยบ่งชี้ว่าการลดลงของ STI โดยพื้นผิววัสดุอะคูสติกหมายถึงการลดอัตนัยการรบกวนความเป็นส่วนตัวของคำพูด การทดลองโดยการจำลองโมเดลโดยใช้ซอฟแวร์ EASE 4.2 ขนาดพื้นที่ 18.2 ตารางเมตร, 54.7 ลบ.เมตร ติดตั้งฝ้าเพดานซับเสียงที่ระดับ 3.00 เมตร ควบคุมอุณหภูมิที่ 21.6 องศาเซลเซียส จัดผังเฟอร์นิเจอร์กลุ่มละ 4 คน ตั้งตู้เอกสารเพื่อแบ่งพื้นที่ทำงานและทางเดินร่วมภายใน จัดวางตู้สำหรับโทรศัพท์ บริเวณกลางพื้นที่ การทดลอง 3 สถานการณ์ แบบที่ 1 ไม่มีแผงกั้นติดตั้งบนโต๊ะ 2.มีแผงกั้นส่วนบนโต๊ะ 3. มีแผงซับเสียงติดตั้งเพิ่มด้านข้าง พบว่าระดับ STI>0.60 แสดงถึงความเข้าใจในคำพูดได้

ดี มีความเข้าใจในการทำงานร่วมกัน ระดับSTI<0.45 เป็นระดับที่มีความเป็นส่วนตัวในคำพูดปกติ และทีมวิจัยยังมีข้อแนะนำเพิ่มเติมจากการทดลองว่า วิธีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงานในพื้นที่เปิดโล่ง ด้วยหลักการดังนี้ (A)วัสดุซับเสียงที่ฝ้าเพดาน, ผนัง และเฟอร์นิเจอร์ (B) ปิดกั้นด้วยแผงกั้นส่วนระหว่างโต๊ะทำงาน (C) สลายเสียงพูดโดยการเปิดเสียงธรรมชาติ(ไม่แนะนำให้ใช้เสียงเพลงเนื่องจากเป็นบทความที่ดึงดูดความเข้าใจ) (D) ระยะห่างระหว่างโต๊ะทำงานอย่างน้อย 2.50 เมตร อิทธิผลของการออกแบบตกแต่งภายในต่อการแพร่กระจายเสียง เป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องมีการจัดการเรื่องพื้นที่สนับสนุนในการสื่อสารระหว่างพนักงานในทีมให้ได้รับความเข้าใจที่ชัดเจน แต่ต้องไม่มีระดับเสียงแพร่กระจายจนเกิดการรบกวน ระยะในการจัดวางเฟอร์นิเจอร์เป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบสำนักงานแบบเปิดโล่ง สิ่งที่ต้องคำนึงร่วมในการออกแบบ คือ ลักษณะของห้อง รูปร่าง ปริมาณ การกระจายของการดูดซึมเสียง และการจัดวางพื้นที่ต่อกิจกรรมในพื้นที่ เพื่อสภาพแวดล้อมอะคูสติกที่เหมาะสม

Utami, Arifianto, and Dhany and Nadiroh (2017) สำรวจสำนักงานเพื่อประเมินช่วงระดับเสียงที่เกิดขึ้นจริง นำมาขึ้นโมเดลจำลองในซอฟแวร์ Comsol 5.0วัดแพร่กระจายเสียงต่อโครงสร้างห้อง และพื้นผิว โดยใช้วิธีการวัดและอภิปรายผลภายใต้เกณฑ์ ISO 3382-3 (2012) ระบุความดันเสียงที่ 90 dB ในการทดลอง กำหนดให้ตัวแปรต้น คือ แผงกั้นส่วน และชั้นวางหนังสือ ในพื้นที่ควบคุมมีวัสดุซับเสียงที่ผนัง และฝ้าเพดาน พบว่าแผงกั้นส่วนช่วยลดระดับความดันเสียงลดลง 5-6% การกั้นด้วยชั้นวางหนังสือไม่ลดระดับความดันเสียงอย่างมีนัยยะสำคัญ D'Orazio et al. (2018) การศึกษาวิจัยวิธีการลดลงของความเข้าใจในคำพูด (STI) เพื่อความเป็นส่วนตัวของคำพูดและสมาธิ ในการทำงาน ตามคุณภาพของ IEQ ทดสอบโดยการใช้แผงกั้นเสียงในพื้นที่เปิดระบบปรับอากาศและไม่เปิด ภายใต้เกณฑ์ ISO 3382-3 (2012) กำหนดพื้นที่ในการทดลอง ขนาดห้อง 15x26.2x4เมตร พื้นที่ 420 ตารางเมตร พื้นผิว 1,670 ลบ.เมตร กำหนดค่าก้องกังวานเสียงที่ 0.52 วินาที เปรียบเทียบในสถานการณ์ที่ใช้ระบบปรับอากาศและไม่เปิดระบบ พบว่าสถานการณ์ที่เปิดระบบปรับอากาศช่วยในการสลายตัวของเสียง ส่งผลต่อความเข้าใจในคำพูด(STI) แสดงถึงความสำคัญระดับเสียงพื้นหลัง ที่ส่วนมากเกิดจากการทำงานของระบบปรับอากาศมีส่วนช่วยลดความเข้าใจคำพูดได้

สรุปจากการทบทวนวรรณกรรม แบ่งเป็น 3 ประเด็น ดังนี้ 1. ค่าระดับด้านเสียงที่พิจารณาในการทดลองสภาพอะคูสติกในสำนักงานแบบเปิดโล่ง ประกอบไปด้วย 1) ระดับความดันเสียง (SPL) ค่าระดับ ค่าระดับความดันเสียง (SPL) 55dB ไม่มีความเป็นส่วนตัวในคำพูด และค่าระดับความดันเสียงที่ 35dB ไม่มีความเข้าใจในคำพูด ระดับความดันเสียง และระดับความเข้าใจในคำพูดมีความผกผันต่อกัน 2) ดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) ค่าระดับที่ STI>0.60 แสดงถึงความเข้าใจในคำพูดได้ดี มีความเข้าใจในการทำงานร่วมกัน ค่าระดับSTI<0.45 เป็นระดับที่มีความเป็นส่วนตัวในคำพูดปกติ

3) ระยะทางเมื่อดัชนีความเข้าใจในคำพูดที่ STI 0.50 คือ ระยะที่เกิดสมาธิ (rD) 4) ระยะทางเมื่อดัชนีความเข้าใจในคำพูดที่ STI 0.20(rP) คือ ระยะที่เกิดความเป็นส่วนตัวในคำพูด ทดลองภายใต้เกณฑ์วัดและประเมินสภาพทางอะคูศติก ISO 3382-3 ประเด็นที่ 2.แนวทางในการแก้ปัญหาเสียงรบกวน มีองค์ประกอบ ดังนี้ การออกแบบแผงกั้นส่วนที่มีความสูงเหมาะสม เพื่อเป็นการกั้นสียง ฝ้าเพดานควรติดตั้งแบบต่อเนื่อง และควรพิจารณาเลือกใช้วัสดุปิดผิว ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับเสียง (NRC) และประเด็นที่ 3. วิธีการวิจัย และทดลอง แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ 1) การทดลองในสถานที่จริง และประเมินผลความพึงพอใจของผู้ใช้สำนักงาน วิธีการการติดตั้งตัวแปรตามสมมุติฐาน และทดสอบด้วยแบบประเมิน 2) วิธีจำลองโมเดลโดยซอฟแวร์ด้านเสียง วิธีการการสำรวจพื้นที่จริง โดยการวัดค่าตามมาตรฐาน ISO 3382-3 นำข้อมูล และค่าระดับเสียงจำลองโมเดลในซอฟแวร์ เพื่อพิสูจน์หาแนวทางการแก้ปัญหา และเสนอแนะแนวทางในการออกแบบ วิธีวิจัยนี้สามารถใช้ในการวางแผนการออกแบบสภาพแวดล้อมทางอะคูสติกในสำนกงานแบบเปิดโล่ง

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น พบว่ายังขาดการเสนอแนะแนวทางในการออกแบบความสัมพันธ์ความสูงแผงกั้นต่อความสูงฝ้าเพดาน สัดส่วนพื้นผิววัสดุที่มีค่าในการดูดซับเสียง ปริมาณในการติดตั้ง เพื่อแก้ปัญหาเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นในสำนักงาน และงบประมาณในการวางแผนในการปรับปรุง หรือ สร้างสำนักงานที่มีสภาพแวดล้อมทางอะคูสติก

2.4 ศึกษาการวัดและประเมินผลตามเกณฑ์ ISO 3382-3 Speech privacy in open plan office

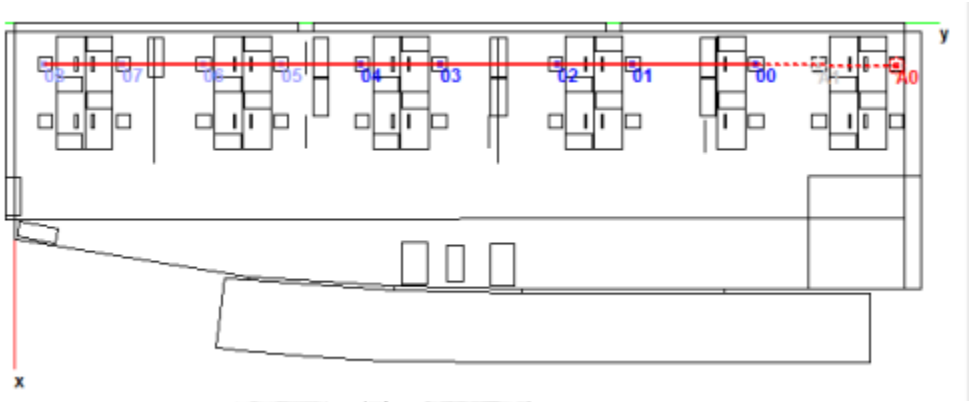
2.4.1 ข้อกำหนดในการติดตั้งเครื่องมือวัดเสียงภายในสำนักงาน

- แหล่งกำเนิดเสียง ใช้ประเภทเสียง Man lound ค่า SPL ที่ 58-66dB ติดตั้งสูง 1.20 เมตร
- ตำแหน่งรับเสียงติดตั้งทุกระยะ 2 เมตร
- การคำนวณเสียงให้คำนวณทั้งไปและกลับ โดยสลับตำแหน่งแหล่งกำเนิดเสียง เพื่อให้ตรวจสอบความคาดเคลื่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

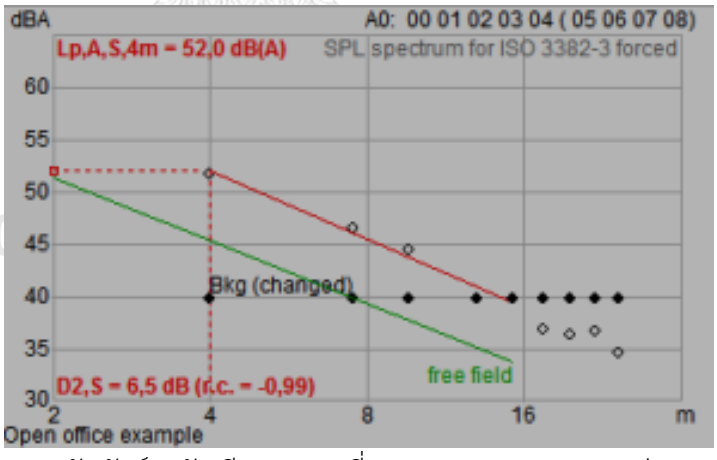
2.4.2 วิธีการอภิปรายผลเพื่อประเมินผลตามเกณฑ์ ISO 3382-3 2012EN

ขั้นตอนที่ 1 เมื่อทำการจำลองโมเดลโดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรต้น คำนวณหาค่าเสียง 2 ค่า ดังนี้



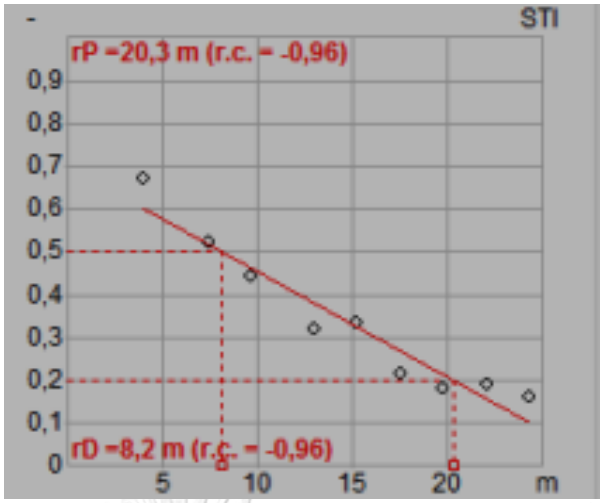
ภาพที่ 11 ตัวอย่างการติดตั้ง แหล่งกำเนิดเสียง และตัวรับเสียง ติดตั้งเป็นแนวเส้นตรง ระยะห่าง 2-16 เมตรตามลำดับที่ระดับความสูง 1.20 เมตร (แทนระยะในการนั่งพูดและฟัง)

ระดับความดันเสียง (Sound pressure level, SPL) ในแต่ละจุดรับเสียง นำค่าระดับความดันเสียงแต่ละจุดรับเสียง ลงในตารางเพื่อแปลผลเป็นกราฟ เพื่อหาอัตราการลดลงของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า (D2,s) , กราฟนี้แสดงอัตราเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ระยะ 4 เมตร



ภาพที่ 12 ค่าความสัมพันธ์ระดับเสียง (SPL) ที่ลดลงตามระยะทางสองเท่า(D2) อัตราการลดลงของแรงดันเสียง (D2,s= 6.5 dB), อัตราเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ระยะ 4 เมตร (Lp,A,S,4m.)

คำนวณระดับดัชนีความเข้าใจในคำพูด (Sound transmission index, STI)ในแต่ละจุดรับเสียง นำค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูดแต่ละจุดรับเสียง ลงในตารางเพื่อแปลผลเป็นกราฟ เพื่อหาระยะทางการลดลงของเสียงรบกวนที่ทำให้ขาดสมาธิ (rD) เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ อยู่ที่ระดับ STI 0.50 เป็นระยะห่างจุดเริ่มต้นความเป็นส่วนตัวของคำพูด สัมพันธ์กับการรับรู้ที่ระดับปานกลาง



ภาพที่ 13 ค่าความสัมพันธ์ดัชนีความเข้าใจในคำพูด(STI) ต่อระยะทางเมื่อ STI ลดลง = 0.50

ตารางที่ 4 เกณฑ์ประเมินผลสภาพแวดล้อมทางอะคูสติกในสำนักงานแบบเปิดโล่ง ISO 3382-3 2012

Acoustical Condition	Room Acoustics Parameters		
	Spatial decay Rate of A-weight SPL of Speech	A-weight SPL of Speech at 4 Meters	Distraction Distance
Good	**≥ 7 dB**	**≤ 48 dB**	**≤ 5 m**
Poor	< 5 dB	> 50 dB	> 10 m

ที่มา : (Utami et al., 2014)

เงื่อนไข : สภาพแวดล้อมเสียงที่ดี

- อัตราการลดลงของความดันเสียง ต่อระยะทางที่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า (D2,s) ควบคุมอัตราการลดลงของเสียงมากกว่าหรือเท่ากับ 7 dB
- ควบคุมระดับเสียงในระยะ 4 เมตรจากแหล่งกำเนิดเสียงให้อยู่ในระดับน้อยกว่าหรือเท่ากับ 48 dBA
- ควบคุมดัชนีความเข้าใจในคำพูดที่ระดับ STI=0.50 จากแหล่งกำเนิดเสียง ให้ระยะห่างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 เมตร

เงื่อนไข : สภาพแวดล้อมเสียงที่ไม่ดี

- อัตราการลดลงของความดันเสียง ต่อระยะทางที่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า (D2,s) ควบคุมอัตราการลดลงของเสียงน้อยกว่า 5 dB
- ควบคุมระดับเสียงในระยะ 4 เมตรจากแหล่งกำเนิดเสียงให้อยู่ในระดับมากกว่า50dBA

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ควบคุมดัชนีความเข้าใจในคำพูดที่ระดับ STI=0.50)จากแหล่งกำเนิดเสียงให้ระยะห่างมากกว่า10 เมตร

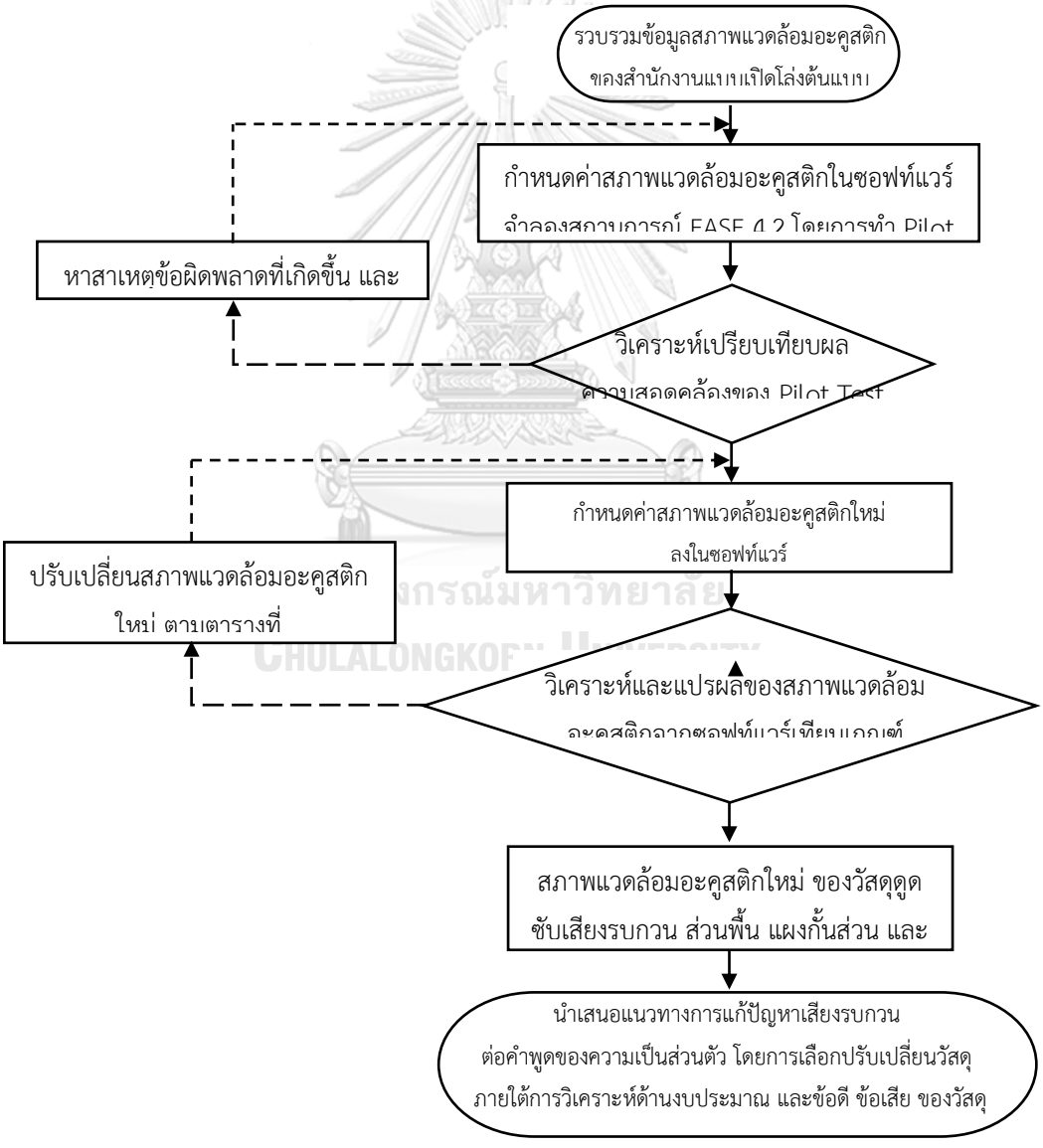
นอกเหนือจากระดับเกณฑ์การประเมินข้างต้น ยังมีการแนะนำเพื่อประเมินระยะความเป็นส่วนตัวของคำพูด Privacy distance (rP) คือ ระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียงที่คำนวณค่าดัชนีการส่งผ่านเสียงพูด อยู่ที่ระดับ STI = 0.20 ที่ระยะห่างเท่าใด หมายถึง ระยะห่างนี้ถือเป็นระยะความเป็นส่วนตัวในคำพูด ซึ่งนาไปใช้ในการจัดวางผัง ในส่วนงานที่ต้องการการสนทนากึ่งความลับ หรือ ส่วนงานที่ต้องการสมาธิสูงในการจดจ่อกับรายละเอียดของงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

ดำเนินการวิจัย โดยการรวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อมอะคูสติกของสำนักงานเปิดโล่งต้นแบบ เพื่อนำมาหาข้อปัญหา และวิธีการแก้ไข โดยการกำหนดค่าสภาพแวดล้อม จำลองโมเดลใน EASE 4.2 โดยการทำ Pilot test วิเคราะห์และเปรียบเทียบความสอดคล้อง กำหนดสภาพแวดล้อมใหม่ โดยนำตัวแปรวัสดุซับเสียง เพื่อปรับเปลี่ยน และหาแนวทางการแก้ปัญหาเสียง อภิปรายผล และเสนอแนะแนวทางการแก้ปัญหา ภายใต้การวิเคราะห์ด้านงบประมาณ และข้อดีข้อเสียของวัสดุ



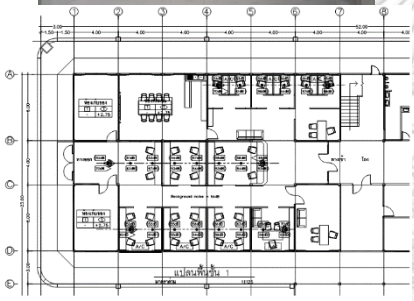
ภาพที่ 14 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการวิจัยเริ่มจากการเปรียบเทียบผลการทดสอบซอฟท์แวร์จำลองสถานการณ์ โดยนำค่าตัวแปรสภาพแวดล้อมอะคูสติกที่ได้จากการสำรวจ และเก็บข้อมูลจากสำนักงานแบบเปิดโล่งต้นแบบที่มีปัญหาเสียงรบกวน ในพื้นที่ทำงานไม่อยู่ในระดับมาตรฐาน เพื่อทำการทดสอบนำร่อง (Pilot Test) โดยการใส่ข้อมูลสภาพแวดล้อมอะคูสติกของสำนักงานแบบเปิดโล่งต้นแบบ ลงในซอฟท์แวร์จำลองสถานการณ์ Enhanced Acoustic Simulation for Engineers Version 4.2 (EASE 4.2)

ตารางที่ 5 ข้อมูลสภาพแวดล้อมของสำนักงานแบบเปิดโล่งต้นแบบ

<table>
<tr>
<td>แผนกออกแบบ กองอาคาร ชย.ทอ.

 
จัดแบบแบ่งทางเดิน 2 ชั้นแนวนอน</td>
<td>ขนาด – 256 ตารางเมตร / 768 ลบ.เมตร
วัสดุพื้น – กระเบื้องพอร์ซเลน
ผนัง – ปูนทาสี และยิปซั่มทาสี
ช่องแสง - กรอบอลูมิเนียมภายในกรุกระจก
ประตู - ไม้ และกระจก
ฝ้าเพดาน – ยิปซั่มฉาบเรียบ
แผงกั้นส่วน – ไม้และกระจก, ยิปซั่มบอร์ด สูง 1.50เมตร
เฟอร์นิเจอร์ – ไม้อัดกรุลามิเนท</td>
</tr>
<tr>
<td>ระดับเสียง สูงสุด 70dB ต่ำสุด 51 dB
ระดับเสียงพื้นหลัง 54 dB</td>
<td>ปัญหาของผู้ใช้งาน : เกิดเสียงสะท้อนค่อนข้างสูง</td>
</tr>
</table>

วิธีการสำรวจข้อมูลสิ่งแวดล้อมอะคูสติกจากสำนักงานแบบเปิดโล่งต้นแบบ

- กำหนดตำแหน่งในการตั้งเครื่องมือวัดทุกระยะ 2 ม.
- วัดเสียงด้วยเครื่องมือวัด
- จดบันทึกระดับความดันเสียง
- เก็บข้อมูลการใช้วัสดุที่ พื้น ผนัง แผงกั้นส่วน และฝ้าเพดาน

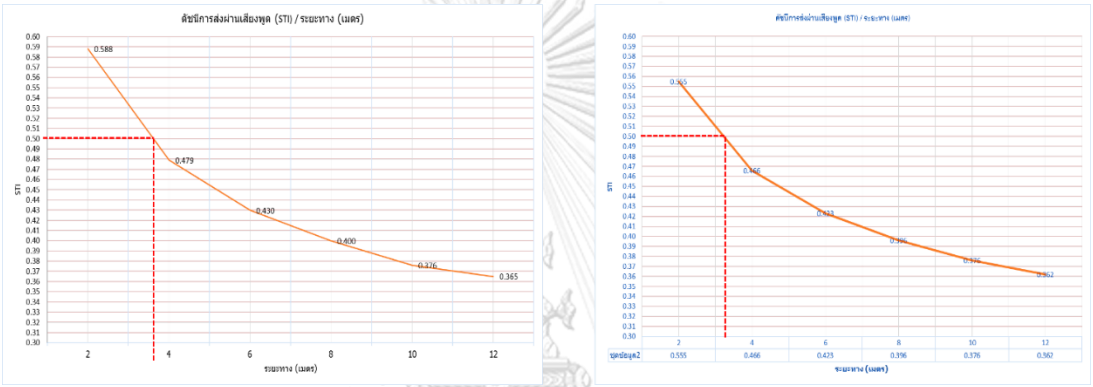
วิธีการการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมอะคูสติกด้วยซอฟท์แวร์

- สร้างโมเดล 3 มิติในโปรแกรม Sketch up
- Export DFX File ไปที่ EASE 4.2
- นำข้อมูลวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง กำหนดลงในโมเดลจำลอง
- คำนวณหาระดับค่า SPL, STI, RT
- ส่งออกค่าผลคำนวณ เพื่อนำไปวิเคราะห์ใน EXCEL

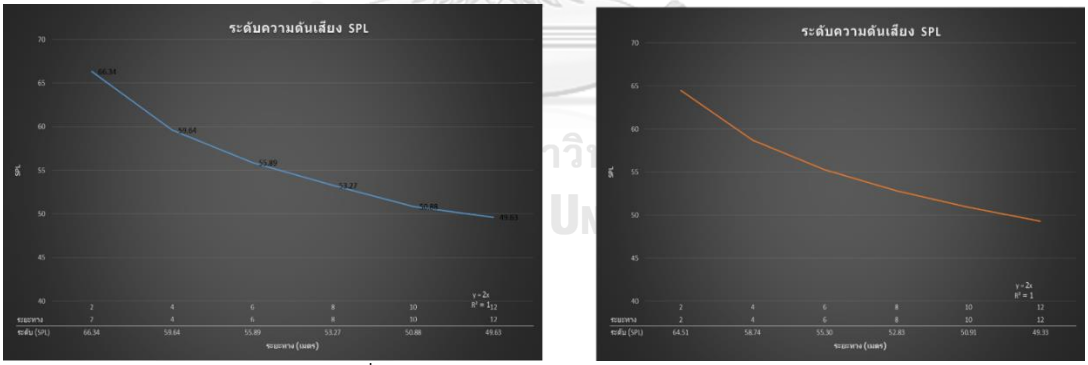
ขั้นตอนในการสรุปผลการจำลองโมเดล EASE 4.2 จากนั้นนำข้อมูลบันทึกในตาราง Excel เพื่อแสดงผลเป็นกราฟ ทำการหาแนวโน้มถดถอยเชิงเส้น (D^2,s) และนำไปเปรียบเทียบตามเกณฑ์ ISO 3382-3 : Acoustic-Measurement of room acoustic parameters

เส้นเสียงที่ 1			เส้นเสียงที่ 2				เส้นเสียงที่ 1	เส้นเสียงที่ 2	Hz.	Reverberation Time /sec
	ระยะทาง	(SPL)		ระยะทาง	(SPL)	ระยะทาง	(STI)	(STI)BB	125	0.82
15,8,1.10	2	65.28	9,8,1.10	2	64.43	2	0.532	0.512	250	1.35
13,8,1.10	4	59.13	11,7,1.10	4	58.70	4	0.391	0.382	500	1.43
11,8,1.10	6	55.56	13,8,1.10	6	55.27	6	0.326	0.325	1000	1.46
9,8,1.10	8	53.03	15,8,1.10	8	52.81	8	0.324	0.324	2000	1.56
7,8,1.10	10	53.03	17,8,1.10	10	50.89	10	0.324	0.324	4000	1.44
5,8,1.10	12	50.17	19,8,1.10	12	49.31	12	0.324	0.323	8000	1.39

ภาพที่ 15 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลผลการจำลองโมเดล ใน Excel



ภาพที่ 16 กราฟผลการวัดดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI)



ภาพที่ 17 กราฟผลการวัดระดับความดันเสียง (SPL)

วิธีการสรุปผลจากการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมอะคูสติกจากการปรับเปลี่ยนวัสดุดูดซับเสียงในส่วน ฝ้าเพดาน แผงกั้น และพื้น

- นำผลการคำนวณที่ได้จากการจำลองโมเดลในซอฟแวร์ EASE 4.2 ลงตารางเปรียบเทียบตามเกณฑ์ ISO-33382 Part 3: Open plan offices
- สรุปผลการทดลอง อภิปรายผล และเสนอแนวทางในการเลือกใช้สัดส่วนพื้นผิวที่มีค่าการดูดซับเสียงในการออกแบบสำนักงานแบบเปิดโล่ง

การวางแผนในการออกแบบสภาพแวดล้อมภายในด้านคุณภาพเสียงภายในห้องแบบปิด ที่มีรายละเอียดการจำลองที่เสมือนจริง และระบุรูปแบบเสียงการสนทนาที่ระดับ 35-66 dB คำนวณระดับระดับความดันเสียง(SPL), ดัชนีความเข้าใจในการพูด (STI) รายละเอียดแสดงปริมาณห้อง, พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพดูดซับ, พื้นที่ผิวทั้งหมด, ประเมินผลตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 3382-3 เสนอแนวทางการนำวัสดุอะคูสติกมาใช้ในการออกแบบสภาพแวดล้อมในสำนักงานแบบเปิดโล่งที่มีคุณภาพเสียงที่ดี

เมื่อนำผลการคำนวณเสียงที่มีผลกระทำต่อวัสดุซับเสียง (ตัวแปร) เปรียบเทียบตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 3382-3 Open planoffice เพื่อหาสภาพทางอะคูสติกของสำนักงาน ตามเงื่อนไขของข้อกำหนด

ตารางที่ 6 ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการทดลองตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 3382-3 (2012)

ผลการทดลอง	อัตราการลดลงของระดับเสียง(D_2S)	ระดับเสียงที่ระยะ 4 เมตร	ระยะทางเมื่อ STI=0.50
ISO 3382-3	≥7 dB	≤ 48 dB	≤ 5 M.
BASECASE	4.91 dB	57.73 dB	ไม่มี

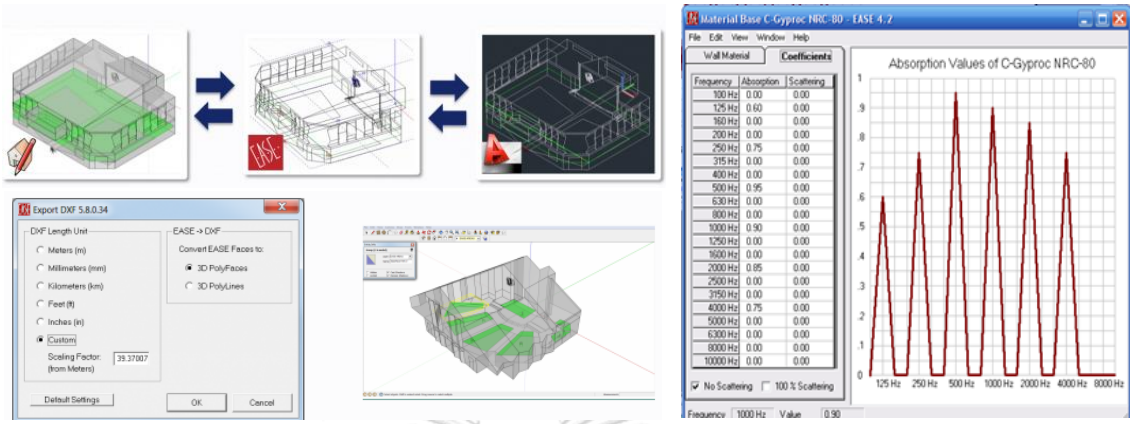
ศึกษาเครื่องมือที่นำมาใช้ในการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการสำรวจสำนักงานจริงทั้ง 9 พื้นที่ ได้นำสำนักงานกองอาคารกรมช่างโยธาทหารอากาศ ซึ่งมีการจัดวางผังทำงานในรูปแบบกลุ่มงาน โดยกำหนดตัวแปร คือ วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง(NRC) พื้น แผงกั้นส่วน และฝ้าเพดาน จำลองโมเดล และคำนวณบนโปรแกรม Ease 4.2 ซึ่งเป็นซอฟแวร์สำหรับการวางแผนในการออกแบบสภาพแวดล้อมภายใน ด้านคุณภาพเสียงภายในห้องแบบปิด ที่มีรายละเอียดการจำลองที่เสมือนจริง และระบุรูปแบบเสียงการสนทนาที่ระดับ 35-66 dB คำนวณระดับระดับความดันเสียง(SPL), ดัชนีความเข้าใจในการพูด(STI) รายละเอียดแสดงปริมาณห้อง, พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพดูดซับ, พื้นที่ผิวทั้งหมด, ประเมินผลตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 3382-3 เสนอแนวทางการนำวัสดุอะคูสติกมาใช้ในการออกแบบสภาพแวดล้อมในสำนักงานแบบเปิดโล่งที่มีคุณภาพเสียงที่ดี

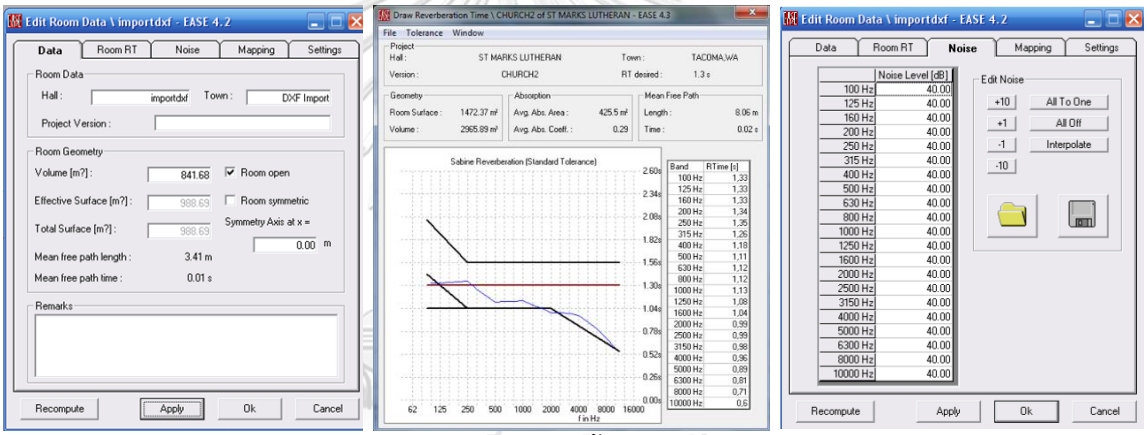
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Enhanced Acoustic Simulation for Engineers (EASE) คือ โปรแกรมมาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับการจำลองห้องเสียงตั้งแต่ปี 1990 EASE ได้รับการกำหนดมาตรฐานทั่วโลกสำหรับการจำลองเสียงทั้งภายในห้อง และในพื้นที่เปิด สามารถกำหนดห้องโดยใช้โมดูล CAD กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับในพื้นผิว และแหล่งกำเนิดเสียงรวมถึงตำแหน่งผู้ฟังสามารถเพิ่มลงในโมเดลได้ ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองที่ให้ความแม่นยำของเวลาของเสียงก้อง ความชัดเจนของเสียงพูด และพารามิเตอร์ทางเสียงอื่น ๆ ก่อนที่จะสร้างห้องช่วยสนับสนุนการ

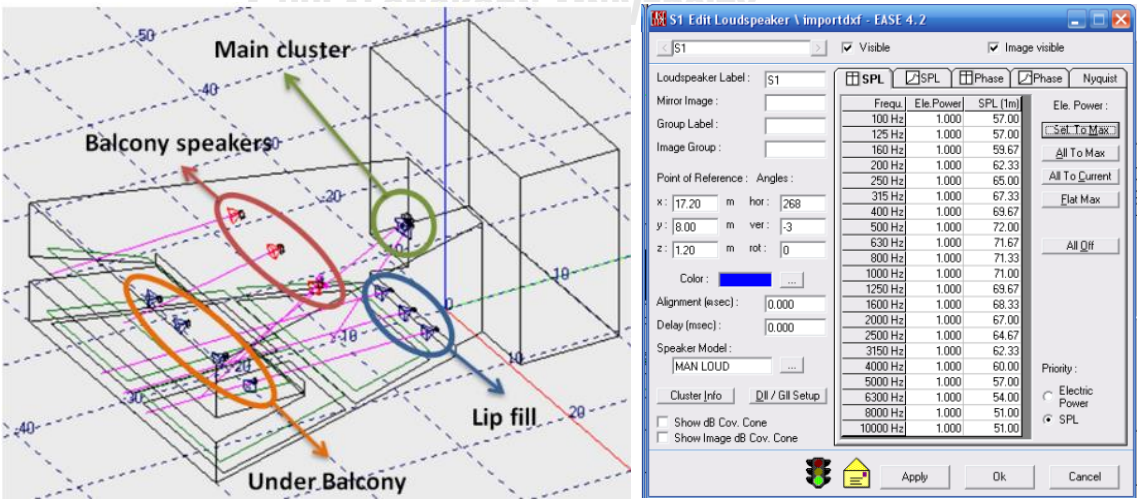
ทำงานของนักออกแบบและสถาปนิก เพื่อนำเสนอผลการวิเคราะห์ที่มี ประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมทางอะคูสติกในสำนักงาน (AFGM EASE 4.2 SOFTWARE,2009)



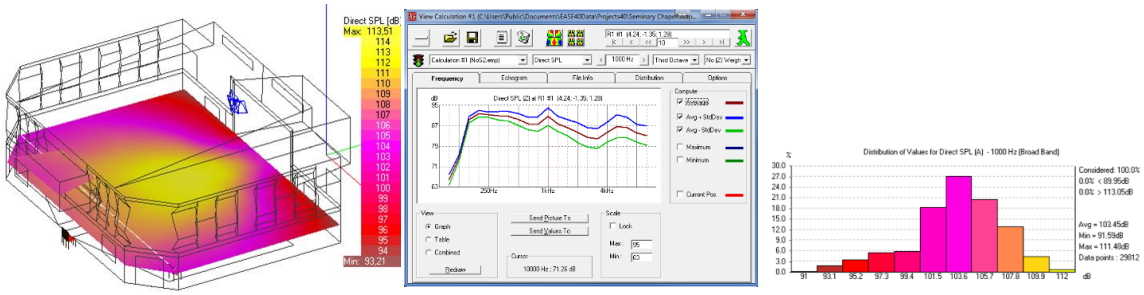
ภาพที่ 18 ตัวอย่างการสร้างโมเดลห้องทดลองบน Sofware EASE 4.2



ภาพที่ 19 ตัวอย่างการคำนวณปริมาตรพื้นที่ห้องทดลอง ค่า RT และกำหนด ค่าNC



ภาพที่ 20 ตัวอย่างการกำหนดแหล่งกำเนิดเสียงใน Simulation Model EASE 4.2



ภาพที่ 21 ตัวอย่างการแสดงผลจากการทดลอง Simulation Model EASE 4.2

ชุดข้อมูลผลการทดลอง Simulation model

```
Loudspeaker = S1
Position[m] x = 17.2 y = 8 z = 1.25
Direction[?] h = 270 v = -6 r = 0
Speaker = FEM_LOUD                                   A
Delay[ms] = .36
```

Freq[Hz]	Level[dB]	Phase[deg]
100	35.00	0.00
125	35.00	0.00
160	42.67	0.00
200	50.33	0.00
250	58.00	0.00
315	60.00	0.00
400	62.00	0.00
500	64.00	0.00
630	64.67	0.00
800	65.33	0.00
1000	66.00	0.00
1250	65.00	0.00
1600	64.00	0.00
2000	63.00	0.00
2500	61.00	0.00
3150	59.00	0.00
4000	57.00	0.00
5000	54.67	0.00
6300	52.33	0.00
8000	50.00	0.00
10000	50.00	0.00

B

```
ID: All Maps
Areas following: 1
Label: AB1                                           C
Item: Audience Area
Point: 24.00 16.00 1.10
```

```
Direct SPL  100Hz 12.58                              D
Direct SPL  125Hz 12.57
Direct SPL  160Hz 19.57
Direct SPL  200Hz 26.57
Direct SPL  250Hz 33.57
Direct SPL  315Hz 34.89
Direct SPL  400Hz 36.23
Direct SPL  500Hz 37.55
Direct SPL  630Hz 39.21
Direct SPL  800Hz 40.86
Direct SPL  1000Hz       42.52
Direct SPL  1250Hz       40.46
Direct SPL  1600Hz       38.39
Direct SPL  2000Hz       36.32
Direct SPL  2500Hz       32.96
Direct SPL  3150Hz       29.58
Direct SPL  4000Hz       26.19
Direct SPL  5000Hz       22.07
Direct SPL  6300Hz       17.91
Direct SPL  8000Hz       13.65
Direct SPL  10000Hz      13.24
```

```
RaSTI 500Hz 0.463                                    E
RaSTI 1000Hz      0.520
RaSTI 2000Hz      0.439
```

```
Privacy Index     79.71                              F
```

คำอธิบาย

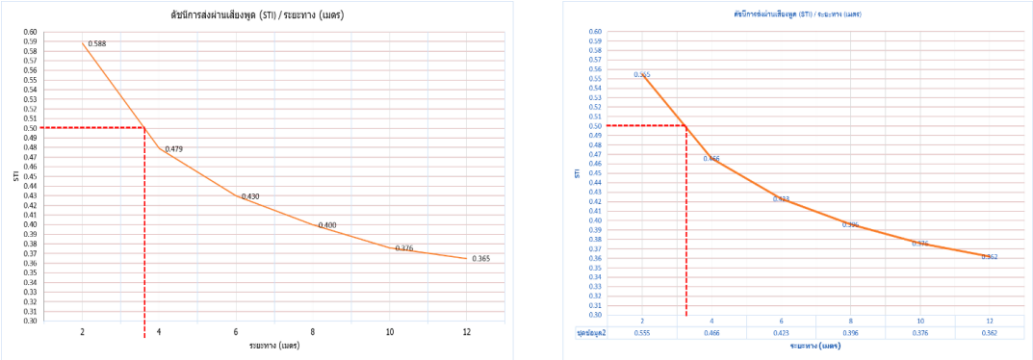
A = ตำแหน่งและประเภทแหล่งกำเนิดเสียง
B = ระดับความดันเสียงแต่ละความถี่คลื่นเสียง
C = ตำแหน่งและพื้นที่รับเสียง
D = ระดับความดันเสียงของตำแหน่งรับเสียง
เมื่อผ่านวัสดุซับเสียง
E = ดัชนีความเข้าใจในคำพูดของตำแหน่งรับเสียง
F = ระดับความเป็นส่วนตัว หน่วย % ของตำแหน่งรับเสียง

ภาพที่ 22 ตัวอย่างชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลอง Simulation Model EASE 4.2

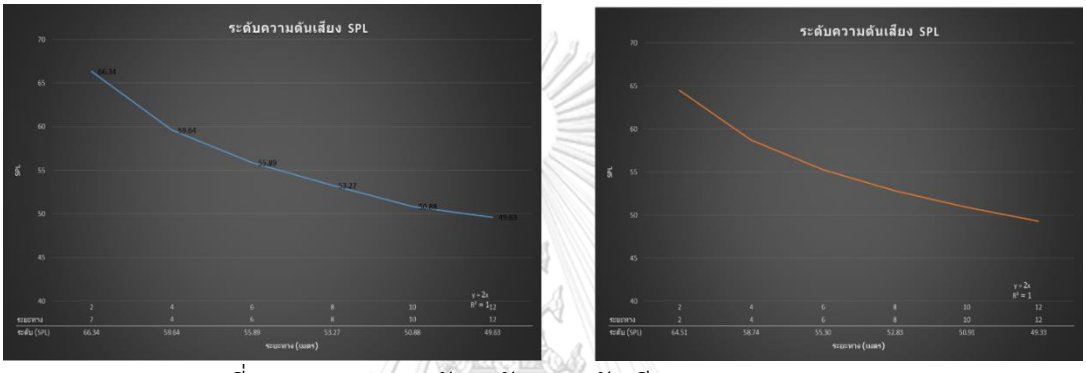
ขั้นตอนในการสรุปผลการจำลองโมเดล EASE 4.2 จากนั้นนำข้อมูลบันทึกในตาราง Excel เพื่อแสดงผลเป็นกราฟ ทำการหาแนวโน้มถดถอยเชิงเส้น (D^2,s) และนำไปเปรียบเทียบตามเกณฑ์ ISO 3382-3 : Acoustic-Measurement of room acoustic parameters

เส้นเสียงที่ 1			เส้นเสียงที่ 2				เส้นเสียงที่ 1	เส้นเสียงที่ 2	Hz.	Reverberation Time /sec
	ระยะทาง	(SPL)		ระยะทาง	(SPL)	ระยะทาง	(STI)	(STI)BB	125	0.82
15,8,1.10	2	65.28	9,8,1.10	2	64.43	2	0.532	0.512	250	1.35
13,8,1.10	4	59.13	11,7,1.10	4	58.70	4	0.391	0.382	500	1.43
11,8,1.10	6	55.56	13,8,1.10	6	55.27	6	0.326	0.325	1000	1.46
9,8,1.10	8	53.03	15,8,1.10	8	52.81	8	0.324	0.324	2000	1.56
7,8,1.10	10	53.03	17,8,1.10	10	50.89	10	0.324	0.324	4000	1.44
5,8,1.10	12	50.17	19,8,1.10	12	49.31	12	0.324	0.323	8000	1.39

ภาพที่ 23 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลผลการจำลองโมเดล ใน Excel



ภาพที่ 24 กราฟผลการวัดดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI)



ภาพที่ 25 กราฟผลการวัดระดับความดันเสียง (Sound pressure level:SPL)

เมื่อนำผลการคำนวณเสียงที่มีผลกระทำต่อวัสดุซับเสียง (ตัวแปร) เปรียบเทียบตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 3382-3 Open planoffice เพื่อหาสภาพทางอะคูสติกของสำนักงาน ตามเงื่อนไขของข้อกำหนด

ตารางที่ 7 ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการทดลองตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 3382-3 (2012)

ผลการทดลอง	อัตราการลดลงของระดับเสียง (D_2s)	ระดับเสียงที่ระยะ 4 เมตร	ระยะทางเมื่อ STI=0.50
ISO 3382-3	≥7 dB	≤ 48 dB	≤ 5 M.
BASECASE	4.91 dB	57.73 dB	ไม่มี

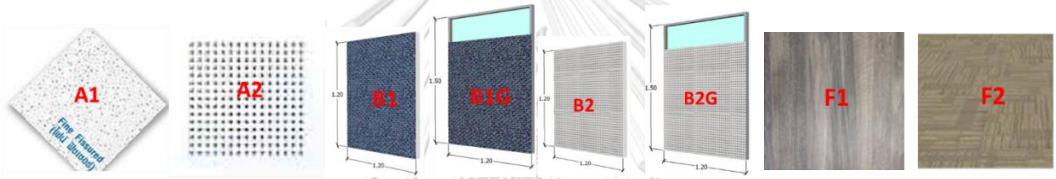
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 ตัวแปรในงานวิจัย

การดูดซับเสียง (Sound Absorption) เป็นการทำให้พลังงานเสียงมีแนวโน้มที่ลดน้อยลงเมื่อผ่านตัวกลางใดๆ ซึ่งก็คือ เมื่อคลื่นเสียงสัมผัสกับพื้นผิวของวัสดุ เสียงส่วนหนึ่งถูกสะท้อน ส่วนหนึ่งถูกส่งผ่านออกไป และส่วนที่เหลือถูกดูดซับโดยตัวของวัสดุนั่นเอง ดังนั้นวัสดุดูดซับเสียงจึงเป็นวัสดุที่ช่วยลดพลังงานของคลื่นเสียงที่ตกกระทบทำให้แอมพลิจูดของเสียงสะท้อนลดลง วัสดุที่สามารถดูดซับเสียงได้โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นเส้นใย (fibrous) หรือรูพรุน (porous) ตัวอย่างวัสดุดังกล่าว เช่น เส้นใยแก้ว ใยหิน และวัสดุโฟม เป็นต้น วัสดุที่มีรูพรุนถูกใช้ในการควบคุมเสียงรบกวน สามารถแบ่งเป็นประเภทได้เป็นแผ่นเส้นใย หรือเป็นวัสดุโฟมที่มีรูพรุน

กรณีแผ่นเส้นใยโดยทั่วไปประกอบด้วยเส้นใยแก้ว หรือ ใยหิน หรือ เส้นใยพอลิเอสเทอร์ ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับเสียงได้สูง นอกจากนี้ยังมีการนำเส้นใยชนิดทนไฟมาใช้ในการทำเป็นผลิตภัณฑ์ดูดซับเสียงด้วย วัสดุดูดซับเสียงทำหน้าที่กั้นคลื่นเสียง และลดพลังงานของคลื่นเสียงโดยการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ทางกลของอนุภาคอากาศให้กลายเป็นความร้อนที่มีพลังงานต่ำ หลักการทำงานนี้มีส่วนช่วยในการป้องกันการสะสมของเสียงในพื้นที่ปิด และลดปริมาณการสะท้อนของเสียงลง

ตัวแปรอิสระ คือ วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง(NRC) หมายถึงวัสดุที่มีรูพรุนซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดเสียงสะท้อนกลับ เมื่อคลื่นเสียงวิ่งกระทบวัสดุ จะมีบางส่วนของพลังงานเสียงถูกดูดซับและที่เหลือจะสะท้อนกลับ ระบุค่าเป็นตัวเลขตั้งแต่ 0–1 ที่แสดงความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุ ตัวอย่าง เช่น ความสามารถในการดูดซับเสียง 100% แสดงถึงคลื่นเสียงถูกดูดซับทั้งหมดโดยไม่มีคลื่นเสียงสะท้อนกลับงานวิจัยได้กำหนดใช้วัสดุที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง(NRC) ในพื้นที่ของระนาบพื้นผิว ฝ้าเพดาน, พื้น และแผงกั้นส่วน โดยพิจารณาความสูงในการติดตั้งร่วมด้วย (ผนวก ข.)



ภาพที่ 26 วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง วัสดุผ้าเพดาน, แผงกั้นส่วน และพื้น

คำอธิบายการจับคู่ตัวแปร

Ceiling basecaseวัสดุฝ้าเพดานยิปซัมชนิดทั่วไป ที่มีค่าการดูซับเสียง (NRC)ที่ 0.06

A1 คือ วัสดุฝ้าเพดานยิปซัมชนิดดูดซับเสียง ที่มีค่าการดูซับเสียง (NRC)ที่ 0.60

แผงกั้นส่วน 1.20, 1.50 เมตร วัสดุโครงไม้กรุไม่อัดยางทาสี ไม่มีผลในการซับเสียง

A2 คือ วัสดุฝ้าเพดานยิปซัมชนิดดูดซับเสียง ที่มีค่าการดูซับเสียง (NRC)ที่ 0.80

แผงกั้นส่วน basecase วัสดุไม้อัดทาสี ที่มีค่าการดูซับเสียง (NRC)ที่ 0.17

B1 คือ แผงกั้นส่วนสูง 1.20 เมตรปิดวัสดุหุ้มผ้า ที่มีค่าการดูซับเสียง (NRC)ที่ 0.50

B1G คือ แผงกั้นส่วนสูง 1.50 เมตรปิดวัสดุหุ้มผ้า ที่มีค่าการดูซับเสียง (NRC)ที่ 0.50 และกระจกใสหนา 6 เมตร

B2 คือ แผงกั้นส่วนสูง 1.20 เมตรปิดวัสดุหุ้มผ้า ที่มีค่าการดูซับเสียง (NRC)ที่ 0.60

B2G คือ แผงกั้นส่วนสูง 1.50 เมตรปิดวัสดุหุ้มผ้า ที่มีค่าการดูซับเสียง (NRC)ที่ 0.60 และกระจกใสหนา 6 เมตร

Floor basecaseวัสดุกระเบื้องเซรามิค ที่มีค่าการดูซับเสียง (NRC)ที่ 0.03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

F1 คือ พื้นกระเบื้องยางที่มีค่าการดูซับเสียง (NRC)ที่ 0.05

F2 คือ พื้นพรมชนิดแผ่นพร้อมโฟมยาง ที่มีค่าการดูซับเสียง (NRC)ที่ 0.55

ตารางที่ 8 วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียงที่ใช้ในการทดลอง

สัญลักษณ์	วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง	ค่าการดูดซับเสียง (NRC)
A1	ฝ้าเพดานยิปซั่มชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.60
A2	ฝ้าเพดานยิปซั่มชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.80
B1	แผงกั้นส่วน ชนิดไฟเบอร์กลาสหุ้มผ้า	0.50
B2	แผงกั้นส่วน โครงโลหะชุบสังกะสีปิดยิปซั่มอะคูสติกทาสี	0.60
F1	พื้นกระเบื้องยาง	0.05
F2	พื้นพรม	0.55

ตัวแปรตาม คือ ระดับความดันเสียง (SPL) และระดับดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) ประเมินผลตามเกณฑ์คุณภาพอะคูสติก ISO 3382-3 Acoustics-Measurement of room acoustic parameters Part 3: Open plan offices เกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลในสำนักงานแบบเปิดโล่งโดยเฉพาะ ถูกกำหนดโดยทีมงานวิจัยในระดับสากล กำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ SPL และ STI ภายในสำนักงานแบบเปิดโล่ง (Open-plan office) ควรมีแนวโน้มการลดลงหรือการสลายตัวของระดับเสียงมากกว่า 7 dB เมื่อระยะทางที่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า(D2s) ระดับความดันเสียงที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ระยะ 4 เมตร น้อยกว่าหรือเท่ากับ 48 dB ระยะทางที่ดัชนีการส่งผ่านเสียงพูด(STI) ที่ 0.50 ไม่ควรเกิน 5 -10 เมตร จากแหล่งกำเนิดเสียงพูด ใช้ในการประเมินสภาพแวดล้อมที่มีความเป็นส่วนตัวในคำพูด และการลดลงของเสียงรบกวนจากการสนทนา

ตัวแปรตาม ดังต่อไปนี้

- ระดับความดันเสียง (SPL) และ ระดับดัชนีความเข้าใจในเสียงพูด (STI)
- เงื่อนไขสภาพอางอะคูสติกตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 3380-3 (2012) :Acoustic

ตารางที่ 9 เกณฑ์มาตรฐานการประเมินผลสภาพแวดล้อมทางอะคูสติกในสำนักงานแบบเปิดโล่ง ISO 3382-3 2012(EN)

ISO 3382-3	อัตราการลดลงของระดับเสียง (D^2,s)	ระดับเสียงระยะ 4 เมตร (dBA)	ระยะทางเมื่อ STI=0.50(rD)
GOOD	≥ 7 dB	≤ 48 dB	≤ 5 m.
POOR	< 5 dB	> 50 dB	>10 m.

ที่มา : (Utami et al., 2014)

ตารางที่ 10 เงื่อนไขระดับเสียงต่อสภาพแวดล้อมในสำนักงานแบบเปิดโล่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สภาพแวดล้อมเสียงที่ดี	สภาพแวดล้อมเสียงที่ไม่ดี
- อัตราการลดลงของระดับความดันเสียง ต่อระยะทางที่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า (D2,s) ควบคุมอัตราการลดลงของเสียงมากกว่าหรือเท่ากับ 7 dB - ควบคุมระดับเสียงในระยะ 4 เมตรจากแหล่งกำเนิดเสียงให้อยู่ในระดับน้อยกว่าหรือเท่ากับ 48 dBA - ควบคุมดัชนีความเข้าใจในคำพูด (ที่ระดับ STI=0.50) จากแหล่งกำเนิดเสียงให้ระยะห่าง น้อยกว่าหรือเท่ากับ5 เมตร	- อัตราการลดลงของระดับความดันเสียง ต่อระยะทางที่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า (D2,s) ควบคุมอัตราการลดลงของเสียงได้น้อยกว่า 5 dB - ควบคุมระดับเสียงในระยะ 4 เมตรจากแหล่งกำเนิดเสียงให้อยู่ในระดับเกินกว่า 50 dBA - ควบคุมดัชนีความเข้าใจในคำพูด (ที่ระดับ STI=0.50) จากแหล่งกำเนิดเสียงให้ระยะห่างมากกว่า 10 เมตร

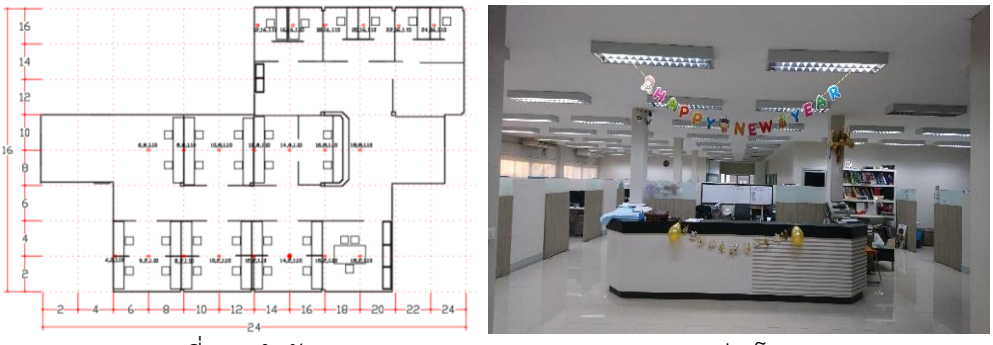
3.4 วิเคราะห์สถานที่ทดลอง

สำนักงานแบบเปิดโล่ง คือ พื้นที่ทำงานที่ใช้แผงกั้นส่วนระหว่างบุคคล และกลุ่มงาน ในการแบ่งพื้นที่ภายในอาคาร สำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ จัดพื้นที่เป็น 3 กลุ่มงาน โดยพื้นที่กลางเป็นพื้นที่งานด้านเอกสาร พื้นที่ฝั่งซ้ายและขวาเป็นงานด้านการออกแบบและเขียนแบบ ปริมาณพื้นที่ 257 ตารางเมตรความสูงฝ้าเพดาน 3.00 เมตรระยะห่างของโต๊ะทำงานที่ 2.00 เมตรวัสดุในการตกแต่งสำนักงานระบุไว้ใน ตารางที่ 18

ตารางที่ 11 ค่าการดูดซับเสียง ในสำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ

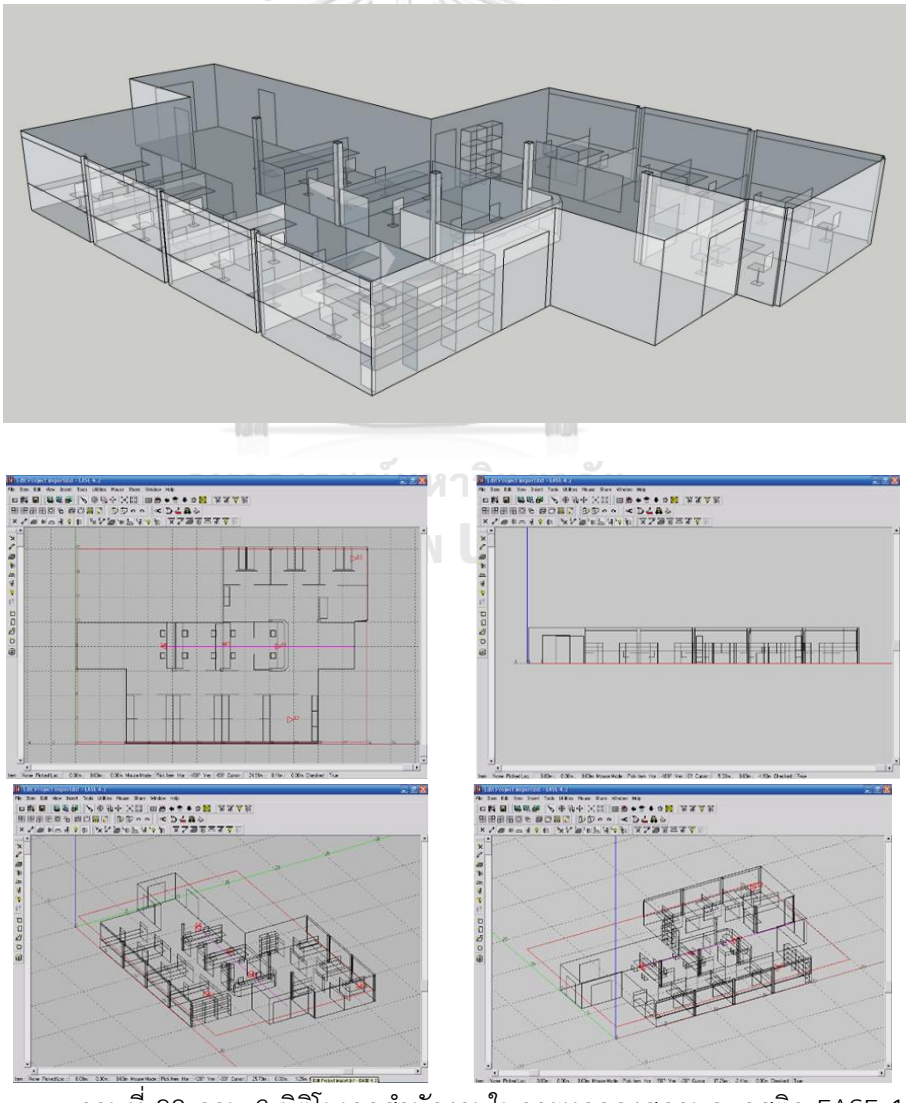
วัสดุที่ใช้สำนักงาน	**ค่าการดูดซับเสียง(NRC)**
วัสดุพื้นกระเบื้อง	0.03
วัสดุผนังอาคาร ก่อปูนฉาบผิวเรียบทาสี	0.06
วัสดุฝ้าเพดานแผ่นยิปซัมฉาบเรียบ ทาสี	0.12
วัสดุแผงกั้นส่วนโครงไม้ปิดไม้อัดยาง ทาสี	0.17
เฟอร์นิเจอร์โครงไม้ปิดไม้อัดยาง	0.17
เก้าอี้บุฟองยางหุ้ม PVC	0.06
ประตูเฟรมอะลูมิเนียมภายในกระจกใส	0.19
ประตูไม้	0.07
หน้าต่างเฟรมอะลูมิเนียมภายในกระจกใส	0.07
ม่านปรับแสงแนวตั้ง	0.06

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

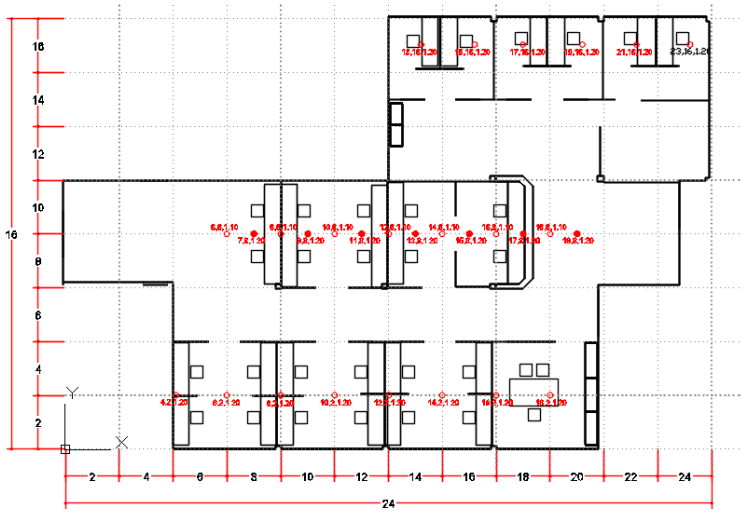


ภาพที่ 27 สำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ

กำหนดตัวแปรที่นำมาทำการศึกษา และเกณฑ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในการประเมินผล ตัวแปรควบคุม สำนักงานกองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศเป็นสำนักงานที่ทำหน้าที่วางแผนงานออกแบบ และคุมควมงานก่อสร้างภายในกองทัพอากาศ



ภาพที่ 28 ภาพ 3 มิติโมเดลสำนักงานในการทดลองสภาพอะคูสติก EASE 4.2



ภาพที่ 29 ตำแหน่งในการติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียงและตำแหน่งรับเสียงในการทดลอง

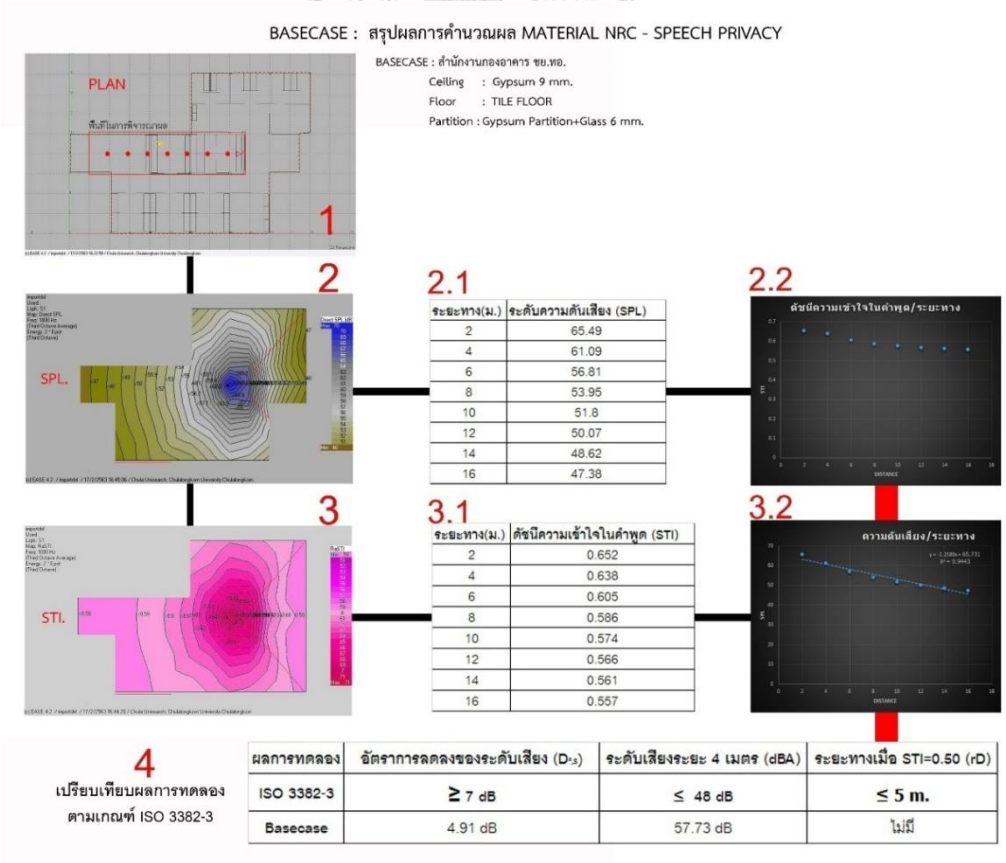
ภาพที่ 30 ภาพถ่ายสำนักงานที่ใช้ในการทดลอง

3.5 การศึกษาวิจัยนำร่อง (PILOT STUDY)

ข้อมูลจากการสำรวจสำนักงานแบบเปิดโล่ง การจัดแบ่งเป็นกลุ่มงาน ใช้แผงกั้นส่วนแบ่งออกเป็น 3 พื้นที่หลัก ในแผนกออกแบบและก่อสร้าง กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ นำมาจำลองโมเดลเพื่อศึกษา ความสัมพันธ์พื้นผิวของวัสดุที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาเสียงรบกวนในพื้นที่ทำงาน ข้อมูลสำนักงาน ดังต่อไปนี้

- แผนกออกแบบ มีพนักงาน จำนวน 30 คน
- ลักษณะงาน คือ การออกแบบ เขียนแบบ อาคารภายในกองทัพอากาศ
- พื้นที่ 256 ตารางเมตร สูง 3.00 เมตร
- วัสดุที่ใช้การตกแต่ง ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 เมตร ฉาบเรียบ
- พื้นกระเบื้องพอร์ชเลนขนาด 60 x 60 เมตร
- แผงกั้นส่วนยิปซั่มบอร์ดหนา 9 เมตร ฉาบเรียบทาสี และปิดผิวลามิเนท
- ผนังก่ออิฐทาสี ,ยิปซั่มบอร์ดหนา 9 เมตร และช่องแสง เฟรมลูมิเนียม กระจกใส หนา 6 เมตร

BASECASE :สำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ



ระยะทาง(ม.)	ระดับความดันเสียง (SPL)
2	65.49
4	61.09
6	56.81
8	53.95
10	51.8
12	50.07
14	48.62
16	47.38

ระยะทาง(ม.)	ดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI)
2	0.652
4	0.638
6	0.605
8	0.586
10	0.574
12	0.566
14	0.561
16	0.557

ผลการทดลอง	อัตราการลดลงของระดับเสียง ($D_{2,5}$)	ระดับเสียงระยะ 4 เมตร (dBA)	ระยะทางเมื่อ STI=0.50 (rD)
ISO 3382-3	≥ 7 dB	≤ 48 dB	≤ 5 m.
Basecase	4.91 dB	57.73 dB	ไม่มี

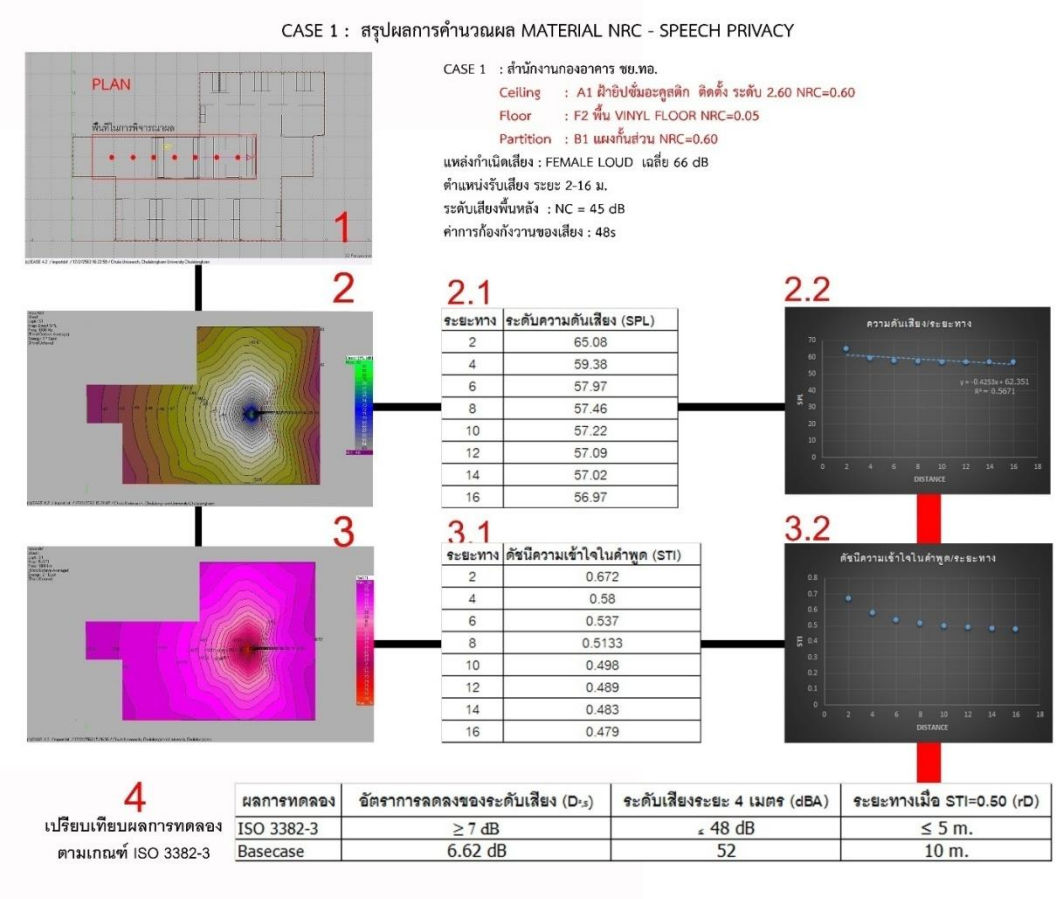
ภาพที่ 31 ขั้นตอนการคำนวณและประเมินผล BASECASE

จากการจำลองโมเดล ผลปรากฏว่า สำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร ไม่อยู่ในเงื่อนไขสภาพแวดล้อมเสียงที่ดี ไม่มีความเป็นส่วนตัวในคำพูด เนื่องจากพื้นผิวที่ใช้ในการตกแต่ง ดังนี้

- ฝ้าเพดานยิปซั่มฉาบเรียบ มีค่าสัมประสิทธ์การดูดซับเสียง
- พื้นกระเบื้องพอร์ชเลนที่มีผิวสะท้อนเสียง
- แผงกั้นส่วนยิปซั่มฉาบเรียบ และผิวลามิเนทไม่มีค่าสัมประสิทธ์ในการดูดซับเสียงพูด แต่สามารถใช้กั้นระดับความดันเสียงได้บ้าง
- ระยะในการจัดผัง มีระยะห่างพอสมควรสามารถใช้ในการทำงานได้สะดวก

หมายเหตุ : ควรได้รับการปรับปรุงโดยการนำวัสดุอะคูสติกมาใช้ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหารบกวนจากเสียงสนทนา

CASE 1 :ทดลองการใช้ตัวแปรวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง A1, B1, F2

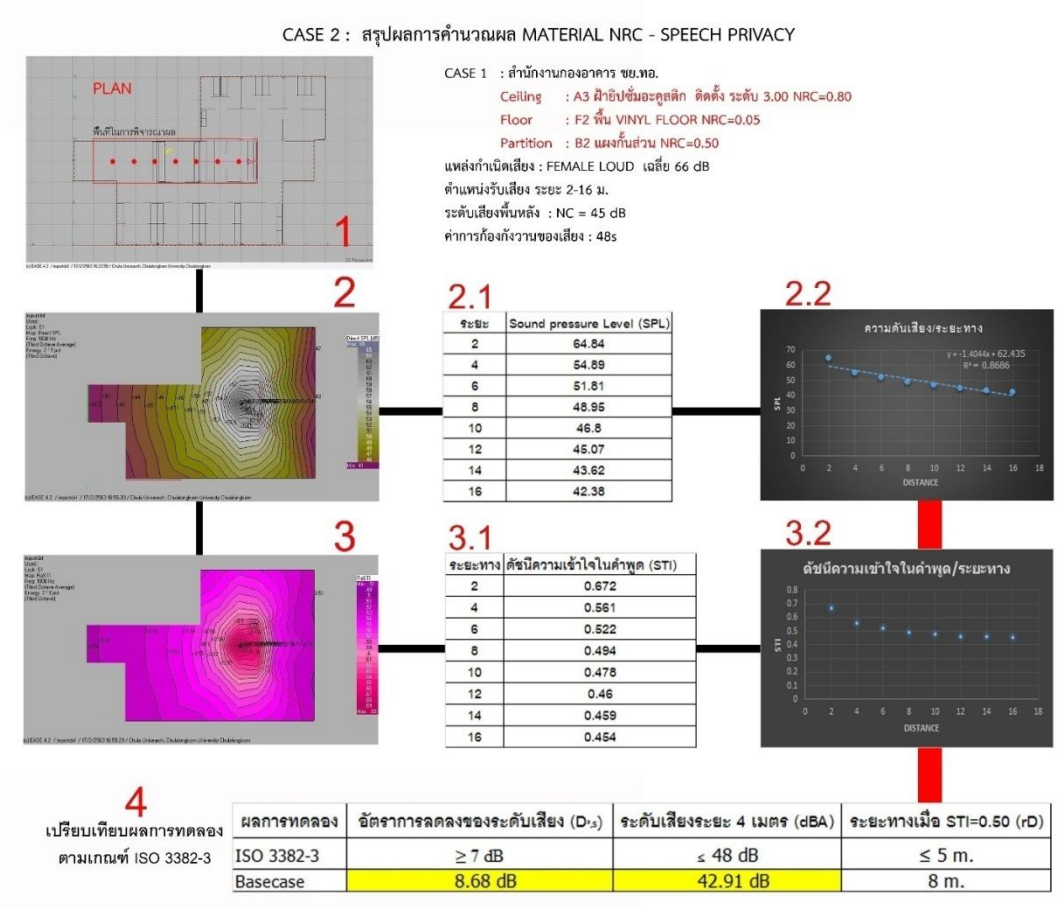


ภาพที่ 32 ขั้นตอนการคำนวณและประเมินผล CASE 1

จากการจำลองโมเดล CASE 1 ผลปรากฏว่า สำนักงานแผนกออกแบบกองอาคาร ยังไม่อยู่ในเงื่อนไขสภาพแวดล้อมเสียงที่ดี ไม่มีความเป็นส่วนตัวในคำพูด ในการทดลองแก้ไข มีผลใกล้เคียงระดับเกณฑ์มาตรฐานดังนี้

- อัตราการสลายตัวของเสียงเมื่อระยะทางเป็น 2 เท่า ต่างจากเกณฑ์ 0.38 dB
- ระดับเสียงในระยะ 4 เมตร (dBA) ต่างจากเกณฑ์ 4 dB
- ระยะทางเมื่อดัชนีความเข้าใจในคำพูด ต่างจากเกณฑ์ 5 เมตร ในข้อนี้ยังต้องมีการศึกษาวิธีการแก้ไขต่อไป

CASE 2 :ทดลองการใช้ตัวแปรวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง A1, B1, F2



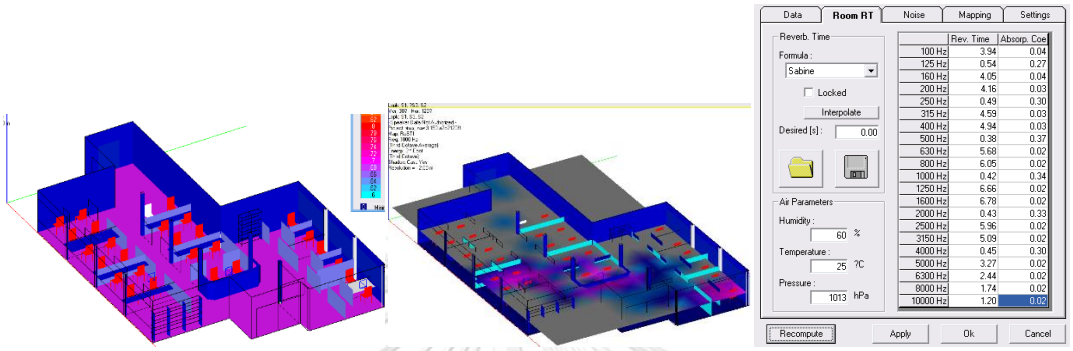
ภาพที่ 33 ขั้นตอนการคำนวณและประเมินผล CASE 2

จากการจำลองโมเดล CASE 2 ผลปรากฏว่า สำนักงานแผนกออกแบบกองอาคาร มีผลตามเงื่อนไขสภาพแวดล้อมเสียงที่ดี 2 ข้อ และยังไม่มีระยะความเป็นส่วนตัวในคำพูดดังนี้

- อัตราการสลายตัวของเสียงเมื่อระยะทางเป็น 2 เท่า มากกว่าเกณฑ์ 1.68 dB
- ระดับเสียงในระยะ 4 เมตร (dBA) ผลดีกว่าเกณฑ์ 5.09 dB
- ระยะทางเมื่อ ดัชนีความเข้าใจในคำพูด ต่างจากเกณฑ์ 3 เมตร ในข้อนี้ยังต้องมีการศึกษาวิธีการแก้ไขต่อไป

ตารางที่ 12 การวัดระดับความดันเสียงในสำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคารกรมช่างโยธาทหารอากาศ เปรียบเทียบการวัดระดับเสียงในโปรแกรมจำลองโมเดลวิเคราะห์เสียง EASE 4.2

ระยะห่างแหล่งเสียงกับจุดรับเสียง	2	4	6	8	10	12
เครื่องมือวัด ค่าระดับความดันเสียง (SPL)	65.00 dB	58.00 dB	57.00 dB	53.00 dB	51.00 dB	51.00 dB
โปแรกมจำลองซอฟแวร์EASE 4.2	65.39 dB	61.09 dB	56.81 dB	53.95 dB	51.80 dB	50.07 dB



ภาพที่ 34 ผลการคำนวณของกรณีศึกษาสัดส่วนพื้นผิวดูดซับเสียงต่อความเป็นส่วนตัวของคำพูดในสำนักงานแบบเปิดโล่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
อภิปรายผลการทดลอง

การออกแบบทางสถาปัตยกรรม นอกเหนือจากการวางพื้นที่การใช้งานต่างๆ ข้อคำนึงในการเลือกใช้วัสดุมาตกแต่งที่มากกว่าให้เกิดความสวยงามแล้วนั้น คุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุเป็นสิ่งที่นักออกแบบต้องคำนึงและศึกษาในการนำมาใช้ให้ถูกต้อง ทั้งในด้านหลักการเลือกใช้ ตำแหน่งการติดตั้ง, วิธีการติดตั้ง และสิ่งที่ขาดไม่ได้คือเรื่องการดูแลรักษาความสะอาด เพื่อให้เกิดประสิทธิผลในการใช้งาน ตรงตามเป้าหมายในการออกแบบอาคาร เพื่อความสะดวกสบาย และปลอดภัย

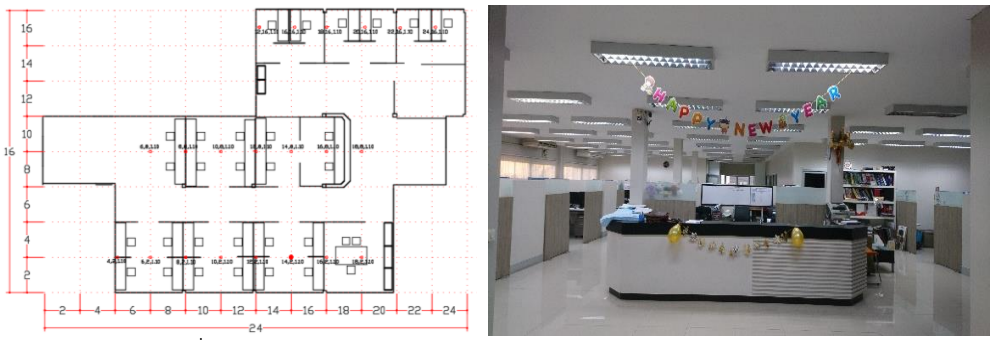
4.1 ข้อมูลจากการสำรวจสำนักงานแบบเปิดโล่งที่ใช้เป็นต้นแบบในการทำ Pilot Test

สำนักงานแบบเปิดโล่ง คือ พื้นที่ทำงานที่ใช้แผงกั้นส่วนระหว่างบุคคล และกลุ่มงาน ในการแบ่งพื้นที่ภายในอาคาร สำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ จัดพื้นที่เป็น 3 กลุ่มงาน โดยพื้นที่กลางเป็นพื้นที่งานด้านเอกสาร พื้นที่ฝั่งซ้ายและขวาเป็นงานด้านการออกแบบและเขียนแบบ ปริมาณพื้นที่ 256 ตารางเมตร ความสูงฝ้าเพดาน 3.00 เมตร ระยะห่างของโต๊ะทำงานที่ 2.00 เมตร วัสดุในการตกแต่งสำนักงานระบุไว้ใน ตารางที่ 10

ตารางที่ 13 ค่าการดูดซับเสียง ในสำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ

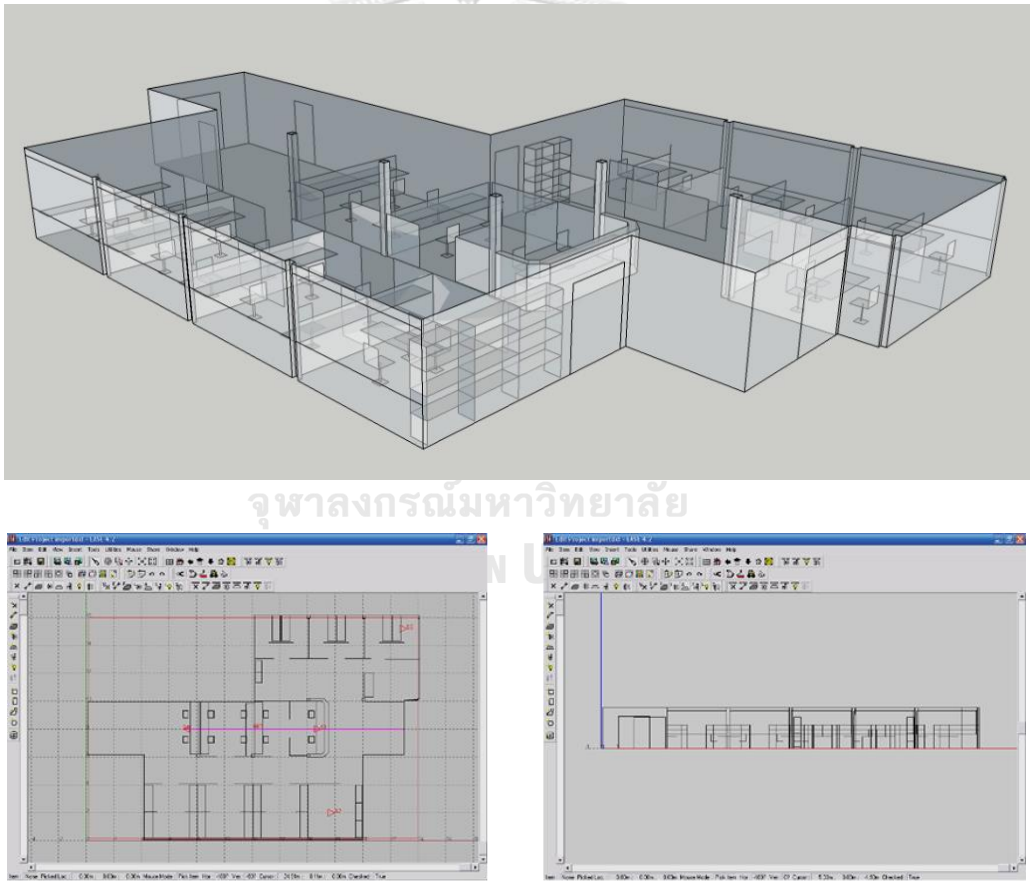
วัสดุที่ใช้สำนักงาน	ค่าการดูดซับเสียง(NRC)
วัสดุพื้นกระเบื้อง	0.03
วัสดุผนังอาคาร ก่อปูนฉาบผิวเรียบทาสี	0.06
วัสดุฝ้าเพดานแผ่นยิปซัมฉาบเรียบ ทาสี	0.12
วัสดุแผงกั้นส่วนโครงไม้ปิดไม้อัดยาง ทาสี	0.17
เฟอร์นิเจอร์โครงไม้ปิดไม้อัดยาง	0.17
เก้าอี้บุฟองยางหุ้ม PVC	0.06
ประตูเฟรมอะลูมิเนียมภายในกระจกใส	0.19
ประตูไม้	0.07
หน้าต่างเฟรมอะลูมิเนียมภายในกระจกใส	0.07
ม่านปรับแสงแนวตั้ง	0.06

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

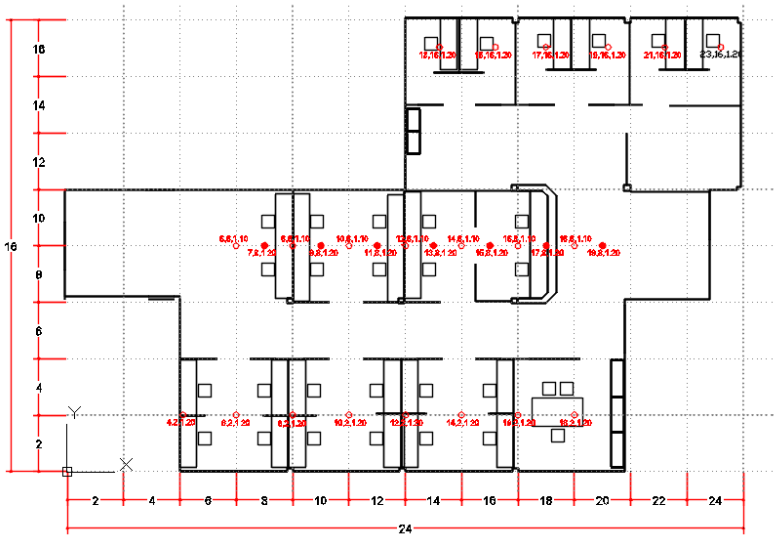


ภาพที่ 35 สำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ

กำหนดตัวแปร ที่นำมาทำการศึกษา และเกณฑ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในการประเมินผล ตัวแปรควบคุม สำนักงานกองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศเป็นสำนักงานที่ทำหน้าที่วางแผนงานออกแบบ และคุมควมงานก่อสร้างภายในกองทัพอากาศ



ภาพที่ 36 ภาพ 3 มิติโมเดลสำนักงานในการทดลองสภาพอะคูสติก EASE 4.2



ภาพที่ 37 ตำแหน่งในการติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียงและตำแหน่งรับเสียงในการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 38 ภาพถ่ายสำนักงานที่ใช้ในการทดลอง

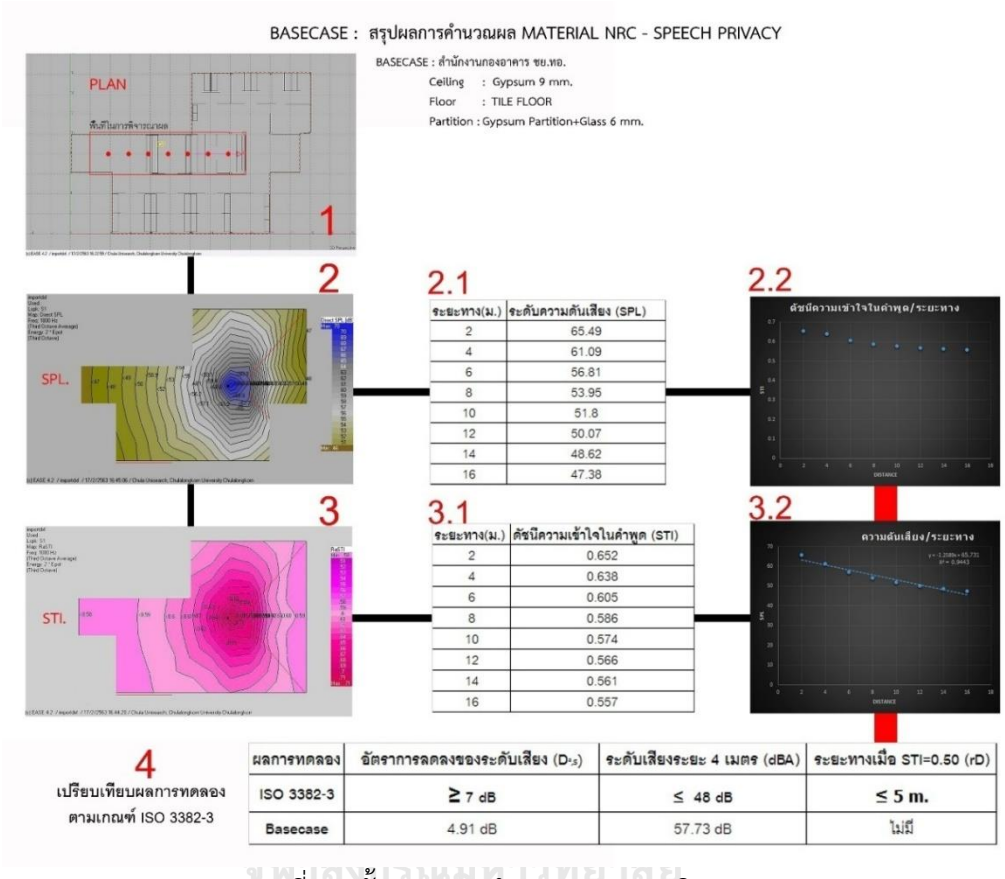
ข้อมูลจากการสำรวจสำนักงานแบบเปิดโล่ง การจัดแบ่งเป็นกลุ่มงาน ใช้แผงกั้นส่วนแบ่งออกเป็น 3 พื้นที่หลัก ในแผนกออกแบบและก่อสร้าง กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ นำมาจำลองโมเดลเพื่อศึกษา ความสัมพันธ์พื้นผิวของวัสดุที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาเสียงรบกวนในพื้นที่ทำงาน ข้อมูลสำนักงาน ดังต่อไปนี้

- แผนกออกแบบ มีพนักงาน จำนวน 30 คน
- ลักษณะงาน คือ การออกแบบ เขียนแบบ อาคารภายในกองทัพอากาศ
- พื้นที่ 256 ตารางเมตร สูง 3.00 เมตร
- วัสดุที่ใช้การตกแต่ง ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด หนา 9 เมตร ฉาบเรียบ
- พื้นกระเบื้องพอร์ชเลนขนาด 60 x 60 เมตร
- แผงกั้นส่วนยิปซั่มบอร์ดหนา 9 เมตร ฉาบเรียบทาสี และปิดผิวลามิเนท

- ผนังก่ออิฐทาสี ,ยิปซั่มบอร์ดหนา 9 เมตร และช่องแสง เฟรมลูมิเนียม กระจกใส หนา 6 เมตร

4.2 การวิเคราะห์ผลสภาพแวดล้อมอะคูสติกจากการทำ Pilot Test

BASECASE :สำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ



ระยะทาง(ม.)	ระดับความดันเสียง (SPL)
2	65.49
4	61.09
6	56.81
8	53.95
10	51.8
12	50.07
14	48.62
16	47.38

ระยะทาง(ม.)	ดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI)
2	0.652
4	0.638
6	0.605
8	0.586
10	0.574
12	0.566
14	0.561
16	0.557

ผลการทดลอง	อัตราการลดลงของระดับเสียง ($D_{2,S}$)	ระดับเสียงระยะ 4 เมตร (dBA)	ระยะทางเมื่อ STI=0.50 (rD)
ISO 3382-3	≥ 7 dB	≤ 48 dB	≤ 5 m.
Basecase	4.91 dB	57.73 dB	ไม่มี

ภาพที่ 39 ขั้นตอนการคำนวณและประเมินผล BASECASE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการจำลองโมเดล ผลปรากฏว่า สำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร ไม่อยู่ในเงื่อนไขสภาพแวดล้อมเสียงที่ดี ไม่มีความเป็นส่วนตัวในคำพูด เนื่องจากพื้นผิวที่ใช้ในการตกแต่ง ดังนี้

- ฝ้าเพดานยิปซั่มฉาบเรียบ มีค่าสัมประสิทธ์การดูดซับเสียง
- พื้นกระเบื้องพอร์ชเลนที่มีผิวสะท้อนเสียง
- แผงกั้นส่วนยิปซั่มฉาบเรียบ และผิวลามิเนทไม่มีค่าสัมประสิทธ์ในการดูดซับเสียงพูด แต่สามารถใช้กั้นระดับความดันเสียงได้บ้าง
- ระยะในการจัดผัง มีระยะห่างพอสมควรสามารถใช้ในการทำงานได้สะดวก

หมายเหตุ : ควรได้รับการปรับปรุงโดยการนำวัสดุอะคูสติกมาใช้ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหารบกวนจากเสียงสนทนา ซึ่งผลที่วิเคราะห์จากซอฟท์แวร์สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากกากวิเคราะห์กับสภาพแวดล้อมจริงจากการวัด

4.3 เปรียบเทียบวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง

4.3.1 สำนักงานทั่วไปที่ไม่มีการสร้างสภาพแวดล้อมทางอะคูสติก

ติดตั้งวัสดุที่ไม่ได้คำนวณคุณสมบัติในการดูดซับเสียง และตำแหน่งในการติดตั้ง

ตารางที่ 14 ค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ ในสำนักงานแผนกออกแบบ กองอาคาร กรมช่างโยธาทหารอากาศ

วัสดุที่ใช้สำนักงาน	ค่าการดูดซับเสียง(NRC)
วัสดุพื้นกระเบื้อง	0.03
วัสดุผนังอาคาร ก่ออิฐฉาบผิวเรียบทาสี	0.06
วัสดุฝ้าเพดานแผ่นยิปซัมฉาบเรียบ ทาสี	0.12
วัสดุแผงกั้นส่วนโครงไม้ปิดไม้อัดยาง	0.17
เฟอร์นิเจอร์โครงไม้ปิดไม้อัดยาง	0.17
เก้าอี้บุฟองยางหุ้ม PVC	0.06
ประตูเฟรมอะลูมิเนียมภายในกระจกใส	0.19
ประตูไม้	0.07
หน้าต่างเฟรมอะลูมิเนียมภายในกระจกใส	0.07
ม่านปรับแสงแนวตั้ง	0.06

4.3.2 ปรับปรุงโดยการเลือกวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง

ตัวแปรต้น เพื่อวิเคราะห์ และคำนวณความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับความดันเสียง (SPL) และดัชนีความเข้าในคำพูด (STI) ประเมินผลตามเกณฑ์มาตรฐานเงื่อนไขทางอะคูสติกในสำนักงานแบบเปิดโล่ง ISO 3382-3

ตารางที่ 15 ค่าการการดูดซับเสียงของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง และระดับในการติดตั้ง

สัญลักษณ์	วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง	ระดับติดตั้ง	ค่าการดูดซับเสียง (NRC)
A1	ฝ้าเพดานยิปซั่มชนิดอะคูสติกเจาะรู	2.60, 3.00, 3.40 เมตร	0.60
A2	ฝ้าเพดานยิปซั่มชนิดอะคูสติกเจาะรู	2.60, 3.00, 3.40 เมตร	0.80
B1	แผงกั้นส่วน ชนิดไฟเบอร์กลาสหุ้มผ้า	1.20 เมตร	0.50
B2	แผงกั้นส่วน โครงโลหะชุบสังกะสีปิดแผ่นยิปซั่มอะคูสติกทาสี	1.50 เมตร	0.60
F1	พื้นกระเบื้องยาง	+-0.00	0.05
F2	พื้นพรม	+-0.00	0.55

4.4 เปรียบเทียบผลการทดลอง ก่อนและหลังการปรับปรุงสำนักงานแบบเปิดโล่งด้านอะคูสติก

การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ในการเลือกใช้วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง ติดตั้งที่ พื้น, แผงกั้นส่วน, และฝ้าเพดาน ในงานวิจัยมุ่งเน้นไปที่การควบคุมในพื้นที่ที่มีปริมาณมาก ที่สัมพันธ์กับช่องว่าง คือ ฝ้าเพดาน จึงกำหนดให้วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียงในตำแหน่งติดตั้งที่ฝ้าเพดาน เป็นหลัก โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก 4 กลุ่มย่อย โดยกลุ่มที่1 ติดตั้งทั่วทั้งพื้นที่ฝ้าเพดานในสำนักงาน ตามตารางทดลอง 1-36 และกลุ่มที่ 2 ติดตั้งเฉพาะเหนือพื้นที่กลุ่มทำงาน ตามตารางทดลอง S1-S36

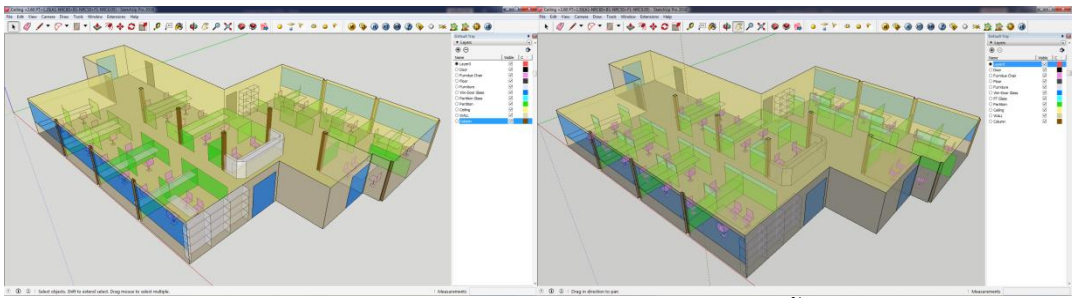
กลุ่มทดลองที่ 1 กำหนดวัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC 0.60 ระดับความสูงฝ้าเพดาน ที่ระดับ 2.60 เมตร, 3.00 เมตร และ 3.40 เมตร เพื่อหาความสัมพันธ์ต่อความสูงแผงกั้นส่วนที่ใช้วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC 0.50, 0.60 ระดับความสูงแผงกั้นส่วนที่ 1.20 เมตร, 1.50 เมตร และวัสดุพื้นกระเบื้องยาง และพื้นพรม ตามลำดับ

ตารางที่ 16 การจับคู่ตัวแปรในการทดลองกลุ่มการทดลอง ที่ 1-18 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60

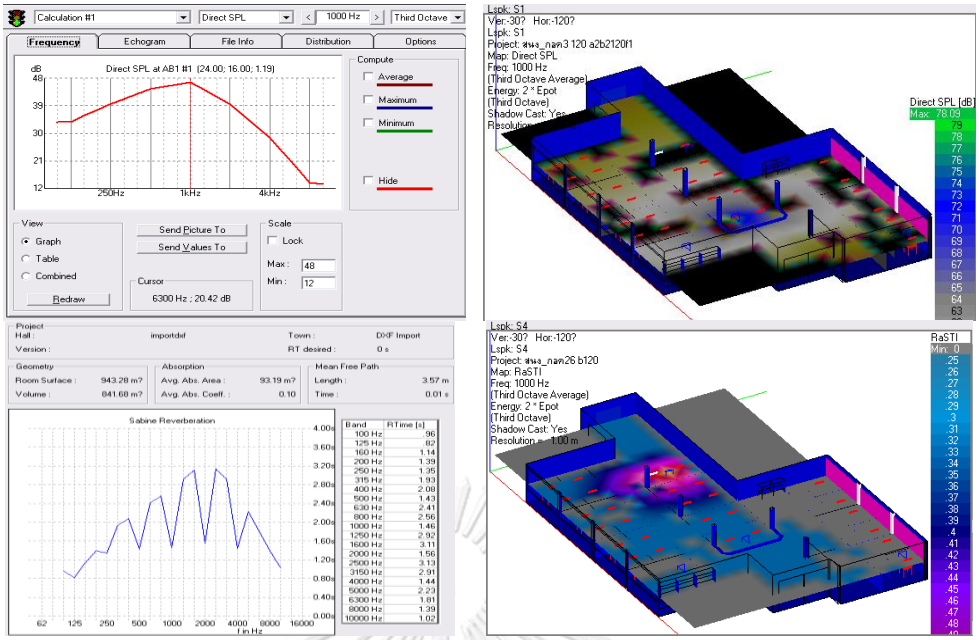
ความสูงฝ้าเพดาน	***A1 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.60***											
2.60 m.	***1***	A1+ B1:1.20m + F1	***2***	A1 + B1G+1.50m. +F1	***3***	A1 + B2:1.20m + F2	***4***	A1 + B2G:1.50m. +F2	***5***	A1 + B3:1.20m + F1	***6***	A1 + B3G:1.50m. +F2
3.00 m.	***7***	A1+ B1:1.20m + F1	***8***	A1 + B1G+1.50m. +F1	***9***	A1 + B2:1.20m + F2	***10***	A1 + B2G:1.50m. +F2	***11***	A1 + B3:1.20m + F1	***12***	A1 + B3G:1.50m. +F2
3.40 m.	***13***	A1+ B1:1.20m + F1	***14***	A1 + B1G+1.50m +F1	***15***	A1 + B2:1.20m + F2	***16***	A1 + B2G:1.50m. +F2	***17***	A1 + B3:1.20m + F1	***18***	A1 + B3G:1.50m. +F2

ตารางที่ 17 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลอง ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60

ความสูงฝ้าเพดาน	***A1 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.60***											
2.60 m.	***1***	A1+ B1:1.20m + F1	***2***	A1 + B1G+1.50m. +F1	***3***	A1 + B2:1.20m + F2	***4***	A1 + B2G:1.50m. +F2	***5***	A1 + B3:1.20m + F1	***6***	A1 + B3G:1.50m. +F2



ภาพที่ 40 ห้องทดลองที่ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร และ 1.50 เมตร



ภาพที่ 41 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2

ตารางที่ 18 ผลคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร และแผงกั้น 1.20 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	65.28	0.532	9,8,1.10	64.43	0.512	125	0.82
13,8,1.10	4	59.13	0.391	11,7,1.10	58.70	0.382	250	1.35
11,8,1.10	6	55.56	0.326	13,8,1.10	55.27	0.325	500	1.43
9,8,1.10	8	53.03	0.324	15,8,1.10	52.81	0.324	1000	1.46
7,8,1.10	10	53.03	0.324	17,8,1.10	50.89	0.324	2000	1.56
5,8,1.10	12	50.17	0.324	19,8,1.10	49.31	0.323	4000	1.44
							8000	1.39

ตารางที่ 19 ผลคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	65.61	0.540	9,8,1.10	64.73	0.519	125	0.81
13,8,1.10	4	59.30	0.396	11,7,1.10	58.86	0.386	250	1.33
11,8,1.10	6	53.43	0.336	13,8,1.10	55.38	0.326	500	1.42
9,8,1.10	8	49.95	0.335	15,8,1.10	52.89	0.325	1000	1.45
7,8,1.10	10	47.46	0.334	17,8,1.10	50.96	0.324	2000	1.55
5,8,1.10	12	45.53	0.334	19,8,1.10	49.37	0.324	4000	1.44
							8000	1.40

ตารางที่ 20 สรุปผลการทดลอง กลุ่มที่ 1 ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร (A1 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60)

ความสูงฝ้าเพดาน	*A1 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.60*											
2.60 m.	*1*	A1+ B1:1.20m + F1	*2*	A1 + B1G+1.50m. +F1	*3*	A1 + B2:1.20m + F2	*4*	A1 + B2G:1.50m. +F2	*5*	A1 + B3:1.20m + F1	*6*	A1 + B3G:1.50m. +F2
เกณฑ์ประเมินผล ISO 3382-3			**อัตราการลดลงของระดับเสียง (D^2,s)**				**ระดับเสียงระยะ 4 เมตร (dBA)**				**ระยะทางเมื่อ STI=0.50 (rD) เมตร**	
GOOD			*>7*				*<48*				*<5.00*	
POOR			*<5*				*>50*				*>10.00*	
ก่อนปรับปรุง 1แผงกั้นส่วนสูง 1.20 เมตร			6.15				55.44				2.50	
ก่อนปรับปรุง 2 แผงกั้นส่วนสูง 1.50 เมตร			6.31				55.52				2.60	
1			6.02				55.39				2.60	
2			6.31				55.96				3.50	
3			6.02				55.39				3.20	
4			6.31				55.52				3.50	
5			6.02				55.37				3.70	
6			6.31				55.52				3.75	

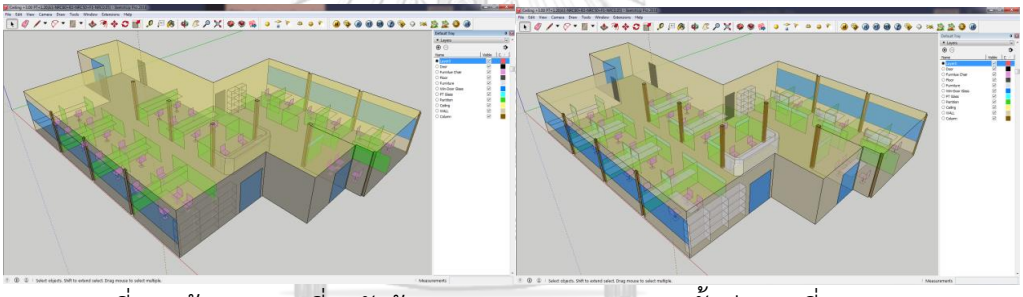
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการทดลองพบว่า สำนักงานที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร โมเดลทดลองที่ 4 มีผลในการปรับปรุงดีที่สุด โดยมีอัตราการสลายตัวของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และระยะทางเมื่อระดับดัชนีความเข้าใจในคำพูด STI=0.50 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในส่วนระดับความดันเสียงที่ระยะ 4 เมตร มีอัตราเกินไป 5.52 dBA รายละเอียดในการนำไปเป็นแนวทาง ดังนี้

- วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียงไม่ต่ำกว่า 0.60
- แผงกั้นส่วนมีความสูง 1.50 เมตรวัสดุปิดผิวลามิเนท
- พื้นพรมชนิดแผ่น

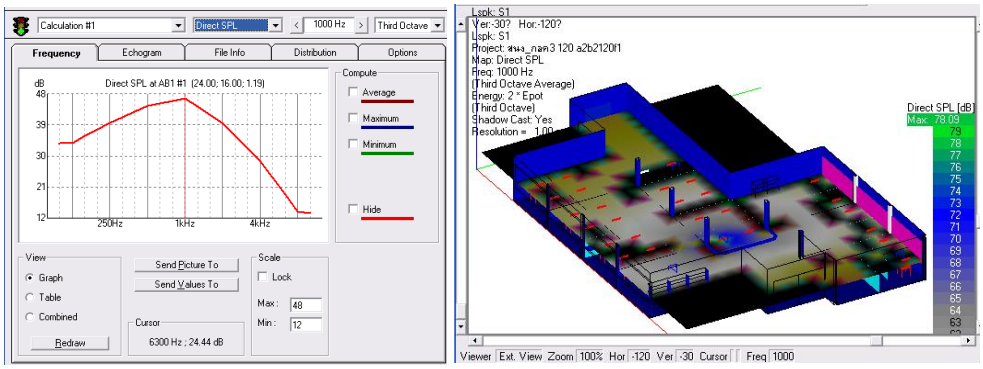
ตารางที่ 21 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลอง กลุ่มที่ 2 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร

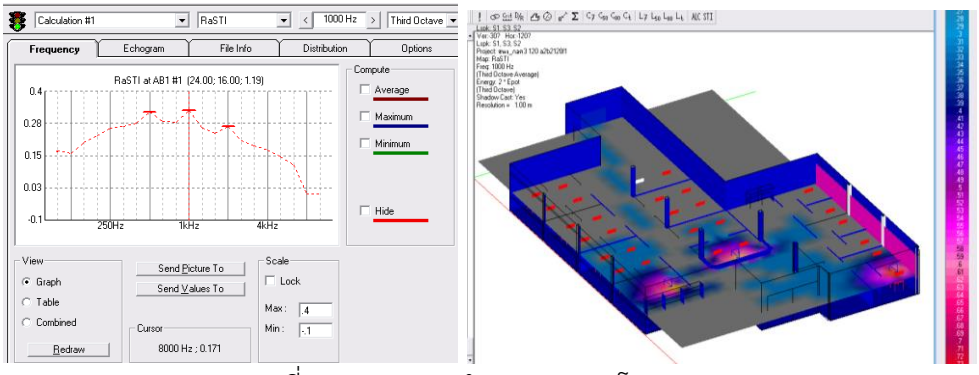
ความสูงฝ้าเพดาน	***A1 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.60***											
3.00 m.	***7***	A1+ B1:1.20m + F1	***8***	A1 + B1G+1.50m. +F1	***9***	A1 + B2:1.20m + F2	***10***	A1 + B2G:1.50m. +F2	***11***	A1 + B3:1.20m + F1	***12***	A1 + B3G:1.50m. +F2



ภาพที่ 42 ห้องทดลองที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร และ 1.50 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY





ภาพที่ 43 แสดงการคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2

ตารางที่ 22 แสดงผลการคำนวณกลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	69.73	0.528	9,8,1.10	63.72	0.498	125	0.80
13,8,1.10	4	61.63	0.450	11,7,1.10	58.50	0.380	250	1.33
11,8,1.10	6	56.23	0.332	13,8,1.10	55.17	0.327	500	1.41
9,8,1.10	8	53.59	0.326	15,8,1.10	52.76	0.326	1000	1.43
7,8,1.10	10	51.39	0.325	17,8,1.10	50.85	0.325	2000	1.51
5,8,1.10	12	49.81	0.325	19,8,1.10	49.21	0.325	4000	1.41
							8000	1.40

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 23 แสดงผลการคำนวณกลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	64.73	0.478	9,8,1.10	64.73	0.478	125	0.79
13,8,1.10	4	58.86	0.328	11,7,1.10	58.86	0.328	250	1.46
11,8,1.10	6	55.38	0.304	13,8,1.10	55.38	0.304	500	1.73
9,8,1.10	8	52.89	0.303	15,8,1.10	52.89	0.303	1000	2.00
7,8,1.10	10	50.96	0.303	17,8,1.10	50.96	0.303	2000	2.12
5,8,1.10	12	49.37	0.302	19,8,1.10	49.37	0.302	4000	2.80
							8000	1.37

จากผลการทดลองพบว่า สำนักงานที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร โมเดลทดลองที่ 9 มีผลในการปรับปรุงดีที่สุด โดยมีอัตราการสลายตัวของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และระยะทางเมื่อระดับดัชนีความเข้าใจในคำพูด STI=0.50 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในส่วนระดับความดันเสียงที่ระยะ 4 เมตร มีอัตราเกินไป 6.73 dBA รายละเอียดในการนำไปเป็นแนวทาง ดังนี้

- วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียงไม่ต่ำกว่า 0.60
- แผงกั้นส่วนมีความสูง 1.20 เมตรวัสดุปิดแผ่นยิปซั่มที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=80
- พื้นพรมชนิดแผ่น

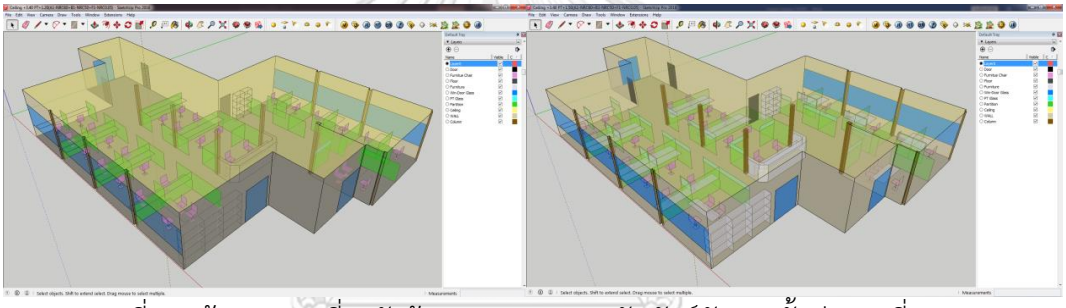
ตารางที่ 24 สรุปผลการทดลองกลุ่มที่ 2 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร (A1 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60)

ความสูงฝ้าเพดาน	***A1 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.60***											
3.00 m.	*7*	A1+ B1:1.20m + F1	*8*	A1 + B1G+1.50m. +F1	*9*	A1 + B2:1.20m + F2	*10*	A1 + B2G:1.50m. +F2	*11*	A1 + B3:1.20m + F1	*12*	A1 + B3G:1.50m. +F2
เกณฑ์ประเมินผล ISO 3382-3			**อัตราการลดลงของระดับเสียง (D^2,S)**				**ระดับเสียงระยะ 4 เมตร (dBA)**			**ระยะทางเมื่อ STI=0.50 (rD) เมตร**		
GOOD			*>7*				*<48*			*<5.00*		
POOR			*<5*				*>50*			*>10.00*		
ก่อนปรับปรุง 1แผงกั้นส่วนสูง 1.20 เมตร			8.10				58.37			2.75		
ก่อนปรับปรุง 2 แผงกั้นส่วนสูง 1.50 เมตร			5.87				55.01			2.00		
7			6.61				56.73			3.70		
8			5.87				55.01			3.30		
9			6.61				56.73			3.60		
10			5.87				55.01			3.15		
11			6.61				56.73			3.75		
12			5.87				55.01			3.20		

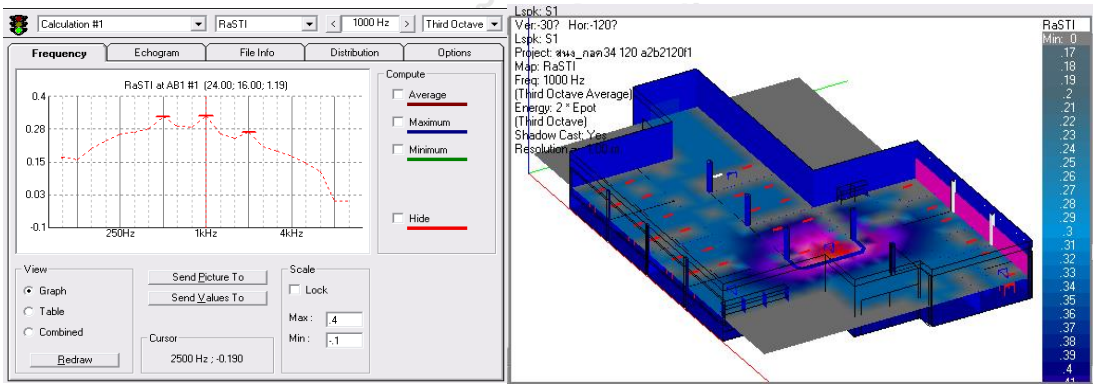
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

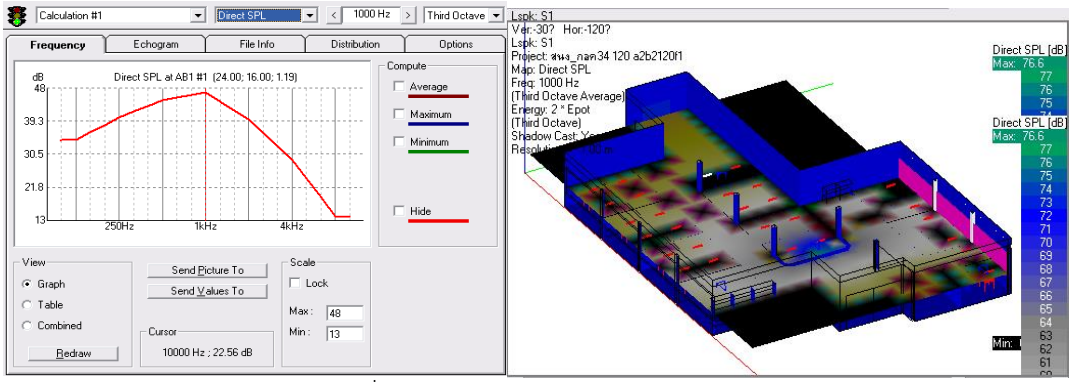
ตารางที่ 25 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลอง กลุ่มที่ 3 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร

ความสูงฝ้าเพดาน	***A1 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.60***											
3.40 m.	***13***	A1+ B1:1.20m + F1	***14***	A1 + B1G+1.50m. +F1	***15***	A1 + B2:1.20m + F2	***16***	A1 + B2G:1.50m. +F2	***17***	A1 + B3:1.20m + F1	***18***	A1 + B3G:1.50m. +F2



ภาพที่ 44 ห้องทดลองที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร และ 1.50 เมตร





ภาพที่ 45 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2

ตารางที่ 26 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	66.34	0.561	9,8,1.10	69.86	0.556	125	0.78
13,8,1.10	4	59.64	0.410	11,7,1.10	61.10	0.537	250	1.30
11,8,1.10	6	55.89	0.331	13,8,1.10	56.82	0.435	500	1.36
9,8,1.10	8	53.27	0.328	15,8,1.10	53.95	0.341	1000	1.38
7,8,1.10	10	50.88	0.327	17,8,1.10	51.80	0.325	2000	1.45
5,8,1.10	12	49.63	0.327	19,8,1.10	51.80	0.324	4000	1.36
							8000	1.38

ตารางที่ 27 ผลการคำนวณ ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	65.61	0.545	9,8,1.10	64.73	0.525	125	0.77
13,8,1.10	4	59.30	0.404	11,7,1.10	58.86	0.394	250	1.27
11,8,1.10	6	55.82	0.340	13,8,1.10	55.38	0.33	500	1.34

9,8,1.10	8	53.33	0.338	15,8,1.10	52.89	0.328	1000	1.37
7,8,1.10	10	51.40	0.338	17,8,1.10	50.96	0.328	2000	1.43
5,8,1.10	12	49.81	0.337	19,8,1.10	49.37	0.327	4000	1.34
							8000	1.38

จากผลการทดลองพบว่า สำนักงานที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร โมเดลทดลองที่ 17 มีผลในการปรับปรุงดีที่สุด โดยมีอัตราการสลายตัวของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และระยะทางเมื่อระดับดัชนีความเข้าใจในคำพูด STI=0.50 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในส่วนระดับความดันเสียงที่ระยะ 4 เมตร มีอัตราเกินไป 6.00 dBA รายละเอียดในการนำไปเป็นแนวทาง ดังนี้

- วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียงไม่ต่ำกว่า 0.60
- แผงกั้นส่วนมีความสูง 1.20 เมตรวัสดุปิดผิวลามิเนท
- พื้นกระเบื้องยาง

ตารางที่ 28 สรุปผลการทดลองกลุ่มที่ 3 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร (A1 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60)

ความสูงฝ้าเพดาน	***A1 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.60***											
3.40 m.	***13***	A1+ B1:1.20m + F1	***14***	A1 + B1G+1.50m +F1	***15***	A1 + B2:1.20m + F2	***16***	A1 + B2G:1.50m. +F2	***17***	A1 + B3:1.20m + F1	***18***	A1 + B3G:1.50m. +F2

เกณฑ์ประเมินผล ISO 3382-3	**อัตราการลดลงของระดับเสียง (D^2,S)**	**ระดับเสียงระยะ 4 เมตร (dBA)**	**ระยะทางเมื่อ STI=0.50 (rD) เมตร**
GOOD	*>7*	*<48*	*<5.00*
POOR	*<5*	*>50*	*>10.00*
ก่อนปรับปรุง 1แผงกั้นส่วนสูง 1.20 เมตร	6.70	56.00	2.85
ก่อนปรับปรุง 2 แผงกั้นส่วนสูง 1.50 เมตร	6.31	55.53	2.70
13	6.70	56.00	3.70
14	6.31	58.53	3.50
15	6.70	56.00	3.40
16	6.31	55.52	4.00
17	6.70	56.00	3.00
18	6.31	55.52	3.40

-

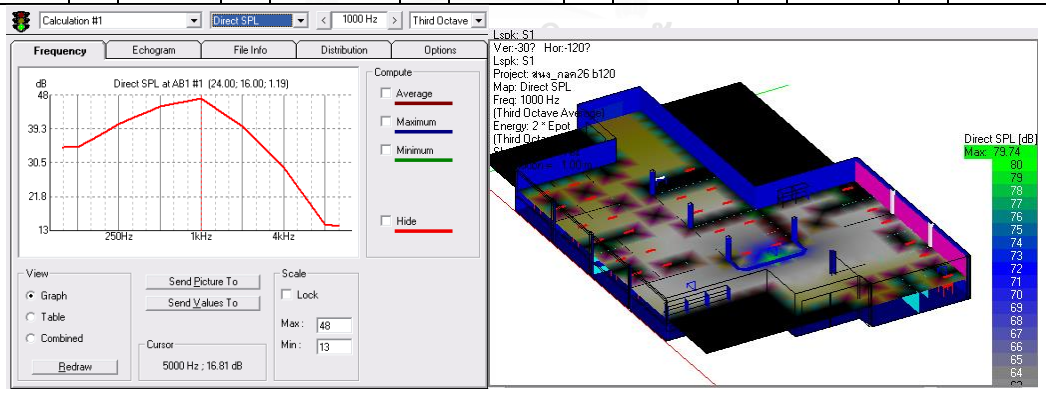
กลุ่มทดลองที่ 2 กำหนดวัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC 0.80 ระดับความสูงฝ้าเพดาน ที่ระดับ 2.60 เมตร, 3.00 เมตร และ 3.40 เมตร เพื่อหาความสัมพันธ์ต่อความสูงแผงกั้นส่วนที่ใช้วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC 0.50, 0.60 ระดับความสูงแผงกั้นส่วนที่ 1.20 เมตร, 1.50 เมตร และวัสดุพื้นกระเบื้องยาง และพื้นพรม ตามลำดับ

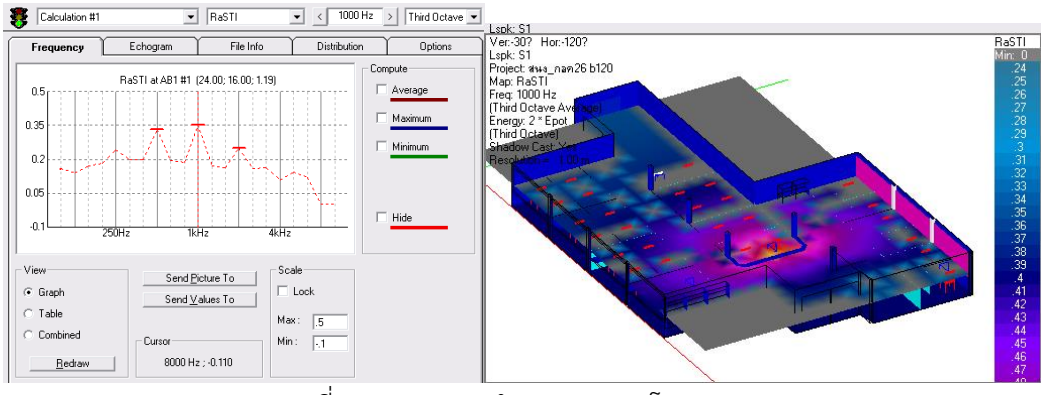
ตารางที่ 29 การจับคู่ตัวแปรในการทดลองกลุ่มการทดลอง ที่ 19-36

ความสูงฝ้าเพดาน	***A2 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC=0.80***											
2.60 m.	***19***	A2 + B1:1.20m + F1	***20***	A2 + B1G:1.50m. +F1	***21***	A2 + B2:1.20m + F2	***22***	A2 + B2G:1.50m. +F2	***23***	A2 + B3:1.20m. +F1	***24***	A2 + B3G:1.50m . +F2
3.00 m.	***25***	A2 + B1:1.20m + F1	***26***	A2 + B1G:1.50m. +F1	***27***	A2 + B2:1.20m + F2	***28***	A2 + B2G:1.50m. +F2	***29***	A2 + B3:1.20m. +F1	***30***	A2 + B3G:1.50m . +F2
3.40 m.	***31***	A2 + B1:1.20m + F1	***32***	A2 + B1G:1.50m. +F1	***33***	A2 + B2:1.20m + F2	***34***	A2 + B2G:1.50m. +F2	***35***	A2 + B3:1.20m. +F1	***36***	A2 + B3G:1.50m . +F2

ตารางที่ 30 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลองกลุ่มที่ 4 ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร

ความสูงฝ้าเพดาน	***A2 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC=0.80***											
2.60 m.	***19***	A2 + B1:1.20m + F1	***20***	A2 + B1G:1.50m. +F1	***21***	A2 + B2:1.20m + F2	***22***	A2 + B2G:1.50m. +F2	***23***	A2 + B3:1.20m. +F1	***24***	A2 + B3G:1.50m. +F2





ภาพที่ 46 แสดงการคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2

ตารางที่ 31 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลองBASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตรและแผงกั้น 1.20 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	65.11	0.562	9,8,1.10	63.40	0.562	125	0.55
13,8,1.10	4	59.09	0.466	11,7,1.10	58.40	0.466	250	0.47
11,8,1.10	6	55.32	0.421	13,8,1.10	55.13	0.421	500	0.37
9,8,1.10	8	53.02	0.397	15,8,1.10	52.73	0.397	1000	0.39
7,8,1.10	10	50.58	0.375	17,8,1.10	50.84	0.375	2000	0.40
5,8,1.10	12	49.46	0.366	19,8,1.10	49.28	0.366	4000	0.43
							8000	1.75

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 32 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	0.55	0.571	9,8,1.10	64.73	0.555	125	0.55
13,8,1.10	4	0.47	0.469	11,7,1.10	58.86	0.463	250	0.47
11,8,1.10	6	0.37	0.428	13,8,1.10	55.38	0.422	500	0.37
9,8,1.10	8	0.39	0.402	15,8,1.10	52.89	0.396	1000	0.39
7,8,1.10	10	0.40	0.385	17,8,1.10	50.96	0.379	2000	0.40

5,8,1.10	12	0.43	0.372	19,8,1.10	49.37	0.366	4000	0.43
							8000	1.74

ตารางที่ 33 สรุปผลการทดลองกลุ่มที่ 4 ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร (A2 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.80)

ความสูงฝ้าเพดาน	***A2 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC=0.80***											
2.60 m.	***19***	A2 + B1:1.20m + F1	***20***	A2 + B1G:1.50m. +F1	***21***	A2 + B2:1.20m + F2	***22***	A2 + B2G:1.50m. +F2	***23***	A2 + B3:1.20m. +F1	***24***	A2 + B3G:1.50m. +F2
เกณฑ์ประเมินผล ISO 3382-3	**อัตราการลดลงของระดับเสียง (D^2,s)**					**ระดับเสียงระยะ 4 เมตร (dBA)**				**ระยะทางเมื่อ STI=0.50 (rD) เมตร**		
GOOD	*>7*					*<48*				*<5.00*		
POOR	*<5*					*>50*				*>10.00*		
ก่อนปรับปรุง 1แผงกั้นส่วนสูง 1.20 เมตร	6.15					55.44				2.50		
ก่อนปรับปรุง 2 แผงกั้นส่วนสูง 1.50 เมตร	6.31					55.52				2.60		
19	6.02					55.39				3.30		
20	6.31					33.78				3.40		
21	6.02					55.39				3.00		
22	6.31					55.52				3.20		
23	6.02					55.39				3.40		
24	5.87					55.01				3.00		

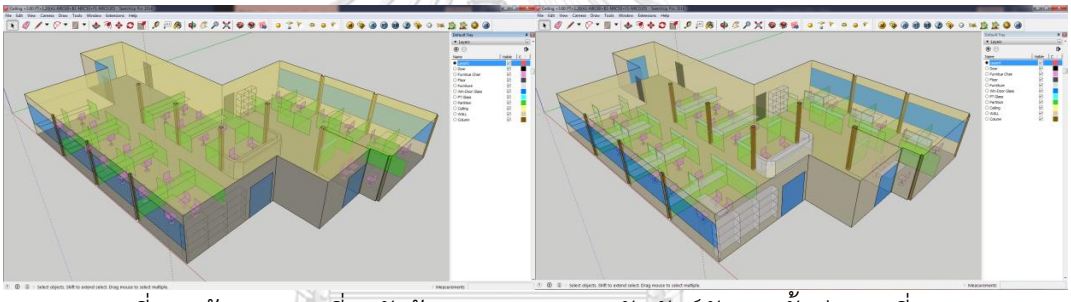
จากผลการทดลองพบว่า สำนักงานที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร โมเดลทดลองที่ 20 มีผลในการปรับปรุงดีที่สุด โดยมีอัตราการสลายตัวของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า, ส่วนระดับความดันเสียงที่ระยะ 4 เมตร และระยะทางเมื่อระดับดัชนีความเข้าใจในคำพูด STI=0.50 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี รายละเอียดในการนำไปเป็นแนวทาง ดังนี้

- วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียงไม่ต่ำกว่า 0.80
- แผงกั้นส่วนมีความสูง 1.50 เมตรวัสดุปิดผิวลามิเนท ติดกระจกใส 6 มมเมตร
- พื้นกระเบื้องยาง

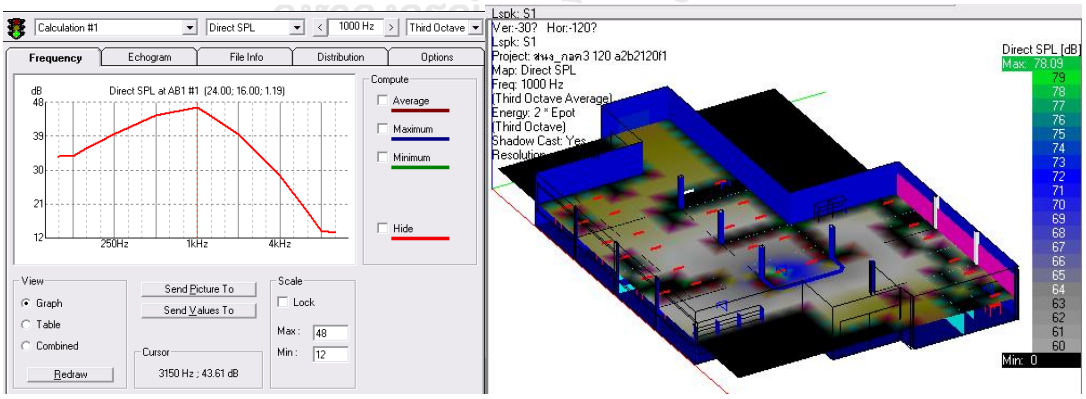
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

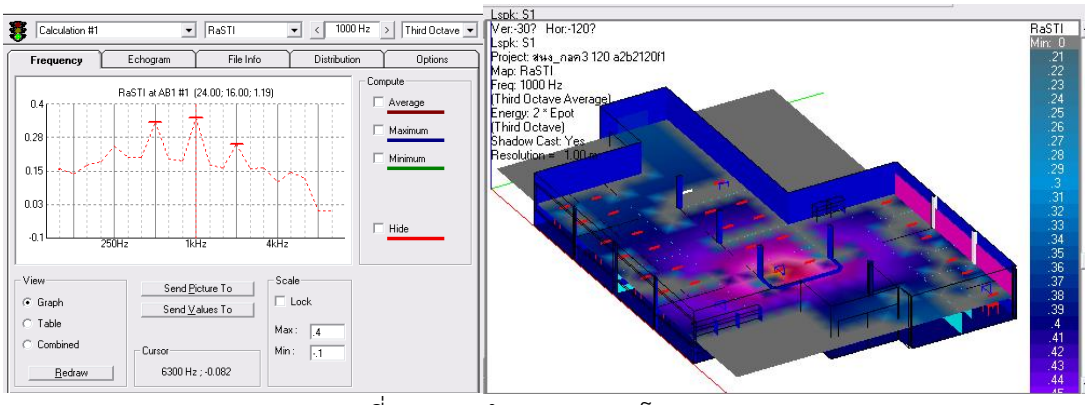
ตารางที่ 34 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลองกลุ่มที่ 5 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร

ความสูงฝ้าเพดาน	***A2 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC=0.80***											
3.00 m.	***25***	A2 + B1:1.20m + F1	***26***	A2 + B1G:1.50m. +F1	***27***	A2 + B2:1.20m + F2	***28***	A2 + B2G:1.50m. +F2	***29***	A2 + B3:1.20m. +F1	***30***	A2 + B3G:1.50m. +F2



ภาพที่ 47 ห้องทดลองที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร และ 1.50 เมตร





ภาพที่ 48 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2

ตารางที่ 35 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	66.67	0.591	9,8,1.10	63.72	0.537	125	0.55
13,8,1.10	4	60.06	0.480	11,7,1.10	58.50	0.459	250	0.47
11,8,1.10	6	56.23	0.431	13,8,1.10	55.17	0.420	500	0.37
9,8,1.10	8	53.34	0.401	15,8,1.10	52.76	0.395	1000	0.39
7,8,1.10	10	51.30	0.382	17,8,1.10	50.85	0.378	2000	0.40
5,8,1.10	12	49.81	0.370	19,8,1.10	49.29	0.366	4000	0.43
							8000	1.74

ตารางที่ 36 ผลการคำนวณ ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	64.73	0.556	9,8,1.10	64.73	0.556	125	0.55
13,8,1.10	4	58.86	0.465	11,7,1.10	58.86	0.465	250	0.49

11,8,1.10	6	55.38	0.465	13,8,1.10	55.38	0.423	500	0.38
9,8,1.10	8	52.89	0.465	15,8,1.10	52.89	0.397	1000	0.42
7,8,1.10	10	50.96	0.465	17,8,1.10	50.96	0.379	2000	0.43
5,8,1.10	12	49.37	0.465	19,8,1.10	49.37	0.366	4000	0.45
							8000	1.76

ตารางที่ 37 สรุปผลการทดลองกลุ่มที่ 5 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร (A2 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.80)

ความสูงฝ้าเพดาน	*A2 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC=0.80*											
3.00 m.	*25*	A2 + B1:1.20m +F1	*26*	A2 + B1G:1.50m. +F1	*27*	A2 + B2:1.20m +F2	*28*	A2 + B2G:1.50m. +F2	*29*	A2 + B3:1.20m. +F1	*30*	A2 + B3G:1.50m. +F2

เกณฑ์ประเมินผล ISO 3382-3	อัตราการลดลงของระดับเสียง (D^2,S)	ระดับเสียงระยะ 4 เมตร (dBA)	ระยะทางเมื่อ STI=0.50 (rD) เมตร
GOOD	*>7*	*<48*	*<5.00*
POOR	*<5*	*>50*	*>10.00*
ก่อนปรับปรุง 1แผงกั้น ส่วนสูง 1.20 เมตร	8.10	58.37	2.75
ก่อนปรับปรุง 2 แผงกั้น ส่วนสูง 1.50 เมตร	5.87	55.01	2.00
25	6.61	56.73	3.70
26	5.87	55.01	3.20
27	6.61	56.73	3.40
28	5.87	55.01	3.00
29	6.61	56.73	3.70
30	5.87	55.01	3.10

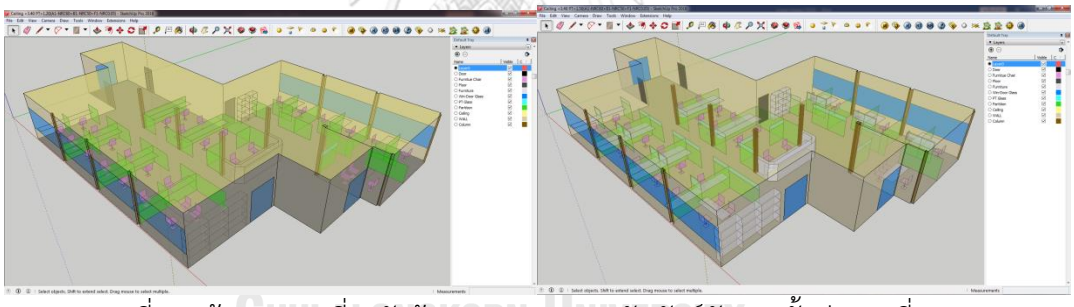
จากผลการทดลองพบว่า สำนักงานที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร โมเดลทดลองที่ 27 มีผลในการปรับปรุงดีที่สุด โดยมีอัตราการสลายตัวของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และระยะทางเมื่อระดับดัชนีความเข้าใจในคำพูด STI=0.50 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในส่วนระดับความดันเสียงที่ระยะ 4 เมตร มีอัตราเกินไป 6.73 dBA รายละเอียดในการนำไปเป็นแนวทาง ดังนี้

- วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียงไม่ต่ำกว่า 0.80

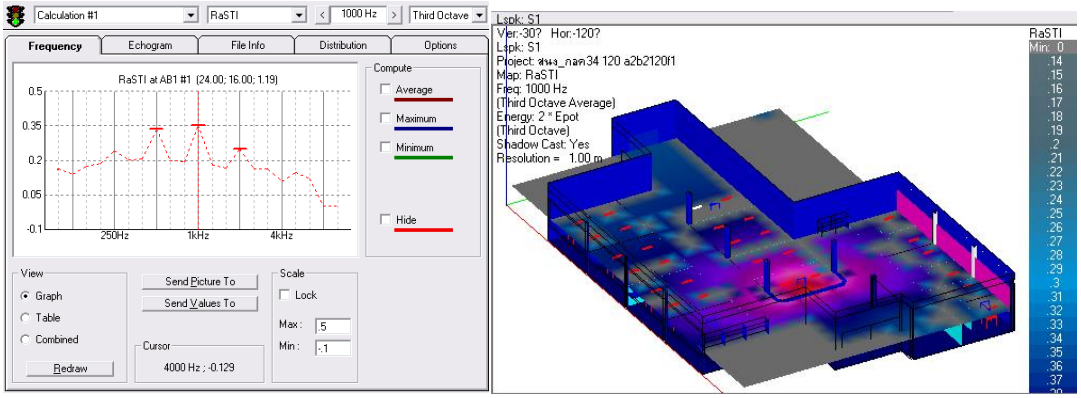
- แผงกั้นส่วนมีความสูง 1.20 เมตรวัสดุปิดยิปซัมที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.80
- พื้นพรม

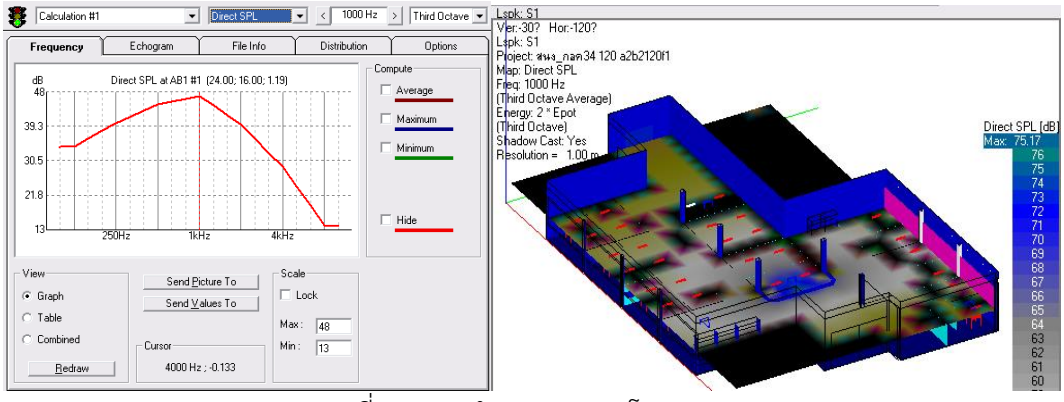
ตารางที่ 38 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลองกลุ่มที่ 6 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร

ความสูงฝ้าเพดาน	***A2 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NR=C0.80***											
3.40 m.	***31***	A2 + B1:1.20m + F1	***32***	A2 + B1G:1.50m. +F1	***33***	A2 + B2:1.20m + F2	***34***	A2 + B2G:1.50m. +F2	***35***	A2 + B3:1.20m. +F1	***36***	A2 + B3G:1.50m. +F2



ภาพที่ 49 ห้องทดลองที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร และ 1.50 เมตร





ภาพที่ 50 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2

ตารางที่ 39 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	66.34	0.585	9,8,1.10	64.51	0.551	125	0.54
13,8,1.10	4	59.64	0.474	11,7,1.10	58.74	0.462	250	0.47
11,8,1.10	6	55.89	0.428	13,8,1.10	56.85	0.439	500	0.37
9,8,1.10	8	53.27	0.401	15,8,1.10	53.98	0.408	1000	0.39
7,8,1.10	10	50.88	0.379	17,8,1.10	51.82	0.387	2000	0.40
5,8,1.10	12	49.63	0.369	19,8,1.10	50.08	0.373	4000	0.42
							8000	1.72

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 40 ผลการคำนวณ ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	65.61	0.571	9,8,1.10	64.73	0.555	125	0.53
13,8,1.10	4	59.30	0.469	11,7,1.10	58.86	0.464	250	0.46
11,8,1.10	6	55.82	0.427	13,8,1.10	55.38	0.422	500	0.36
9,8,1.10	8	53.33	0.402	15,8,1.10	52.89	0.397	1000	0.38
7,8,1.10	10	51.40	0.385	17,8,1.10	50.96	0.380	2000	0.39

5,8,1.10	12	49.81	0.373	**19,8,1.10**	49.37	0.368	**4000**	0.41
							8000	1.76

ตารางที่ 41 ผลการทดลองกลุ่มที่ 6 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร (A2 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.80)

ความสูงฝ้าเพดาน	***A2 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC=0.80***											
3.40 m.	***31***	A2 + B1:1.20m + F1	***32***	A2 + B1G:1.50m. +F1	***33***	A2 + B2:1.20m + F2	***34***	A2 + B2G:1.50m. +F2	***35***	A2 + B3:1.20m. +F1	***36***	A2 + B3G:1.50m. +F2
เกณฑ์ประเมินผล ISO 3382-3	**อัตราการลดลงของระดับเสียง (D^2,S)**						**ระดับเสียงระยะ 4 เมตร (dBA)**			**ระยะทางเมื่อ STI=0.50 (rD) เมตร**		
GOOD	*>7*						*<48*			*<5.00*		
POOR	*<5*						*>50*			*>10.00*		
ก่อนปรับปรุง 1แผงกั้นส่วนสูง 1.20 เมตร	6.70						56.00			2.80		
ก่อนปรับปรุง 2 แผงกั้นส่วนสูง 1.50 เมตร	6.31						55.53			2.70		
31	6.70						56.00			3.60		
32	6.31						55.52			3.40		
33	6.70						56.00			3.40		
34	6.31						55.52			3.00		
35	6.70						56.00			3.70		
36	6.31						55.52			3.20		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการทดลองพบว่า สำนักงานที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร โมเดลทดลองที่ 33 มีผลในการปรับปรุงดีที่สุด โดยมีอัตราการสลายตัวของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และระยะทางเมื่อระดับดัชนีความเข้าใจในคำพูด STI=0.50 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในส่วนระดับความดันเสียงที่ระยะ 4 เมตร มีอัตราเกินไป 6.00 dBA รายละเอียดในการนำไปเป็นแนวทาง ดังนี้

- วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียงไม่ต่ำกว่า 0.80
- แผงกั้นส่วนมีความสูง 1.20 เมตรวัสดุปิดยิปซัมที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.80

- พื้นพรม

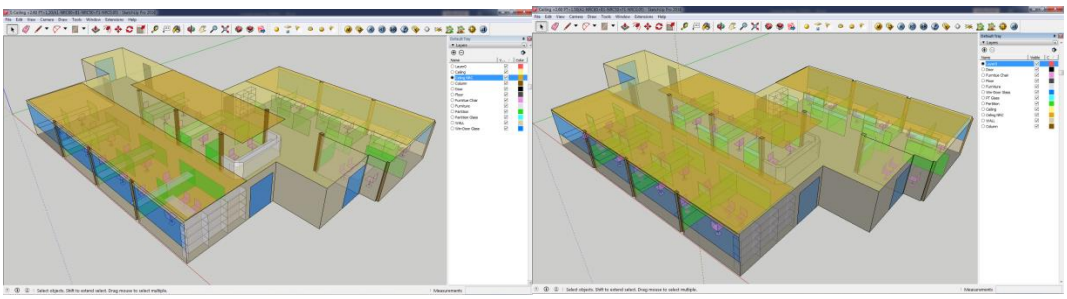
กลุ่มทดลองที่ 3 กำหนดวัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC 0.60 ระดับความสูงฝ้าเพดาน ที่ระดับ 2.60 เมตร, 3.00 เมตร และ 3.40 เมตร ติดตั้งเฉพาะเหนือพื้นที่กลุ่มงาน เพื่อหาความสัมพันธ์ต่อความสูงแผงกั้นส่วนที่ใช้วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC 0.50, 0.60 ระดับความสูงแผงกั้นส่วนที่ 1.20 เมตร, 1.50 เมตร และวัสดุพื้นกระเบื้องยาง และพื้นพรม ตามลำดับ

ตารางที่ 42 การไขว้ตัวแปรในการทดลองกลุ่มการทดลอง ที่ S1-S18

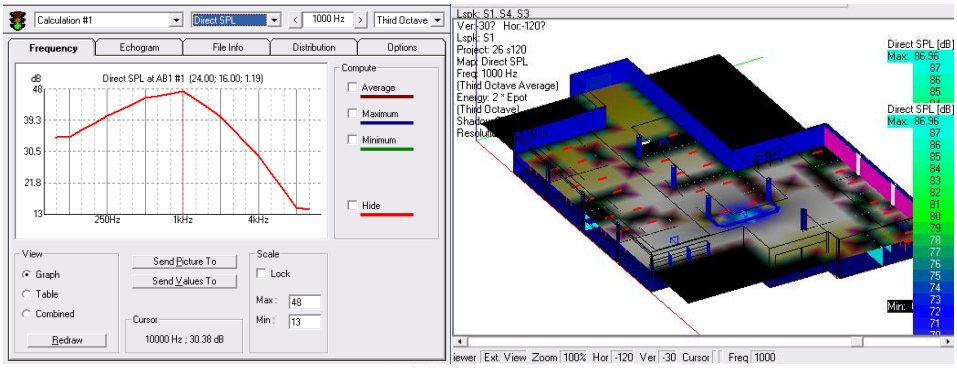
ความสูงฝ้าเพดาน	***A1 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.60***												
2.60 m.	***S1***	A1+ B1:1.20m + F1	***S2***	A1 + B1G+1.50m. +F1	***S3***	A1 + B2:1.20m + F2	***S4***	A1 + B2G:1.50m. +F2	***S5***	A1 + B3:1.20m + F1	***S6***	A1 + B3G:1.50m. +F2
3.00 m.	***S7***	A1+ B1:1.20m + F1	***S8***	A1 + B1G+1.50m. +F1	***S9***	A1 + B2:1.20m + F2	***S10***	A1 + B2G:1.50m. +F2	***S11***	A1 + B3:1.20m + F1	***S12***	A1 + B3G:1.50m. +F2
3.40 m.	***S13***	A1+ B1:1.20m + F1	***S14***	A1 + B1G+1.50m. +F1	***S15***	A1 + B2:1.20m + F2	***S16***	A1 + B2G:1.50m. +F2	***S17***	A1 + B3:1.20m + F1	***S18***	A1 + B3G:1.50m. +F2

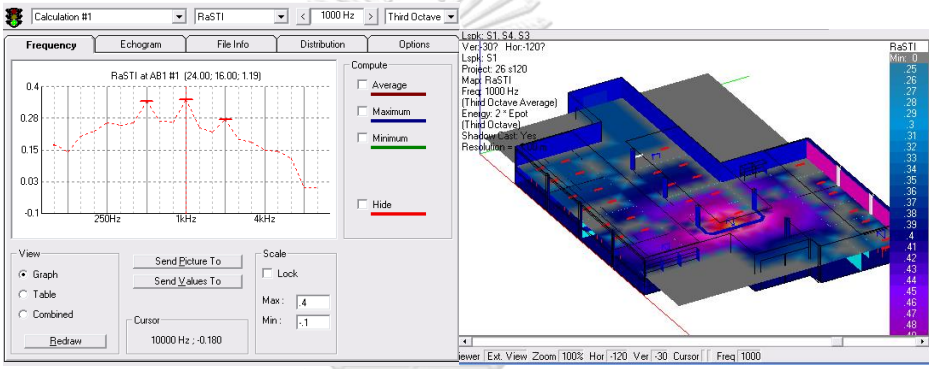
ตารางที่ 43 กลุ่มการคำนวณความสัมพันธ์ตัวแปรในการทดลองกลุ่มทดลองระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตรติดตั้งเฉพาะพื้นที่ทำงาน (Work station)

ความสูงฝ้าเพดาน	***A1 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.60***											
2.60 m.	***S1***	A1+ B1:1.20m + F1	***S2***	A1 + B1G+1.50m. +F1	***S3***	A1 + B2:1.20m + F2	***S4***	A1 + B2G:1.50m. +F2	***S5***	A1 + B3:1.20m + F1	***S6***	A1 + B3G:1.50m. +F2



ภาพที่ 51 ห้องทดลอง(S1) ที่ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร, 1.50 เมตร





ภาพที่ 52 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2

ตารางที่ 44 ผลการคำนวณกลุ่มทดลอง (S1) ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้น 1.20 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	64.51	0.556	9,8,1.10	65.38	0.571	125	0.56
13,8,1.10	4	58.74	0.464	11,7,1.10	59.18	0.470	250	0.68
11,8,1.10	6	55.30	0.414	13,8,1.10	55.59	0.418	500	0.58
9,8,1.10	8	52.83	0.381	15,8,1.10	53.05	0.384	1000	0.63
7,8,1.10	10	50.55	0.355	17,8,1.10	51.08	0.361	2000	0.68
5,8,1.10	12	49.33	0.350	19,8,1.10	49.48	0.350	4000	0.71
							8000	1.39

ตารางที่ 45 ผลการคำนวณ ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	65.61	0.540	9,8,1.10	64.73	0.519	125	0.81
13,8,1.10	4	59.30	0.396	11,7,1.10	58.86	0.386	250	1.33
11,8,1.10	6	53.43	0.336	13,8,1.10	55.38	0.326	500	1.42
9,8,1.10	8	49.95	0.335	15,8,1.10	52.89	0.325	1000	1.45
7,8,1.10	10	47.46	0.334	17,8,1.10	50.96	0.324	2000	1.55
5,8,1.10	12	45.53	0.334	19,8,1.10	49.37	0.324	4000	1.44
							8000	1.39

ตารางที่ 46 สรุปผลการทดลอง กลุ่มที่ S1 ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร (A1 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60)

ความสูงฝ้าเพดาน	***A1 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.60***											
2.60 m.	***S1***	A1+ B1:1.20m + F1	***S2***	A1 + B1G+1.50m. +F1	***S3***	A1 + B2:1.20m + F2	***S4***	A1 + B2G:1.50m. +F2	***S5***	A1 + B3:1.20m + F1	***S6***	A1 + B3G:1.50m. +F2

เกณฑ์ประเมินผล ISO 3382-3	อัตราการลดลงของระดับเสียง (D^2,S)	ระดับเสียงระยะ 4 เมตร (dBA)	ระยะทางเมื่อ STI=0.50 (rD) เมตร
GOOD	*>7*	*<48*	*<5.00*
POOR	*<5*	*>50*	*>10.00*
ก่อนปรับปรุง 1 แผงกั้นส่วนสูง 1.20 เมตร	6.15	55.44	2.50
ก่อนปรับปรุง 2 แผงกั้นส่วนสูง 1.50 เมตร	6.31	55.52	2.60
S1	5.77	54.95	3.30
S2	6.31	55.52	3.50
S3	5.77	54.95	3.20
S4	6.31	55.52	3.40
S5	5.77	54.95	3.20
S6	6.31	55.52	3.20

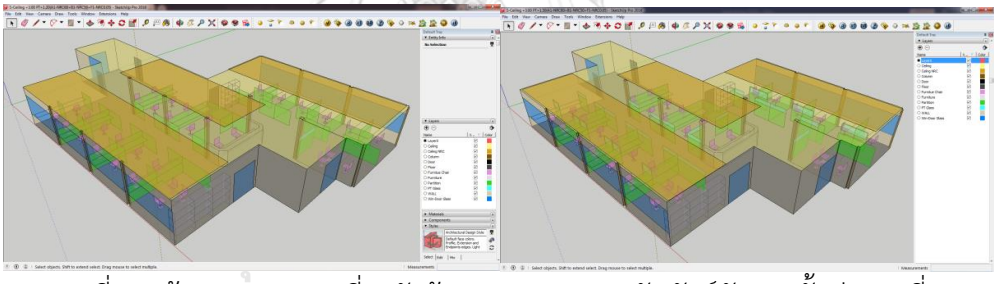
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการทดลองพบว่า สำนักงานที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร โมเดลทดลองที่ 6 มีผลในการปรับปรุงดีที่สุด โดยมีอัตราการสลายตัวของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และระยะทางเมื่อระดับดัชนีความเข้าใจในคำพูด STI=0.50 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในส่วนระดับความดันเสียงที่ระยะ 4 เมตร มีอัตราเกินไป 5.52 dBA รายละเอียดในการนำไปเป็นแนวทาง ดังนี้

- วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียงไม่ต่ำกว่า 0.80
- แผงกั้นส่วนมีความสูง 1.50 เมตรวัสดุปิดผิวลามิเนท
- พื้นพรม

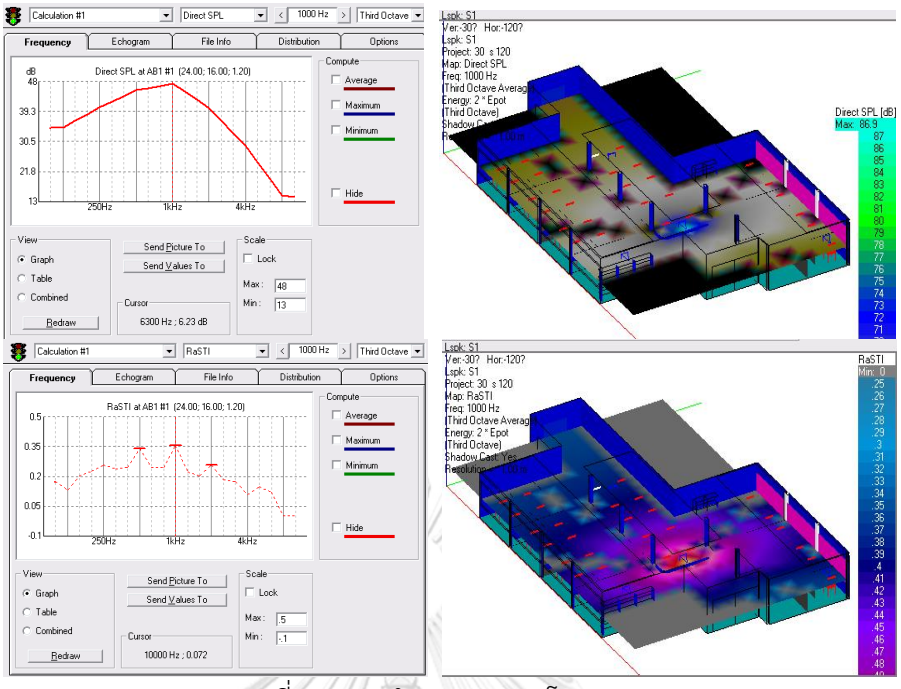
ตารางที่ 47 กลุ่มการคำนวณ ความสัมพันธ์ตัวแปรในการทดลองกลุ่มทดลองระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตรติดตั้งเฉพาะพื้นที่ทำงาน (Work station)

ความสูงฝ้าเพดาน	***A1 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.60***											
3.00 m.	***S7***	A1+ B1:1.20m + F1	***S8***	A1 + B1G+1.50m. +F1	***S9***	A1 + B2:1.20m + F2	***S10***	A1 + B2G:1.50m. +F2	***S11***	A1 + B3:1.20m + F1	***S12***	A1 + B3G:1.50m. +F2



ภาพที่ 53 ห้องทดลอง(S2) ที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร, 1.50 เมตร

CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 54 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2

ตารางที่ 48 ผลการคำนวณกลุ่มทดลอง (S2) ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้น 1.20 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	64.48	0.553	9,8,1.10	65.34	0.568	125	0.46
13,8,1.10	4	58.72	0.465	11,7,1.10	59.16	0.471	250	0.68
11,8,1.10	6	55.28	0.424	13,8,1.10	55.58	0.428	500	0.53
9,8,1.10	8	52.82	0.399	15,8,1.10	53.04	0.401	1000	0.42
7,8,1.10	10	50.90	0.381	17,8,1.10	51.07	0.382	2000	0.40
5,8,1.10	12	49.32	0.368	19,8,1.10	49.47	0.369	4000	0.41
							8000	1.61

ตารางที่ 49 ผลการคำนวณ ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	64.61	0.556	9,8,1.10	64.61	0.556	125	0.47
13,8,1.10	4	58.80	0.467	11,7,1.10	58.80	0.467	250	0.73
11,8,1.10	6	55.33	0.425	13,8,1.10	55.33	0.425	500	0.57
9,8,1.10	8	52.86	0.398	15,8,1.10	52.86	0.398	1000	0.45
7,8,1.10	10	50.93	0.379	17,8,1.10	50.93	0.379	2000	0.44
5,8,1.10	12	49.35	0.366	19,8,1.10	49.35	0.366	4000	0.44
							8000	1.67

ตารางที่ 50 ผลการทดลอง กลุ่มที่ S2 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร (A1 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60)

ความสูงฝ้าเพดาน	*A1 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.60*											
3.00 m.	*S7*	A1+ B1:1.20m + F1	*S8*	A1 + B1G+1.50m. +F1	*S9*	A1 + B2:1.20m + F2	*S10*	A1 + B2G:1.50m. +F2	*S11*	A1 + B3:1.20m + F1	*S12*	A1 + B3G:1.50m. +F2

เกณฑ์ประเมินผล ISO 3382-3	อัตราการลดลงของระดับเสียง (D^2,S)	ระดับเสียงระยะ 4 เมตร (dBA)	ระยะทางเมื่อ STI=0.50 (rD) เมตร
GOOD	*>7*	*<48*	*<5.00*
POOR	*<5*	*>50*	*>10.00*
ก่อนปรับปรุง 1แผงกั้นส่วนสูง 1.20 เมตร	8.10	58.37	2.75
ก่อนปรับปรุง 2 แผงกั้นส่วนสูง 1.50 เมตร	5.87	55.01	2.00
S7	5.76	54.95	3.20
S8	5.81	54.98	3.20
S9	5.76	54.95	3.20
S10	5.81	54.98	3.20
S11	5.76	54.95	3.30
S12	5.81	54.98	3.30

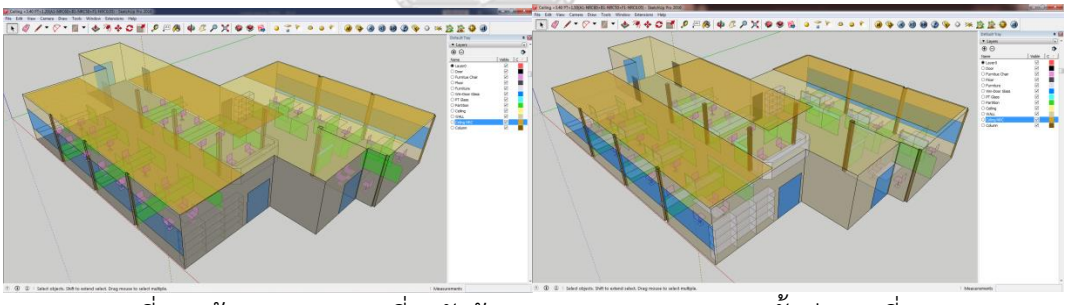
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการทดลองพบว่า สำนักงานที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร ในกลุ่มติดตั้งเฉพาะพื้นที่ทำงาน โมเดลทดลองที่ S8, S10 มีผลในการปรับปรุงดีที่สุด โดยมีอัตราการสลายตัวของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และระยะทางเมื่อระดับดัชนีความเข้าใจในคำพูด STI=0.50 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในส่วนระดับความดันเสียงที่ระยะ 4 เมตร มีอัตราเกินไป 4.98 dBA รายละเอียดในการนำไปเป็นแนวทาง ดังนี้

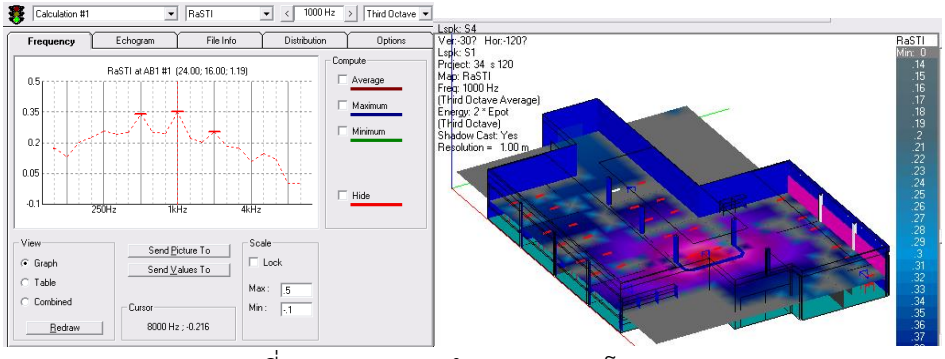
- วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียงไม่ต่ำกว่า 0.60 เฉพาะพื้นที่ทำงาน
- แผงกั้นส่วนมีความสูง 1.50 เมตรทางเลือกวัสดุปิดผิวได้ทั้ง 3 ชนิด คือ ฟองยางหุ้มผ้า NRC=0.50, ยิปซัมชนิดอะคูสติก NRC=0.80 และปิดผิวลามิเนท NRC=0.80
- วัสดุพื้นกระเบื้องยาง และพื้นพรม

ตารางที่ 51 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลอง ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตรติดตั้งเฉพาะพื้นที่ทำงาน (Work station)

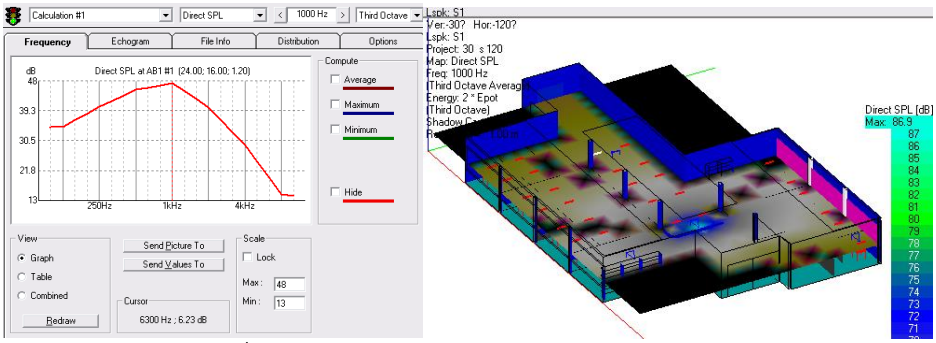
ความสูงฝ้าเพดาน	***A1 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุNRC0.60***											
3.40 m.	***S13***	A1+ B1:1.20m + F1	***S14***	A1 + B1G+1.50m. +F1	***S15***	A1 + B2:1.20m + F2	***S16***	A1 + B2G:1.50m. +F2	***S17***	A1 + B3:1.20m + F1	***S18***	A1 + B3G:1.50m. +F2



ภาพที่ 55 ห้องทดลอง(S3) ที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 และแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20เมตร และ 1.50 เมตร



ภาพที่ 56 แสดงการคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2



ภาพที่ 57 (ต่อ) แสดงการคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2

ตารางที่ 52 ผลการคำนวณกลุ่มทดลอง (S3) ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้น 1.20 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	66.34	0.587	9,8,1.10	65.43	0.554	125	0.46
13,8,1.10	4	59.64	0.478	11,7,1.10	58.54	0.466	250	0.67
11,8,1.10	6	55.89	0.432	13,8,1.10	55.30	0.425	500	0.54
9,8,1.10	8	53.27	0.404	15,8,1.10	52.83	0.399	1000	0.42
7,8,1.10	10	50.88	0.381	17,8,1.10	50.91	0.381	2000	0.40
5,8,1.10	12	49.63	0.371	19,8,1.10	49.33	0.368	4000	0.41
							8000	1.60

ตารางที่ 53 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	59.63	0.447	9,8,1.10	64.63	0.556	125	0.46
13,8,1.10	4	53.81	0.363	11,7,1.10	58.81	0.467	250	0.67
11,8,1.10	6	50.34	0.322	13,8,1.10	55.34	0.426	500	0.52
9,8,1.10	8	47.86	0.296	15,8,1.10	52.86	0.400	1000	0.41
7,8,1.10	10	45.93	0.278	17,8,1.10	50.93	0.382	2000	0.40
5,8,1.10	12	44.35	0.265	19,8,1.10	49.35	0.369	4000	0.41
							8000	1.65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 54 สรุปผลการทดลองกลุ่มที่ S3 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร (A1 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.60)

ความสูงฝ้าเพดาน	*A1 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.60*											
3.40 m.	***S13***	A1+ B1:1.20m + F1	***S14***	A1 + B1G+1.50m. +F1	***S15***	A1 + B2:1.20m + F2	***S16***	A1 + B2G:1.50m. +F2	***S17***	A1 + B3:1.20m + F1	***S18***	A1 + B3G:1.50m. +F2
เกณฑ์ประเมินผล ISO 3382-3			**อัตราการลดลงของระดับเสียง (D^2,S)**				**ระดับเสียงระยะ 4 เมตร (dBA)**				**ระยะทางเมื่อ STI=0.50 $(rD)_{เมตร}$**	
GOOD			*>7*				*<48*				*<5.00*	
POOR			*<5*				*>50*				*>10.00*	
ก่อนปรับปรุง 1แผงกั้นส่วนสูง 1.20 เมตร			6.70				56.00				2.85	
ก่อนปรับปรุง 2 แผงกั้นส่วนสูง 1.50 เมตร			6.31				55.53				2.70	
S13			6.70				56.00				3.65	
S14			5.82				46.66				2.00	
S15			6.70				56.00				3.60	
S16			5.82				46.66				2.00	
S17			6.70				56.00				3.60	
S18			5.82				46.66				2.00	

จากผลการทดลองพบว่า สำนักงานที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร ในกลุ่มติดตั้งเฉพาะพื้นที่ทำงาน โมเดลทดลองที่ S14, S16 และ S18 มีผลในการปรับปรุงดีที่สุด โดยมีอัตราการสลายตัวของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า, ระดับความดันเสียงที่ระยะ 4 เมตร และระยะทางเมื่อระดับดัชนีความเข้าใจในคำพูด STI=0.50 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี รายละเอียดในการนำไปเป็นแนวทาง ดังนี้

- วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียงไม่ต่ำกว่า 0.60 เฉพาะพื้นที่ทำงาน
- แผงกั้นส่วนมีความสูง 1.50 เมตรทางเลือกวัสดุปิดผิวได้ทั้ง 3 ชนิด คือ ฟองยางหุ้มผ้า NRC=0.50, ยิปซัมชนิดอะคูสติก NRC=0.80 และปิดผิวลามิเนท NRC=0.80
- วัสดุพื้นกระเบื้องยาง และพื้นพรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

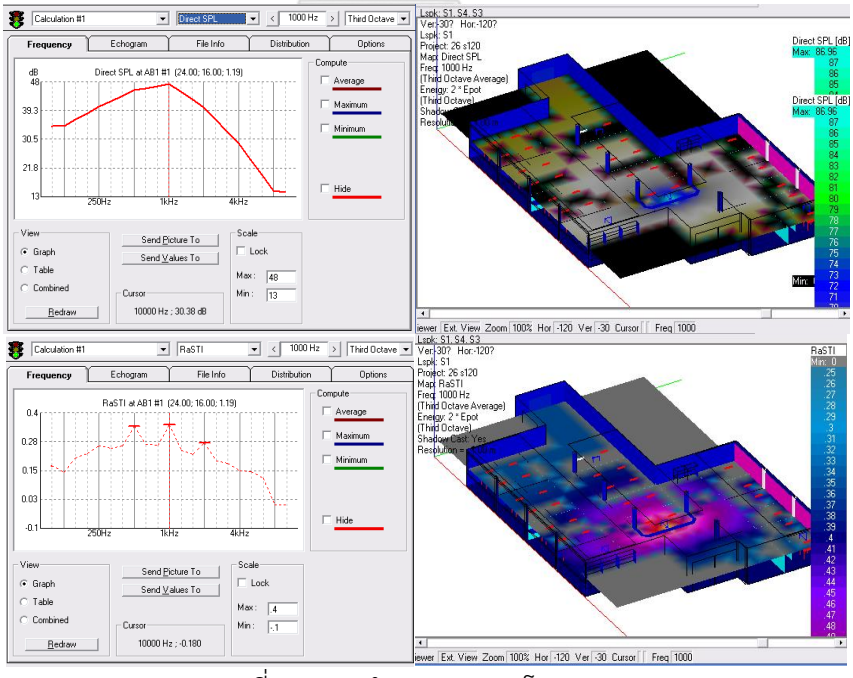
กลุ่มทดลองที่ 4 กำหนดวัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC 0.80 ระดับความสูงฝ้าเพดาน ที่ระดับ 2.60 เมตร, 3.00 เมตร และ 3.40 เมตร ติดตั้งเฉพาะเหนือพื้นที่กลุ่มงาน เพื่อหาความสัมพันธ์ต่อความสูงแผงกั้นส่วนที่ใช้วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC 0.50, 0.60 ระดับความสูงแผงกั้นส่วนที่ 1.20 เมตร, 1.50 เมตร และวัสดุพื้นกระเบื้องยาง และพื้นพรม ตามลำดับ

ตารางที่ 55 การจับคู่ตัวแปรในการทดลองกลุ่มการทดลอง ที่ S19-S36

ความสูงฝ้าเพดาน	***A2 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.80***											
2.60 m.	***S19***	A2 + B1:1.20m + F1	***S20***	A2 + B1G:1.50m. +F1	***S21***	A2 + B2:1.20m + F2	***S22***	A2 +B2G:1.50m. +F2	***S23***	A2 + B3:1.20m + F2	***S24***	A2 + B3G:1.50m. +F2
3.00 m.	***S25***	A2 + B1:1.20m + F1	***S26***	A2 + B1G:1.50m .+F1	***S27***	A2 + B2:1.20m + F2	***S28***	A2 +B2G:1.50m. +F2	***S29***	A2 + B3:1.20m + F2	***S30***	A2 + B3G:1.50m. +F2
3.40 m.	***S31***	A2 + B1:1.20m + F1	***S32***	A2 + B1G:1.50m. +F1	***S33***	A2 + B2:1.20m + F2	***S34***	A2 +B2G:1.50m. +F2	***S35***	A2 + B3:1.20m + F2	***S36***	A2 + B3G:1.50m. +F2

ตารางที่ 56 กลุ่มการคำนวณ(S4) ความสัมพันธ์ตัวแปรในการทดลองกลุ่มทดลองระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตรติดตั้งเฉพาะพื้นที่ทำงาน (Work station)

ความสูงฝ้าเพดาน	***A2 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.80***											
2.60 m.	***S19***	A2 + B1:1.20m + F1	***S20***	A2 + B1G:1.50m. +F1	***S21***	A2 + B2:1.20m + F2	***S22***	A2 +B2G:1.50m. +F2	***S23***	A2 + B3:1.20m + F2	***S24***	A2 + B3G:1.50m. +F2



ภาพที่ 58 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2

ตารางที่ 57 ผลการคำนวณกลุ่มทดลอง (S4) ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้น 1.20 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	64.51	0.553	9,8,1.10	65.38	0.569	125	0.47
13,8,1.10	4	58.74	0.465	11,7,1.10	59.18	0.471	250	0.69
11,8,1.10	6	55.30	0.424	13,8,1.10	55.59	0.427	500	0.55
9,8,1.10	8	52.83	0.398	15,8,1.10	53.05	0.400	1000	0.42
7,8,1.10	10	50.55	0.377	17,8,1.10	51.08	0.382	2000	0.41
5,8,1.10	12	49.33	0.367	19,8,1.10	49.48	0.368	4000	0.42
							8000	1.64

ตารางที่ 58 ผลการคำนวณ ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	65.61	0.573	9,8,1.10	63.72	0.540	125	0.47
13,8,1.10	4	59.30	0.473	11,7,1.10	58.86	0.467	250	0.68
11,8,1.10	6	55.82	0.431	13,8,1.10	55.38	0.425	500	0.53
9,8,1.10	8	53.33	0.405	15,8,1.10	52.89	0.399	1000	0.42
7,8,1.10	10	51.40	0.387	17,8,1.10	50.96	0.381	2000	0.41
5,8,1.10	12	49.81	0.374	19,8,1.10	49.37	0.368	4000	0.41
							8000	1.65

ตารางที่ 59 สรุปผลการทดลอง กลุ่มที่ S4 ระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร (A2 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.80)

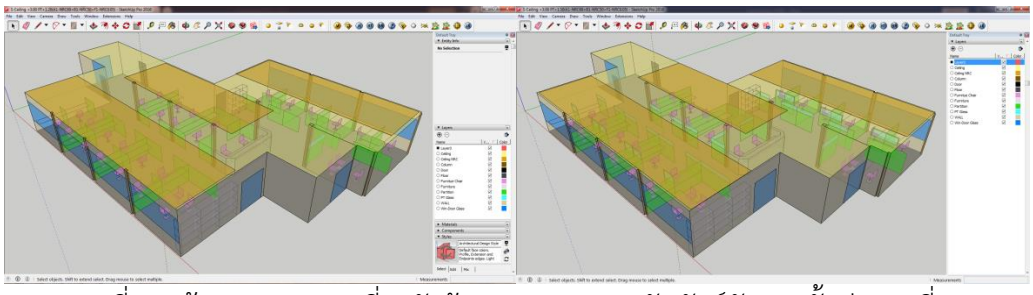
ความสูงฝ้าเพดาน	***A2 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NR=C0.80***											
2.60 m.	***S19***	A2 + B1:1.20m + F1	***S20***	A2 + B1G:1.50m. +F1	***S21***	A2 + B2:1.20m + F2	***S22***	A2 +B2G:1.50m. +F2	***S23***	A2 + B3:1.20m + F2	***S24***	A2 + B3G:1.50m. +F2
เกณฑ์ประเมินผล ISO 3382-3			**อัตราการลดลงของระดับเสียง (D^2,S)**				**ระดับเสียงระยะ 4 เมตร (dBA)**			**ระยะทางเมื่อ STI=0.50 (rD) เมตร**		
GOOD			*>7*				*<48*			*<5.00*		
POOR			*<5*				*>50*			*>10.00*		
ก่อนปรับปรุง 1แผงกั้นส่วนสูง 1.20 เมตร			6.15				55.44			2.50		
ก่อนปรับปรุง 2 แผงกั้นส่วนสูง 1.50 เมตร			6.31				55.52			2.60		
S19			5.77				54.95			3.30		
S20			6.31				55.52			3.50		
S21			5.77				54.95			3.20		
S22			6.31				55.52			3.40		
S23			5.77				54.95			3.20		
S24			6.31				55.52			3.50		

จากผลการทดลองพบว่า สำนักงานที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร ในกลุ่มติดตั้งเฉพาะพื้นที่ทำงาน โมเดลทดลองที่ S22 มีผลในการปรับปรุงดีที่สุด โดยมีอัตราการสลายตัวของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และระยะทางเมื่อระดับดัชนีความเข้าใจในคำพูด STI=0.50 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในส่วนระดับความดันเสียงที่ระยะ 4 เมตร มีอัตราเกินไป 5.52 dBA รายละเอียดในการนำไปเป็นแนวทาง ดังนี้

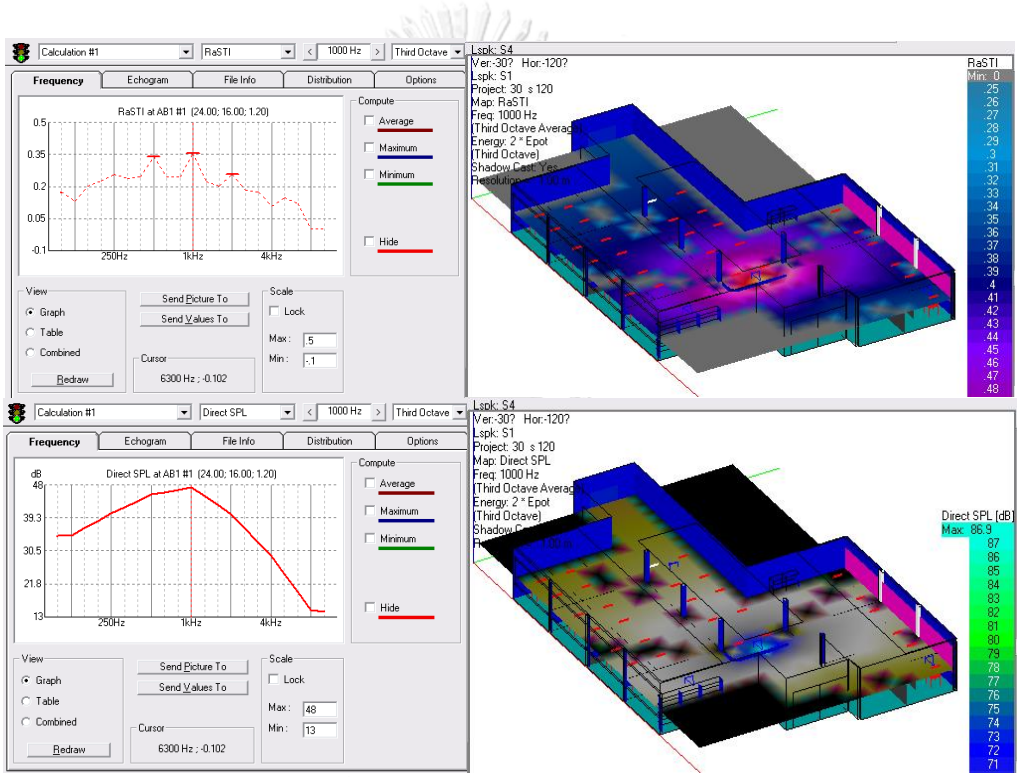
- วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียงไม่ต่ำกว่า NRC=0.80 เฉพาะพื้นที่ทำงาน
- แผงกั้นส่วนมีความสูง 1.50 เมตร ปิดยิปซัมชนิดอะคูสติก NRC=0.80
- พื้นพรม

ตารางที่ 60 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลอง (S5) ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร ติดตั้งเฉพาะพื้นที่ทำงาน (Work station)

ความสูงฝ้าเพดาน	***A2 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC=0.80***											
3.00 m.	***S25***	A2 + B1:1.20m + F1	***S26***	A2 + B1G:1.50m .+F1	***S27***	A2 + B2:1.20m + F2	***S28***	A2+ B2G:1.50m. +F2	***S29***	A2 + B3:1.20m + F2	***S30***	A2 + B3G:1.50m. +F2



ภาพที่ 59 ห้องทดลอง(S5) ที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20 เมตร, 1.50 เมตร



ภาพที่ 60 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2

ตารางที่ 61 ผลการคำนวณกลุ่มทดลอง (S5) ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้น 1.20 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	64.48	0.553	9,8,1.10	65.34	0.568	125	0.46
13,8,1.10	4	58.72	0.465	11,7,1.10	59.16	0.471	250	0.68
11,8,1.10	6	55.28	0.424	13,8,1.10	55.58	0.428	500	0.53
9,8,1.10	8	52.82	0.399	15,8,1.10	53.04	0.401	1000	0.42
7,8,1.10	10	50.90	0.381	17,8,1.10	51.07	0.382	2000	0.40
5,8,1.10	12	49.32	0.368	19,8,1.10	49.47	0.369	4000	0.41
							8000	1.61

ตารางที่ 62 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	64.61	0.556	9,8,1.10	64.61	0.556	125	0.47
13,8,1.10	4	58.80	0.467	11,7,1.10	58.80	0.467	250	0.73
11,8,1.10	6	55.33	0.425	13,8,1.10	55.33	0.425	500	0.57
9,8,1.10	8	52.86	0.398	15,8,1.10	52.86	0.398	1000	0.45
7,8,1.10	10	50.93	0.379	17,8,1.10	50.93	0.379	2000	0.44
5,8,1.10	12	49.35	0.366	19,8,1.10	49.35	0.366	4000	0.44
							8000	1.67

ตารางที่ 63 สรุปผลการทดลอง กลุ่มที่ S5 ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร (A2 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.80)

ความสูงฝ้าเพดาน	*A2 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.80*											
3.00 m.	***S25***	A2 + B1:1.20m + F1	***S26***	A2 + B1G:1.50m .+F1	***S27***	A2 + B2:1.20m + F2	***S28***	A2 +B2G:1.50m. +F2	***S29***	A2 + B3:1.20m + F2	***S30***	A2 + B3G:1.50m. +F2

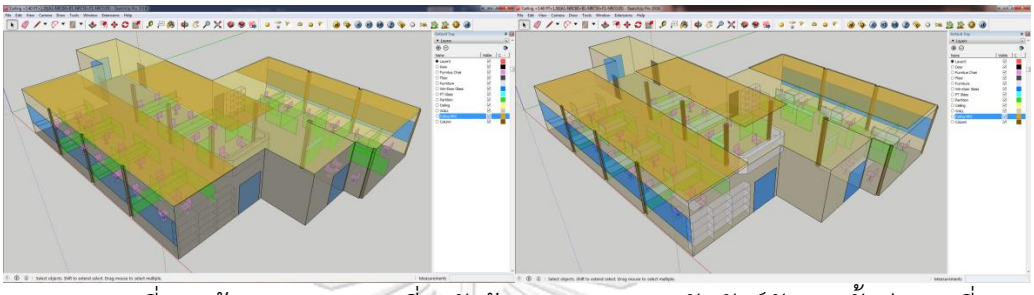
เกณฑ์ประเมินผล ISO 3382-3	**อัตราการลดลงของระดับเสียง (D^2,S)**	**ระดับเสียงระยะ 4 เมตร (dBA)**	**ระยะทางเมื่อ STI=0.50 (rD) เมตร**
GOOD	*>7*	*<48*	*<5.00*
POOR	*<5*	*>50*	*>10.00*
ก่อนปรับปรุง 1แผงกั้นส่วนสูง 1.20 เมตร	8.10	58.37	2.75
ก่อนปรับปรุง 2 แผงกั้นส่วนสูง 1.50 เมตร	5.87	55.01	<2.00
S25	5.76	54.95	3.30
S26	5.81	54.98	3.30
S27	6.18	55.52	3.50
S28	5.81	54.98	3.20
S29	5.76	54.95	3.20
S30	5.81	54.98	3.30
-			

จากผลการทดลองพบว่า สำนักงานที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร ในกลุ่มติดตั้งเฉพาะพื้นที่ทำงาน โมเดลทดลองที่ S27 มีผลในการปรับปรุงดีที่สุด โดยมีอัตราการสลายตัวของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และระยะทางเมื่อระดับดัชนีความเข้าใจในคำพูด STI=0.50 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในส่วนระดับความดันเสียงที่ระยะ 4 เมตร มีอัตราเกินไป 5.52 dBA รายละเอียดในการนำไปเป็นแนวทาง ดังนี้

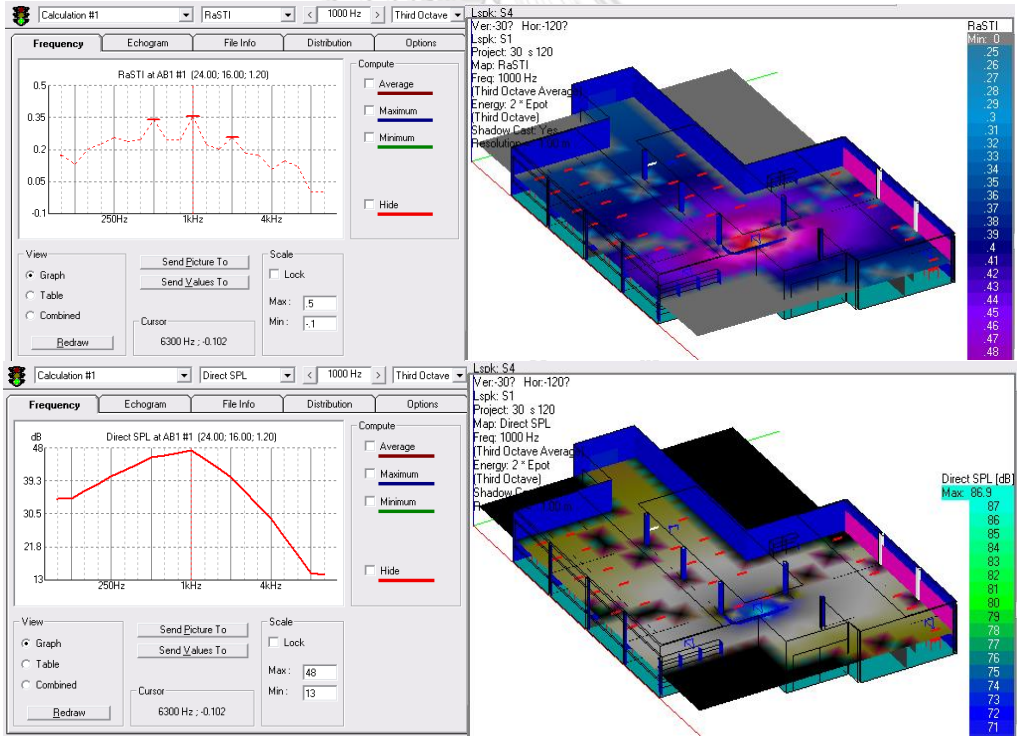
- วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียงไม่ต่ำกว่า NRC=0.80 เฉพาะพื้นที่ทำงาน
- แผงกั้นส่วนมีความสูง 1.20 เมตร ปิดยิปซัมชนิดอะคูสติก NRC=0.80
- พื้นพรม

ตารางที่ 64 กลุ่มการคำนวณตามตัวแปรในการทดลอง (S3) ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร ติดตั้งเฉพาะพื้นที่ทำงาน (Work station)

ความสูงฝ้าเพดาน	***A2 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.80***											
3.40 m.	***S31***	A2 + B1:1.20m + F1	***S32***	A2 + B1G:1.50m. +F1	***S33***	A2 + B2:1.20m + F2	***S34***	A2 +B2G:1.50m. +F2	***S35***	A2 + B3:1.20m + F2	***S36***	A2 + B3G:1.50m. +F2



ภาพที่ 61 ห้องทดลอง (S3) ที่ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.20 เมตร, 1.50 เมตร



ภาพที่ 62 การคำนวณผลของโปรแกรม EASE 4.2

ตารางที่ 65 ผลการคำนวณกลุ่มทดลอง (S6) ค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้น 1.20 เมตร

เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	64.61	0.556	9,8,1.10	64.61	0.556	125	0.47
13,8,1.10	4	58.80	0.467	11,7,1.10	58.80	0.467	250	0.73
11,8,1.10	6	55.33	0.425	13,8,1.10	55.33	0.425	500	0.57
9,8,1.10	8	52.86	0.398	15,8,1.10	52.86	0.398	1000	0.45
7,8,1.10	10	50.93	0.379	17,8,1.10	50.93	0.379	2000	0.44
5,8,1.10	12	49.35	0.366	19,8,1.10	49.35	0.366	4000	0.44
							8000	1.67

ตารางที่ 66 ผลการคำนวณค่าระดับความดันเสียง(SPL), ค่าดัชนีความเข้าใจในคำพูด (STI) และค่าความก้องกังวานเสียง RT60 กลุ่มทดลอง BASECASE ระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร สัมพันธ์กับแผงกั้นส่วนสูงที่ 1.50 เมตร

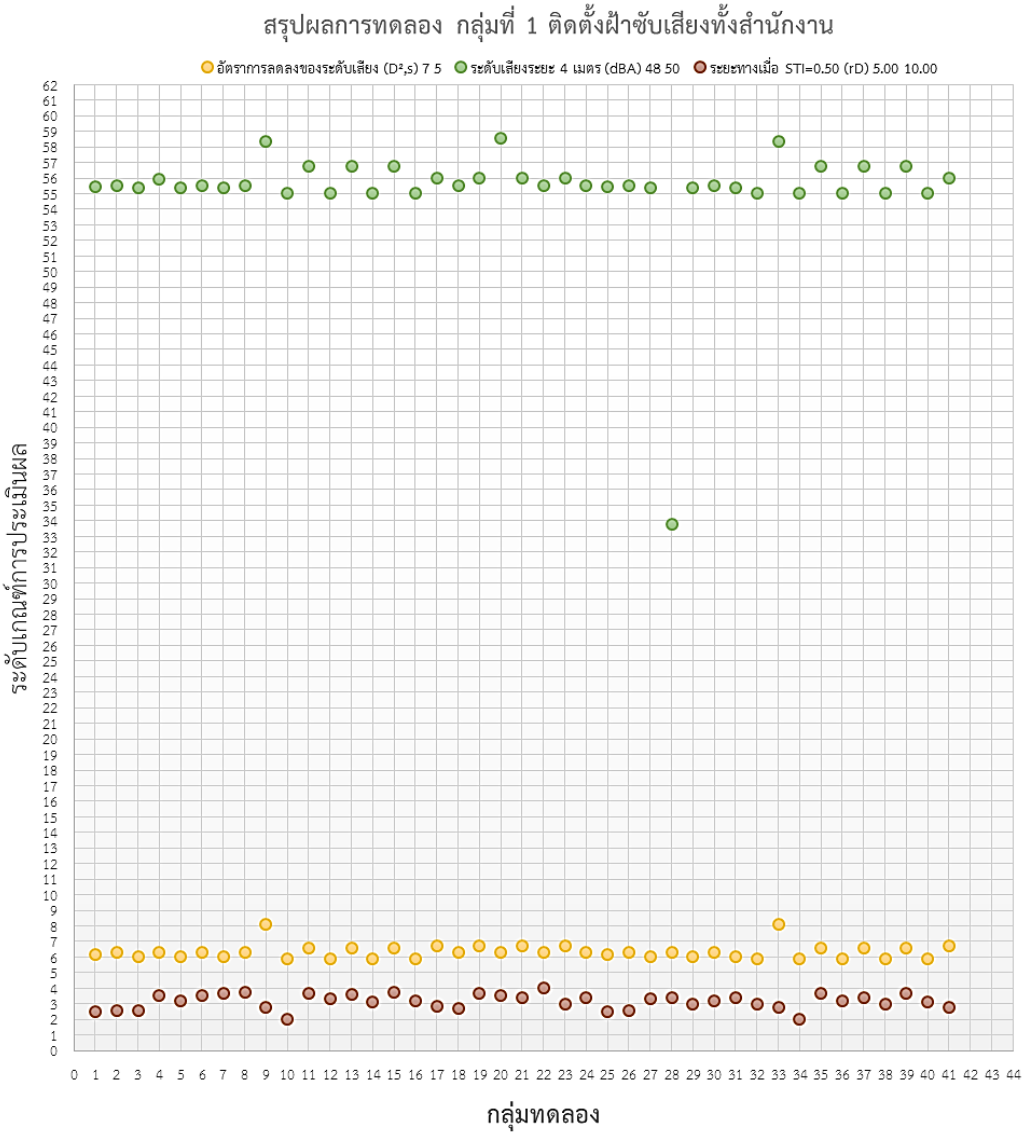
เส้นเสียงที่ 1	ระยะทาง	SPL	STI	เส้นเสียงที่ 2	SPL	STI (2)	ความถี่(Hz)	RT60/s
15,8,1.10	2	59.63	0.447	9,8,1.10	64.63	0.556	125	0.46
13,8,1.10	4	53.81	0.363	11,7,1.10	58.81	0.467	250	0.67
11,8,1.10	6	47.99	0.274	13,8,1.10	55.34	0.426	500	0.52
9,8,1.10	8	44.52	0.233	15,8,1.10	52.86	0.400	1000	0.41
7,8,1.10	10	42.04	0.207	17,8,1.10	50.93	0.382	2000	0.40
5,8,1.10	12	40.11	0.189	19,8,1.10	49.35	0.369	4000	0.41
							8000	1.65

ตารางที่ 67 ผลการทดลอง กลุ่มที่ (S6) ระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร (A2 วัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC=0.80)

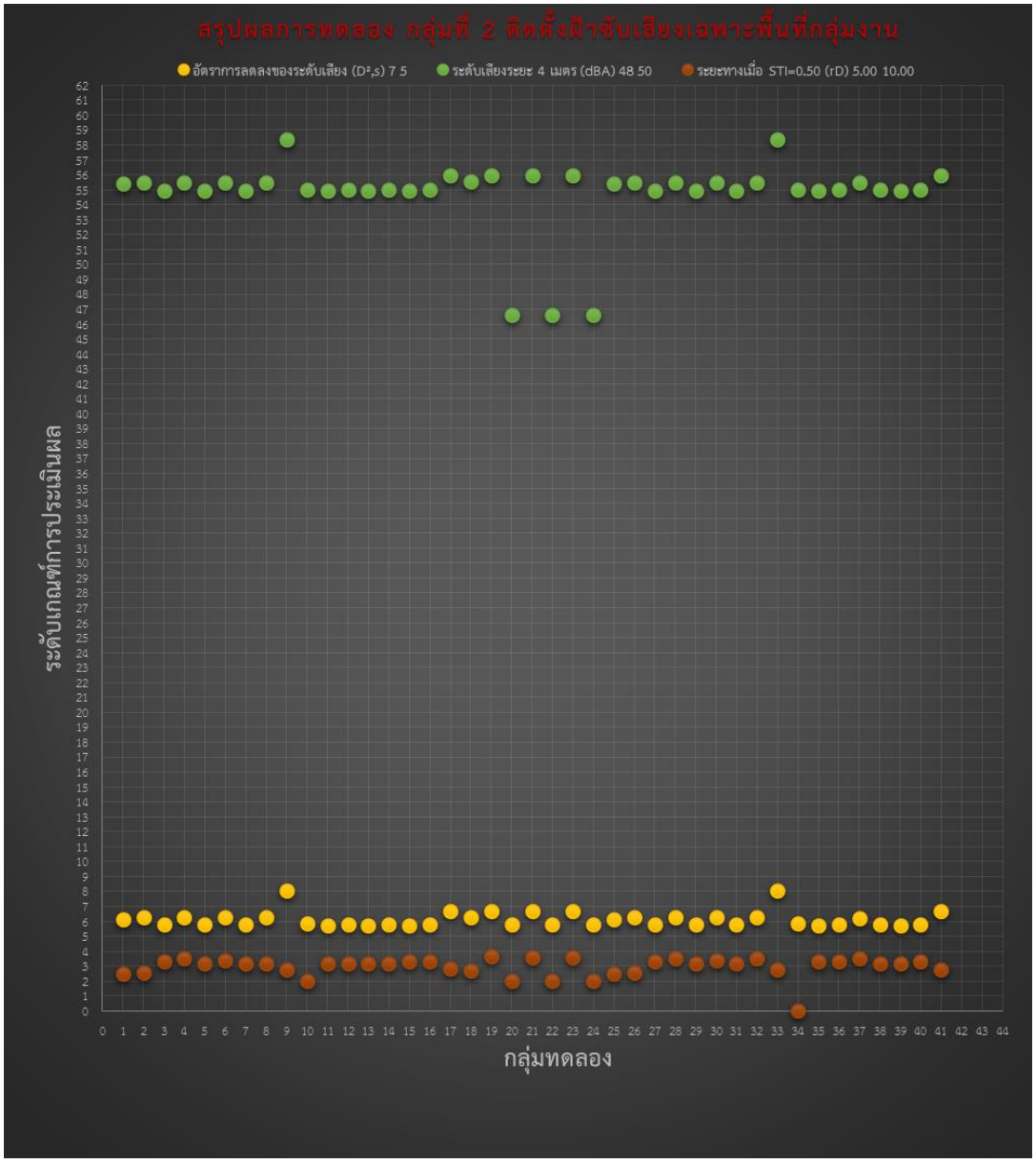
ความสูงฝ้าเพดาน	***A2 :ฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงของวัสดุ NRC0.80***											
3.40 m.	***S31***	A2 + B1:1.20m + F1	***S32***	A2 + B1G:1.50m. +F1	***S33***	A2 + B2:1.20m + F2	***S34***	A2+ B2G:1.50m. +F2	***S35***	A2 + B3:1.20m + F2	***S36***	A2 + B3G:1.50m. +F2
เกณฑ์ประเมินผล ISO 3382-3			**อัตราการลดลงของระดับเสียง (D^2,s)**				**ระดับเสียงระยะ 4 เมตร (dBA)**				**ระยะทางเมื่อ STI=0.50 (rD) เมตร**	
GOOD			*>7*				*<48*				*<5.00*	
POOR			*<5*				*>50*				*>10.00*	
ก่อนปรับปรุง 1แผงกั้นส่วนสูง 1.20 เมตร			6.7				56.00				2.80	
ก่อนปรับปรุง 2 แผงกั้นส่วนสูง 1.50 เมตร			6.31				55.53				2.70	
S31			6.70				56.00				3.75	
S32			5.82				46.66				2.00	
S33			6.70				56.00				3.5	
S34			5.82				46.66				2.00	
S35			6.70				56.00				3.60	
S36			5.82				46.66				2.00	

จากผลการทดลองพบว่า สำนักงานที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร ในกลุ่มติดตั้งเฉพาะพื้นที่ทำงาน โมเดลทดลองที่ S32, S34 และ S36 มีผลในการปรับปรุงดีที่สุด โดยมีอัตราการสลายตัวของเสียงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า, ระดับความดันเสียงที่ระยะ 4 เมตร และระยะทางเมื่อระดับดัชนีความเข้าใจในคำพูด STI=0.50 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี รายละเอียดในการนำไปเป็นแนวทาง ดังนี้

- วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียงไม่ต่ำกว่า 0.60 เฉพาะพื้นที่ทำงาน
- แผงกั้นส่วนมีความสูง 1.50 เมตรทางเลือกวัสดุปิดผิวได้ทั้ง 3 ชนิด คือ ฟองยางหุ้มผ้า NRC=0.50, ยิปซัมชนิดอะคูสติก NRC=0.80 และปิดผิวลามิเนท NRC=0.80
- วัสดุพื้นกระเบื้องยาง และพื้นพรม



ภาพที่ 63 ผลการทดลองกลุ่มทดลองที่ 1-36 ติดตั้งฝ้าเพดานที่มีค่าการดูดซับเสียงที่ฝ้าเพดานทั้งพื้นที่สำนักงาน



ภาพที่ 64 ผลการทดลองกลุ่มทดลองที่ S1-S36 ติดตั้งฝ้าเพดาน เฉพาะพื้นที่นั่งทำงาน

4.3 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการตกแต่งอาคารสำนักงานตามเงื่อนไขสภาพอะคูสติก

งบประมาณในการก่อสร้างคำนวณจากพื้นฐานความต้องการในการใช้งานพื้นที่ หลักการออกแบบสถาพแวดล้อมทางอะคูสติก ต้องพิจารณาวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง ซึ่งเป็นวัสดุชนิดพิเศษ ในปัจจุบันอุตสาหกรรมด้านวัสดุก่อสร้าง มีการวิจัยที่มุ่งพัฒนาคุณสมบัติเฉพาะวัสดุอยู่มาก สะดวกต่อสถาปนิกนำไปใช้ออกแบบ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติเฉพาะวัสดุ และราคาที่เหมาะสม

งบประมาณการก่อสร้างอาคารที่ทำการ สำนักงบประมาณ กำหนดบัญชีราคามาตรฐานการออกแบบอาคารที่ทำการของหน่วยงานรัฐ รัฐวิสาหกิจ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และองค์กรอิสระควบคุมราคา อาคารสำนักงานขนาดเล็ก พื้นที่ใช้สอยไม่เกิน 2,000 ตารางเมตร ราคาต่อตารางเมตรไม่เกิน 14,000 บาท

ตารางที่ 68 ราคาส่วนต่างของพื้นผิววัสดุในการตกแต่งสำนักงานแบบเปิดโล่ง

วัสดุที่ใช้สำนักงาน	ราคาส่วนต่าง(บาท)	ราคาส่วนต่าง
วัสดุพื้นกระเบื้อง	500/222 (722 บาท)	-
F1 พื้นกระเบื้องยาง ชนิดม้วน หนา 2.5 มเมตร	1100/120 (1220 บาท)	500
F2 พื้นพรม	900-1200	178-478
วัสดุแผงกั้นส่วนโครงไม้ปิดไม้อัดยาง	669/128 (797 บาท)	-
B1 แผงกั้นส่วน ชนิดไฟเบอร์กลาสหุ้มผ้า	1850-2190 (ต่อ 1 ชุด)	1053-1393
หมายเหตุ : ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปราคาขึ้นอยู่กับรูปแบบ, รุ่นสินค้า และปริมาณสั่งซื้อ/จัดทำ		
B2 แผงกั้นส่วน โครงโลหะชุบสังกะสีปิดแผ่นยิปซั่มอะคูสติก ทาสี	เพิ่มราคาวัสดุ 550	550
B3 แผงกั้นส่วน ปิดผิวลามิเนท	เพิ่มราคาวัสดุ 420	420
หมายเหตุ : ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปราคาขึ้นอยู่กับรูปแบบ, รุ่นสินค้า และปริมาณสั่งซื้อ/จัดทำ		
วัสดุฝ้าเพดานแผ่นยิปซัม 9 เมตร ฉาบเรียบ ทาสี	292/75 (367บาท)	-
A1 ฝ้าเพดานยิปซั่มชนิดอะคูสติกเจาะรู	550/75 (625 บาท)	258
A2 ฝ้าเพดานยิปซั่มชนิดอะคูสติกเจาะรู	550/75 (625 บาท)	258

ที่มา: (ราคากลางวัสดุ indexpr.moc.go.th (ข้อมูล ก.ค. 2564), civil.rtaf.mi.th ราคากลางมาตรฐานชย.ทอ.ปี 64)

จากงานวิจัยเพื่อสร้างสำนักงานที่มีเงื่อนไขทางอะคูสติกที่ดี เสนอแนวทางเพื่อประมาณการในการก่อสร้าง ที่มีงบประมาณในการตกแต่งอาคารสำนักงานขนาดเล็ก เฉพาะตกแต่งอาคารไม่รวมการจัดซื้อครุภัณฑ์ ในส่วนพื้นอาคาร จัดเตรียมงบประมาณเพิ่มเป็นเงิน ไม่เกิน 1,000 บาทต่อตารางเมตร ส่วนฝ้าเพดานที่ต้องใช้วัสดุทางอะคูสติก งบประมาณเพิ่มเป็นเงิน 258 บาทต่อ

ตารางเมตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของงบประมาณ(ที่กำหนดเดิม 14,000 บาท) ที่ 8-10% โดยประมาณ เพื่อใช้ในการวางแผนสำหรับการเลือกใช้วัสดุทางอะคูสติก จึงเสนอให้จัดงบประมาณการสร้าง เพิ่มเป็นเงินที่ 1,400 บาทต่อตารางเมตร ทั้งนี้ในการออกแบบควบคุมสภาพทางอะคูติกเฉพาะพื้นที่กลุ่มงาน ซึ่งเป็นผลทดลองที่ผ่านเกณฑ์ประเมิน ISO 3382-3 วิธีในการออกแบบข้างต้นต้องทำการแยกพื้นที่นั่งทำงานแบบกลุ่ม และนำมาคำนวณงบประมาณเพิ่ม ที่ราคาประมาณการ 15,400 บาท แนวทางนี้เพื่อเพิ่มประโยชน์ในการใช้สอยพื้นที่อาคารสำนักงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อผู้ใช้อาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

สำนักงานแบบเปิดโล่งได้รับความนิยม นำมาเป็นหลักการในการออกแบบเป็นอย่างมาก ยังพบข้อเสียที่เป็นปัญหา ที่เกิดจากการรบกวนของเสียงสนทนา จึงได้ศึกษาวิจัยการจัดสัดส่วนพื้นผิวดูดซับเสียงที่ส่งผลต่อความเป็นส่วนตัวของคำพูดในสำนักงานแบบเปิดโล่ง เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหา และสร้างสภาพแวดล้อมของการทำงานที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดสมาธิในการปฏิบัติงาน ลดข้อผิดพลาด ลดความเครียด และการสื่อสารที่ไม่ชัดเจน ในงานวิจัยนี้เสนอให้เลือกใช้วัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียงมาใช้ในการตกแต่งภายในสำนักงาน ตำแหน่งการจัดวางวัสดุดูดซับเสียง เพื่อลดเสียงสะท้อนของพื้น, ผนัง, ฝ้าเพดาน พบว่าวิธีการกำหนดความสัมพันธ์ในการเลือกใช้วัสดุ และตำแหน่งในการติดตั้ง สามารถสร้างสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ส่งผลต่อความเป็นส่วนตัวของคำพูด และประโยชน์ต่อการสร้างสภาพแวดล้อมทางกายภาพของสำนักงานแบบเปิดโล่ง ส่งเสริมให้มีประสิทธิภาพต่อการทำงาน

5.1 ความสัมพันธ์กายภาพด้านเสียงที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมภายในสำนักงานแบบเปิดโล่ง

สำนักงานแบบเปิดโล่ง open plan office ลักษณะการจัดวางเฟอร์นิเจอร์ ควรเลือกใช้รูปแบบการจัดแบบกลุ่มงาน เนื่องจากง่ายต่อการควบคุมเสียงรบกวนจากการสนทนา เมื่อควบคุมเสียงภายในกลุ่มงาน ส่งผลให้สามารถควบคุมการรบกวนต่อกลุ่มงานข้างเคียงได้ การจัดสำนักงานแบบเปิดโล่ง มีองค์ประกอบหลักของสภาพแวดล้อมภายใน คือ วัสดุ แผงกั้นส่วน และฝ้าเพดาน Hongisto และคณะ,2007 การนำความสัมพันธ์ด้านความสูงแผงกั้นต่อความสูงฝ้าเพดาน ไปใช้ในการออกแบบสำนักงาน ดังนี้กำหนดระดับฝ้าเพดานสูงไม่ต่ำกว่า 3.40 เมตร โดยกำหนดแผงกั้นส่วนที่ 1.50 เมตร พื้นผิววัสดุสามารถเลือกใช้วัสดุที่มีค่า NRC ที่ 0.60-0.80 ในระนาบฝ้าเพดาน แนวทางการสร้างเงื่อนไขทางอะคูสติกเพื่อความเป็นส่วนตัวของคำพูด พิจารณาได้จากระดับความสูงฝ้าเพดาน ค่าความสามารถการดูดซับเสียงของวัสดุฝ้าเพดาน และแผงกั้นส่วน รวมถึงระดับความสูงของแผงกั้นส่วน เนื่องจากพื้นที่ของฝ้าเพดานคือสัดส่วนที่มีปริมาณมากในสำนักงาน จึงควรพิจารณาวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียงที่มีค่าการดูดซับเสียงสูง เนื่องจากบริเวณพื้นที่ว่างใต้ฝ้าเพดาน อยู่ในตำแหน่งที่มีอากาศหมุนเวียน และเปิดโล่งที่สุด ทำให้เสียงที่เดินทางผ่านอากาศมีปริมาณมาก ข้อเสนอแนะแนวทางจัดการความสัมพันธ์ต่อปัญหาเสียงรบกวน ดังนี้

- วัสดุพื้น ทำหน้าที่ลดเสียงสะท้อน เกิดจากคลื่นเสียงกระทำต่อโครงสร้าง วิธีการเลือกวัสดุ พิจารณาวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง มีลักษณะซ้อนทับเป็นชั้น เช่น กระเบื้องยาง พรม
- แผงกั้นส่วน ทำหน้าที่กั้นเสียง และแบ่งพื้นที่ระหว่างบุคคล และกลุ่มงาน เพื่อให้มีความเป็นระเบียบในพื้นที่สำนักงานแบบเปิดโล่ง การเพิ่มวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง คือ วิธีการที่ช่วยลดระดับความดันเสียงจากการสนทนาภายในกลุ่ม เมื่อระดับความดันเสียงลดลงมีค่าผกผักต่อดัชนี

ความเข้าใจในคำพูดลง ผลที่ได้คือลดความรำคาญใจ และเพิ่มสมาธิในการทำงาน (Keränen et al., 2020)

- วัสดุฝ้าเพดาน ทำหน้าที่ในการดูดซับเสียงที่เดินทางผ่านอากาศ ในบริเวณช่องว่างระหว่างความสูงฝ้าเพดานและแผงกั้น ซึ่งเป็นช่องว่างที่ทำให้เกิดเสียงสะสมสูง วัสดุฝ้าเพดานจำเป็นต้องพิจารณาเลือกใช้ชนิดที่มีค่าความสามารถในการดูดซับเสียง เพื่อช่วยในการดูดซับเสียงและลดเสียงสะท้อนกลับ การควบคุมพื้นผิวดังกล่าวจึงควรพิจารณาจากตำแหน่งที่มีปริมาณเสียงสะสมสูง เพื่อติดตั้งฝ้าเพดานที่มีวัสดุดูดซับเสียงตลอดพื้นที่ (Sarwono, Rachman, Azzahra, Utami, & Sentagi, 2014)

5.2. สรุปแนวทางการแก้ปัญหาเสียงรบกวนในสำนักงานแบบเปิดโล่งโดยวิธีทางสถาปัตยกรรม

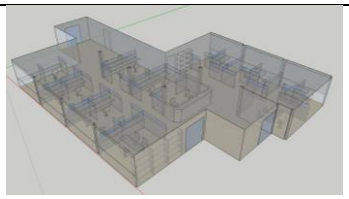
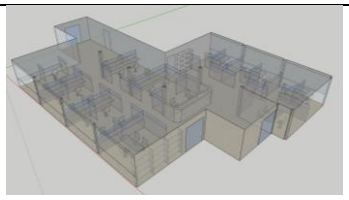
แนวทางการแก้ปัญหาเสียงรบกวนในพื้นที่สำนักงานแบบเปิดโล่ง พิจารณาระนาบที่มีปริมาณพื้นผิวมาก เพื่อลดการสะท้อนเสียง คือ พื้นที่วัสดุซับเสียงของฝ้าเพดานต่อสัดส่วนความสูงของแผงกั้นส่วนที่มีวัสดุซับเสียง โดยเสนอรูปแบบเป็นการนำความสัมพันธ์การเลือกใช้วัสดุ ระดับความสูง ชนิดวัสดุซับเสียง เพื่อการสร้างสภาพแวดล้อมสำนักงานแบบเปิดโล่ง ในขั้นตอนการวางแผนในการออกแบบ และแก้ไขปรับปรุงสำนักงานที่มีข้อจำกัดด้านความสูงของโครงสร้างอาคาร ตามเงื่อนไขทางอะคูสติกที่ดี ดังนี้

จากผลการทดลองกลุ่มที่ 1 การติดตั้งวัสดุซับเสียงที่มีค่า NRC 0.60, 0.80 ทั้งพื้นที่สำนักงานแบ่งความสัมพันธ์ต่อระดับความสูงฝ้าเพดานและแผงกั้นส่วนที่ปิดผิววัสดุซับเสียงประเภทผิว ลามิเนท วัสดุฟองยางหุ้มผ้า และแผ่นยิปซัมบอร์ดชนิดอะคูสติกเจาะรู แสดงความต้องการตามสัดส่วนพื้นผิวของระนาบ พื้น แผงกั้นส่วน และฝ้าเพดาน แนวทางการนำชุดความสัมพันธ์เพื่อการออกแบบสภาพแวดล้อมในสำนักงานแบบเปิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 69 สัดส่วนพื้นผิววัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง (NRC) ต่อความสูงฝ้าเพดาน (การติดตั้งทั้งพื้นที่)

ระดับฝ้าเพดาน (เมตร)	รูปแบบ	ตำแหน่ง	วัสดุ	ค่าวัสดุ NRC

2.60 เมตร		พื้น	พรมชนิดแผ่น	0.55
		แผงกั้นส่วน (1.50 เมตร)	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.60
		ฝ้าเพดาน	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.60
3.00 เมตร		พื้น	พรมชนิดแผ่น	0.55
		แผงกั้นส่วน (1.50 เมตร)	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.60
		ฝ้าเพดาน	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.60
3.40 เมตร		พื้น	กระเบื้องยาง	0.05
		แผงกั้นส่วน (1.50 เมตร)	ลามิเนท	0.17
		ฝ้าเพดาน	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.60

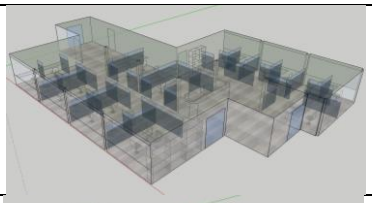
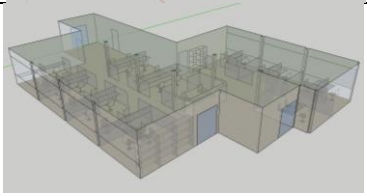
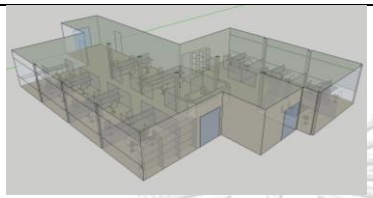
ผลการทดลองพบว่าสำนักงานแบบที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 2.60-3.00 เมตร วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.60 การติดตั้งทั้งพื้นที่สำนักงาน สัมพันธ์กับความสูงแผงกั้นที่ 1.50 เมตร และปิดผิวด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.60 เช่น วัสดุยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู และวัสดุพื้นสำนักงานควรเลือกวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.55 เช่น พื้นพรม

ผลการทดลองพบว่าสำนักงานแบบที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.60 การติดตั้งทั้งพื้นที่สำนักงาน สัมพันธ์กับความสูงแผงกั้นที่ 1.20 เมตร และปิดผิวด้วยลามิเนท ที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.17 เช่น แผงโครงไม้กรุไม้อัดปิดผิวลามิเนท และวัสดุพื้นสำนักงานควรเลือกวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.05 เช่น พื้นกระเบื้องยาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 70 สัดส่วนพื้นผิววัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง (NRC) ต่อความสูงฝ้าเพดาน (การติดตั้งทั้งพื้นที่)

ระดับฝ้าเพดาน (เมตร)	รูปแบบ	ตำแหน่ง	วัสดุ	ค่าวัสดุ NRC
		พื้น	กระเบื้องยาง	0.05

2.60		แผงกั้นส่วน (1.50 เมตร)	วัสดุฟองยางหุ้มผ้า	0.50
		ฝ้าเพดาน	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.80
3.00		พื้น	พรมชนิดแผ่น	0.55
		แผงกั้นส่วน (1.20 เมตร)	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.60
		ฝ้าเพดาน	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.80
3.40		พื้น	กระเบื้องยาง	0.05
		แผงกั้นส่วน (1.20 เมตร)	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.60
		ฝ้าเพดาน	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.80

ผลการทดลองพบว่าสำนักงานแบบที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.80 การติดตั้งทั้งพื้นที่ สัมพันธ์กับความสูงแผงกั้นที่ 1.50 เมตร และปิดผิวด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.50 เช่น วัสดุฟองยางหุ้มผ้า และวัสดุพื้นสำนักงานควรเลือกวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.05 เช่น พื้นกระเบื้องยาง

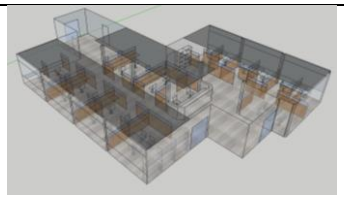
ผลการทดลองพบว่าสำนักงานแบบที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 3.00-3.40 เมตร วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.80 การติดตั้งทั้งพื้นที่ สัมพันธ์กับความสูงแผงกั้นที่ 1.20 เมตร และปิดผิวด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.60 เช่น วัสดุยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู และวัสดุพื้นสำนักงานควรเลือกวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.55 เช่น พื้นพรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการทดลองกลุ่มที่ 2 การติดตั้งวัสดุซับเสียงที่มีค่า NRC 0.60, 0.80 ติดตั้งเฉพาะพื้นที่กลุ่มงาน แบ่งความสัมพันธ์ต่อระดับความสูงฝ้าเพดานและแผงกั้นส่วนที่ปิดผิววัสดุซับเสียงประเภทผิวลามิเนท วัสดุฟองยางหุ้มผ้า และแผ่นยิปซัมบอร์ดชนิดอะคูสติกเจาะรู สรุปการนำชุดความสัมพันธ์ประเภทวัสดุ ระดับความสูง และค่าความสามารถการดูดซับเสียงของวัสดุ

ตารางที่ 71 สัดส่วนพื้นผิววัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง (NRC) ต่อความสูงฝ้าเพดาน (ติดตั้งเฉพาะพื้นที่กลุ่มงาน)

ระดับฝ้าเพดาน (เมตร)	รูปแบบ	ตำแหน่ง	วัสดุ	ค่าวัสดุ NRC

2.60		พื้น	พรมชนิดแผ่น	0.55
		แผงกั้นส่วน (1.50 เมตร)	ลามิเนท	0.17
		ฝ้าเพดาน	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.60
3.00		พื้น	กระเบื้องยาง	0.05
		แผงกั้นส่วน (1.20 เมตร)	ลามิเนท	0.17
		ฝ้าเพดาน	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.60
3.40		พื้น	กระเบื้องยาง	0.05
		แผงกั้นส่วน (1.20 เมตร)	ลามิเนท	0.17
		ฝ้าเพดาน	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.60

ผลการทดลองพบว่าสำนักงานแบบที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.60 *การติดตั้งเฉพาะพื้นที่กลุ่มงาน* สัมพันธ์กับความสูงแผงกั้นที่ 1.50 เมตร และปิดผิวด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.60 เช่น วัสดุยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู และวัสดุพื้นสำนักงานควรเลือกวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.55 เช่น พื้นพรม

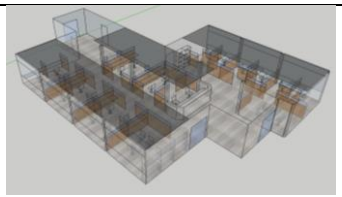
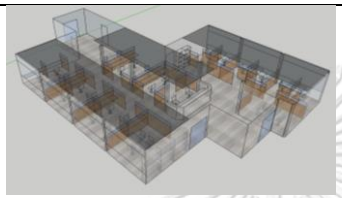
ผลการทดลองพบว่าสำนักงานแบบที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 3.00-3.40 เมตร วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.60 *การติดตั้งเฉพาะพื้นที่กลุ่มงาน* สัมพันธ์กับความสูงแผงกั้นที่ 1.20 เมตร และปิดผิวด้วยลามิเนท ที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.17 เช่น แผงโครงไม้กรุไม้อัดปิดผิวลามิเนท และวัสดุพื้นสำนักงานควรเลือกวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.05 เช่น พื้นกระเบื้องยาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สัดส่วนพื้นผิววัสดุที่มีการดูดซับเสียง NRC ขององค์ประกอบสำนักงานที่มีสภาพความเป็นส่วนตัวในคำพูด พิจารณาจากระดับความสูงฝ้าเพดาน วิธีการติดตั้งเฉพาะกลุ่มงาน ที่ผ่านเกณฑ์ประเมิน ISO 3382 – 3

ตารางที่ 72 สัดส่วนพื้นผิววัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง (NRC) ต่อความสูงฝ้าเพดาน (ติดตั้งเฉพาะพื้นที่กลุ่มงาน)

ระดับฝ้าเพดาน (เมตร)	รูปแบบ	ตำแหน่ง	วัสดุ	ค่าวัสดุ NRC

2.60		พื้น	พรมชนิดแผ่น	0.55
		แผงกั้นส่วน (1.50 เมตร)	ลามิเนท	0.17
		ฝ้าเพดาน	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.60
3.00		พื้น	กระเบื้องยาง	0.05
		แผงกั้นส่วน (1.20 เมตร)	ลามิเนท	0.17
		ฝ้าเพดาน	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.60
3.40		พื้น	กระเบื้องยาง	0.05
		แผงกั้นส่วน (1.20 เมตร)	ลามิเนท	0.17
		ฝ้าเพดาน	ยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู	0.60

ผลการทดลองพบว่าสำนักงานแบบที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 2.60 เมตร วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.80 *การติดตั้งเฉพาะพื้นที่กลุ่มงาน* สัมพันธ์กับความสูงแผงกั้นที่ 1.50 เมตร และปิดผิวด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.60 เช่น วัสดุยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู และวัสดุพื้นสำนักงานควรเลือกวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.55 เช่น พื้นพรม

ผลการทดลองพบว่าสำนักงานแบบที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 3.00 เมตร วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.80 *การติดตั้งเฉพาะพื้นที่กลุ่มงาน* สัมพันธ์กับความสูงแผงกั้นที่ 1.20 เมตร และปิดผิวด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.60 เช่น วัสดุยิปซัมชนิดอะคูสติกเจาะรู และวัสดุพื้นสำนักงานควรเลือกวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.05 เช่น พื้นกระเบื้องยาง

ผลการทดลองพบว่าสำนักงานแบบที่มีระดับฝ้าเพดานสูง 3.40 เมตร วัสดุฝ้าเพดานต้องมีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.80 *การติดตั้งเฉพาะพื้นที่กลุ่มงาน* สัมพันธ์กับความสูงแผงกั้นที่ 1.20 เมตร และปิดผิวด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.17 เช่น ปิดผิวลามิเนท และวัสดุพื้นสำนักงานควรเลือกวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียง NRC ที่ 0.05 เช่น พื้นกระเบื้องยาง

ค่าการดูดซับเสียงของวัสดุแต่ละพื้นผิว แสดงถึงคุณสมบัติเฉพาะวัสดุ นำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกวัสดุตกแต่งสำนักงาน ทั้งด้านการเลือกประเภทวัสดุ ลักษณะพื้นผิววัสดุ รูปแบบการติดตั้งในขั้นการวางแผนการออกแบบ และเตรียมงบประมาณในการตกแต่ง สำนักงานแบบเปิดโล่ง

5.3 สรุปแนวทางการวางแผนในการออกแบบสภาพแวดล้อมอะคูสติกภายในสำนักงานแบบเปิดโล่ง

จากผลสรุปการวิจัยพบว่า สำนักงานแบบเปิดโล่ง ควรกำหนดให้ระดับความสูงของฝ้าเพดานมีความสูงไม่ต่ำกว่า 3.00-3.40 เมตร กำหนดความสูงของแผงกั้นส่วนสูง 1.20-1.50 เมตร ยังคงสร้างความเป็นส่วนตัวทางคำพูด และความเป็นส่วนตัวในการมองเห็น สามารถสร้างพื้นที่ทำงานให้เกิดสมาธิได้ดี งบประมาณในการตกแต่งไม่สูง การเลือกวัสดุพื้นเมื่อระยะฝ้ามีระดับไม่ต่ำกว่า 3.00 เมตร สามารถเลือกใช้วัสดุพื้นกระเบื้องยาง ซึ่งผิววัสดุช่วยในการลดเสียงสะท้อนได้ และประหยัดค่าใช้จ่ายในการตกแต่ง ทำความสะอาดง่ายไม่สะสมฝุ่น ที่ส่งผลต่อสุขภาพกาย

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ขอบเขตอยู่ในพื้นที่ปิด โดยใช้เครื่องปรับอากาศเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ และพิจารณาเฉพาะพื้นผิวที่มีปริมาณมาก คือ พื้น ฝ้าเพดาน และแผงกั้นส่วนที่เป็นองค์ประกอบหลักในการแบ่งกลุ่มงานของสำนักงานแบบเปิดโล่ง และการวิจัยในครั้งต่อไปสามารถนำพื้นผิวอาคารมาพิจารณาร่วม และสามารถเพิ่มชนิดวัสดุฝ้าเพดานที่มีค่าการกลืนเสียง รวมถึงพิจารณาความสำคัญของช่องว่างระหว่างความสูงแผงกั้นส่วนต่อระดับฝ้าเพดานเพิ่มเติม ในปัจจุบันสถาปนิกยังขาดความรู้และเครื่องมือในการคำนวณ การจำลองโมเดลในโปรแกรมด้านเสียง มีประโยชน์ต่อการออกแบบอาคารของสถาปนิก หวังว่าในโอกาสข้างหน้าจะมีการพัฒนาโปรแกรมด้านนี้มากขึ้น เพื่อให้สถาปนิกได้ใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างสภาพแวดล้อมภายในอาคารได้อย่างแพร่หลาย เพื่อส่งเสริมให้ผู้ใช้อาคารมีความปลอดภัยทางด้านร่างกาย และจิตใจอย่างสมบูรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ร.อ.หญิง ตระการตา มหาสุคนธ์
วัน เดือน ปี เกิด	7 กรกฎาคม 2522
สถานที่เกิด	จ.ปทุมธานี
วุฒิการศึกษา	- พ.ศ. 2546 ครุศาสตรอุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมภายใน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง - พ.ศ. 2561 เข้าศึกษาหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	33 ม.1 ต.บางกระบือ อ.สามโคก จ.ปทุมธานี 12160
ผลงานตีพิมพ์	- ความสัมพันธ์ระหว่างแผงกั้นส่วนต่อความสูงฝ้าเพดาน เพื่อความเป็นส่วนตัวในคำพูด ในสำนักงานแบบเปิดโล่ง การประชุมวิชาการ Built Environment Research Associates Conference, BERAC2021 วันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2564
รางวัลที่ได้รับ	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University