



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการทะลุผ่านของเสียงและการสั่นสะเทือนทางโครงสร้างของผนังเบา  
A Study of Sound transmission and vibration on the structure of  
light weight wall

นางสาวปริณัฐ ตันเขมจารี

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการทะลุผ่านของเสียงและการสั่นสะเทือนทางโครงสร้างของผนังเบา  
A Study of Sound transmission and vibration on the structure of  
light weight wall

นางสาวปริยณัฐ ตันเชมจარი

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การศึกษา ทะลุผ่านของเสียงและการสั่นสะเทือนทางโครงสร้างของผนังเบา

ชื่อ - สกุล นักศึกษา นางสาวปริญชุ ตันชมจารี

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อ - สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.ภรณ์เพ็ญ ลภีรัตนากุล

ชื่อ - สกุล ผู้นิเทศงาน นางสาวนัยนา อิศวภาญจน

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท อาสา เทอร์มาคูสติค จำกัด

### บทคัดย่อ

เสียงรบกวน (Noise) ถือเป็นเสียงที่ไม่เป็นที่ต้องการซึ่งก่อให้เกิดความรำคาญ รบกวนสมาธิ และยังส่งผลเสียต่อสมดุร่างกายและสภาพจิตใจ เสียงรบกวนนั้นสามารถพบได้ทุกที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองที่มีการเจริญเติบโตสูง เช่นกรุงเทพมหานคร เนื่องจากเมืองใหญ่นั้นเต็มไปด้วยผู้คนจำนวนมาก การคมนาคมขนส่ง การก่อสร้าง ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ล้วนเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของเสียงรบกวนให้เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะกับที่อยู่อาศัย ซึ่งมักอยู่ในรูปแบบอาคารสูง (High rise building) ซึ่งต้องคำนึงถึงความสงบและความเป็นส่วนตัวของผู้อยู่อาศัย ผนังกันห้องจึงต้องมีความสามารถในการกันเสียงรบกวนได้เป็นอย่างดี การวัดความสามารถในการกันเสียงของผนังจะวัดจากค่าดัชนีการลดเสียง โดยเหล่านี้สามารถวัดได้จากการทดสอบของเจ้าของสินค้า หรือจากการคำนวณทางโปรแกรมที่มีราคาสูง

จึงเป็นที่มาของการทำโครงการนี้ โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบการกันเสียง (Sound Reduction) และการสั่นสะเทือนของกำแพง (Vibration) เพื่อจัดทำโปรแกรมคำนวณผลการกันเสียงของผนังเบาอย่างง่ายโดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลในการคำนวณค่าการกันเสียง โดยทำการศึกษาดัชนีการกันเสียงของผนัง (Sound Reduction Index) โดยให้รูปแบบของผนังแต่ละด้านแตกต่างกัน 3 รูปแบบ และต่างชนิดของโครงสร้าง คือโครงสร้างแข็ง (Rigid Stud) และ โครงสร้างอ่อน (Resilient stud) ปัจจัยที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผนังแต่ละประเภทนั้น ได้แก่ พฤติกรรมการกันเสียงในแต่ละย่านความถี่ ความถี่พ้อง (Resonance Frequency) และความถี่วิกฤติ (Coincidence Frequency) ที่เกิดขึ้นกับกำแพง โดยจากการสร้างโปรแกรมขึ้นมา เมื่อนำค่าการคำนวณไปตรวจเทียบกับค่าจากการทดสอบจริงๆ พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ในทุกๆกรณีที่ทำการตรวจเทียบ จึงทำให้โปรแกรมสามารถประมาณค่าดัชนีลดเสียงของผนังได้

**Co-operation Title:** A Study of Sound transmission and vibration on the structure of light weight wall

**Student Intern Name:** Miss Parinnuch Tankemjaree

**Faculty:** Engineering **Department:** Mechanical Engineering

**Advisor name:** Dr. Ponepen Laphirattanakul

**Mentor name:** Naiyana Asawakanjana

**Company:** ASA Thermacoustic CO.,LTD

## Abstract

Noise is unwanted sound which cause annoyance distraction and negatively affect the balance body and mental Status. The noise that can be found everywhere. Especially in the big cities such as Bangkok, which has a lot of crown, transportation, construction. These activities are increasing noise volume. Especially the residence, which is usually in the form of High-rise building. In the construction, thus to consider peace and privacy of the residents. Wall must qualify to block the noise from the outside as well, which concern the peace and privacy of the residents. Wall's partitions must have the ability to block noise as well. Measuring the ability of sound barrier wall will be measured from the sound reduction index. These can be measured by the test of the products or from a computational program , which has a high price.

Therefore, the purpose of the project is to study the effects of sound reduction and vibration of the wall. As well as to create a program to calculate the sound reduction index of light-weight wall with the Microsoft excel program. The study of sound reduction index of wall by comparison the pattern of wall 3 form and structure 2 type is a rigid structure and Resilient structure. The factors used to compare the efficiency of each wall types, including behavior of sound transmission loss in each frequency. Resonance frequency and coincidence frequency happened to the wall. The creation of the program. When the values that were calculated to validated to values from the actual test. It is found that the error was less 10 percent in any case, thus making the program able to estimate an index of noise walls.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจากบุคคลหลายฝ่ายที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ คำชี้แนะ และคอยให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการดำเนินงานต่างๆ ซึ่งผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ ดร.ภรณ์เพ็ญ ลภีรัตนากุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่คอยให้ คำปรึกษา และคำแนะนำเป็นอย่างดี จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี

ขอขอบคุณ บริษัท อาสา เทอร์มาคอสติก จำกัด ที่ให้ความกรุณา สนับสนุน คำแนะนำ คำชี้แนะ และให้ประสบการณ์ในการทำงาน และการทำวิจัยปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณนัยนา อัครวาทญาณา ที่คอยเป็นที่ปรึกษาปัญหาต่างๆ ช่วยเหลือข้อมูลในการคำนวณผล เพื่อทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณอาจารย์วิสิทธิ์ สีลาศิริวงศ์ อาจารย์ภาคฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยให้ข้อมูลผลการทดลองจริงในการนำมาเทียบค่ากับผลจากการคำนวณ และช่วยเหลือในการช่วยตรวจสอบสมการ และให้ข้อมูลวัสดุในการทำปริญญานิพนธ์

ปริญญช ตันเขมจारी

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย _____	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ _____	II
กิตติกรรมประกาศ _____	III
สารบัญ _____	IV
สารบัญตาราง _____	VI
สารบัญรูป _____	VII
สารบัญกราฟ _____	X
บทที่ 1 บทนำ _____	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ _____	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย _____	2
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน _____	2
1.4 กระบวนการดำเนินงานวิจัย _____	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ _____	3
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ _____	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง _____	5
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับเสียง _____	5
2.2 ดัชนีการลดเสียง _____	6
2.3 พฤติกรรมการลดเสียง _____	7
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง _____	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย _____	20
3.1 การกำหนดรูปแบบของผนังที่ศึกษา และการตั้งสมมติฐาน _____	21
3.2 การคำนวณค่าการลดเสียง และสร้างเครื่องมือช่วยคำนวณ _____	33

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย _____	38
4.1 การตรวจสอบเทียบค่าผลการคำนวณ _____	38
4.2 การศึกษาอิทธิพลของคุณสมบัติผนังและโครงสร้างต่อพฤติกรรมการลดเสียง _____	49
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ _____	61
5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย _____	61
5.2 ข้อเสนอแนะ _____	63
เอกสารอ้างอิง _____	64
ภาคผนวก _____	66
ภาคผนวก ก คุณสมบัติวัสดุผนังและโครงสร้าง _____	67
ภาคผนวก ข การใช้งานโปรแกรมคำนวณผลดัชนีการวัดเสียง _____	70

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงระยะเวลาในการดำเนินโครงการ _____	4
3.1 กรณีรูปแบบผนังและโครงสร้าง _____	27
3.2 คุณสมบัติวัสดุของแผ่นผนังที่ใช้ในการคำนวณ _____	31
3.3 คุณสมบัติวัสดุของโครงสร้างที่ใช้ในการคำนวณ _____	32
3.4 คุณสมบัติของวัสดุซับเสียงที่ใช้ในการคำนวณ _____	32
3.5 คุณสมบัติตัวกลางในการเคลื่อนที่ของเสียงที่ใช้ในการคำนวณ _____	32
4.1 แสดงลักษณะของผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็ง ในการสอบเทียบค่า _____	40
4.2 ลักษณะของผนังรูปแบบ B โครงสร้างแข็ง ในการสอบเทียบค่า _____	41
4.3 ลักษณะของผนังรูปแบบ C โครงสร้างแข็ง ในการสอบเทียบค่า _____	42
4.4 ลักษณะของผนังรูปแบบ A โครงสร้างยึดหยุ่น ในการสอบเทียบค่า _____	43
4.5 ลักษณะของผนังรูปแบบ B โครงสร้างยึดหยุ่น ในการสอบเทียบค่า _____	44
4.6 ลักษณะของผนังรูปแบบ C โครงสร้างยึดหยุ่น ในการสอบเทียบค่า _____	45
4.7 ลักษณะของผนังรูปแบบ A โครงสร้างยึดหยุ่น ในการสอบเทียบค่า _____	46
4.8 ลักษณะของผนังรูปแบบ B โครงสร้างยึดหยุ่น ในการสอบเทียบค่า _____	47
4.9 รูปแบบผนังและโครงสร้างที่ศึกษา _____	48

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ค่าตัวประกอบการทะลุผ่านของเสียง _____	6
2.2 พหุคูณการลดเสียง (Sound Reduction Index) ของผนังแผ่นเดียว _____	8
2.3 การสั่นสะเทือนของผนัง ในช่วงที่ควบคุมโดยค่าความแข็ง (Stiffness controlled region) _____	8
2.4 การทะลุผ่านของเสียงผ่านผนัง _____	10
2.5 การกระจายของเสียงที่ทะลุผ่านผนังแบบ 2 ชั้น _____	12
2.6 ลักษณะผนังแบบ 2 ชั้น _____	12
2.7 ระบบมวลสปริงของผนังแบบ 2 ชั้น _____	13
3.1 แผนผังขั้นตอนการคำนวณดัชนีการลดเสียง _____	20
3.2 รูปแบบของผนังที่มีการใช้ในปัจจุบัน _____	21
3.3 ส่วนประกอบของผนังรูปแบบ A _____	22
3.4 ส่วนประกอบของผนังรูปแบบ B _____	23
3.5 ส่วนประกอบของผนังรูปแบบ C _____	24
3.6 ประเภทของโครงสร้าง ด้านซ้าย คือ โครงสร้างแข็ง ด้านขวา คือ โครงสร้างยึดหยุ่น _____	24
3.7 ผนังกรณีที่ 1 ผนังรูปแบบ A ประเภทโครงสร้างแข็ง _____	27
3.8 ผนังกรณีที่ 2 ผนังรูปแบบ A ประเภทโครงสร้างยึดหยุ่น _____	28
3.9 ผนังกรณีที่ 3 ผนังรูปแบบ B ประเภทโครงสร้างแข็ง _____	28
3.10 แสดงผนังกรณีที่ 4 ผนังรูปแบบ B ประเภทโครงสร้างยึดหยุ่น _____	29
3.11 แสดงผนังกรณีที่ 5 ผนังรูปแบบ C ประเภทโครงสร้าง _____	29

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 ผนังกรณีที่ 6 ผนังรูปแบบ C ประเภทโครงสร้างยึดหยุ่น	30
3.13 ขั้นตอนการคำนวณค่าการลดเสียง กรณีผนังรูปแบบที่ A	33
3.14 ขั้นตอนการคำนวณค่าการลดเสียง กรณีผนังรูปแบบที่ B	34
3.15 ขั้นตอนการคำนวณค่าการลดเสียง กรณีผนังรูปแบบที่ C	35
4.1 รูปหน้าใส่คุณสมบัติวัสดุของโปรแกรมคำนวณดัชนีการลดเสียง	38
4.2 รูปหน้าแสดงผลการคำนวณดัชนีการลดเสียง	39
4.3 รูปแบบผนังตัวเทียบค่า กรณีที่ 1	40
4.4 ค่าดัชนีการลดเสียงที่ใช้เทียบ ในกรณีที่ 1	40
4.5 รูปแบบผนังตัวเทียบค่า กรณีที่ 2	41
4.6 ค่าดัชนีการลดเสียงที่ใช้เทียบ ในกรณีที่ 2	41
4.7 รูปแบบผนังตัวเทียบค่า กรณีที่ 3	42
4.8 ค่าดัชนีการลดเสียงที่ใช้เทียบ ในกรณีที่ 3	42
4.9 รูปแบบผนังตัวเทียบค่า กรณีที่ 4	43
4.10 ค่าดัชนีการลดเสียงที่ใช้เทียบ ในกรณีที่ 4	43
4.11 รูปแบบผนังตัวเทียบค่า กรณีที่ 5	44
4.12 ค่าดัชนีการลดเสียงที่ใช้เทียบ ในกรณีที่ 5	44
4.13 รูปแบบผนังตัวเทียบค่า กรณีที่ 6	45
4.14 ค่าดัชนีการลดเสียงที่ใช้เทียบ ในกรณีที่ 6	45

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 รูปแบบผนังตัวเทียบค่า กรณีที่ 7 _____	46
4.16 ค่าดัชนีการกั้นเสียงที่ได้จากการทดลอง _____	46
4.17 ค่าดัชนีการลดเสียงจากการคำนวณ _____	46
4.18 ดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 2 ที่ได้จากการคำนวณ _____	46
4.19 รูปแบบผนังตัวเทียบค่า กรณีที่ 8 _____	47
4.20 ค่าดัชนีการกั้นเสียงที่ได้จากการทดลอง _____	47
4.21 ค่าดัชนีการลดเสียง จากการคำนวณ _____	47
4.22 ดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 4 ที่ได้จากการคำนวณ _____	47

## สารบัญญกราฟ

กราฟที่	หน้า
4.1 ดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 1 ที่ได้จากการคำนวณ	40
4.2 ดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 2 ที่ได้จากการคำนวณ	41
4.3 ดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 3 ที่ได้จากการคำนวณ	42
4.4 ดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 4 ที่ได้จากการคำนวณ	43
4.5 ดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 5 ที่ได้จากการคำนวณ	44
4.6 ดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 6 ที่ได้จากการคำนวณ	45
4.7 ดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 2 ที่ได้จากการคำนวณ	46
4.8 ดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 4 ที่ได้จากการคำนวณ	47
4.9 พฤติกรรมการลดเสียงของผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็ง	49
4.10 พฤติกรรมการลดเสียงของผนังรูปแบบ A โครงสร้างยึดหยุ่น	50
4.11 พฤติกรรมการลดเสียงของผนังรูปแบบ B โครงสร้างแข็ง	51
4.12 พฤติกรรมการลดเสียงของผนังรูปแบบ B โครงสร้างยึดหยุ่น	52
4.13 พฤติกรรมการลดเสียงของผนังรูปแบบ C โครงสร้างแข็ง	53
4.14 พฤติกรรมการลดเสียงของผนังรูปแบบ C โครงสร้างยึดหยุ่น	54
4.15 ดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ A, B และ C โครงสร้างประเภทแข็ง	55
4.16 ดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ A, B และ C โครงสร้างประเภทยึดหยุ่น	56
4.17 ดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็งและโครงสร้างยึดหยุ่น	58
4.18 ผลต่างดัชนีการลดเสียงของ โครงสร้างแข็งและยึดหยุ่น ในผนังรูปแบบA	58

## สารบัญกราฟ (ต่อ)

กราฟที่	หน้า
4.19 ดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ B โครงสร้างแข็งและโครงสร้างยึดหยุ่น	59
4.20 ผลต่างดัชนีการลดเสียงของ โครงสร้างแข็งและยึดหยุ่น ในผนังรูปแบบ B	59
4.21 ดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ C โครงสร้างแข็งและโครงสร้างยึดหยุ่น	60
4.22 ผลต่างดัชนีการลดเสียงของ โครงสร้างแข็งและยึดหยุ่น ในผนังรูปแบบ C	60



## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในเมืองใหญ่ที่คละคลุ้งไปด้วย ผู้คนจำนวนมาก การจราจรที่คับคั่งบนท้องถนน ตึกสูงใหญ่มากมาย เป็นเหมือนดั่งศูนย์กลางทางด้านธุรกิจของประเทศ อย่างเช่นกรุงเทพมหานคร ปฏิเสธไม่ได้เลยว่าผู้คนที่อยู่ในเมืองใหญ่เหล่านี้ล้วนไปรับผลกระทบจากเสียงรบกวนทั้งนั้น โดยเสียงรบกวนนั้นอาจจะเกิดจากการจราจรบนท้องถนน เสียงพูดคุย เสียงกรี๊ดร้อง เสียงเพลงจากปาร์ตี้ นอกจากนี้ยังมีเสียงจากการก่อสร้างที่อาศัยเครื่องจักรกลหนัก ซึ่งส่งเสียงดังรบกวนเป็นเวลานานหลายปี และสามารถสะท้อนเสียงไปยังบริเวณพื้นที่สงบรอบๆ ทำให้คนบ้านใกล้โครงการก่อสร้าง เส้นทางรถไฟ หรือสนามบิน ต้องพบเจอกับปัญหาเสียงรบกวนซึ่งส่งผลกระทบต่อชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็น รบกวนการสื่อสาร การนอนหลับ สมาธิในการทำงาน สร้างความวิตกกังวลและความเครียด ถ้าได้รับเสียงที่ดังมากๆอาจส่งผลต่อการได้ยิน โรคความดันโลหิต เป็นต้น

การควบคุมเสียงนั้นจะขึ้นอยู่กับประเภทของต้นกำเนิดเสียง เช่น การสร้างกำแพงซีเมนต์ หรือปลูกต้นไม้ริมถนน เพื่อลดเสียงรบกวน หรือในกรณีการป้องกันส่วนตัว เช่น ให้สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันเสียงเมื่ออยู่ตรงบริเวณที่ได้รับผลกระทบของเสียงมาก หรือการควบคุมเสียงระดับภาครัฐ คือการออกแบบควบคุมผังเมือง การกีดกันที่อยู่อาศัยให้ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน แต่ถ้าไม่สามารถหลีกเลี่ยงแหล่งกำเนิดเสียงที่กล่าวมาได้ หรือที่พักอาศัยอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดเสียง การลดปัญหาเสียงรบกวนจึงต้องขึ้นอยู่กับ การออกแบบและเลือกวัสดุในการสร้างที่อยู่อาศัย เนื่องจากรูปแบบที่อยู่อาศัยของคนเมืองจะเป็นในรูปแบบตึกสูง เช่น คอนโดมิเนียม การลดปัญหาเสียงรบกวนส่วนใหญ่ในตึกสูงจะให้ความสำคัญกับผนังและพื้นที่ใช้สอยภายในห้อง เนื่องจากพื้นที่ที่มีจำกัด และความต้องการใช้พื้นที่สูง การก่อสร้างตึกสูงส่วนใหญ่ มักนิยมใช้ผนังเบาเป็นผนังภายในแทนการใช้ผนังแบบก่ออิฐ เป็นลักษณะของผนังที่ตรงกลางเป็นช่องว่างของอากาศหรือฉนวน มีโครงสร้างของผนังภายในที่ทำด้วย ไม้ อะลูมิเนียม หรือเหล็กบาง โดยนำแผ่นไฟเบอร์หรือแผ่นยิปซัมมาปิดทับในแต่ละด้าน ซึ่งด้วยเหตุผลนี้ทำให้ผนังเบามีน้ำหนักที่เบากว่าผนังแบบก่ออิฐ และยังทำให้ประหยัดเวลาในการก่อสร้าง จึงลดต้นทุนแรงงาน และด้วยความหนาของผนังเบามีขนาดที่น้อยกว่าส่งผลให้ขนาดของห้องเพิ่มมากขึ้น ส่วนคุณสมบัติด้านการกันเสียงของผนังเบามีค่าเทียบเท่ากับผนังแบบก่ออิฐ โดยจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่เลือกใช้ในการทำผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากต้นกำเนิดเสียงที่แตกต่างกัน ทั้งด้านระดับของเสียง และโทนเสียง จึงส่งผลให้รูปแบบของผนังและวัสดุที่ใช้จึงต้องแตกต่างกันด้วย ดังนั้นการประมาณค่าการกั้นเสียงของผนังแต่ละประเภทจึงต้องใช้โปรแกรมในการคำนวณ ซึ่งมีมูลค่าสูง ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จึงไม่นิยมใช้กัน จึงมักเกิดปัญหาการออกแบบและเลือกใช้วัสดุไม่ตรงกับประเภทของแหล่งกำเนิดเสียง ผนังจึงไม่สามารถกั้นเสียงได้ในบางช่วงความถี่ ส่งผลให้เกิดการเล็ดลอดของเสียง นอกจากนี้ข้อมูลเกี่ยวกับผนังเบาส่วนใหญ่จะมาจากต่างประเทศ ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุบางอย่างไม่ตรงกับวัสดุในไทย ทำให้ค่าดัชนีการกั้นเสียงคลาดเคลื่อนไป ด้วยเหตุผลนี้ จึงนำมาสู่การศึกษาผลกระทบของวัสดุที่มีผลต่อการกั้นเสียงและการสั่นสะเทือนของผนังเบาเชิงตัวเลข โดยมีความคาดหวังว่าการศึกษาพฤติกรรมการกั้นเสียงของผนังเบาและผลกระทบของวัสดุต่อการกั้นเสียง จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่มีความสนใจ และผู้ประกอบการรับเหมาก่อสร้าง เพื่อเป็นการประมาณค่าการกั้นเสียงในเบื้องต้น และยังสามารถทำการศึกษาพัฒนาไปถึงการออกแบบในระบบการกั้นเสียงอื่นๆ เช่น ฝ้า ห้องกั้นเสียง เป็นต้น โดยผลจากการสร้างโปรแกรมการคำนวณดัชนีลดเสียงของผนังออกมา พบว่าเมื่อนำไปคำนวณค่าเพื่อนำไปเทียบตรวจกับผลการทดสอบดัชนีลดเสียงจริง ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยกว่า 10% โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มากที่สุดเท่ากับ 8.88% เท่านั้น โปรแกรมจึงมีความน่าเชื่อถือ โดยสามารถนำไปประมาณค่าการลดเสียงของกำแพงได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีผลต่อการกั้นเสียงและการสั่นสะเทือนของผนังเบา

1.2.2 เพื่อสร้างโปรแกรมสำหรับการประมาณค่าการกั้นเสียงของผนังเบา

โดยใช้โปรแกรม Microsoft excel

## 1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1.3.1. พิจารณารูปแบบของผนังเบา โครงสร้างของผนัง และวัสดุที่นำมาใช้ในประเทศไทย

1.3.2 สมมติรูปแบบของผนังที่ใช้ในการศึกษา 3 รูปแบบ ดังนี้

- รูปแบบ A ผนังทั้งสองด้านเป็นแบบ single panel
- รูปแบบ B ผนังด้านหนึ่งเป็นแบบ single panel และอีกด้านเป็น double panel
- รูปแบบ C ผนังด้านหนึ่งเป็นแบบ single panel และอีกด้านเป็น sandwich panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3.3 สมมติรูปแบบของโครงสร้างผนัง 2 รูปแบบ ดังนี้

- โครงสร้างแบบแข็ง เช่น ไม้ เหล็กแข็ง
- โครงสร้างแบบยืดหยุ่น เช่น เหล็กอ่อน เหล็กติดยางยืดหยุ่น

### 1.3.4 ปัจจัยที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผนังแต่ละประเภทนั้น ได้แก่ พฤติกรรมการกั้นเสียงในแต่ละย่านความถี่

## 1.4 กระบวนการดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 ทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเสียง การทะลุผ่านของเสียง และพฤติกรรมการกั้นเสียงในแต่ละช่วงความถี่
- 1.4.2 นำผลการจากการศึกษาพฤติกรรมการกั้นเสียง มาสร้างโปรแกรมการคำนวณ
- 1.4.3 ทำการเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองกำแพงกั้นเสียง
- 1.4.4 แก้ไขและหาจุดบกพร่องที่ไม่เป็นไปตามทฤษฎี
- 1.4.5 สรุปผลและอภิปรายผล
- 1.4.6 จัดทำรายงานนำเสนอ

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ช่วยในการประเมินค่าการกั้นเสียงของกำแพง สำหรับผู้ประกอบการรับเหมาก่อสร้างหรือผู้ที่สนใจ
- 1.5.2 สามารถใช้เป็นแนวทางในการใช้ศึกษาพัฒนาไปถึงการออกแบบในระบบการกั้นเสียงอื่นๆ เช่น พื้นและเพดาน เป็นต้น

### 1.6 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ลำดับ	หัวข้องาน	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
1	ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับเสียง การทะลุผ่านของเสียง และพฤติกรรมการกั้นเสียงในแต่ละช่วงความถี่					
2	นำผลการจากการศึกษาพฤติกรรมการกั้นเสียง มาสร้างโปรแกรมการคำนวณ					
3	ทำการเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลองกำแพงกั้นเสียง					
4	แก้ไขและหาจุดบกพร่องที่ไม่เป็นไปตามทฤษฎี					
5	สรุปผลและอภิปรายผล					
6	จัดทำรายงานนำเสนอ					

ตาราง 1.1 แสดงระยะเวลาในการดำเนินงาน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับเสียง

เสียงในทางฟิสิกส์ เป็นพลังงานรูปหนึ่งที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของอนุภาคตัวกลาง ทำให้เกิดการอัดและขยายสลับกัน เกิดการเปลี่ยนแปลงของความดันตามการเคลื่อนที่ของอนุภาค ในส่วนอัด (Compression) อนุภาคของตัวกลางจะอยู่ชิดกันมากความดันจึงมากกว่าปกติ ในส่วนขยาย (Rarefaction) อนุภาคของตัวกลางจะอยู่ห่างกันมากกว่าปกติความดันจึงมีค่าน้อย ความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงของความดันเสียงกับระยะทางมีลักษณะเป็นคลื่น เรียกว่า คลื่นเสียง ซึ่งมีรูปแบบเป็นคลื่นไซน์ (Sine wave) คลื่นเสียงเป็นคลื่นตามยาว เนื่องจากอนุภาคของตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปมา ในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของเสียง ตัวกลางที่เสียงสามารถเคลื่อนที่ได้ ได้แก่ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ เสียงไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศได้

การได้ยินเสียงของมนุษย์นั้น เกิดจากคลื่นเสียงผ่านเข้ามาในช่องหูกระทบเยื่อแก้วหู ความดันของเสียงทำให้เยื่อแก้วหูเกิดการสั่นสะเทือนและเคลื่อนไหว การเคลื่อนไหวของเยื่อแก้วหูจะถูกส่งต่อไปยังหูส่วนกลาง ซึ่งหูส่วนกลางทำหน้าที่เปลี่ยนการสั่นสะเทือนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่งต่อไปยังระบบประสาทส่วนกลางในสมอง ทำให้เกิดการได้ยินและแปลออกมาให้เข้าใจ

##### 2.1.1 เสียงที่มนุษย์ได้ยินนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

1. เสียงสพอารมณ์ (Sound) คือเสียงที่ฟังแล้วทำให้เกิดมีความสบายใจมีความสุข เช่น เสียงดนตรี
2. เสียงรบกวน (Noise) คือ เสียงที่คนเราไม่ต้องการ ไม่ปรารถนาหรือเป็นเสียงที่ไม่มีความไพเราะนุ่มนวลฟังแล้วกระดังหู เสียงอีกทีก็มีผลกระทบกระเทือนทางด้านจิตใจและถ้า นานๆไปอาจทำให้สุขภาพอนามัยเสื่อมและทำให้หูหนวกได้

### 2.1.2 เสียงที่เกิดขึ้นสามารถพิจารณาลักษณะของเสียงได้ 3 ประการ คือ

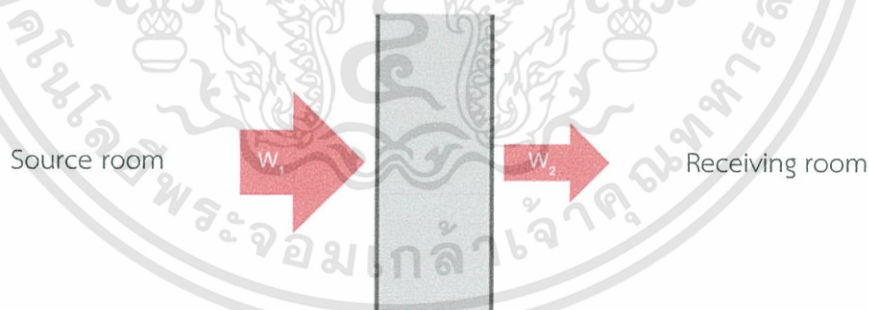
1. ความดังของเสียง (Loudness) มีหน่วยวัดเป็น เดซิเบล (Decibel, dB) ค่าความดังของเสียงจะขึ้นกับแอมพลิจูดของคลื่นเสียง ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงสั้นแรงจะทำให้มีแอมพลิจูดมาก และถ้าสั้นเบา แอมพลิจูดน้อย นอกจากนั้นยังมีเรื่องระยะทางในการถ่ายโอนพลังงานเสียงซึ่งจะมีผลต่อการความดังของเสียงอีกด้วย

2. ระดับเสียง (Pitch) คือความถี่ของเสียง วัดจากจำนวนคลื่นเสียงที่ผ่านตัวกลางในหนึ่งหน่วยเวลา หน่วยเป็นรอบต่อวินาทีหรือเฮิรตซ์ (Hz) ถ้าคลื่นเสียงมีความถี่สูง เสียงจะแหลม ถ้าคลื่นเสียงมีความถี่ต่ำเสียงจะทุ้ม โดยปกติคนเราได้ยินเสียงอยู่ในย่านความถี่ 20 – 20,000 เฮิรตซ์ คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่าช่วงคลื่นที่เราได้ยิน เรียกว่า Infrasonic ในขณะที่เดียวกันคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่าช่วงคลื่นที่เราได้ยิน เรียกว่า Ultrasonic

3. คุณภาพเสียง (Quality) คือ เอกลักษณ์ของเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต่างชนิดกัน ขึ้นอยู่กับจำนวนฮาร์โมนิกของเสียงจากแหล่งกำเนิดนั้น

## 2.2 ดัชนีการลดเสียง

### 2.2.1 ตัวประกอบการทะลุผ่านของเสียง



รูปที่ 2.1 แสดงค่าตัวประกอบการทะลุผ่านของเสียง

การทะลุผ่าน เป็นลักษณะของการถ่ายทอดพลังงาน จากบริเวณที่ปล่อยพลังงานไปผ่านกำแพงกั้นไปยังบริเวณอีกด้านของกำแพง สำหรับตัวประกอบการทะลุผ่านของเสียงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานเสียงที่ถ่ายทอดสู่กำแพง  $W_2$  และพลังงานเสียงที่ออกมาจากกำแพง  $W_1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau = \frac{W_2}{W_1}$$

สมการ 2.1

### 2.2.2 ดัชนีการลดเสียง

ดัชนีการลดเสียง คือ ค่าที่บอกถึงการดูดซับเสียงของฉนวน โดยค่าในที่นี้ฉนวนการกั้นเสียงคือผนัง ซึ่งสัญลักษณ์ดัชนีการลดเสียง คือ R โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบการทะลุ อธิบายโดยสมการต่อไปนี้

$$R = 10 \log \left( \frac{1}{\tau} \right)$$

สมการ 2.2

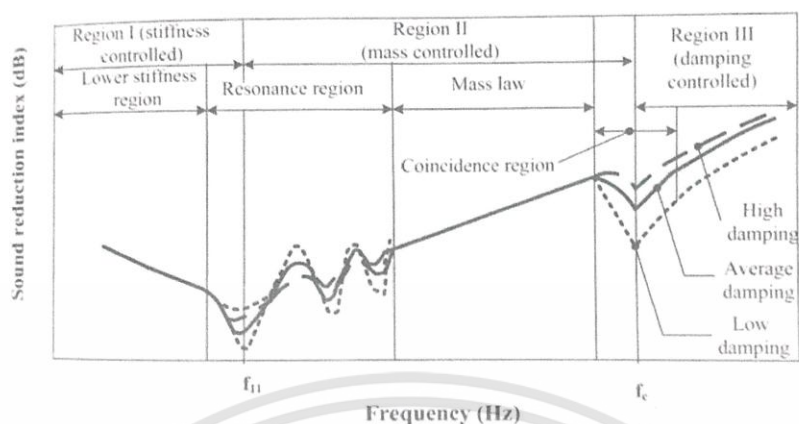
## 2.3 พฤติกรรมการลดเสียง

ดัชนีการลดเสียง (Sound reduction index) สำหรับกรณีทั่วไป เมื่อคลื่นเสียงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังตัวกลางหนึ่งที่แตกต่างกัน คลื่นเสียงจะเกิดทั้งการสะท้อนและการทะลุผ่าน เช่น เมื่อเสียงเดินทางปะทะกับแผ่นแข็ง ส่วนหนึ่งของคลื่นเสียงมีการสะท้อนกลับ บางส่วนถูกดูดซับโดยตัวแผ่นแข็ง และบางส่วนมีการทะลุผ่านแผ่นแข็ง โดยทั่วไปนั้นการลดลงของระดับเสียง เป็นผลมาจากความสัมพันธ์ระหว่าง มวล (Mass) ความแข็ง (Stiffness) และ การหน่วง (Damping) ในการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของฉนวนนั้น โดยทำการสันนิษฐานการกระจายตัวของสนามเสียงในห้อง เพื่อวิเคราะห์ฉนวนกั้นเสียงระหว่างห้อง 2 ห้องที่มีขนาดปกติ พบว่าพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการลดเสียงนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงความถี่ คือ

เขตที่ 1 ช่วงที่ถูกควบคุมโดยค่าความแข็ง (Stiffness controlled region)

เขตที่ 2 ช่วงที่ถูกควบคุมโดยมวล (Mass controlled region)

เขตที่ 3 ช่วงที่ถูกควบคุมโดยค่าความหน่วง (Damping controlled region)

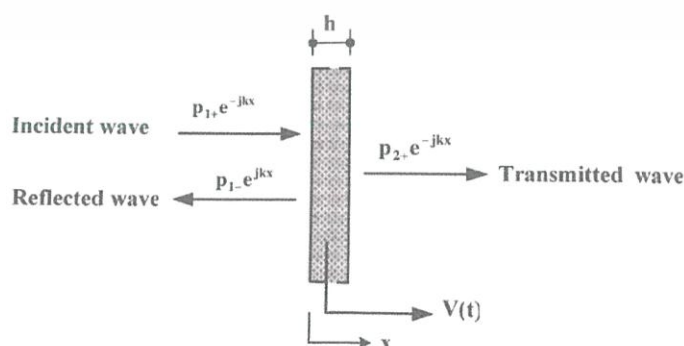


รูปที่ 2.2 แสดงพฤติกรรมดัชนีการลดเสียง (Sound Reduction Index) ของผนังแผ่นเดียว

Stiffness controlled region เป็นช่วงที่ความถี่น้อยกว่าความถี่สั่นพ้องที่น้อยที่สุด (lowest resonance frequency) เขตที่ 2 Mass controlled region ความถี่ระหว่างความถี่สั่นพ้องที่น้อยที่สุด (lowest resonance frequency) กับความถี่วิกฤติ (Coincidence frequency) และเขตที่ 3 ความถี่มีค่ามากกว่าความถี่วิกฤติ (Coincidence frequency)

### 2.3.1 เขตที่ 1 ช่วงที่ถูกควบคุมโดยค่าความแข็ง (Stiffness controlled region)

เป็นช่วงที่ความถี่ต่ำ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าความถี่สั่นพ้องที่น้อยที่สุด (lowest resonance frequency) โดยในช่วงความถี่ต่ำนั้น ผนังถูกพิจารณาให้เป็นแผ่นบาง เมื่อเสียงปะทะกับผนังส่งผลให้เกิดการสั่นสะท้อนทั่วทั้งผนัง ซึ่งเสียงที่ทะลุผ่านผนัง (Sound transmission) จะขึ้นอยู่กับค่าความแข็งของวัสดุของผนัง ในกรณีที่ผนังมีความหนาของผนังจะมีอิทธิพลต่อค่าการกั้นเสียงอย่างมาก เนื่องจากความถี่การสั่นพ้องมีค่าลดลง ดังนั้นจึงใช้สมการแบบเดียวกับช่วงที่ถูกควบคุมโดยมวล



รูปที่ 2.3 แสดงการสั่นสะท้อนของผนัง ในช่วงที่ควบคุมโดยค่าความแข็ง (Stiffness controlled region) ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของเสียง ที่เกิดขึ้นปกติ สามารถหาได้จาก (Hassan, 2009, P354)

$$\tau_n \equiv \frac{I_{tr}}{I_{in}} = \left| \frac{p_{tr}}{p_{in}} \right|^2 = \frac{1}{1 + \left( \frac{k_s}{2\omega\rho_0c} \right)^2} \quad \text{สมการ 2.3}$$

โดยทั่วไปเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงมีการกระจายตัวทุกทิศทาง เสียงจึงกระทบผนังในรอบทิศทาง เช่นกัน การหาค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของเสียง สำหรับ Stiffness controlled region สามารถหาได้จาก

$$\bar{\tau} = -K_s^2 \ln(\tau_n) \quad \text{สมการ 2.4}$$

$$K_s = \frac{2\omega\rho_0c}{k_s} \quad \text{สมการ 2.5}$$

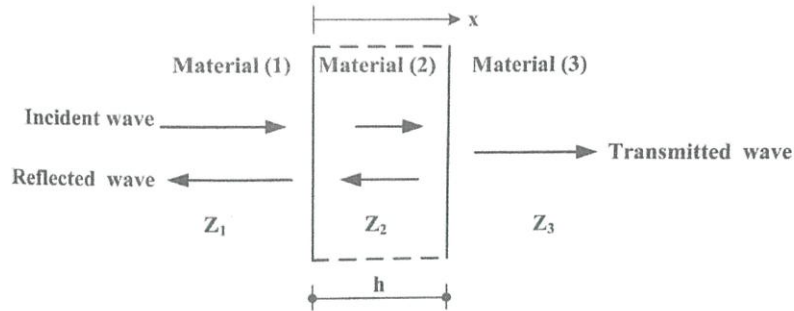
ดัชนีการลดเสียง (Sound transmission index) (Hassan, 2009: 354)

$$R = 10 \log \left( \frac{1}{\bar{\tau}} \right) = -20 \log(K_s) - 10 \log[\ln(1 + K_s^{-2})] \quad \text{สมการ 2.6}$$

### 2.3.2 เขตที่ 2 ช่วงที่ถูกควบคุมโดยมวล (Mass controlled region)

เป็นช่วงความถี่กลาง ซึ่งมีค่าระหว่างความถี่สั่นพ้อง (Resonance frequency,  $f_0$ ) และความถี่วิกฤติ (Coincidence frequency,  $f_c$ ) ค่าการลดเสียงในช่วงนี้ถูกควบคุมโดยค่าความเฉื่อยของมวลผนัง ซึ่งไม่ขึ้นกับค่าความแข็งของผนัง

ในช่วงความถี่ที่ควบคุมด้วยมวลนั้น พบว่าเมื่อคลื่นเสียงกระทบกับผนัง บางส่วนของพลังงานเสียงจะทะลุผ่านผนัง บางส่วนถูกผนังดูดซับ และบางส่วนก็ถูกสะท้อนกลับ ซึ่งการที่ผนังมีมวลมากส่งผลให้พลังงานที่ใช้ในการทะลุผ่านของเสียงต้องมากขึ้น ทำให้พลังงานเสียงที่เหลือรอดออกไปมีปริมาณที่น้อยลง ระดับความดังของเสียงจึงน้อยลงด้วยหรือกล่าวอีกมุมหนึ่งว่า ค่าการลดเสียงเพิ่มขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 2.4 แสดงการทะลุผ่านของเสียงผ่านผนัง

ในกรณีเสียงในสิ่งก่อสร้าง โดยทั่วไปการทะลุผ่านของเสียงนั้น สามารถเดินทางผ่านอากาศ (Air-borne noise) หรือโครงสร้าง (Structure-borne noise) ในกรณีนี้สนใจการทะลุผ่านของเสียงผ่านอากาศ เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ทะลุผ่านผนังซึ่งเป็นของแข็งไปยังอีกด้านหนึ่งของผนัง ในกรณีนี้ ค่าอิมพีแดนซ์  $Z_1 = Z_3$  ซึ่งสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของเสียงที่เกิดขึ้น สามารถหาได้จาก (Hassan, 2009: 185-186)

$$\tau_n = \frac{4}{4 \cos^2(k_2 h) + \left[ \left( \frac{Z_1}{Z_2} \right) + \left( \frac{Z_2}{Z_1} \right) \right]^2 \sin^2(k_2 h)} \quad \text{สมการ 2.7}$$

$$\frac{1}{\tau_n} = 1 + \left( \frac{Z_2}{2Z_1} \right)^2 (k_2 h)^2 = 1 + \left( \frac{\pi f M_{s2}}{\rho_1 c_1} \right)^2 \quad \text{สมการ 2.8}$$

กรณีที่เสียงเดินทางจากแหล่งกำเนิดเสียงผ่านอากาศ

$$\frac{1}{\tau_n} = 1 + \left( \frac{\pi f M_s}{\rho_0 c_0} \right)^2 \quad \text{สมการ 2.9}$$

จากการทดลองการทะลุผ่านของเสียงพบว่า ในช่วง Mass controlled region ดัชนีการลดเสียง (Sound Reduction Index) ที่วัดได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากทฤษฎี ซึ่งสามารถแสดงตามสมการดังนี้ (Beranek, 1971)

$$R_n = 10 \log \left( \frac{1}{\tau_n} \right) = 10 \log \left[ 1 + \left( \frac{\pi f M_s}{\rho_0 c_0} \right)^2 \right] \quad \text{สมการ 2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R = R_n - 5.5 = 10 \log \left[ 1 + \left( \frac{\pi f M_s}{\rho_0 c_0} \right)^2 \right] - 5.5 \quad \text{สมการ 2.11}$$

จากสมการ 2.11 สามารถจัดรูปได้ดังนี้

$$R = 20 \log(M_s) + 20 \log(f) - 48 \quad \text{สมการ 2.12}$$

### 2.3.3 เขตที่ 3 ช่วงที่ถูกควบคุมโดยค่าความหน่วง (Damping controlled region)

อยู่ในช่วงความถี่ที่สูงกว่าค่าความถี่วิกฤติ(Coincidence frequency,  $f_c$ ) ซึ่งค่าการลดเสียงในช่วงนี้จะขึ้นกับความถี่ของคลื่นเสียงที่มากกระทำบนผนัง ค่าความหนาแน่นของผนัง และค่าความหน่วง (Damping) ของวัสดุ

สมการดัชนีการลดของเสียง ในช่วง Damping controlled region ซึ่งได้จากการทดลองจะได้ว่า (Beranek, 1971)

$$R = R_n(f_c) + 10 \log(\eta) + 33.22 \log \left( \frac{f}{f_c} \right) - 5.7 \quad \text{สมการ 2.13}$$

โดยค่า  $R_n(f_c)$  คือดัชนีการลดเสียงที่เกิดขึ้นที่ความถี่วิกฤติ (Coincidence frequency) ซึ่งสามารถหาได้จาก สมการ 2.10 เมื่อจัดรูปสมการ จะได้ว่า (Hassan, 2009: 364)

$$R_n = 20 \log(M_s) - 13 \log(f_c) + 33 \log(f) + 10 \log(\eta) - 48 \quad \text{สมการ 2.14}$$

สำหรับกรณีแผ่นมีลักษณะเป็น sandwich panel ดัชนีการลดเสียง สามารถหาได้จาก (Frank&Paolo ,2007 อ้างอิงจาก Cremer, 1942)

$$R = 10 \log \left[ 1 + \left( \frac{\pi f M_s}{\rho_0 c_0} \right)^2 \right] + 10 \log \left( \frac{2\eta f}{\pi f_c} \right) \quad \text{สมการ 2.15}$$

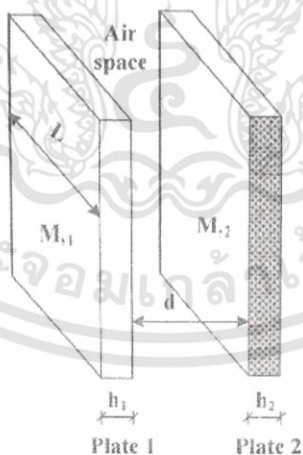
### 2.3.4 พฤติกรรมการลดเสียงของผนังแบบ 2 ชั้น (Sound reduction index for Double wall)

พฤติกรรมการลดเสียงของผนังแบบ 2 ชั้น (Double wall) สามารถแบ่งได้แบบเดียวกับพฤติกรรมการลดเสียงของผนังชั้นเดียว (Single wall) โดยประสิทธิภาพการลดเสียงของผนังแบบ 2 ชั้นมีค่ามากกว่าผนังชั้นเดียว เมื่อมวลของทั้งสองเท่ากัน เนื่องจากปัจจัย ดังนี้ คือ จำนวนชั้นของผนังที่มากขึ้น และช่องว่างระหว่างผนัง ในทางปฏิบัติ ถ้าระยะห่างระหว่างผนังมีค่ามากกว่า 30 เซนติเมตร ดัชนีการลดเสียงของผนัง 2 ชั้น จะมาจากการรวมกันของค่าการกั้นเสียงทะเลของแต่ละชั้นของผนัง

โดยทั่วไปการกระจายของเสียงที่ทะลุผ่านผนังแบบ 2 ชั้น แบ่งออกเป็น 3 ทาง คือ



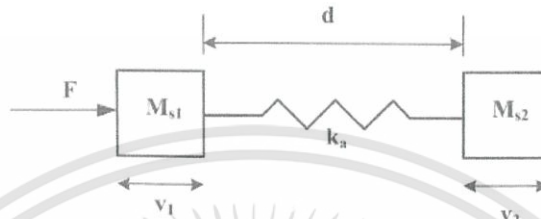
รูปที่ 2.5 แสดงการกระจายของเสียงที่ทะลุผ่านผนังแบบ 2 ชั้น



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะผนังแบบ 2 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4 แสดงผนังแบบ 2 ชั้น ซึ่งไม่มีโครงสร้างเชื่อมต่อระหว่างแผ่นผนัง คลื่นเสียงที่มากระทบจะทำให้ผนังด้านหนึ่งเกิดการสั่นสะเทือน อากาศที่อยู่ระหว่างผนังจะทำหน้าที่เสมือนสปริง ในการส่งผ่านการสั่นสะเทือนไปยังผนังอีกด้านหนึ่ง สำหรับโครงสร้างนี้ การสูญเสียการส่งผ่านโดยรวมได้รับอิทธิพลจากมวลอากาศภายในช่องว่าง ไม่ว่าจะว่างเปล่าหรือมีตัวดูดซับบรรจุอยู่



รูปที่ 2.7 แสดงระบบมวลสปริงของผนังแบบ 2 ชั้น

#### 2.3.4.1 ความถี่สั่นพ้อง (Resonance frequency, $f_0$ )

ความถี่สั่นพ้อง (Resonance frequency,  $f_0$ ) ของโครงสร้างหาได้จากความถี่ของอากาศที่อยู่ระหว่างช่องผนังคู่ ทำหน้าที่เสมือนสปริงเชื่อมระหว่างผนัง สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

- สมการความถี่สั่นพ้อง กรณีผนังแบบ 2 ชั้น ถูกแยกโดยช่องอากาศตรงกลาง (Hassan, 2009 : 381)

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \left[ \frac{\rho_0}{d} \left( \frac{1}{M_{s1}} + \frac{1}{M_{s2}} \right) \right]^{1/2} \quad \text{สมการ 2.16}$$

- สมการความถี่สั่นพ้อง กรณีผนังแบบ 2 ชั้น กรณีใส่วัสดุดูดซับเสียง เช่น Mineral wool ในช่องอากาศตรงกลาง (Hassan, 2009 : 381)

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \left[ 1.8 \frac{\rho_0}{d} \left( \frac{1}{M_{s1}} + \frac{1}{M_{s2}} \right) \right]^{1/2} \quad \text{สมการ 2.17}$$

### 2.3.4.2 ความถี่วิกฤติ (Coincidence frequency)

ความถี่วิกฤติ (Coincidence frequency) หรือ (Critical frequency) เป็นคลื่นที่เกิดในย่านความถี่สูง เกิดจากการพ้องกันของคลื่นที่มากระทบกับวัสดุกับคลื่นโค้งงอของวัสดุ (bending wave)

#### 2.4.1 สมการแสดง ความถี่สั้นพ้องด้วยคลื่น กรณี แผ่นผนังแบบเดี่ยว (Single panel)

$$f_c = \frac{c^2 \sqrt{3}}{\pi c_L h} \quad \text{สมการ 2.18}$$

$c_L$  คือ Propagation velocity of the quasi-longitudinal

$$c_L = \left( \frac{E}{\rho(1-\nu^2)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{สมการ 2.19}$$

#### 2.4.2 สมการแสดง ความถี่สั้นพ้องด้วยคลื่น กรณี แผ่นผนังประกอบ (Composite panel)

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \left( \frac{M_s}{B} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{สมการ 2.20}$$

#### 2.4.3 สมการแสดง ความถี่สั้นพ้องด้วยคลื่น กรณี แผ่นผนังประกอบ 3 ชั้น (Sandwich panel)

$$f_c = \frac{c^2 f}{c_{B,eff}^2} \quad \text{สมการ 2.21}$$

$c_{B,eff}$  คือ Effective bending wave (Hassan, 2009 อ้างอิงจาก Kurtze and watters, 1959)

$$\left( \frac{c_s}{c_B} \right)^4 c_{B,eff}^6 + c_s^2 c_{B,eff}^4 - c_s^4 c_{B,eff}^2 - c_s^2 c_{Bf}^4 = 0 \quad \text{สมการ 2.22}$$

$c_{Bf}$  คือ Bending wave velocity for the fan plate

$$c_{Bf} = \left( \frac{\omega^2 E_f h_f^3}{6M_s(1-\mu^2)} \right)^{\frac{1}{4}} \quad \text{สมการ 2.23}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$C_B$  คือ Bending wave velocity

$$c_B = \sqrt[4]{\frac{B}{M_s}} \times \sqrt[3]{\omega} \quad \text{สมการ 2.24}$$

B คือ Combime Bending stiffness for sandwich panel (Hassan, 2009 อ้างอิงจาก Hommer,1971)

$$B = EI = \frac{1}{2} E_f h_f (h_f + h_c)^2$$

#### 2.3.4.3 การคำนวณดัชนีการลดเสียง

การคำนวณดัชนีการลดเสียงแต่ละขอบเขต สามารถหาได้จาก (Sharp, 1978)

กรณีโครงสร้างแข็ง

$$R = \begin{cases} R_{12} & f \leq f_0 \\ R_{\text{with mechanical connection}} & f_0 < f < f_{c2} \\ R_1 + R_2 + 6 & f \geq f_{c2} \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{สมการ 2.25ก} \\ \text{สมการ 2.25ข} \\ \text{สมการ 2.25ค} \end{array}$$

กรณีโครงสร้างยืดหยุ่น

$$R = \begin{cases} R_{12} & f \leq f_0 \\ R_1 + R_2 + 20 \log(2kd) + \Delta R_{M,Resilient} & f_0 < f < f_{c2} \\ R_1 + R_2 + 6 & f \geq f_{c2} \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{สมการ 2.26ก} \\ \text{สมการ 2.26ข} \\ \text{สมการ 2.26ค} \end{array}$$

### 1) เขตที่ 1 ช่วงที่ถูกควบคุมโดยค่าความแข็ง (Stiffness controlled region)

ช่วงที่ 1 ช่วงความถี่ต่ำ เกิดขึ้นใกล้กับฉาก โดยผนังในกรณีนี้เปรียบเสมือนมวลที่อ่อนนุ่ม และช่องอากาศเปรียบเสมือนสปริง เมื่อวางแผ่นทั้งสองใกล้กันมากๆ แผ่นทั้งสองจะตอบสนองการส่งผ่านเสียงที่เหมือนกับเป็นแผ่นเดียวกันและไม่มีผลของอากาศหรือวัสดุซับเสียงที่อยู่บริเวณระหว่างแผ่นทั้งสอง โดยปกติ พฤติกรรมนี้จะเกิดขึ้นในช่วงความถี่  $f < f_0$  ซึ่งมีค่าน้อยมาก ต่ำกว่า 10 Hz ในโครงสร้างทั่วไปที่คำนึงถึงเสียงสะท้อนในอาคาร ดัชนีการลดเสียงสำหรับช่วงที่ 1 ใช้กฎทรงมวล ด้วยการรวมมวลทั้งหมดของฉาก จากสมการ 2.26 สามารถแทนค่าสมการดังนี้ (Hassan, 2009 อ้างอิงจาก Sharp, 1987)

$$R = 20 \log(M_{s1} + M_{s2}) + 20 \log(f) - 47.3 \quad \text{สมการ 2.27}$$

### 2) เขตที่ 2 ช่วงที่ถูกควบคุมโดยมวล (Mass controlled region)

ดัชนีการลดเสียง สำหรับช่วงที่ 2  $f_0 < f < f_c$  จะเกิดการสูญเสียพลังงานเสียงในช่องว่างระหว่างผนัง 2 ชั้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประเภทของโครงสร้างที่เชื่อมต่อระหว่างผนังด้านนอกและด้านใน โครงสร้างของผนังทำหน้าที่ในการยึดแผ่นของผนัง 2 ด้าน ในด้านการส่งผ่านของเสียงโครงสร้างเปรียบเหมือนกับสะพานของเสียง ซึ่งทำให้เสียงสามารถเดินทางทะลุผ่านช่องว่างระหว่างผนังได้ดีขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ โครงสร้างแบบแข็ง (Rigid stud) เช่น ไม้หรือเหล็ก และโครงสร้างแบบอ่อน (Resilient stud) เช่น เหล็กอ่อน เหล็กโรสนิม อะลูมิเนียม หรือโครงสร้างที่ติด resilient channel เป็นต้น

กรณีโครงสร้างแข็ง ดัชนีการลดเสียงเป็นไปตามสมการนี้ สำหรับผนังทุกประเภท (Bies and Hansen, 2009 อ้างอิงจาก Sharp, 1973)

$$R = 20 \log(M_1) + 10 \log(f c_2 b) + 29 \log(f) + 20 \log \left[ 1 + \frac{M_2 f c_1^{0.5}}{M_1 f c_2^{0.5}} \right] - 72 \quad \text{สมการ 2.28}$$

กรณีโครงสร้างยึดหยุ่น ดัชนีการลดเสียงเป็นไปตามสมการนี้ (Hassan, 2009 : 407-410)

$$R = R_1 + R_2 + \Delta R_{M,Resilient}$$

สมการ 2.29

$R_1, R_2$  ใช้สำหรับผนังด้านนอกและผนังภายใน ตามลำดับ

ถ้าเป็น single panel และ double panel ใช้สมการ 2.12

ถ้าเป็น sandwich panel ใช้สมการ 2.11

เสียงเกิดจากการทะลุผ่านทางโครงสร้างจัดเป็นต้นกำเนิดเสียงแนวเส้น (Line sources) ผลกระทบของเสียงผ่านโครงสร้างจะมีผลเฉพาะ ช่วงความถี่ที่ถูกควบคุมโดยมวล สามารถใช้ได้ทุกช่วงความถี่ (Hassan, 2009 : 407-410)

$$\Delta R_{M,Resilient} = 10 \log(f_{cl}) + 10 \log(b) - 10 \log(\kappa_l) - 10 \log(\gamma_{cl}) - 23.4$$

สมการ 2.30

$\gamma_{cl}$  คือ Coupling factor

$$\gamma_{cl} = \left[ 1 + \frac{32\pi^2 \times c^2 \times f^3 \times M_m^2}{k_{dl}^2 \times f_{cl}} \right]^{-1}$$

สมการ 2.31

$$M_m = \frac{M_{sf} \times M_{sb}}{M_{sf} + M_{sb}}$$

สมการ 2.32

เมื่อ  $k_{dl}$  คือ Dynamic stiffness ของโครงสร้าง (ต่อความยาว)

### 3) เขตที่ 3 ช่วงที่ถูกควบคุมโดยค่าความหน่วง (Damping controlled region)

การเพิ่มการดูดซับในลักษณะที่เป็นผ้าดูดซับเสียงระหว่างแผ่นทั้งสองมีความสำคัญในการเป็นแผ่นสะท้อนเสียงภายในช่องว่าง แต่ในทางตรงกันข้ามจะทำให้สูญเสียการส่งผ่านมีค่าลดลงด้วย ในกรณีนี้ดัชนีการลดลงของเสียงจะเกิดขึ้นที่ช่วง  $f > f_c$  ดังสมการ (Hassan, 2009 อ้างอิงจาก Sharp, 1987)

$$R = R_1 + R_2 + 6$$

สมการ 2.33

$R_1, R_2$  ใช้สำหรับผนังด้านนอกและผนังภายใน ตามลำดับ  
 ถ้าเป็น single panel และ double panel ใช้สมการ 2.14  
 ถ้าเป็น sandwich panel ใช้สมการ 2.15



## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

J.D. Quirt, A.C.C Warnock และ J.A. Birta จาก National Research Council Canada ได้ทำโครงการวิจัยการทะลุผ่านของเสียงในผนังยิปซัม (Sound Transmission Through Gypsum Board wall: Sound transmission Results) เป็นการทดลองเพื่อวัดค่า Sound reduction index และ ค่า Sound reduction class ในการทดสอบวัดผลนั้น ได้ใช้ระบบผนังแบบ 2 ชั้น ทำการสลับตัวแปรต่างในชั้นงาน

Jarle Ellefsen, Sigmund Olafsen ได้ทำการศึกษาเรื่อง Empirical calculation of sound insulation in lightweight partition walls with separate steel studs เป็นการศึกษาการวัดการกั้นเสียงของผนังเบา ซึ่งเป็นผนัง 2 ชั้น แยกด้วยโครงสร้างเหล็ก โดยได้เลือกทำการทดสอบ 50 กรณี โดยใช้เกณฑ์ในการเลือก 2 อย่าง คือ เกณฑ์แรกผนังใช้ยิปซัมบอร์ด ขนาด 3x13 mm ในแต่ละด้าน ตรงกลางใส่วัสดุซับเสียง mineral wool ขนาด 250 mm เกณฑ์ที่สอง ผนังใช้ยิปซัมบอร์ด ขนาด 2x13 mm ในแต่ละด้าน ตรงกลางใส่วัสดุซับเสียง mineral wool ขนาด 200 mm ซึ่งการทดสอบครั้งทำที่ศูนย์ศิลปะในประเทศนอร์เวย์ ลักษณะห้องที่ทดสอบเป็นห้องเล็กที่อยู่ในห้องใหญ่ ซึ่งแยกเสียงทะลุผ่านจากภายนอกผ่านทางโครงสร้างของห้องได้อย่างชัดเจน ในการนำเสนอกรณีศึกษาบางส่วนที่จะอธิบายการกำหนดค่าภายในห้องและเปรียบเทียบค่าที่คาดการณ์ไว้กับผลที่วัดได้ ผลที่คาดการณ์นั้นตั้งอยู่บนสมการ ของมาตรฐานยุโรปเป็น EN 12354-1

Jens Hologer Rindel ทำการศึกษาเกี่ยวกับ Sound insulation of building โดยการศึกษาเพื่อการพัฒนาของการออกแบบฉนวนกั้นเสียง ส่วนหนึ่งที่สำคัญของการพัฒนานี้เป็นคำอธิบายทฤษฎีและการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ในการฉนวนกั้นเสียงเช่นผนัง พื้น เพดาน ชั้นลอย หรืออิทธิพลของมุมในการใช้ฉนวนกั้นเสียงของหน้าต่าง อีกส่วนที่สำคัญของการพัฒนาคือ เทคโนโลยีที่ใช้ในการก่อสร้างในขนาดพร้อมฉนวนกั้นเสียงดีกว่า เพิ่มเติมสามารถทำได้ตามนี้ในอนาคต

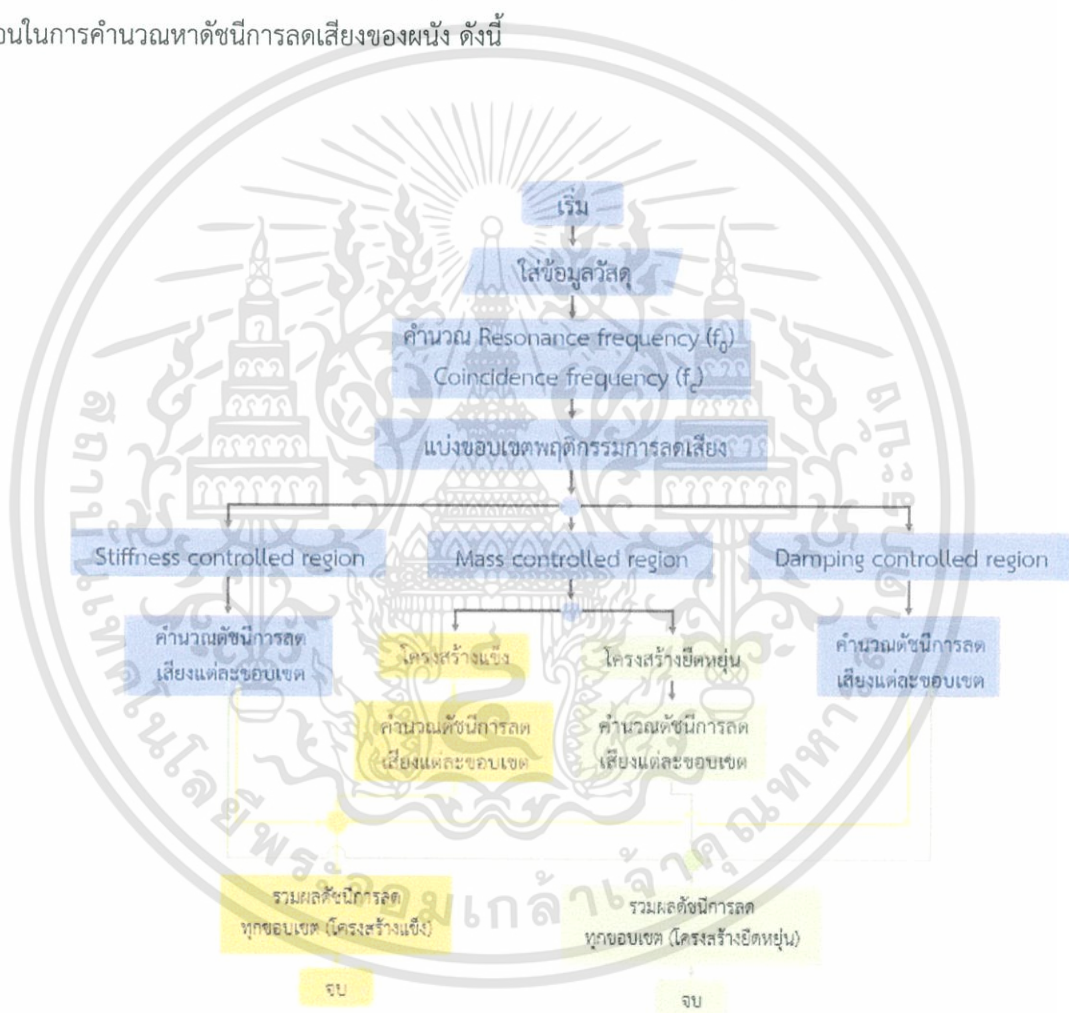
Dejan Todorović, Draško Mašović, Miomir Mijić และ Dragana Šumarac Pavlović ได้ศึกษาเรื่อง Sound Level Difference at Source and Receiver Side of Homogenous Partition at Low Frequencies เป็นการศึกษาาระดับเสียงที่ด้านข้างของผนังที่แตกต่างกัน เมื่อทำการแยกห้องสองห้องที่อยู่ติดกันด้วยผนังที่กั้นความถี่ ที่ด้านข้างของตัวรับสัญญาณระดับเสียงที่พื้นผิวผนังยังขึ้นอยู่กับกลไกการส่งผ่านเสียงผ่านวัสดุผนัง การศึกษานี้เป็นผลของการวิเคราะห์การทดลองของการกระจายระดับเสียงในด้านตรงข้ามของผนังที่ความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีการลดเสียงในบทที่ 2 จะทราบว่าพฤติกรรมลดเสียงของผนัง สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงความถี่ คือ ช่วงที่ 1 Stiffness controlled region ช่วงที่ 2 Mass controlled region และ ช่วงที่ 3 Damping controlled region โดยขอบเขตของแต่ละช่วงขึ้นอยู่กับค่าความถี่สั่นพ้อง (Resonance frequency,  $f_0$ ) และ ความถี่วิกฤติ (Coincidence frequency,  $f_c$ ) ของผนัง ดังนั้นจึงสรุปขั้นตอนในการคำนวณหาดัชนีการลดเสียงของผนัง ดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการคำนวณดัชนีการลดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 การกำหนดรูปแบบของผนังที่ศึกษา และการตั้งสมมติฐาน

รูปแบบของผนังภายในที่ใช้กันในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับจุดประสงค์หลักการใช้งาน สภาพแวดล้อมในการติดตั้ง ลักษณะของต้นกำเนิดเสียงรบกวน เป็นต้น ดังรูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบของผนังที่มีการใช้โดยทั่วไป ซึ่งรูปแบบของผนังที่เลือกใช้ในโครงการวิจัยนี้ เป็นผนังแบบ 2 ชั้น (Double wall) เป็นลักษณะของผนังที่ตรงกลางเป็นช่องว่างของอากาศหรือฉนวน มีโครงสร้างของผนังภายในที่ทำด้วย ไม้ อะลูมิเนียม หรือเหล็กบาง โดยนำแผ่นไฟเบอร์หรือแผ่นยิปซัมมาปิดทับเป็นผนังด้านนอกและผนังด้านใน เหตุผลในการเลือกใช้ผนังแบบ 2 ชั้น คือ

- รูปแบบของผนังไม่ซับซ้อนมากนัก
- เป็นที่นิยมใช้สำหรับที่พักอาศัยมากที่สุด เพราะจำนวนชั้นของผนังที่ไม่มาก ทำให้น้ำหนักและความหนาของผนังไม่มากนัก



รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบของผนังที่มีการใช้ในปัจจุบัน

### 3.1.1 รูปแบบการวางเรียงชั้นของผนังด้านใน

การกำหนดรูปแบบของผนังแบบ 2 ชั้น (Double wall) จะพิจารณาจากผนังด้านนอกและผนังด้านใน โดยกำหนดให้ผนังด้านนอก เป็นด้านแรกที่รับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงโดยตรง ส่วนผนังด้านในเป็นผนังที่ได้รับเสียงถัดมา แสดงว่าผนังด้านนอกเป็นตัวกรองคลื่นเสียงด้านแรก และผนังด้านในเป็นตัวกรองเสียงด้านสุดท้าย ซึ่งประสิทธิภาพการลดเสียงของผนังจะขึ้นกับผนังด้านในเป็นส่วนใหญ่ เพราะว่าเป็นผนังที่อยู่ติดกับผู้รับเสียงมากที่สุด ดังนั้นกำหนดให้รูปแบบของผนังด้านนอกเป็นรูปแบบเดียว คือ single panel โดยจะเปลี่ยนรูปแบบเฉพาะผนังด้านนอกเท่านั้น เพื่อจะได้ทราบว่ารูปแบบของผนังที่เปลี่ยนไปส่งผลต่อการลดเสียงหรือไม่ รูปแบบของผนังที่ใช้ในการศึกษาแบ่ง 3 รูปแบบดังนี้

#### 1) รูปแบบ A ผนังด้านในเป็นแบบ Single panel

ลักษณะของรูปแบบ A คือ ผนังด้านในและผนังด้านนอกเป็นแบบ Single panel คือมีลักษณะเป็นแผ่นเดี่ยวยึดติดกับโครงสร้างของผนัง ในการศึกษาวิจัยนี้ กำหนดประเภทของแผ่นวัสดุผนังทั้งสองด้านเป็นแผ่นยิปซัม มาตรฐาน ขนาดความกว้าง 1.2 เมตร ความสูง 2.4 เมตร



รูปที่ 3.3 แสดงส่วนประกอบของผนังรูปแบบ A

## 2) รูปแบบ B ผนังด้านในเป็นแบบ Double panel

ลักษณะของรูปแบบ B คือ ผนังด้านในเป็นแบบ Double panel คือประกอบไปด้วยแผ่นเดี่ยวสองแผ่นยึดติดกัน โดยแผ่นเดี่ยวทั้งสองแผ่นอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันได้ ในการศึกษาวิจัยนี้ กำหนดประเภทของแผ่นวัสดุผนังทั้งสองด้านเป็นแผ่นยิปซัม มาตรฐาน ขนาดความกว้าง 1.2 เมตร ความสูง 2.4 เมตร



รูปที่ 3.4 แสดงส่วนประกอบของผนังรูปแบบ B

## 3) รูปแบบ C ผนังด้านในเป็นแบบ Sandwich panel

ลักษณะของรูปแบบ C คือ ผนังด้านในเป็นแบบ Sandwich panel คือประกอบไปด้วยแผ่นเดี่ยว 3 แผ่นยึดติดกัน โดยแผ่นตรงกลางทำหน้าที่เป็นตัวห่อหุ้มให้แผ่นเดี่ยวทั้งสองที่อยู่ติดกันเมื่อเกิดการสั่นสะเทือน ลักษณะของการประกบกันคล้ายกับ sandwich คือ ชั้นที่อยู่ด้านนอกเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน ส่วนชั้นตรงกลางเป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่ง ส่วนในกรณี 3 แผ่นประกบกันแต่ไม่เป็นลักษณะ sandwich สามารถอนุโลมให้จัดอยู่ในรูปแบบนี้ได้ ในการศึกษาวิจัยนี้ กำหนดประเภทของแผ่นวัสดุผนังทั้งสองด้านเป็นแผ่นยิปซัม มาตรฐาน ขนาดความกว้าง 1.2 เมตร ความสูง 2.4 เมตร



รูปที่ 3.5 แสดงส่วนประกอบของผนังรูปแบบ C

### 3.1.2 ประเภทของโครงสร้างและระยะการวาง

ในการศึกษาวิจัยนี้ กำหนดให้โครงสร้างของระบบผนังเบาแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ โครงสร้างแข็ง (Rigid stud) มักนิยมใช้ ไม้ และ เหล็กแข็ง ส่วนโครงสร้างยืดหยุ่น (Resilient stud) วัสดุที่นำมาใช้จะเป็น อะลูมิเนียม เหล็กอ่อน นอกจากนี้การติดตั้ง resilient channel หรือการติดตั้งช่วยในการหน่วงที่ตัวโครงสร้าง ก็นับว่าเป็นการโครงสร้างแบบยืดหยุ่นเช่นกัน



รูปที่ 3.6 แสดงประเภทของโครงสร้าง ด้านซ้าย คือ โครงสร้างแข็ง ด้านขวา คือ โครงสร้างยืดหยุ่น

ระยะในการวางของโครงสร้าง เป็นการวางตัวในแนวตั้งและแนวนอน (สำหรับโครงสร้างยืดหยุ่น) โดยระยะการวางตัวของโครงสร้างที่นิยมกันใช้คือ 0.4 เมตร และ 0.6 เมตร ทั้งแบบแนวนอนและแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 ระยะห่างระหว่างผนัง

ในระบบผนังแบบ 2 ชั้น (Double wall) เมื่อเสียงมากระทบเกิดแรงกระทำกับผนัง ส่งผลให้ผนังเกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งสามารถเปรียบได้กับระบบมวล-สปริง-มวล โดยช่องกลางระหว่างผนังด้านในและด้านนอก เปรียบเสมือนสปริง ซึ่งช่วยในการหน่วงแรงที่ส่งจากผนังด้านนอกไปยังผนังด้านใน โดยในการศึกษาครั้งนี้ วัสดุซับเสียงที่เลือกใช้ คือ ฉนวนใยแก้ว เนื่องจากเป็นวัสดุซับเสียงที่หาได้ง่ายและเป็นที่ยอมรับ และมีข้อมูลคุณสมบัติเพียงพอสำหรับการศึกษา

ขอบเขตในการศึกษาครั้งนี้ อิทธิพลของตัวดูดซับเสียงที่มีต่อการลดเสียง มีผลเพียงด้านการสั่นสะเทือน ความถี่สั่นพ้องเท่านั้น อิทธิพลของตัวดูดซับเสียงในด้านอื่นๆ เช่น ความเป็นรูปพรุของฉนวน ค่าการต้านการไหลของอากาศ เป็นต้น ปัจจุบันยังสามารถหาได้จากการทดลองเท่านั้น ยังไม่มีสมการจากการทดลองรองรับ

### 3.1.4 การตั้งสมมติฐาน

กรณีที่ 1. รูปแบบการวางเรียงชั้นของผนังด้านใน

การเลือกรูปแบบการจัดวางและชนิดของวัสดุนั้นมีผลต่อค่าการวัดเสียง เพื่อทำการเปรียบเทียบผล ควรกำหนดค่าใดค่าหนึ่งให้เป็นค่าคงตัว ในการศึกษาครั้งนี้ กำหนดให้วัสดุและคุณสมบัติเหมือนกัน เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบของผนังทั้ง 3 รูปแบบ ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแตกต่างผนัง อันดับแรกคือ ความหนาแผ่นผนัง ความหนามากมวลของแผ่นผนังยิ่งมาก การกั้นเสียงของผนังก็จะดี ในขณะที่เดียวกันก็มีผลต่อความถี่สั่นพ้อง มวลที่มากขึ้นความถี่สั่นพ้องก็จะน้อยลง ส่งผลต่อการแบ่งเขตการลดเสียงและค่าการลดเสียง เพื่อลดปัญหานี้จึงออกแบบรูปแบบ C โดยการใส่วัสดุยึดหยุ่นระหว่างแผ่นแข็ง เพื่อช่วยเพิ่มความหน่วงให้กับผนัง และเพิ่มค่าความถี่สั่นพ้องให้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลของการใช้ผนังแบบหลายชั้น เช่น รูปแบบ B และรูปแบบ C ทำให้ค่าความหน่วงของผนังเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการลดเสียงในช่วงความถี่สูง Damping controlled region มีค่าสูงขึ้น

## กรณีที่ 2. ประเภทของโครงสร้างและระยะการวางโครงสร้าง

จากการสมมติฐานเสียงทะลุผ่านโครงสร้าง การมีโครงสร้างส่งผลให้ค่าการลดเสียงมีค่าลดลง เนื่องจากโครงสร้างเป็นตัวกลางในลักษณะของแข็ง ซึ่งเสียงเดินทางได้เร็วกว่าตัวกลางที่เป็นก๊าซ เช่นอากาศ ส่งผลเสียงสามารถเดินทางทะลุผ่านมาได้ โดยโครงสร้างแข็งมีแนวโน้มที่เสียงจะทะลุผ่านมากกว่าโครงสร้างแบบยืดหยุ่น ส่วนอิทธิพลของระยะห่างโครงสร้าง ถ้าโครงสร้างมีระยะที่ชิดกันมาก เสียงสามารถทะลุผ่านได้มากกว่าโครงสร้างที่มีระยะห่างพอประมาณ

## กรณีที่ 3. ระยะของช่องว่างระหว่างผนังด้านในและผนังด้านนอก

จากการสมมติฐาน ถ้าระยะห่างระหว่างผนังมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ดัชนีการลดเสียงมีการสูงขึ้น นอกจากนี้ การมีวัสดุซับเสียงใส่ระหว่างผนัง ส่งผลให้เกิดความหน่วงมากยิ่งขึ้น การส่งผ่านการสั่นสะเทือนน้อยลง ดัชนีการลดเสียงจึงเพิ่มมากยิ่งขึ้น

### 3.1.4 ตารางแสดงกรณีศึกษา

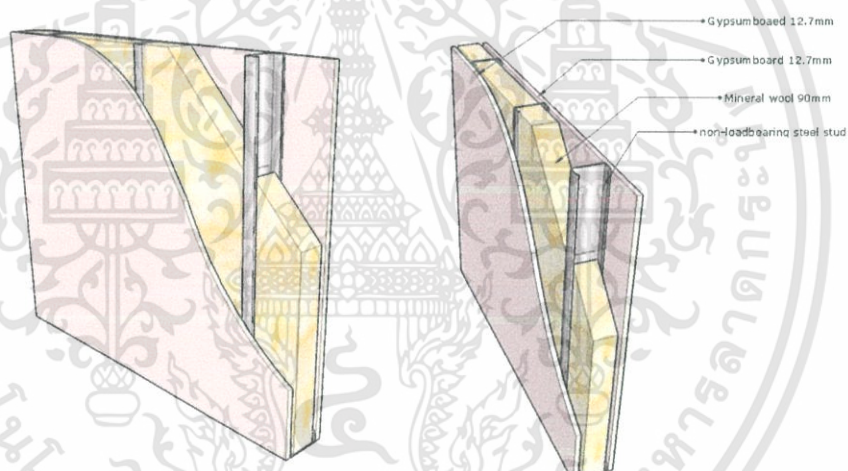
เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลดเสียง

- เปรียบเทียบกราฟแสดงพฤติกรรมการลดเสียงของรูปแบบผนังทั้ง 3 รูปแบบ
- เปรียบเทียบความแตกต่างของประเภทโครงสร้างผนัง
- เปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อดัชนีการลดเสียง ได้แก่ ความหนาของแผ่นผนัง, ระยะห่างช่องว่างระหว่างผนัง และระยะการวางโครงสร้าง

	รูปแบบผนัง	ประเภทโครงสร้าง	ช่องว่างระหว่างผนัง
กรณีที่ 1	รูปแบบ A	โครงสร้างแข็ง	ใส่วัสดุซับเสียง
กรณีที่ 2	รูปแบบ A	โครงสร้างยึดหยุ่น	ใส่วัสดุซับเสียง
กรณีที่ 3	รูปแบบ B	โครงสร้างแข็ง	ใส่วัสดุซับเสียง
กรณีที่ 4	รูปแบบ B	โครงสร้างยึดหยุ่น	ใส่วัสดุซับเสียง
กรณีที่ 5	รูปแบบ C	โครงสร้างแข็ง	ใส่วัสดุซับเสียง
กรณีที่ 6	รูปแบบ C	โครงสร้างยึดหยุ่น	ใส่วัสดุซับเสียง

ตาราง 3.1 แสดงกรณีรูปแบบผนังและโครงสร้าง

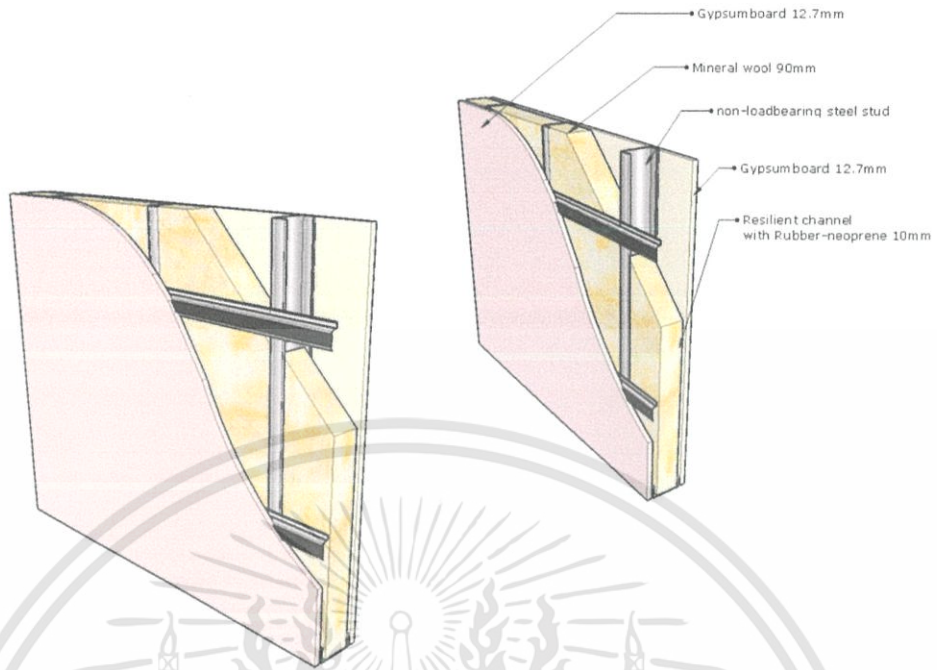
กรณีที่ 1



รูปที่ 3.7 แสดงผนังกรณีที่ 1 ผนังรูปแบบ A ประเภทโครงสร้างแข็ง

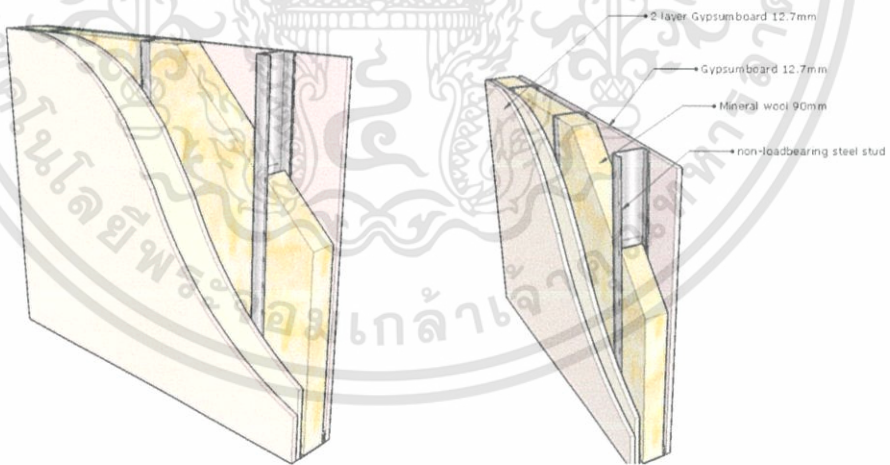
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2



รูปที่ 3.8 แสดงผนังกรณีที่ 2 ผนังรูปแบบ A ประเภทโครงสร้างยึดหยุ่น

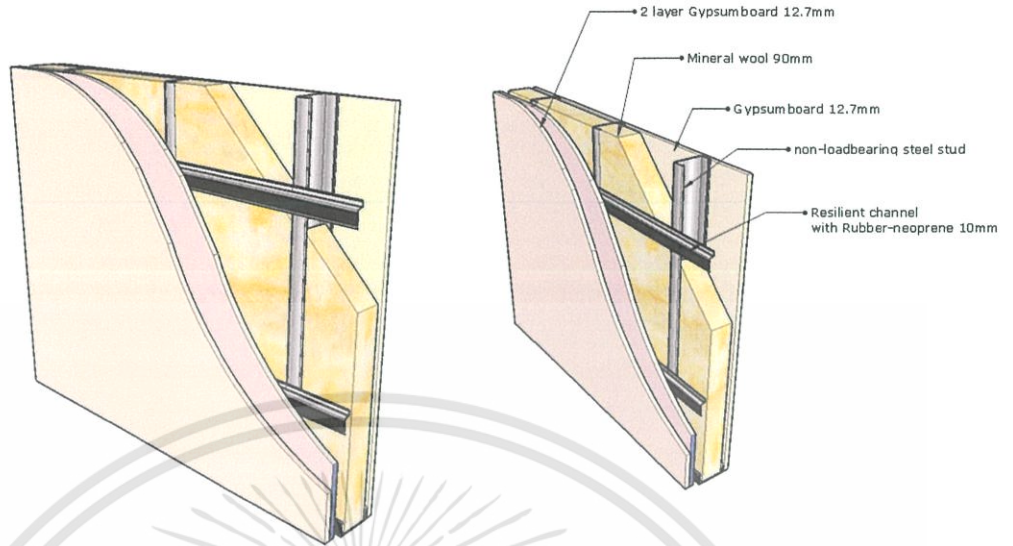
กรณีที่ 3



รูปที่ 3.9 แสดงผนังกรณีที่ 3 ผนังรูปแบบ B ประเภทโครงสร้างแข็ง

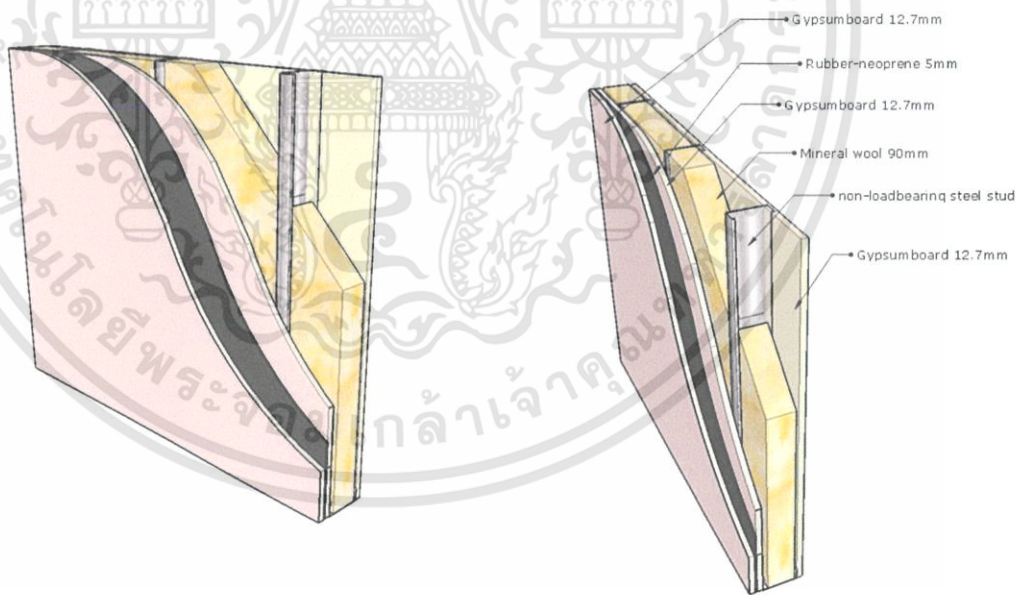
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 4



รูปที่ 3.10 แสดงผนังกรณีที่ 4 ผนังรูปแบบ B ประเภทโครงสร้างยึดหยุ่น

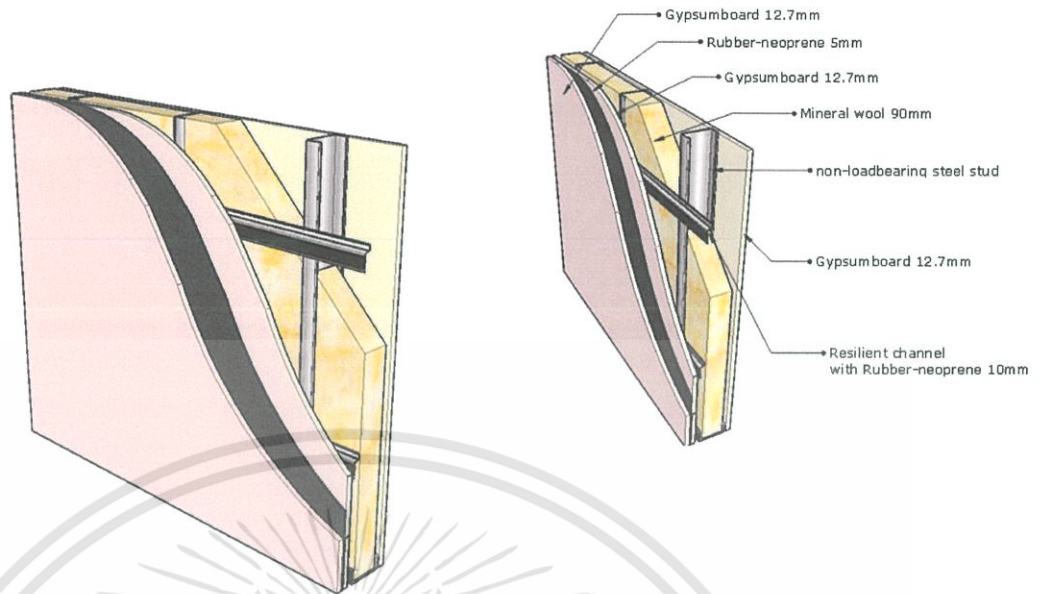
กรณีที่ 5



รูปที่ 3.11 แสดงผนังกรณีที่ 5 ผนังรูปแบบ C ประเภทโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 6



รูปที่ 3.12 แสดงผนังกรณีศึกษาที่ 6 ผนังรูปแบบ C ประเภทโครงสร้างยึดหยุ่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.5 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณ

เพื่อให้ได้ตั้งสมมติฐานที่วางไว้ จึงต้องกำหนดคุณสมบัติบางตัวของวัสดุ (โดยคุณสมบัติเหล่านี้ได้มาจากข้อมูลจากทดสอบสินค้าและจากหนังสืออ้างอิง) ดังต่อไปนี้

#### 1) แผ่นของผนัง

Properties		Material	
		Gypsum Board	Rubber-neoprene
Width	$l_x$ [m]	1.2	1.2
Height	$l_y$ [m]	2.4	2.4
Thickness	$h$ [m]	0.0127	0.005
Mass per surface	$M_s$ [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]	8.255	6
Density	$\rho$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	650	1200
Elastic Modulus	$E$ [Pa]	$2.1 \times 10^9$	$1.7 \times 10^9$
Poisson's Ration	$\nu$	0.24	0.49
Damping coefficient	$\eta$	0.05	0.1
Speed of sound	$c_m$ [m/s]	760	190

*Bies&Handen, 2009* อ้างอิงจาก *Ellis (1943), Eldridge (1974), Levy (2001), Lyman (1961)* และ *Green et al. (1999)*

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติวัสดุของแผ่นผนังที่ใช้ในการคำนวณ

## 2) โครงสร้างผนัง

Properties		Material	
		Steel C stud	Rubber-neoprene
Type of stud		Rigid	Resilient
Width	w [m]	0.05	0.05
Spacing of stud	b [m]	0.6	0.6
Thickness	t [m]	0.01	0.001
Density	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	7850	1200
Elastic Modulus	E [Pa]	$207 \times 10^9$	$1.7 \times 10^9$
Speed of sound	$c_m$ [m/s]	5130	190

Bies&Handen, 2009 อ้างอิงจาก Ellis (1943), Eldridge (1974), Levy (2001), Lyman (1961) และ Green et al. (1999)

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติวัสดุของโครงสร้างที่ใช้ในการคำนวณ

## 3) วัสดุซับเสียง

Properties		Material
		Mineral wool
Spacing of wall	d [m]	0.09
Mass per surface	$M_s$ [kg/m <sup>2</sup> ]	1.476
Density	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	16.4

Hassan, 2009: 394

ตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติของวัสดุซับเสียงที่ใช้ในการคำนวณ

## 4) ตัวกลางในการเคลื่อนที่ของเสียง

Properties		Material
		Mineral wool
Temperature	T [°C]	30
Speed of sound	$c_m$ [m/s]	349.2
Density	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1.164

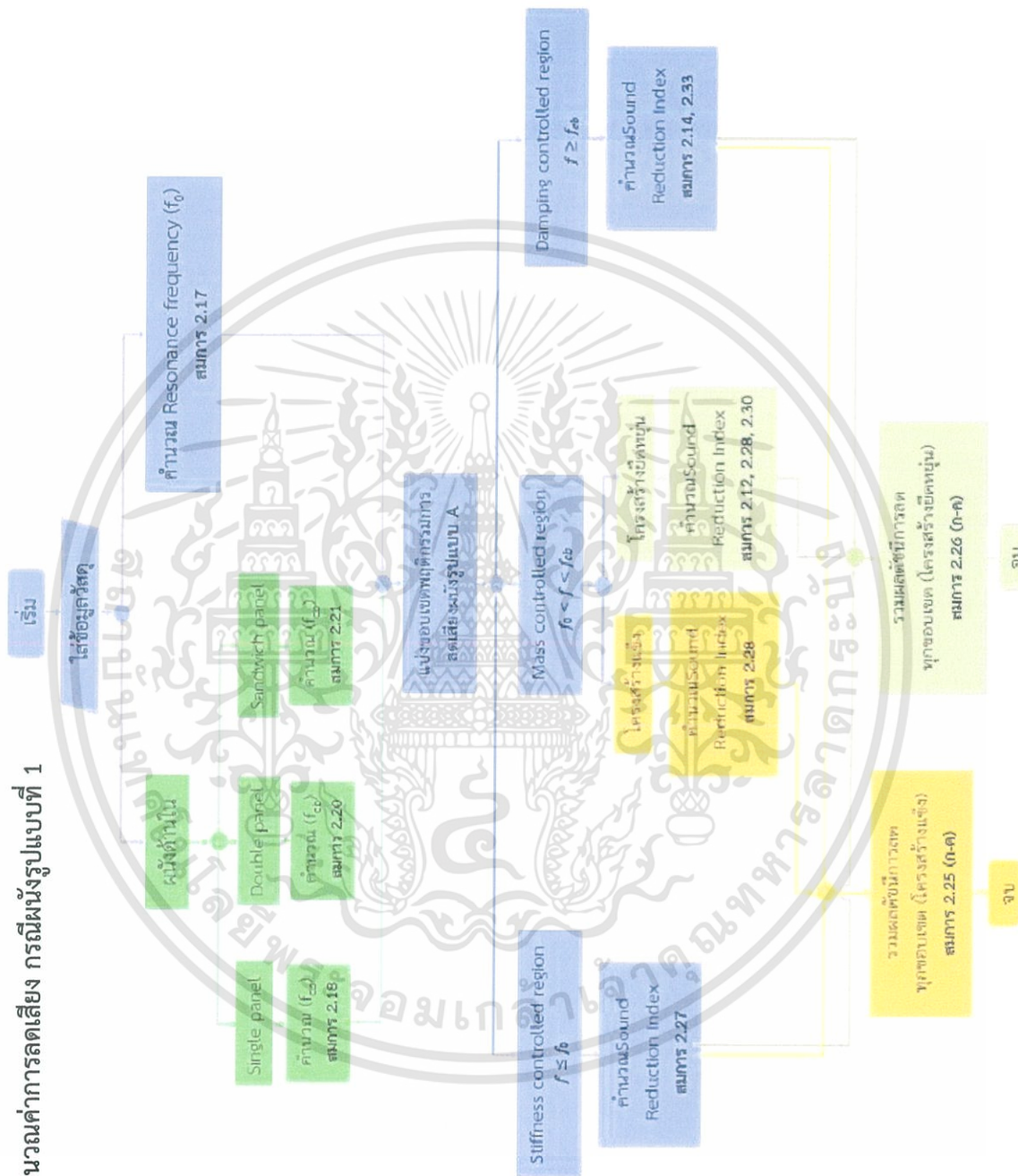
Hassan, 2009: 164

ตารางที่ 3.5 แสดงคุณสมบัติตัวกลางในการเคลื่อนที่ของเสียงที่ใช้ในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การคำนวณค่าการลดเสียง และสร้างเครื่องมือช่วยคำนวณ

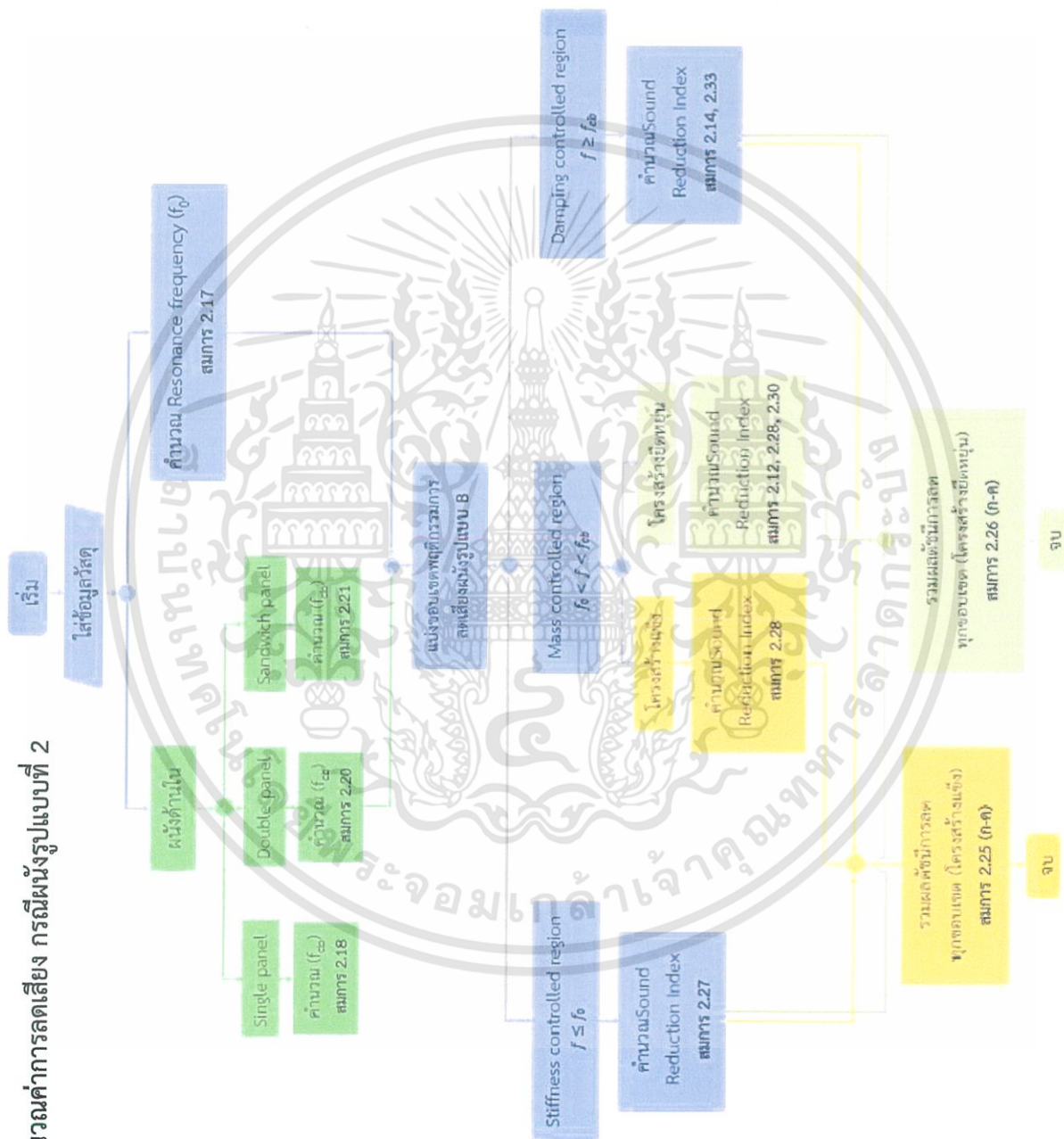
#### 3.2.1 ขั้นตอนการคำนวณค่าการลดเสียง กรณีผนังรูปแบบที่ 1



รูปที่ 3.13 แสดงขั้นตอนการคำนวณค่าการลดเสียง กรณีผนังรูปแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

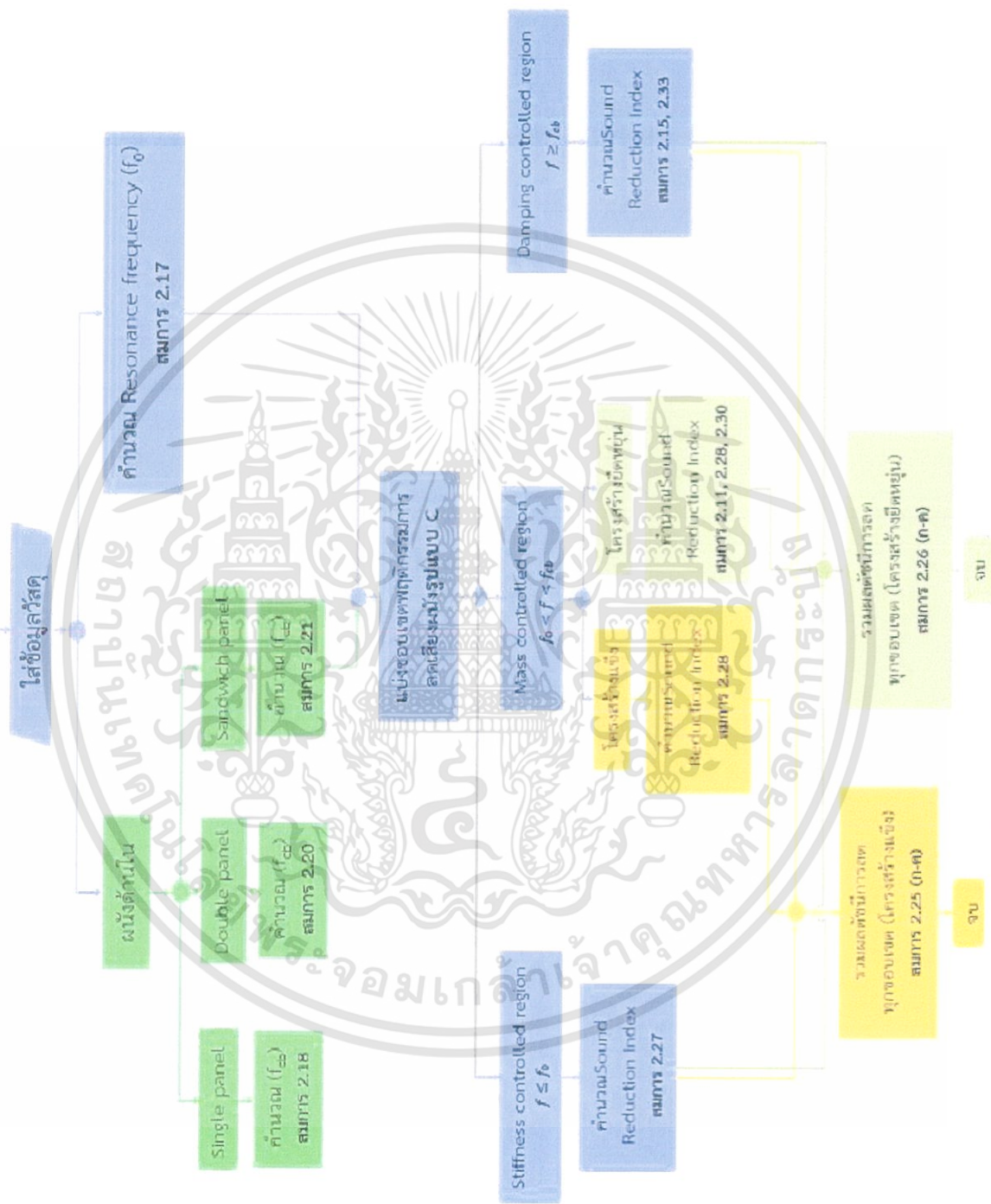
### 3.2.2 ขั้นตอนการคำนวณค่าการลดเสียง กรณีผนังรูปแบบที่ 2



รูปที่ 3.14 แสดงขั้นตอนการคำนวณค่าการลดเสียง กรณีผนังรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ขั้นตอนการคำนวณค่าการลดเสียง กรณีผนังรูปแบบที่ 3



รูปที่ 3.15 แสดงขั้นตอนการคำนวณค่าการลดเสียง กรณีผนังรูปแบบที่ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลำดับขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้น ใช้โปรแกรม Microsoft excel ในการคำนวณ ซึ่งการคำนวณค่าการลดเสียงจะแยกตามรูปแบบของผนัง โดยเริ่มจากการใส่ข้อมูล รายละเอียดและคุณสมบัติของผนังที่ต้องการคำนวณ โปรแกรมจะทำการคำนวณความถี่สั่นพ้อง (Resonance frequency) ของผนังออกมา ซึ่งจะใช้ผลของมวลผนังและระยะห่างของผนังในการคำนวณ ส่วนความถี่วิกฤติ (Coincidence frequency) จะคำนวณเฉพาะผนังด้านใน เนื่องจากมีผลต่อผู้รับเสียงมากกว่าผนังด้านนอก โดยในส่วนนี้ระบบจะคำนวณผลความถี่วิกฤติตามข้อมูลที่ผนังที่ใส่มาข้างต้นโดยอัตโนมัติ และทำการเลือกรูปแบบผนังตามเงื่อนไขที่ผู้ใช้งานระบุไว้ในขั้นตอนใส่ข้อมูล ต่อมาจึงทำการแบ่งขอบเขตของพฤติกรรมการลดเสียง ซึ่งแต่ละรูปแบบมีเกณฑ์การแยกที่แตกต่างกันออกไป เมื่อโปรแกรมแยกเขตพฤติกรรมได้แล้ว จะคำนวณดัชนีการลดเสียงของแต่ละช่วงออกมาในแต่ละความถี่ เนื่องจากอิทธิพลของโครงสร้างมีผลอยู่เฉพาะในช่วงเขตควบคุมด้วยมวลเท่านั้น ระบบจะทำการคำนวณผลกระทบของดัชนีการลดเสียงของทั้งสองแบบโครงสร้างออกมา เมื่อคำนวณดัชนีการลดเสียงในทุกขอบเขตพฤติกรรมเสร็จ ระบบจะทำการรวมค่าดัชนีลดเสียงทุกย่านความถี่เข้าด้วยกัน โดยแยกตามประเภทของโครงสร้าง ผลลัพธ์ที่ได้ออกมามี 2 อย่าง คือ ค่าดัชนีการลดเสียงแต่ละความถี่ ตั้งแต่ 12.5 เฮิรตซ์ ถึง 20,000 เฮิรตซ์ พร้อมกับ กราฟแสดงผล และดัชนีการลดเสียงแบบตัวเลขเดี่ยว (Single number rating) โดยการเทียบกับค่าอ้างอิง (ISO 717-1,1996)

### 3.2.4 ขั้นตอนการตรวจสอบเทียบค่าผลการคำนวณ

ในการนำเอาโปรแกรมคำนวณดัชนีการลดเสียงของผนังไปใช้ จำเป็นต้องมีการยืนยันความถูกต้องแม่นยำเสียก่อน โดยทำการคำนวณดัชนีการลดเสียงของผนังทั้ง 3 รูปแบบ โดยใช้สมการจากในบทที่ 2 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการคำนวณผลของแต่ละกรณีศึกษาที่กำหนดไว้ข้างต้น จึงต้องนำโปรแกรมคำนวณนั้นมาประมวลผลเทียบค่ากับการทดสอบดัชนีการวัดเสียงจริง โดยทำการพิจารณา 2 กรณีด้วยกันคือ

1. การเทียบค่าดัชนีการลดเสียงของรูปแบบผนังทั้ง 3 รูปแบบ กับผลการทดสอบผนังที่มีรูปแบบของผนังใกล้เคียงกับที่ทำการศึกษา
2. การเทียบค่าดัชนีการลดเสียง เมื่อทำการเปลี่ยนประเภทของโครงสร้าง 2 ประเภท คือโครงสร้างแข็ง และโครงสร้างยืดหยุ่น

ในการทำการตรวจสอบ ชนิดของวัสดุ คุณสมบัติต่างๆ รวมทั้งสภาพแวดล้อมจะเลือกใช้ค่าที่ใกล้เคียงกับการทดสอบจริงมากที่สุด (ภาคผนวก ก) เพื่อหาความคาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการคำนวณ ด้วยการสอบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดสอบ โดยอ้างอิงจาก 2 การทดสอบ คือ

1. ผลการทดสอบการการทะลุผ่านเสียงของผนังยิปซัม ของ J.D. Quirt, A.C.C Warnock และ J.A. Birta จาก National Research Council Canada ในชื่อโครงการ Sound Transmission Through Gypsum Board wall : Sound transmission Results., ASTM E90-1990
2. ผลการทดสอบการการทะลุผ่านเสียง โดยห้องแลปของ Salford University, BS EN ISO 140-3 1955



## บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย

### 4.1 การตรวจสอบเทียบค่าผลการคำนวณ

Properties of Material														
Description of wall														
Front Layer 1				Front Layer 2				Front Layer 3						
Material		Gypsum board		Material		Gypsum board		Material		Gypsum board				
Size	lx (m)	ly (m)	1.2	2.4	Size	lx (m)	ly (m)	1.2	2.4	Size	lx (m)	ly (m)	0	0
	Thickness	h (m)	0.0159			Thickness	h (m)	0.0159			Thickness	h (m)	0	
Mass per surface	Ms (kg/m <sup>2</sup> )	12.084		Mass per surface	Ms (kg/m <sup>2</sup> )	12.084		Mass per surface	Ms (kg/m <sup>2</sup> )	0				
Density	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	760		Density	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	760		Density	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	0				
Poisson's ratio	ν	0.24		Poisson's ratio	ν	0.24		Poisson's ratio	ν	0				
Elastic Modulus	E (Pa)	2100000000		Elastic Modulus	E (Pa)	2100000000		Elastic Modulus	E (Pa)	0				
Loss factor	η	0.03		Loss factor	η	0.03		Loss factor	η	0				
Behind Layer 1				Behind Layer 2				Behind Layer 3						
Material		Gypsum board		Material		Fiberboard		Material		Gypsum board				
Size	lx (m)	ly (m)	1.2	2.4	Size	lx (m)	ly (m)	1.2	2.4	Size	lx (m)	ly (m)	1.2	2.4
	Thickness	h (m)	0.0159			Thickness	h (m)	0.019			Thickness	h (m)	0.0159	
Mass per surface	Ms (kg/m <sup>2</sup> )	12.084		Mass per surface	Ms (kg/m <sup>2</sup> )	16.72		Mass per surface	Ms (kg/m <sup>2</sup> )	12.084				
Density	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	760		Density	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	880		Density	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	760				
Poisson's ratio	ν	0.24		Poisson's ratio	ν	0.15		Poisson's ratio	ν	0.24				
Elastic Modulus	E (Pa)	2100000000		Elastic Modulus	E (Pa)	7000000000		Elastic Modulus	E (Pa)	2100000000				
Loss factor	η	0.03		Loss factor	η	0.05		Loss factor	η	0.03				
Speed of sound	c <sub>m</sub> (m/s)	1670		Speed of sound	c <sub>m</sub> (m/s)	2750		Speed of sound	c <sub>m</sub> (m/s)	1670				
Absorption				Stud				Air						
Material		Mineral wool		Material		steel		Material		Air				
Thickness	d (m)	0.089		Dynamic Modulus	E <sub>d</sub> (Pa)	10000000		Density	ρ <sub>a</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	1.164				
Mass per surface	Ms (kg/m <sup>2</sup> )	2.934		Density	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	1100		Speed of sound	c <sub>a</sub> (m/s)	349.2				
Density	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	32.6		Speed of sound	c <sub>s</sub> (m/s)	150		Spancing of stud	b (m)	0.6				
Airflow resistivity	μ (N.s/m <sup>4</sup> )	12700		Spancing of stud	b (m)	0.6		Thickness	t	0.01				
				Thickness	t	0.01		Width	w	0.045				

รูปที่ 4.1 แสดงรูปหน้าใส่คุณสมบัติวัสดุของโปรแกรมคำนวณดัชนีการลดเสียง

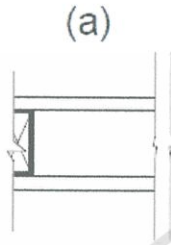
- [1] สำหรับใส่ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุ ของผนังด้านหน้า
- [2] สำหรับใส่ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุ ของผนังด้านใน
- [3] สำหรับใส่ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุดูดซับเสียง
- [4] สำหรับใส่ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุโครงสร้าง
- [5] สำหรับใส่คุณสมบัติตัวกลางในการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การเทียบค่าผลการคำนวณดัชนีการลดเสียงของโปรแกรมคำนวณที่ได้กับผลการทดสอบจริงจากห้องทดลอง เพื่อยืนยันความถูกต้องและแม่นยำ ได้ผลดังนี้

1) ผนังรูปแบบ A โครงสร้างประเภทแข็ง



รูปแบบผนัง	A
โครงสร้าง	โครงสร้างแข็ง
ผนังด้านใน	แผ่นยิปซัม 1 ชั้น ขนาด 12.7 มิลลิเมตร
ผนังด้านนอก	แผ่นยิปซัม 1 ชั้น ขนาด 12.7 มิลลิเมตรชั้น
ระยะห่างระหว่างผนัง	90 มิลลิเมตร
ระยะการวางโครงสร้าง	400 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.3 แสดงรูปแบบผนังตัวเทียบค่า กรณีที่ 1

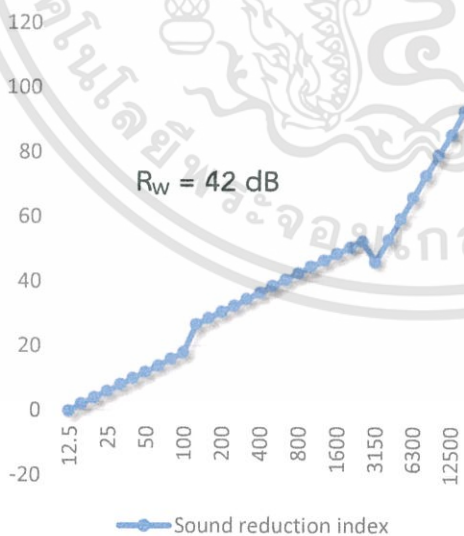
ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะของผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็ง ในการสอบเทียบค่า

a) One layer of gypsum board on each side:

Gypsum board	Absorptive Material	Test Number	STC	R <sub>w</sub>
15.9 mm Type X (C)	mineral fibre (M1) 90 mm batt	TL-93-157	34	37
12.7 mm Type X (A)	mineral fibre (M1) 90 mm batt	TL-93-188	34	39
	cellulose (C2) 90 mm blown (54 kg/m <sup>3</sup> )	TL-93-176	32	38
12.7 mm (B)	mineral fibre (M1) 90 mm batt	TL-93-166	33	38

National Research Council Canada, 1995

รูปที่ 4.4 แสดงค่าดัชนีการลดเสียงที่ใช้เทียบ ในกรณีที่ 1



ความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 7.69%

กราฟที่ 4.1 แสดงดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 1 ที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ผนังรูปแบบ B โครงสร้างประเภทแข็ง

	รูปแบบผนัง	B
	โครงสร้าง	โครงสร้างแข็ง
	ผนังด้านใน	แผ่นยิปซัม 2 ชั้น ขนาด 15.9 มิลลิเมตร
	ผนังด้านนอก	แผ่นยิปซัม 1 ขนาด 15.9 มิลลิเมตรชั้น
	ระยะห่างระหว่างผนัง	90 มิลลิเมตร
ระยะการวางโครงสร้าง	400 มิลลิเมตร	

รูปที่ 4.5 แสดงรูปแบบผนังตัว

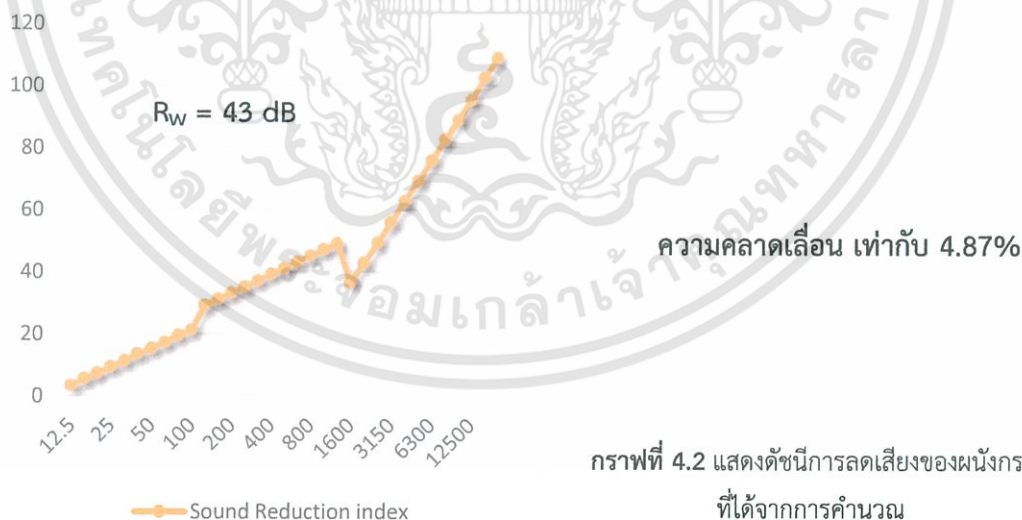
เทียบค่า กรณีที่ 2

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะของผนังรูปแบบ B โครงสร้างแข็ง ในการสอบเทียบ

Gypsum board	Absorptive Material	Test Number	STC	$R_w$
15.9 mm Type X (C)	mineral fibre (M1) 90 mm batt	TL-93-158	36	40
12.7 mm Type X (A)	cellulose (C2) 90 mm blown (54 kg/m <sup>3</sup> )	TL-93-175	37	41
12.7 mm (B)	mineral fibre (M1) 90 mm batt	TL-93-167	35	41

National Research Council Canada, 1995

รูปที่ 4.6 แสดงค่าดัชนีการลดเสียงที่ใช้เทียบ ในกรณีที่ 2

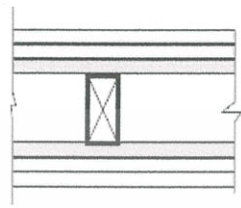


กราฟที่ 4.2 แสดงดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 2 ที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ผนังรูปแบบ C โครงสร้างประเภทแข็ง

(c)



รูปแบบผนัง	C
โครงสร้าง	โครงสร้างแข็ง
ผนังด้านใน	แผ่นยิปซัม 2 ชั้น ขนาด 15.9 มิลลิเมตร แผ่นไม้อัด 1 ชั้น ขนาด 19 มิลลิเมตร
ผนังด้านนอก	แผ่นยิปซัม 2 ชั้น ขนาด 15.9 มิลลิเมตร แผ่นไม้อัด 1 ชั้น ขนาด 19 มิลลิเมตร
ระยะห่างระหว่างผนัง	89 มิลลิเมตร
ระยะการวางโครงสร้าง	600 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.7 แสดงรูปแบบผนังตัว

เทียบค่า กรณีที่ 3

ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะของผนังรูปแบบ C โครงสร้างแข็ง ในการสอบเทียบ

Gypsum board	Absorptive Material	Test Number	STC	R <sub>w</sub>
15.9 mm Type X (C)	glass fibre (G1) 89 mm batt	TL-93-193	52	50

National Research Council Canada, 1995

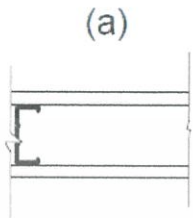
รูปที่ 4.8 แสดงค่าดัชนีการลดเสียงที่ใช้เทียบ ในกรณีที่ 3



กราฟที่ 4.3 แสดงดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 3 ที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ผนังรูปแบบ A โครงสร้างประเภทยึดหยุ่น



(a)

รูปแบบผนัง	A
โครงสร้าง	โครงสร้างยึดหยุ่น
ผนังด้านใน	แผ่นยิปซัม 1 ชั้น ขนาด 12.7 มิลลิเมตร
ผนังด้านนอก	แผ่นยิปซัม 1 ชั้น ขนาด 12.7 มิลลิเมตร
ระยะห่างระหว่างผนัง	89 มิลลิเมตร
ระยะการวางโครงสร้าง	400 มิลลิเมตร
ความหนา stud	0.5 มิลลิเมตร
ความกว้าง stud	31 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบผนังตัว

เทียบค่า กรณีที่ 4

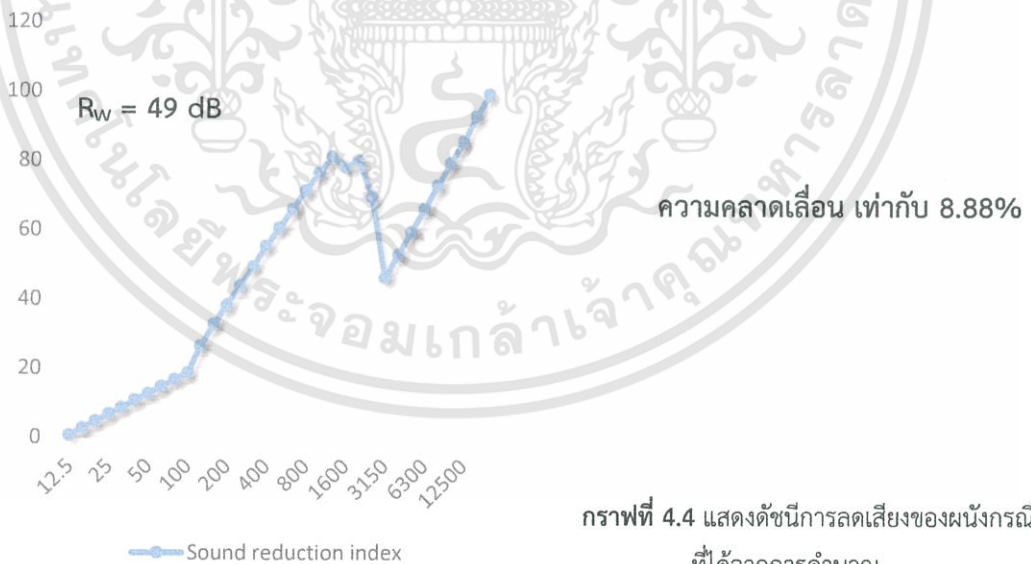
ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของผนังรูปแบบ A โครงสร้างยึดหยุ่น ในการสอบเทียบค่า

a) One layer of gypsum board on each side:

Gypsum Board	Absorptive Material	Test Number	STC	$R_w$
12.7 mm Type X (A)	glass fibre (G1) 89 mm batt	TL-93-344	46	45

National Research Council Canada, 1995

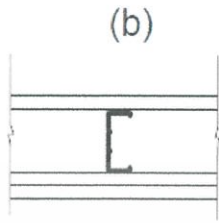
รูปที่ 4.10 แสดงค่าดัชนีการลดเสียงที่ใช้เทียบ ในกรณีที่ 4



กราฟที่ 4.4 แสดงดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 4  
ที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ผนังรูปแบบ B โครงสร้างประเภทยึดหยุ่น



รูปแบบผนัง	B
โครงสร้าง	โครงสร้างยึดหยุ่น
ผนังด้านใน	แผ่นยิปซัม 2 ชั้น ขนาด 12.7 มิลลิเมตร
ผนังด้านนอก	แผ่นยิปซัม 1 ชั้น ขนาด 12.7 มิลลิเมตร
ระยะห่างระหว่างผนัง	89 มิลลิเมตร
ระยะการวางโครงสร้าง	400 มิลลิเมตร
ความหนา stud	0.5
ความกว้าง stud	31 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.11 แสดงรูปแบบผนังตัว  
เทียบค่า กรณีที่ 5

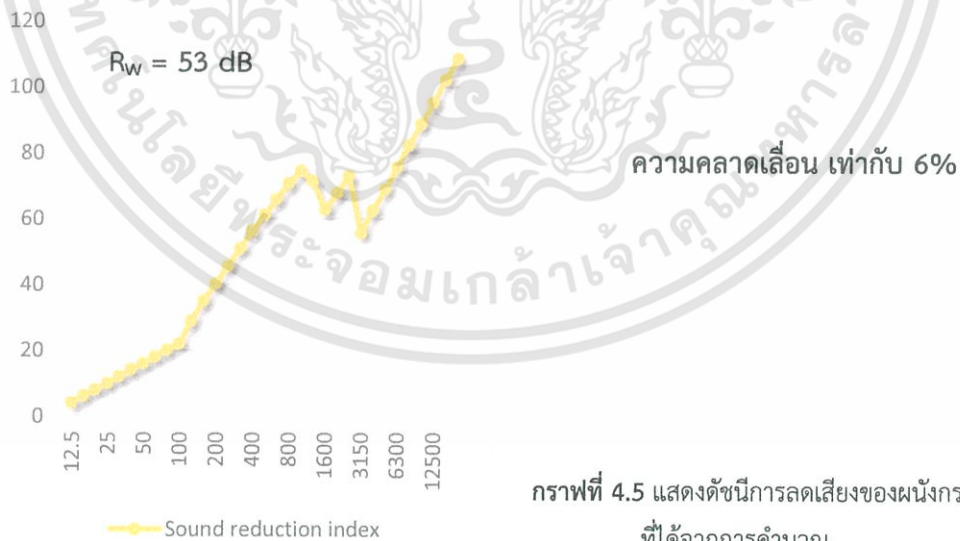
ตารางที่ 4.5 แสดงลักษณะของผนังรูปแบบ B โครงสร้างยึดหยุ่น ในการสอบเทียบค่า

b) One layer of gypsum board on one side, two layers of gypsum board on other side:

Gypsum Board	Absorptive Material	Test Number	STC	R <sub>w</sub>
12.7 mm Type X (A)	glass fibre (G1) 89 mm batt	TL-93-345	51	50
12.7 mm Type X (B)	glass fibre (G1) 89 mm batt	TL-92-426	50	49

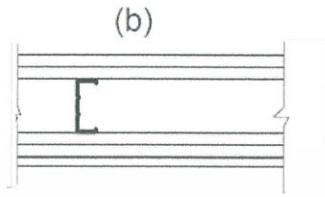
National Research Council Canada, 1995

รูปที่ 4.12 แสดงค่าดัชนีการลดเสียงที่ใช้เทียบ ในกรณีที่ 5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ผนังรูปแบบ C โครงสร้างประเภทยึดหย่อน



รูปที่ 4.13 แสดงรูปแบบผนังตัว  
เทียบค่า กรณที่ 6

รูปแบบผนัง	C
โครงสร้าง	โครงสร้างยึดหย่อน
ผนังด้านใน	แผ่นยิปซัม 2 ชั้น ขนาด 15.9 มิลลิเมตร แผ่นยิปซัม 1 ชั้น ขนาด 12.7 มิลลิเมตร
ผนังด้านนอก	แผ่นยิปซัม 2 ชั้น ขนาด 15.9 มิลลิเมตร
ระยะห่างระหว่างผนัง	89 มิลลิเมตร
ระยะการวางโครงสร้าง	600 มิลลิเมตร
ความหนา stud	0.5 มิลลิเมตร
ความกว้าง stud	31 มิลลิเมตร

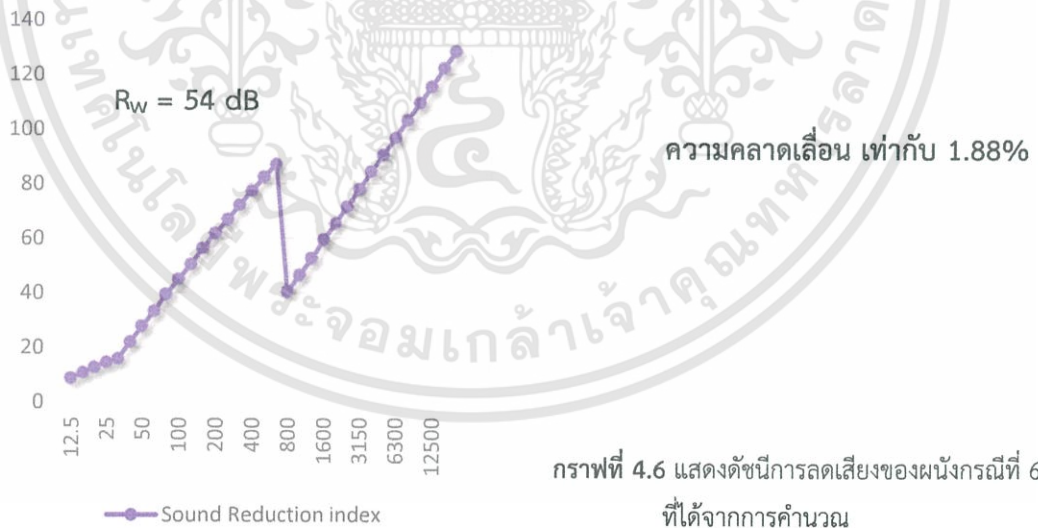
ตารางที่ 4.6 แสดงลักษณะของผนังรูปแบบ C โครงสร้างยึดหย่อน ในการสอบเทียบค่า

b) Two layers of 15.9 mm Type X gypsum board (C) on each side plus an additional layer of 12.7 mm gypsum board (B) on one side:

Gypsum Board	Absorptive Material	Test Number	STC	R <sub>w</sub>
Two types	glass fibre (G1) 89 mm batt	TL-92-371	54	53

National Research Council Canada, 1995

รูปที่ 4.14 แสดงค่าดัชนีการลดเสียงที่ใช้เทียบ ในกรณีที่ 6

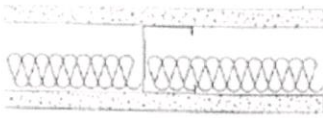


กราฟที่ 4.6 แสดงดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 6  
ที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ผนังรูปแบบ A โครงสร้างประเภทยึดหยุ่น

SYSTEM REFERENCE RCP 02



รูปที่ 4.15 แสดงรูปแบบผนังตัว  
เทียบค่า กรณีที่ 7

รูปแบบผนัง	A
โครงสร้าง	โครงสร้างยึดหยุ่น
ผนังด้านใน	แผ่นยิปซัม 1 ชั้น ขนาด 12.5 มิลลิเมตร
ผนังด้านนอก	แผ่นยิปซัม 1 ชั้น ขนาด 12.5 มิลลิเมตร
ระยะห่างระหว่างผนัง	50 มิลลิเมตร
ระยะการวางโครงสร้าง	600 มิลลิเมตร
ความหนา stud	0.25 มิลลิเมตร
ความกว้าง stud	31 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.7 แสดงลักษณะของผนังรูปแบบ A โครงสร้างยึดหยุ่น ในการสอบเทียบค่า

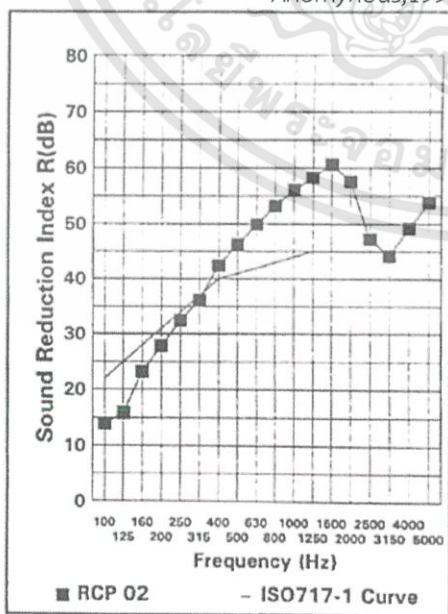
Freq.(Hz)	R(dB)	Feq (Hz)	R (dB)
100	13.9	100	17.51
125	15.8	125	19.45
160	23.1	160	21.59
200	27.7	200	30.32
250	32.4	250	35.77
315	36.0	315	41.33
400	42.4	400	47.00
500	46.1	500	52.20
630	49.8	630	57.48
800	53.1	800	62.79
1000	56.0	1000	67.60
1250	58.2	1250	72.21
1600	60.6	1600	73.98
2000	57.5	2000	67.27
2500	47.1	2500	71.63
3150	44.1	3150	44.33
4000	49.1	4000	51.18
5000	53.7	5000	57.57
Rw	41	Rw	43

Anomymous,1999

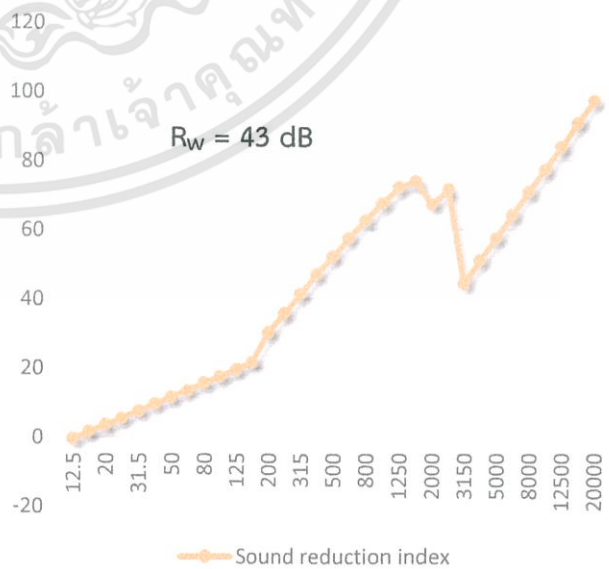
ความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 4.87%

รูปที่ 4.16 ด้านซ้ายมือ แสดงค่าดัชนีการกั้นเสียงที่ได้  
จากการทดลอง

รูปที่ 4.17 ด้านขวามือ แสดงค่าดัชนีการลดเสียงจากการ



รูปที่ 4.18 แสดงดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 2



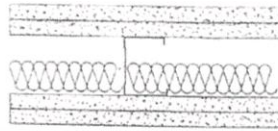
กราฟที่ 4.7 แสดงดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ได้จากการคำนวณการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) ผนังรูปแบบ B โครงสร้างประเภทยึดหยุ่น

SYSTEM REFERENCE RCP 06



รูปที่ 4.19 แสดงรูปแบบผนังตัว  
เทียบค่า กรณีที่ 8

รูปแบบผนัง	B
โครงสร้าง	โครงสร้างยึดหยุ่น
ผนังด้านใน	แผ่นยิปซัม 2 ชั้น ขนาด 12.5 มิลลิเมตร
ผนังด้านนอก	แผ่นยิปซัม 2 ชั้น ขนาด 12.5 มิลลิเมตร
ระยะห่างระหว่างผนัง	50 มิลลิเมตร
ระยะการวางโครงสร้าง	600 มิลลิเมตร
ความหนา stud	0.25 มิลลิเมตร
ความกว้าง stud	31 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.8 แสดงลักษณะของผนังรูปแบบ B โครงสร้างยึดหยุ่น ในการสอบเทียบค่า

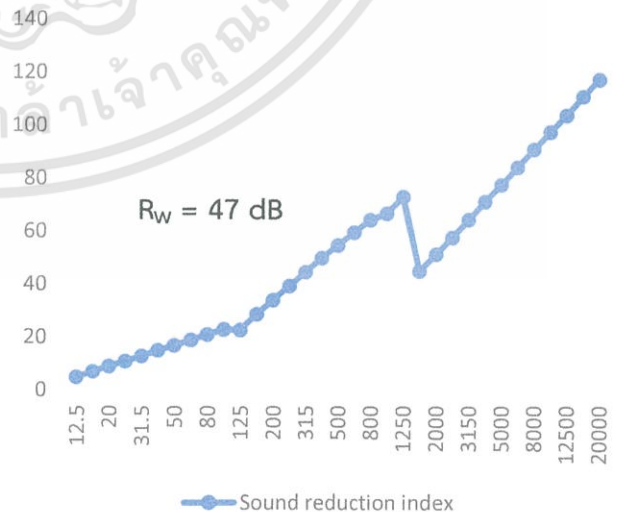
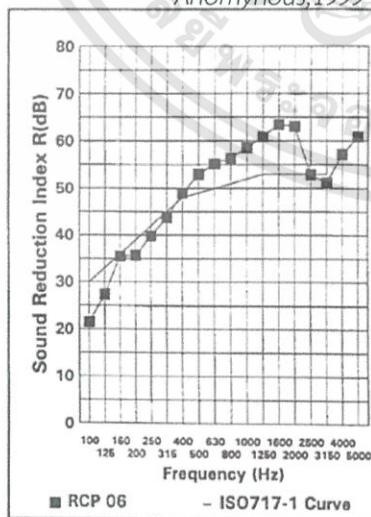
Freq. (Hz)	R (dB)	Freq. (Hz)	R (dB)
100	21.4	100	22.83
125	27.2	125	22.53
160	35.4	160	28.52
200	35.6	200	33.86
250	39.7	250	39.10
315	43.6	315	44.42
400	48.8	400	49.78
500	52.9	500	54.62
630	55.1	630	59.42
800	56.3	800	64.14
1000	58.5	1000	66.57
1250	60.8	1250	72.87
1600	63.4	1600	44.78
2000	63.0	2000	51.18
2500	52.8	2500	57.57
3150	51.1	3150	64.20
4000	57.1	4000	71.04
5000	60.8	5000	77.44
Rw	49	Rw	47

ความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 4.08%

รูปที่ 4.20 ด้านซ้ายมือ แสดงค่าดัชนีการกั้นเสียงที่ได้จากการทดลอง

รูปที่ 4.21 ด้านขวามือ แสดงค่าดัชนีการลดเสียงจากการคำนวณ

Anomymous, 1999



รูปที่ 4.22 แสดงดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 4  
ที่ได้จากการคำนวณ

กราฟที่ 4.8 แสดงดัชนีการลดเสียงของผนังกรณีที่ 4  
ที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางสรุปผลการสอบเทียบค่าการคำนวณ

	รูปแบบผนัง	โครงสร้าง	ค่าจากการทดสอบ	ผลการคำนวณ	ความคลาดเคลื่อน
1)	รูปแบบ A <sup>[1]</sup>	โครงสร้างแข็ง	39 dB	42 dB	7.69%
2)	รูปแบบ B <sup>[1]</sup>	โครงสร้างแข็ง	41 dB	43 dB	4.87%
3)	รูปแบบ C <sup>[1]</sup>	โครงสร้างแข็ง	50 dB	51 dB	2.00%
4)	รูปแบบ A <sup>[1]</sup>	โครงสร้างยึดหยุ่น	45 dB	49 dB	8.88%
5)	รูปแบบ B <sup>[1]</sup>	โครงสร้างยึดหยุ่น	50 dB	53 dB	6.00%
6)	รูปแบบ C <sup>[1]</sup>	โครงสร้างยึดหยุ่น	53 dB	58 dB	9.43%
7)	รูปแบบ A <sup>[2]</sup>	โครงสร้างยึดหยุ่น	41 dB	43 dB	4.87%
8)	รูปแบบ B <sup>[2]</sup>	โครงสร้างยึดหยุ่น	49 dB	47 dB	4.08%

[1] ผลทดสอบของ National Research Council Canada, 1995

[2] ผลทดสอบของ Salford University, 1990

#### ตารางที่ 4.9 แสดงรูปแบบผนังและโครงสร้างที่ศึกษา

จากการสอบเทียบค่าการคำนวณกับผลทดสอบจากแหล่งที่มา 2 แหล่ง พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมทุกรูปแบบ มีค่าต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าทดสอบจริง โดยค่าดัชนีการลดเสียงของรูปแบบ A โครงสร้างยึดหยุ่น มีความคลาดเคลื่อนกับค่าจริงสูงสุด 8.88% รองลงมาคือรูปแบบ A โครงสร้างแข็ง ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 7.69% โดยสาเหตุหลักๆ ที่ทำให้ค่าการคำนวณมีค่าแตกต่างกับค่าที่ได้จากการทดสอบ แบ่งออกได้เป็น 2 ประการ

1. สมการที่ใช้ในการคำนวณนั้น เป็นสมการที่ได้มาจากผลการทดสอบ ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมในการทดสอบมีผลต่อคุณสมบัติในการทดสอบ
2. คุณสมบัติของวัสดุ แม้จะกำหนดชนิดของวัสดุที่เป็นมาตรฐานมาแล้ว แต่ค่าบางค่าไม่ได้ระบุมาให้ จึงต้องอาศัยการคำนวณ หรือหาข้อมูลจากหนังสือเพิ่มเติม (คุณสมบัติวัสดุการทดสอบ ดูได้ที่ภาคผนวก ก)

ผลสรุปจากตรวจเทียบค่าดัชนีการลดเสียง จะได้ว่า ค่าการคำนวณดัชนีการลดเสียงมีแนวโน้มสูงกว่าค่าที่เป็นจริงจากการทดสอบ ยกเว้นกรณีของรูปแบบ A ที่ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่าจริงที่ได้จากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

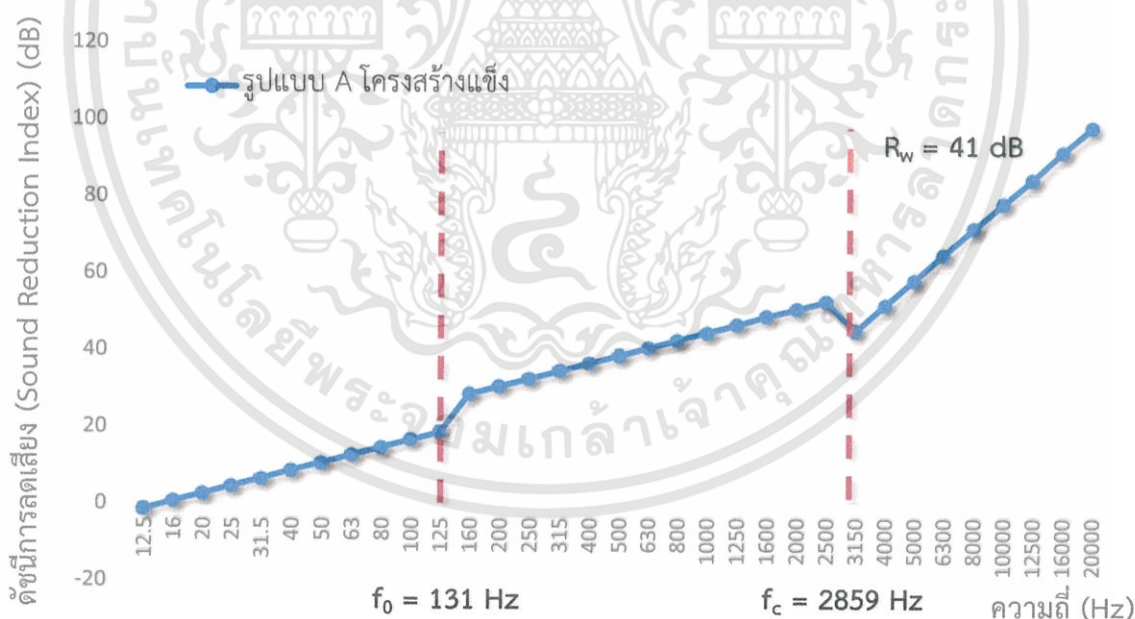
## 4.2 การศึกษาอิทธิพลของคุณสมบัติผนังและโครงสร้างต่อพฤติกรรมการลดเสียง

หลังจากทำการคำนวณดัชนีการลดเสียงของผนัง ทั้ง 6 กรณีข้างต้น ซึ่งแบ่งออกเป็น รูปแบบของผนัง 3 รูปแบบ และประเภทของโครงสร้าง 2 ประเภท ได้ดัชนีการลดเสียงออกมาแต่ละความถี่ เพื่อทำการศึกษาอิทธิพลของคุณสมบัติผนังและโครงสร้างต่อพฤติกรรมการลดเสียง จึงแบ่งกรณีศึกษา 2 กรณี คือ

1. ความแตกต่างของพฤติกรรมการลดเสียงของรูปแบบผนังและประเภทของโครงสร้างทั้ง 6 กรณี
2. เปรียบคุณสมบัติวัสดุที่มีผลต่อพฤติกรรมการลดเสียงมากที่สุด ได้แก่ ความหนาของแผ่นผนัง, ระยะช่องว่างระหว่างผนัง, ระยะการวางโครงสร้าง และค่าความยืดหยุ่นของผนัง

### 4.2.1 ความแตกต่างของพฤติกรรมการลดเสียงของรูปแบบผนังและประเภทของโครงสร้าง

กรณีที่ 1 ผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็ง

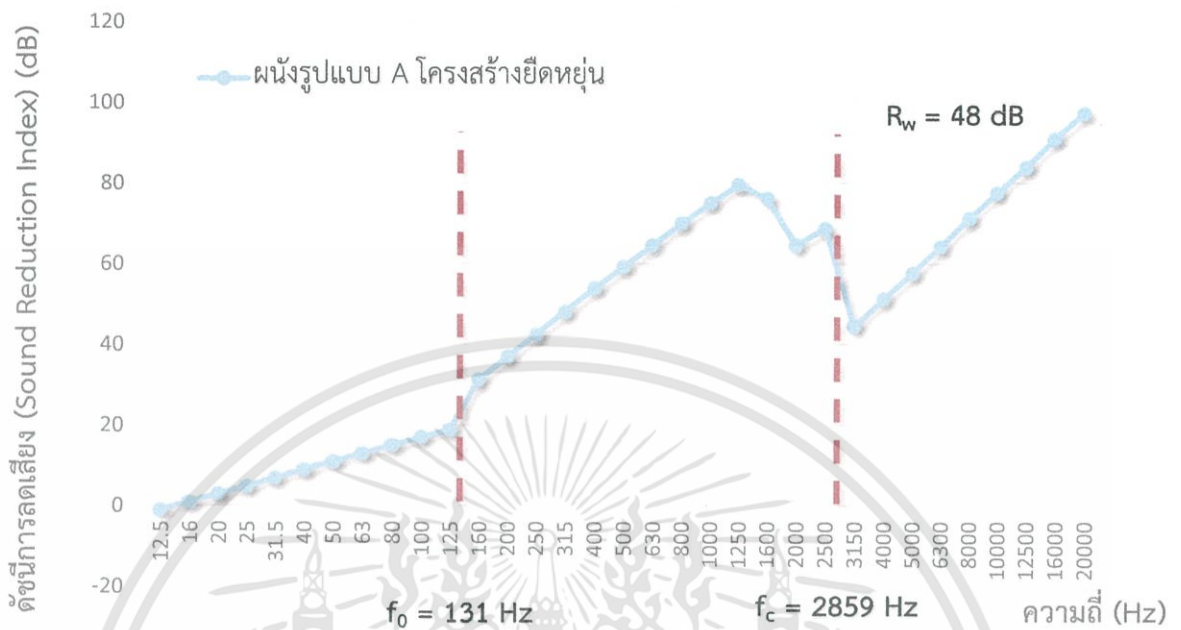


กราฟที่ 4.9 แสดงพฤติกรรมการลดเสียงของผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็ง

จากกราฟ 4.9 แสดงผลการคำนวณดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็ง จะได้ว่าความถี่สั้นพ้อง ( $f_0$ ) มีค่าเท่ากับ 131 Hz และความถี่วิกฤติ ( $f_c$ ) มีค่าเท่ากับ 2859 Hz ซึ่งสามารถคำนวณดัชนีการลดเสียงเชิงเดี่ยว (single number) ของผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็ง เท่ากับ 41 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

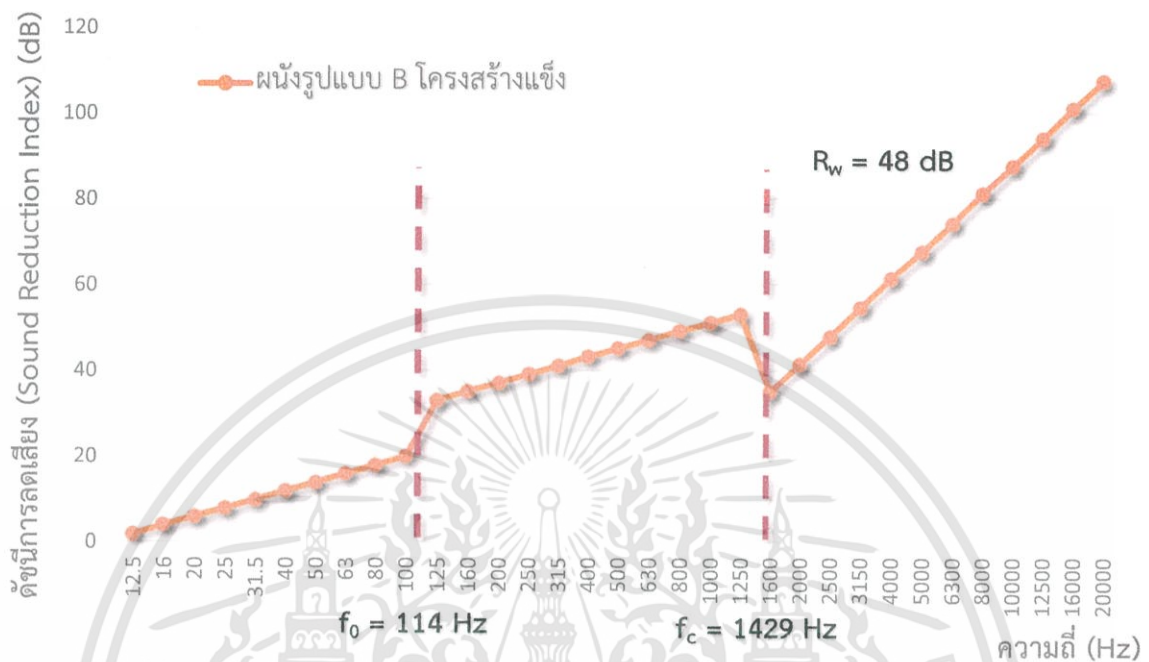
## กรณีศึกษาที่ 2 ผนังรูปแบบ A โครงสร้างยึดหยุ่น



กราฟที่ 4.10 แสดงพฤติกรรมของการลดเสียงของผนังรูปแบบ A โครงสร้างยึดหยุ่น

จากกราฟ 4.10 แสดงผลการคำนวณดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ A โครงสร้างยึดหยุ่น จะได้ว่า ความถี่สั่นพ้อง ( $f_0$ ) มีค่าเท่ากับ 131 Hz และความถี่วิกฤต ( $f_c$ ) มีค่าเท่ากับ 2859 Hz ซึ่งมีความถี่สั่นพ้องเท่ากับผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็ง สามารถคำนวณดัชนีการลดเสียงเชิงเดี่ยว (single number) ของผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็ง เท่ากับ 49 dB

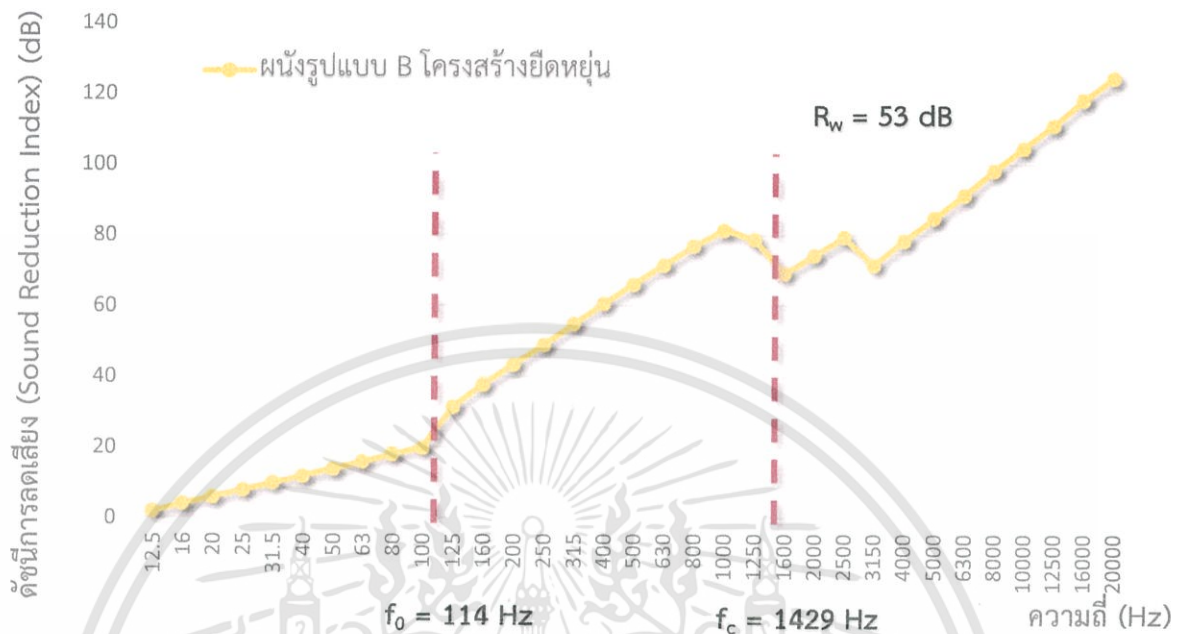
### กรณีศึกษาที่ 3 ผนังรูปแบบ B โครงสร้างแข็ง



กราฟที่ 4.11 แสดงพฤติกรรมของการลดเสียงของผนังรูปแบบ B โครงสร้างแข็ง

จากกราฟ 4.11 แสดงผลการคำนวณดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ B โครงสร้างแข็ง จะได้ว่าความถี่สั้นพ้อง ( $f_0$ ) มีค่าเท่ากับ 114 Hz และความถี่วิกฤติ ( $f_c$ ) มีค่าเท่ากับ 1429 Hz สามารถคำนวณดัชนีการลดเสียงเชิงเดี่ยว (single number) ของผนังรูปแบบ B โครงสร้างแข็ง เท่ากับ 49 dB

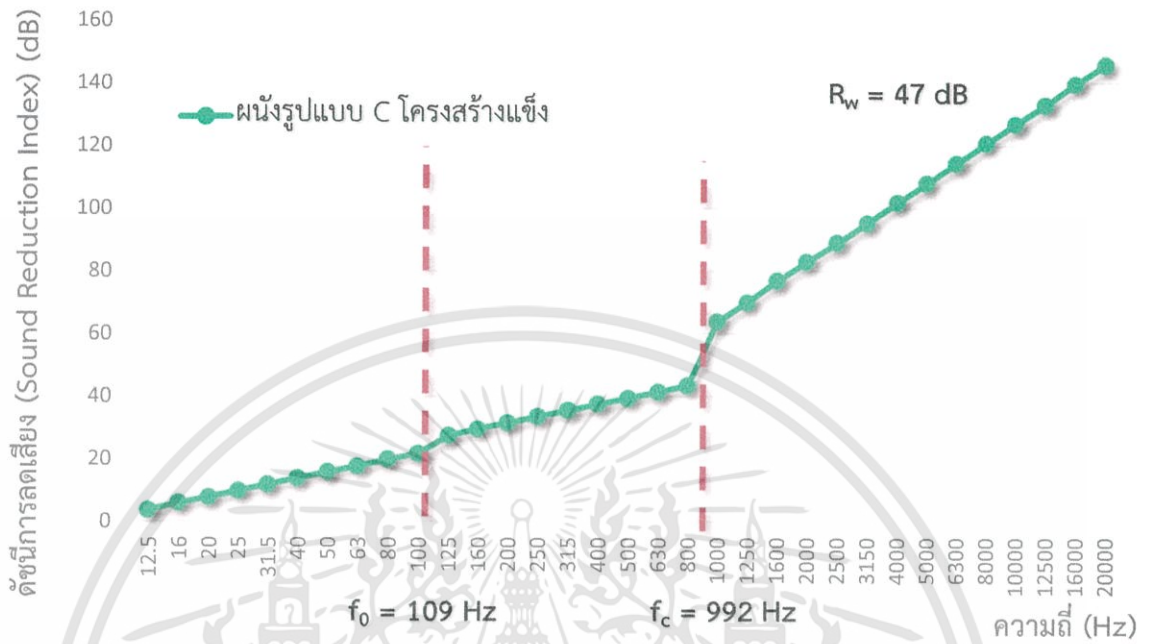
#### กรณีศึกษาที่ 4 ผนังรูปแบบ B โครงสร้างยึดหยุ่น



กราฟที่ 4.12 แสดงพฤติกรรมผลการลดเสียงของผนังรูปแบบ B โครงสร้างยึดหยุ่น

จากกราฟ 4.12 แสดงผลการคำนวณดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ B โครงสร้างยึดหยุ่น จะได้ว่า ความถี่สั่นพ้อง ( $f_0$ ) มีค่าเท่ากับ 114 Hz และความถี่วิกฤต ( $f_c$ ) มีค่าเท่ากับ 1429 Hz ซึ่งมีความถี่สั่นพ้องเท่ากับผนังรูปแบบ B โครงสร้างแข็ง สามารถคำนวณดัชนีการลดเสียงเชิงเดี่ยว (single number) ของผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็ง เท่ากับ 55 dB

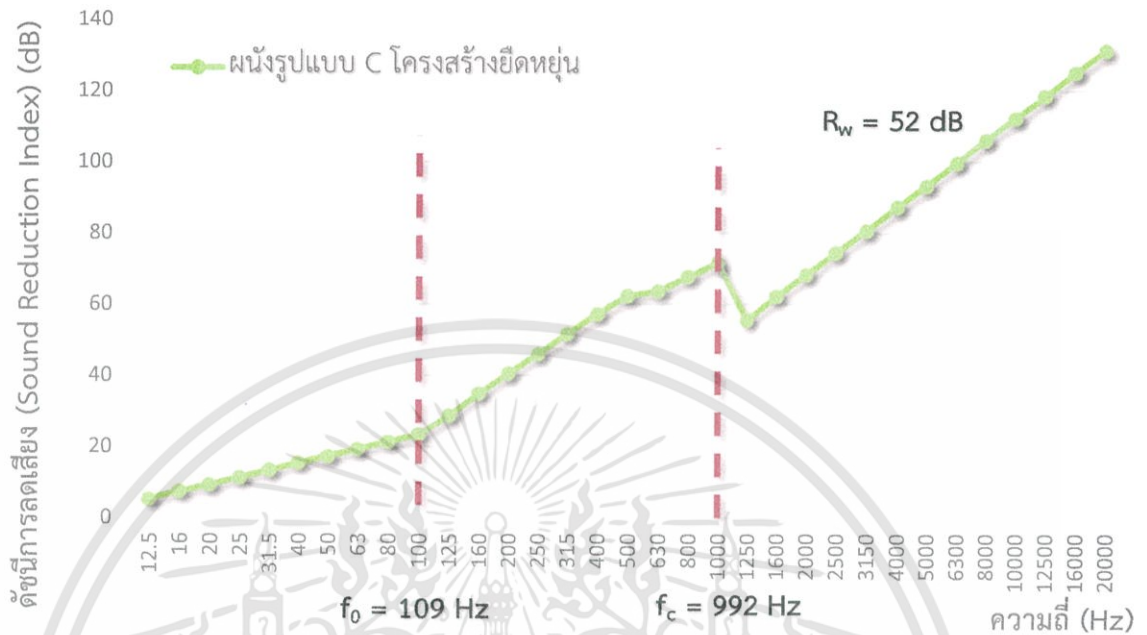
### กรณีที่ 5 ผนังรูปแบบ C โครงสร้างแข็ง



กราฟที่ 4.13 แสดงพฤติกรรมการลดเสียงของผนังรูปแบบ C โครงสร้างแข็ง

จากกราฟ 4.13 แสดงผลการคำนวณดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ C โครงสร้างแข็ง จะได้ว่า ความถี่สั่นพ้องด้วยแรง ( $f_0$ ) มีค่าเท่ากับ 109 Hz และความถี่สั่นพ้องด้วยคลื่น ( $f_c$ ) มีค่าเท่ากับ 1738 Hz สามารถคำนวณดัชนีการลดเสียงเชิงเดี่ยว (single number) ของผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็ง เท่ากับ 45 dB

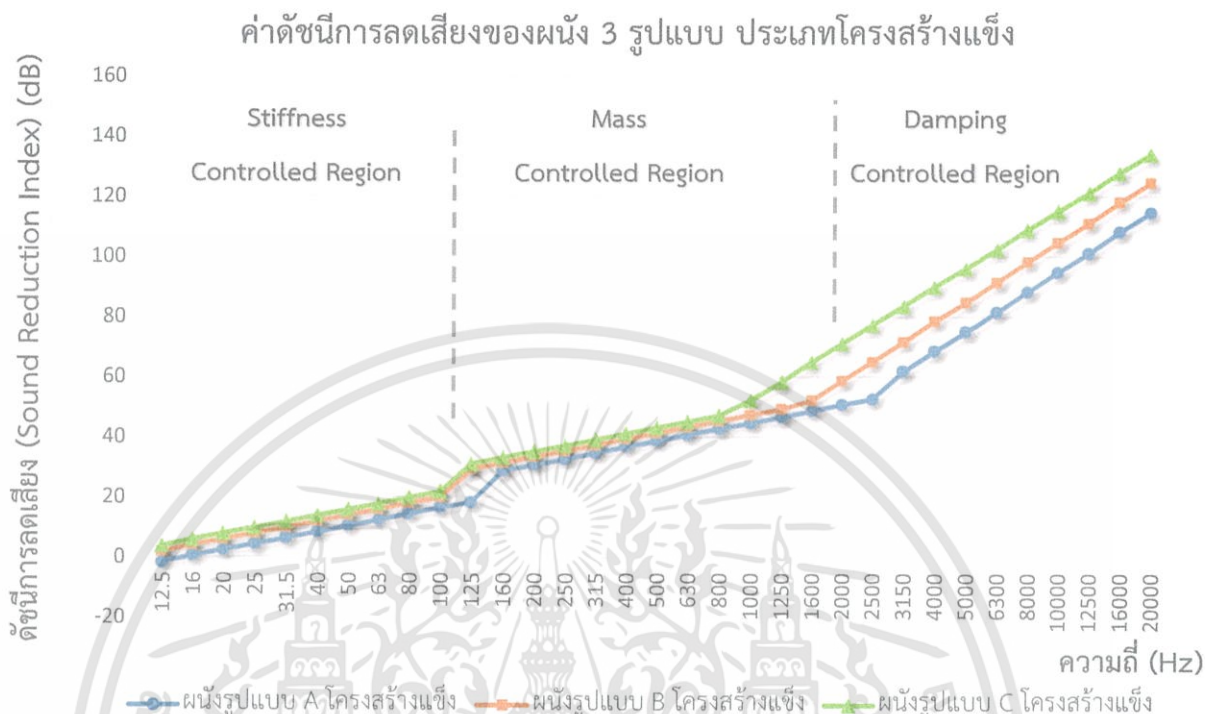
## กรณีศึกษาที่ 6 ผนังรูปแบบ C โครงสร้างยึดหยุ่น



กราฟที่ 4.14 แสดงพฤติกรรมการลดเสียงของผนังรูปแบบ C โครงสร้างยึดหยุ่น

จากกราฟ 4.14 แสดงผลการคำนวณดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ A โครงสร้างยึดหยุ่น จะได้ว่า ความถี่สั่นพ้องด้วยแรง ( $f_0$ ) มีค่าเท่ากับ 109 Hz และความถี่สั่นพ้องด้วยคลื่น ( $f_c$ ) มีค่าเท่ากับ 1738 Hz ซึ่งมีความถี่สั่นพ้องเท่ากับผนังรูปแบบ C โครงสร้างแข็ง สามารถคำนวณดัชนีการลดเสียงเชิงเดี่ยว (single number) ของผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็ง เท่ากับ 53 dB

กราฟแสดงดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ A, B และ C โครงสร้างแข็ง



กราฟที่ 4.15 แสดงดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ A, B และ C โครงสร้างประเภทแข็ง

จากกราฟ แสดงผลการคำนวณดัชนีการลดเสียงของผนังทั้ง 3 รูปแบบ โดยมีโครงสร้างประเภท โครงสร้างแข็ง ด้วยเครื่องมือคำนวณที่สร้างขึ้น เมื่อพิจารณาดัชนีการลดเสียงแต่ละเขตพฤติกรรม ปรากฏ ว่า

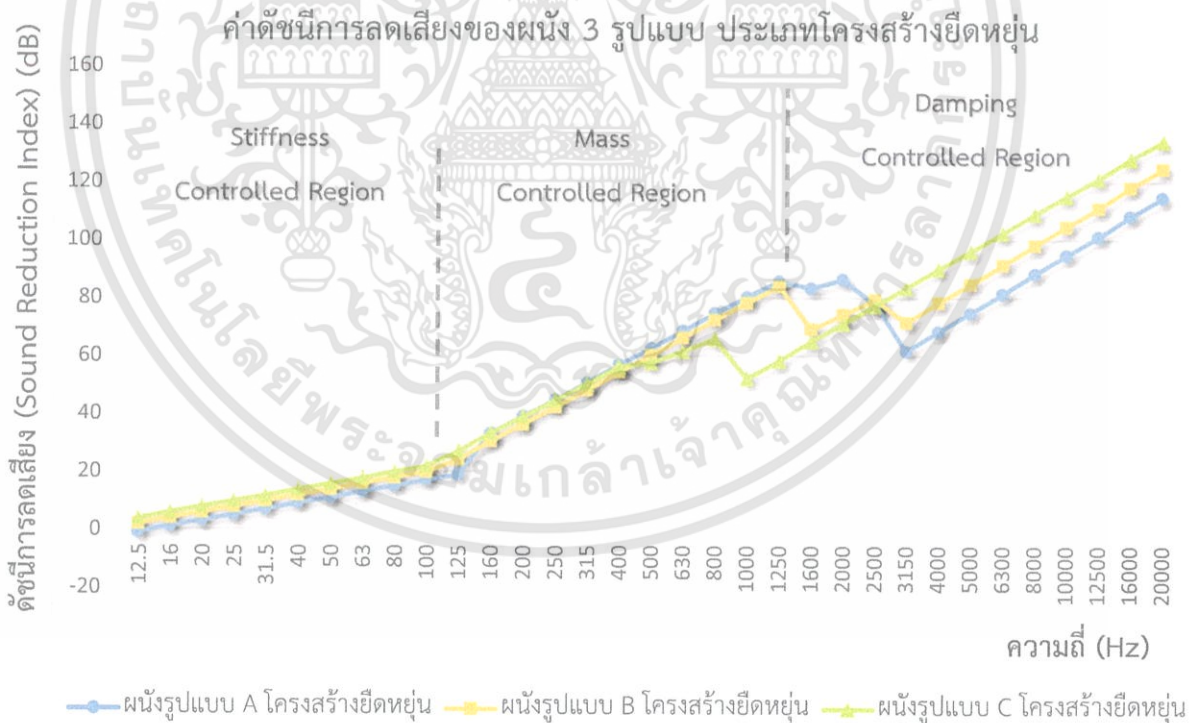
เขตที่ 1 Stiffness controlled region อยู่ในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า Resonance frequency ( $f_0$ ) สำหรับผนังรูปแบบ A จะอยู่ในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 131 Hz ผนังรูปแบบ B จะอยู่ในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 114 Hz และผนังรูปแบบ C จะอยู่ในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 109 Hz จะพบว่าผนังรูปแบบ A มีขอบเขตของ Stiffness controlled region มากกว่าแบบอื่น รองลงมาเป็นผนังรูปแบบ B และรูปแบบ C มีขอบเขตน้อย ที่สุด เมื่อพิจารณาลักษณะของกราฟในช่วงนี้ กราฟทั้ง 3 เส้น พบว่า ดัชนีการลดเสียงในแต่ละความถี่ ผนัง รูปแบบ C มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ผนังรูปแบบ B และผนังรูปแบบ A มีค่าน้อยที่สุด

เขตที่ 2 Mass controlled region อยู่ในระหว่าง Resonance frequency ( $f_0$ ) และ Coincidence frequency ( $f_c$ ) โดยผนังรูปแบบ A เขตที่ 2 อยู่ในช่วง 131-2859 Hz ผนังรูปแบบ B เขตที่ 2 อยู่ในช่วง 114-1429 Hz และผนังรูปแบบ C เขตที่ 2 อยู่ในช่วง 109-1738 Hz จะพบว่าผนังรูปแบบ A มีขอบเขตของ

Mass controlled region มากกว่าแบบอื่น รองลงมาเป็นผนังรูปแบบ C และรูปแบบ B มีขอบเขตน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาลักษณะของกราฟในช่วงนี้ กราฟทั้ง 3 เส้น พบว่า ดัชนีการลดเสียงในแต่ละความถี่ ผนังรูปแบบ B มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ผนังรูปแบบ C และผนังรูปแบบ A มีค่าน้อยที่สุด

เขตที่ 3 Damping controlled region อยู่ในช่วงความถี่ที่สูงกว่า Coincidence frequency ( $f_c$ ) สำหรับผนังรูปแบบ A จะอยู่ในช่วงความถี่ที่สูงกว่า 2859 Hz ผนังรูปแบบ B จะอยู่ในช่วงความถี่ที่สูงกว่า 1429 Hz และผนังรูปแบบ C จะอยู่ในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 1738 Hz จะพบว่าผนังรูปแบบ B มีขอบเขตของ Mass controlled region มากกว่าแบบอื่น รองลงมาเป็นผนังรูปแบบ C และรูปแบบ A มีขอบเขตน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาลักษณะของกราฟในช่วงนี้ กราฟทั้ง 3 เส้น พบว่า ดัชนีการลดเสียงในแต่ละความถี่ ผนังรูปแบบ B มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ผนังรูปแบบ C และผนังรูปแบบ A มีค่าน้อยที่สุด

กราฟแสดงดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ A, B และ C โครงสร้างยึดหยุ่น



กราฟที่ 4.16 แสดงดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ A, B และ C โครงสร้างประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟ แสดงผลการคำนวณดัชนีการลดเสียงของผนังทั้ง 3 รูปแบบ โดยมีโครงสร้างประเภท โครงสร้างยึดหยุ่น ด้วยโปรแกรมที่สร้างขึ้น เมื่อพิจารณาดัชนีการลดเสียงแต่ละเขตพฤติกรรม ปรากฏว่า

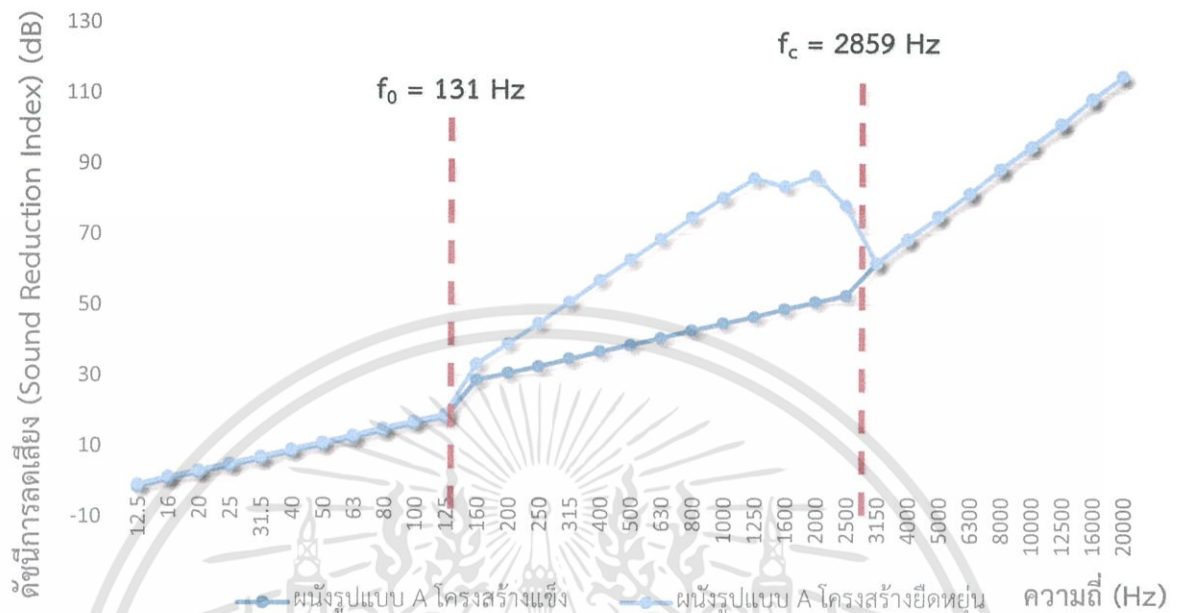
เขตที่ 1 Stiffness controlled region อยู่ในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า Resonance frequency ( $f_0$ ) ซึ่ง สำหรับผนังทั้ง 3 รูปแบบ Resonance frequency มีค่าเท่ากันทั้งแบบโครงสร้างแข็งและโครงสร้างยึดหยุ่น ทำให้การแบ่งเขตพฤติกรรมของทั้งสองแบบเหมือนกัน เมื่อพิจารณาลักษณะของกราฟดัชนีการลดเสียง ในช่วงนี้พบว่า ผนังรูปแบบ C มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ผนังรูปแบบ B และผนังรูปแบบ A มีค่าน้อยที่สุด

เขตที่ 2 Mass controlled region อยู่ในระหว่าง Resonance frequency ( $f_0$ ) และ Coincidence frequency ( $f_c$ ) โดยการแบ่งเขตพฤติกรรมการลดเสียงในช่วงนี้ของโครงสร้างแบบยึดหยุ่น เหมือนกับการแบ่งเขตพฤติกรรมของโครงสร้างแข็ง เมื่อพิจารณาลักษณะของกราฟในช่วงนี้ กราฟทั้ง 3 เส้น พบว่า ดัชนีการลดเสียงในแต่ละความถี่ ผนังรูปแบบ B มีค่ามากที่สุด ซึ่งผนังรูปแบบ A และผนังรูปแบบ C กราฟที่ใกล้เคียงกัน

ช่วงรอยต่อระหว่างเขตที่ 2 และเขตที่ 3 รอบๆ Coincidence frequency จะพบว่า ผนังรูปแบบ A ดัชนีในช่วงนี้มีค่าตกลงไปมากก่อนจะค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับผนังรูปแบบ B และผนังรูปแบบ C ที่ค่า ไม่ลดลงมากทีเดียว จะค่อยๆลด และค่อยๆเพิ่ม เป็นช่วงๆ ก่อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่เขต 3 โดยสมบูรณ์

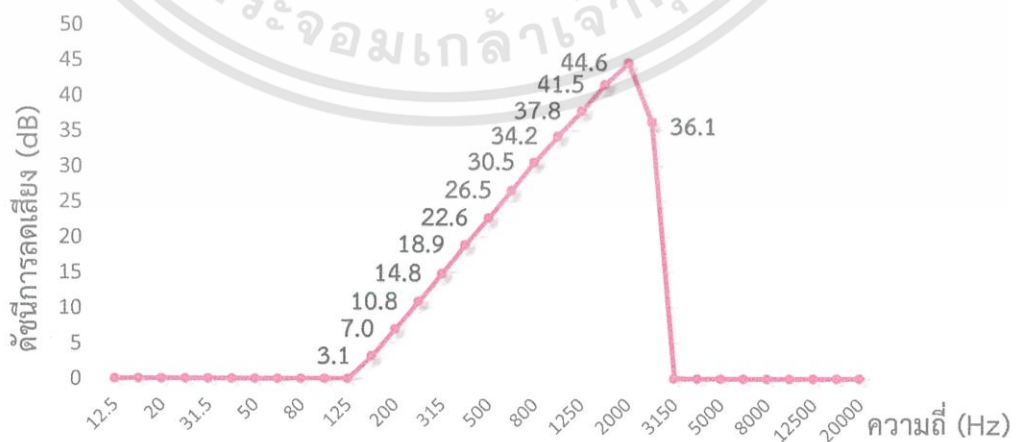
เขตที่ 3 Damping controlled region อยู่ในช่วงความถี่ที่สูงกว่า Coincidence frequency ( $f_c$ ) โดยการแบ่งเขตพฤติกรรมการลดเสียงในช่วงนี้ของโครงสร้างแบบยึดหยุ่น เหมือนกับการแบ่งเขตพฤติกรรมของ โครงสร้างแข็ง เมื่อพิจารณาลักษณะของกราฟในช่วงนี้ กราฟทั้ง 3 เส้น พบว่า ดัชนีการลดเสียงในแต่ละ ความถี่ ผนังรูปแบบ C มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ผนังรูปแบบ B และผนังรูปแบบ A มีค่าน้อยที่สุด

### กราฟแสดงดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็งและโครงสร้างยืดหยุ่น



กราฟที่ 4.17 แสดงดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็งและโครงสร้าง

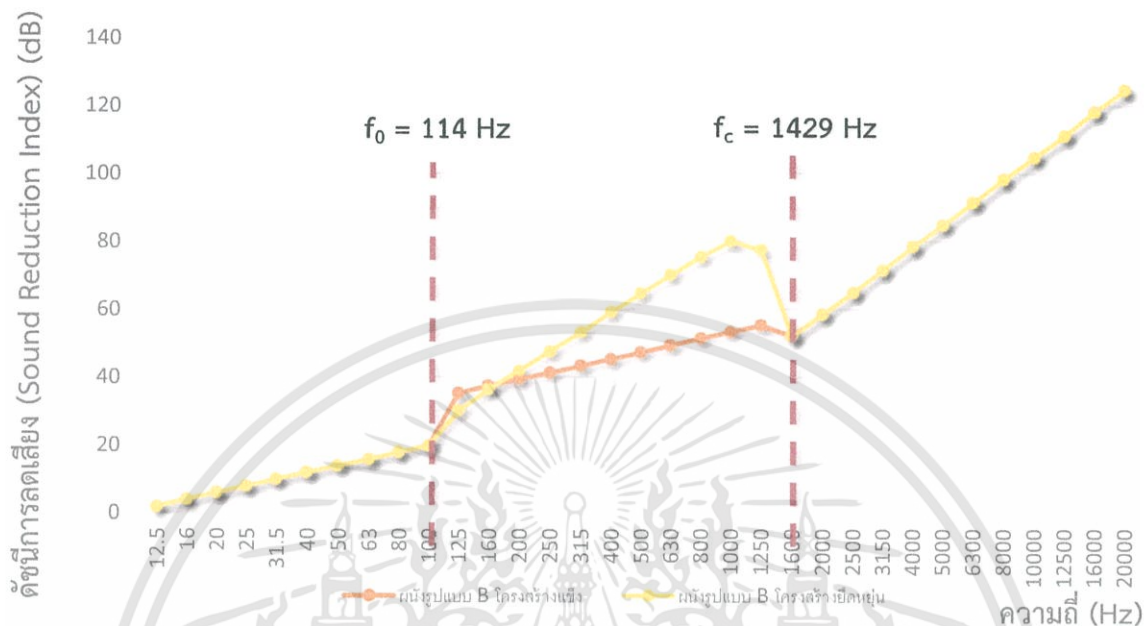
จากกราฟพบว่า ดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ A โครงสร้างแข็งและโครงสร้างยืดหยุ่น มีค่าแตกต่างกันเฉพาะใน เขตที่ 2 Mass controlled region ซึ่งดัชนีการลดเสียงของโครงสร้างประเภทยืดหยุ่นจะมีค่าสูงกว่าโครงสร้างประเภทแข็ง ก่อนจะกลับมาเท่ากันในช่วงใกล้ๆ กับ Coincidence frequency ดังแสดงผลต่างของดัชนีการลดเสียงของโครงสร้างทั้งสองประเภท ในกราฟที่ 4.17 สังเกตว่าค่าจะแตกต่างกันมากเมื่อความถี่สูงขึ้น จนเมื่อใกล้กับ Coincidence frequency ความแตกต่างก็จะน้อยลง จนเท่ากับศูนย์เมื่อเปลี่ยนเขตพฤติกรรม



กราฟที่ 4.18 แสดงผลต่างดัชนีการลดเสียงของ โครงสร้างแข็งและยืดหยุ่น ในผนังรูปแบบ

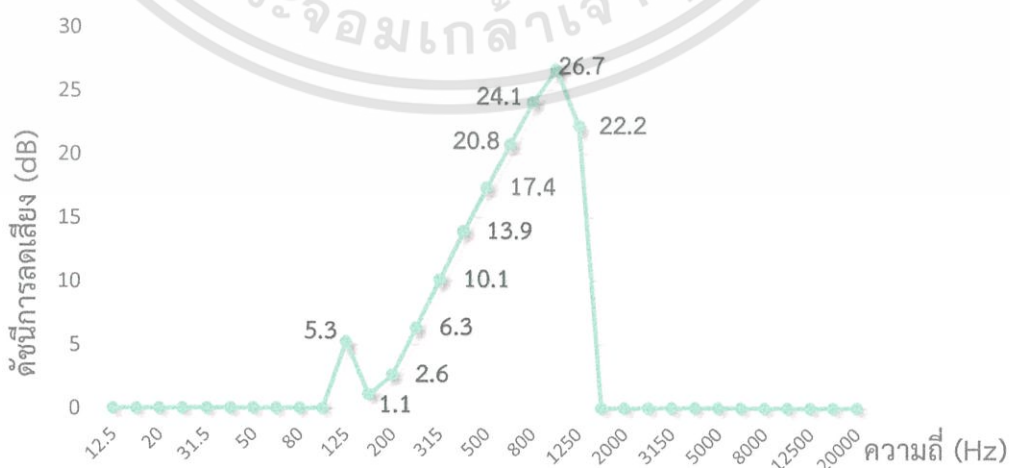
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ B โครงสร้างแข็งและโครงสร้างยืดหยุ่น



กราฟที่ 4.19 แสดงดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ B โครงสร้างแข็งและโครงสร้าง

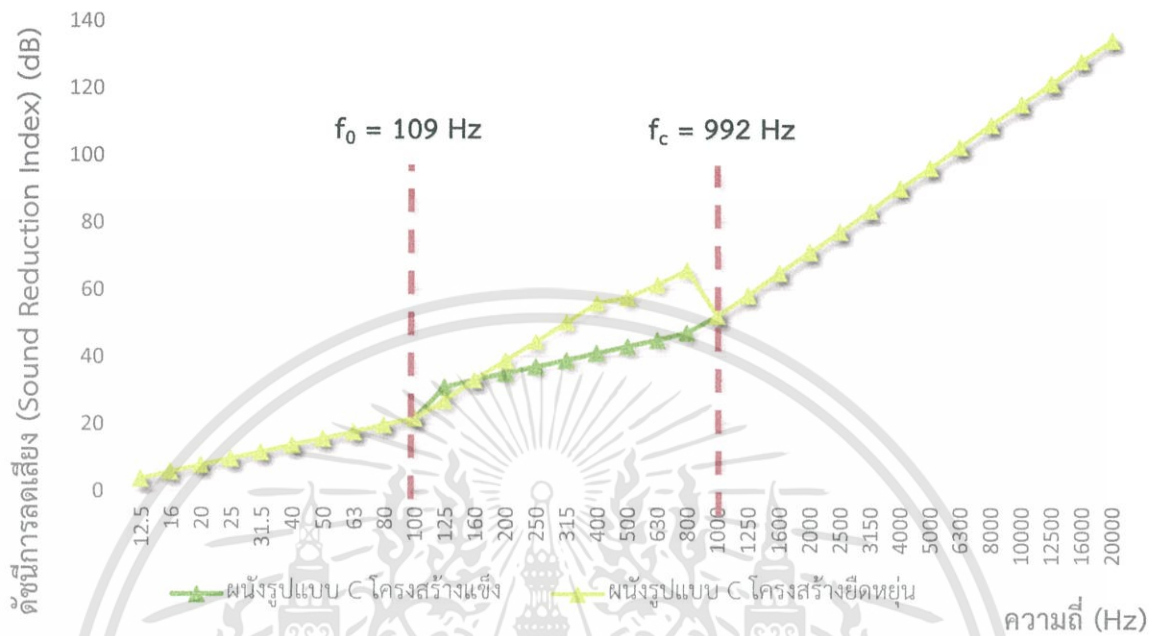
จากกราฟพบว่า ดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ B โครงสร้างแข็งและโครงสร้างยืดหยุ่น มีค่าแตกต่างกันเฉพาะใน เขตที่ 2 Mass controlled region ซึ่งดัชนีการลดเสียงของโครงสร้างประเภทยืดหยุ่นจะมีค่าสูงกว่าโครงสร้างประเภทแข็ง ก่อนจะกลับมาเท่ากันในช่วงใกล้ๆ กับ Coincidence frequency ดังแสดงผลต่างของดัชนีการลดเสียงของโครงสร้างทั้งสองประเภท ในกราฟที่ 4.20 สังเกตว่าค่าจะแตกต่างกันมากเมื่อความถี่สูงขึ้น จนเมื่อใกล้กับ Coincidence frequency ความแตกต่างก็จะน้อยลง จนเท่ากับศูนย์เมื่อเปลี่ยนเขตพฤติกรรม



กราฟที่ 4.20 แสดงผลต่างดัชนีการลดเสียงของ โครงสร้างแข็งและยืดหยุ่น ในผนังรูปแบบ

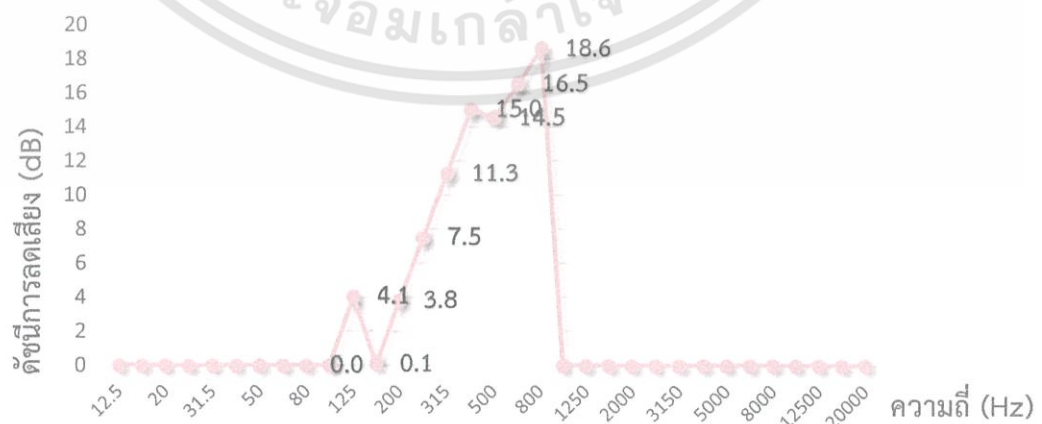
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ C โครงสร้างแข็งและโครงสร้างยืดหยุ่น



กราฟที่ 4.21 แสดงดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ C โครงสร้างแข็งและโครงสร้าง

จากกราฟพบว่า ดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ C โครงสร้างแข็งและโครงสร้างยืดหยุ่น มีค่าแตกต่างกันเฉพาะใน เขตที่ 2 Mass controlled region ซึ่งดัชนีการลดเสียงของโครงสร้างประเภทยืดหยุ่น จะมีค่าสูงกว่าโครงสร้างประเภทแข็ง ก่อนจะกลับมาเท่ากันในช่วงใกล้ๆ กับ Coincidence frequency ดังแสดงผลต่างของดัชนีการลดเสียงของโครงสร้างทั้งสองประเภท ในกราฟที่ 4.22 สังเกตว่าค่าจะแตกต่างกันมาก เมื่อความถี่สูงขึ้น จนเมื่อใกล้กับ Coincidence frequency ความแตกต่างก็จะน้อยลง จนเท่ากับศูนย์เมื่อเปลี่ยนเขตพฤติกรรม



กราฟที่ 4.22 แสดงผลต่างดัชนีการลดเสียงของ โครงสร้างแข็งและยืดหยุ่น ในผนังรูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการสอบเทียบค่าการคำนวณดัชนีการลดเสียงโดยโปรแกรมที่สร้างขึ้นกับผลการวัดจริง พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมทุกรูปแบบ มีค่าต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าทดสอบจริง โดยค่าดัชนีการลดเสียงของรูปแบบ A โครงสร้างยึดหยุ่น มีความคลาดเคลื่อนกับค่าจริงสูงสุด 8.88% และผนังรูปแบบ C โครงสร้างแข็ง มีความคลาดเคลื่อนกับค่าจริงต่ำสุด 2.00% โดยสาเหตุหลักๆ ที่ทำให้ค่าการคำนวณมีค่าแตกต่างกับค่าที่ได้จากการทดสอบ มาจากสมการที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งเป็นสมการที่ได้มาจากผลการทดลอง และคุณสมบัติของวัสดุ ที่มีบางค่าที่ไม่ทราบค่า จึงต้องอาศัยข้อมูลจากหนังสือเพิ่มเติม ผลสรุปจากการเทียบค่าดัชนีการลดเสียง จะได้ว่า ค่าการคำนวณดัชนีการลดเสียงมีแนวโน้มสูงกว่าค่าที่เป็นจริงจากการทดลอง ยกเว้นกรณีของรูปแบบ A ที่ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่าจริงที่ได้จากการทดลอง

จากผลการคำนวณพฤติกรรมการลดเสียงของผนัง 3 รูปแบบ พบว่าการแบ่งเขตพฤติกรรมการลดเสียงของผนังนั้น ผนังรูปแบบ A ความถี่สั่นพ้อง (Resonance frequency,  $f_0$ ) มีค่ามากที่สุดในรูปแบบผนังทั้งหมด โดยมีค่าเท่ากับ 131 เฮิร์ตซ์ รองลงมาเป็นผนังรูปแบบ B มีค่าเท่ากับ 114 เฮิร์ตซ์ และผนังรูปแบบ C มีค่าเท่ากับ 109 เฮิร์ตซ์ ความถี่สั่นพ้อง มีผลต่อการแบ่งขอบเขตพฤติกรรมเสียงในเขตที่ควบคุมด้วยความแข็ง (Stiffness controlled region) โดยเมื่อความถี่สั่นพ้อง มีค่าสูงขอบเขตก็จะกว้าง ซึ่งผนังรูปแบบ A มีขอบเขตที่กว้างที่สุด คือในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 131 เฮิร์ตซ์ ในขณะที่ผนังรูปแบบ B และ C ที่มีการเพิ่มจำนวนชั้นของผนังเข้าไป ส่งผลให้มวลของผนังเพิ่มขึ้น ความถี่สั่นพ้องด้วยแรงมีค่าลดลง เขตที่ควบคุมด้วยความแข็ง จึงมีขอบเขตจึงมีขนาดน้อยลงตามมวลของผนังที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ระยะช่องว่างระหว่างผนังมีผลต่อความถี่สั่นพ้องเช่นกัน ผนังที่มีระยะช่องว่างมาก ความถี่สั่นพ้องจะมีค่าน้อยลง

ส่วนความถี่วิกฤติ (Coincidence frequency,  $f_c$ ) พบว่า ผนังรูปแบบ A มีค่ามากที่สุดในรูปแบบผนังทั้งหมด โดยมีค่าเท่ากับ 2859 เฮิร์ตซ์ รองลงมาเป็นผนังรูปแบบ B มีค่าเท่ากับ 1429 เฮิร์ตซ์ และผนังรูปแบบ C มีค่าเท่ากับ 992 เฮิร์ตซ์ พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของผนังเข้าไป ความถี่วิกฤติจะมีค่าลดลง เช่นในผนังรูปแบบ B ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของแผ่นยิปซัม 1 แผ่นเข้าไปที่ผนังด้านใน ส่งผลให้มวลของผนังด้านในมีค่าเพิ่มขึ้น 2 เท่า ความถี่วิกฤติจึงมีค่าลดลงเป็น 2 เท่าเช่นกัน ซึ่งความถี่วิกฤติมีผลต่อขอบเขตพฤติกรรมลดเสียงของผนัง คือ เขตที่ควบคุมด้วยมวล (Mass controlled region) ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่สั่นพ้อง ( $f_0$ ) และความถี่วิกฤติ ( $f_c$ ) พบว่าผนังรูปแบบ A มีขนาดกว้างที่สุด รองลงมาเป็นผนังรูปแบบ B และผนังรูปแบบ C มีขนาดน้อยที่สุด และขอบเขตที่ควบคุมด้วยความหน่วง (Damping controlled region) ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ที่มากกว่าความถี่วิกฤติ ( $f_c$ ) ผนังรูปแบบ C มีขนาดกว้างที่สุด รองลงมาเป็นผนังรูปแบบ B และผนังรูปแบบ A

ดัชนีการลดเสียงของผนังทั้ง 3 แบบ จากกราฟพบว่า ดัชนีการลดเสียงของทั้งโครงสร้างแข็งและโครงสร้างยึดหยุ่น ในเขตที่ควบคุมด้วยความแข็ง ผนังรูปแบบ C มีค่าดัชนีการลดเสียงสูงสุด รองลงมาเป็นผนังรูปแบบ B และผนังรูปแบบ C เนื่องจากในเขตนี้ มวลของผนังมีอิทธิพลต่อดัชนีการลดเสียงสูงสุด เมื่อผนังมีมวลมาก การลดเสียงในย่านความถี่ต่ำมีผลดีกว่าผนังมีมวลน้อย ถัดมาในเขตที่ควบคุมด้วยมวล การทะลุผ่านของเสียงผ่านทางโครงสร้างมีผลต่อดัชนีการลดเสียงในช่วงนี้ พบว่าเมื่อโครงสร้างเป็นแบบแข็ง ดัชนีการลดเสียงของผนัง ผนังรูปแบบ B มีค่าดัชนีการลดเสียงสูงสุด รองลงมาเป็นผนังรูปแบบ C และผนังรูปแบบ A เพราะมวลของผนังมีอิทธิพลต่อดัชนีการลดเสียงมากที่สุด นอกจากนี้คืออิทธิพลของประเภทโครงสร้างผนัง ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่วิกฤติ ( $f_c$ ) ของผนังทั้งสองด้าน ซึ่งในการศึกษานี้จะขึ้นอยู่กับผนังด้านในด้านเดียว พบว่าความถี่วิกฤติ ( $f_c$ ) ของผนังด้านในมีค่าน้อย ส่งผลให้การทะลุผ่านของเสียงผ่านทางโครงสร้างมีค่าน้อย ส่วนในกรณีโครงสร้างแบบยึดหยุ่น พบว่าค่าการทะลุผ่านของเสียงผ่านจะขึ้นกับคุณสมบัติความยืดหยุ่นของโครงสร้าง และประสิทธิภาพการกระจายเสียงของผนัง (Radiation efficiency) นอกจากนี้ระยะการวางโครงสร้างของผนังก็มีผลต่อการทะลุผ่านของเสียงเช่นกัน โดยพบว่า ยิ่งระยะการวางห่างเท่าไร ค่าการทะลุผ่านของเสียงทางโครงสร้างก็จะน้อย ทำให้ดัชนีการลดเสียงมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนในเขตพฤติกรรมสุดท้าย ที่ความถี่สูง เขตควบคุมด้วยความหน่วง (Damping controlled region) พบว่าที่ทั้งโครงสร้างแข็งและโครงสร้างยึดหยุ่น ดัชนีการลดเสียงของผนังรูปแบบ C มีค่ามากที่สุด รองลงมาผนังรูปแบบ B และผนังรูปแบบ A ตามลำดับ โดยในเขตนี้มวลยังคงมีอิทธิพลต่อดัชนีการลดเสียง นอกจากนั้นเป็นคุณสมบัติความหน่วงของตัวผนัง เนื่องจากความถี่บริเวณ ความถี่วิกฤติ ( $f_c$ ) เกิดการสั่นสะเทือนของผนัง ดัชนีการลดเสียงจึงมีค่าน้อย ผนังที่มีค่าความหน่วงเยอะจะส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนของผนังในบริเวณนั้นน้อย ดัชนีการลดเสียงจึงเพิ่มขึ้น

พฤติกรรมลดเสียงของผนังจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักๆ คือ มวลของผนัง ระยะช่องว่างระหว่างผนัง ความถี่สั่นพ้อง (Resonance frequency,  $f_0$ ) ความถี่วิกฤติ (Coincidence frequency,  $f_c$ ) ค่าความหน่วงของผนัง และระยะการวางโครงสร้าง จากการปัจจัยดังกล่าว ผนังรูปแบบ C มีค่าการลดเสียงได้ดีที่สุดในรูปแบบผนังทั้งหมด เมื่อพิจารณาพฤติกรรมทุกช่วงความถี่

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ดัชนีการลดเสียง เฉพาะเสียงที่เคลื่อนที่จะแหล่งกำเนิดมายังผนังโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง ยังไม่รวมถึงต้นกำเนิดเสียงที่เกิดจากการกระทบผนัง

5.2.2 การคำนวณดัชนีการลดเสียง ยังไม่มีสมการรองรับการคำนวณผลของวัสดุซับเสียง ซึ่งสามารถวัดได้จากการทดลองเท่านั้นในปัจจุบัน

5.2.3 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณไม่มีค่าที่แน่นอน เนื่องจากคุณสมบัติบางตัวเป็นคุณสมบัติเฉพาะซึ่งหาได้จากการทดลองเท่านั้น ดังนั้นการใช้เครื่องมือในการคำนวณค่าการลดเสียงเป็นเพียงแค่ว่าในการประมาณเพื่อดูพฤติกรรมของการลดเสียงเท่านั้น



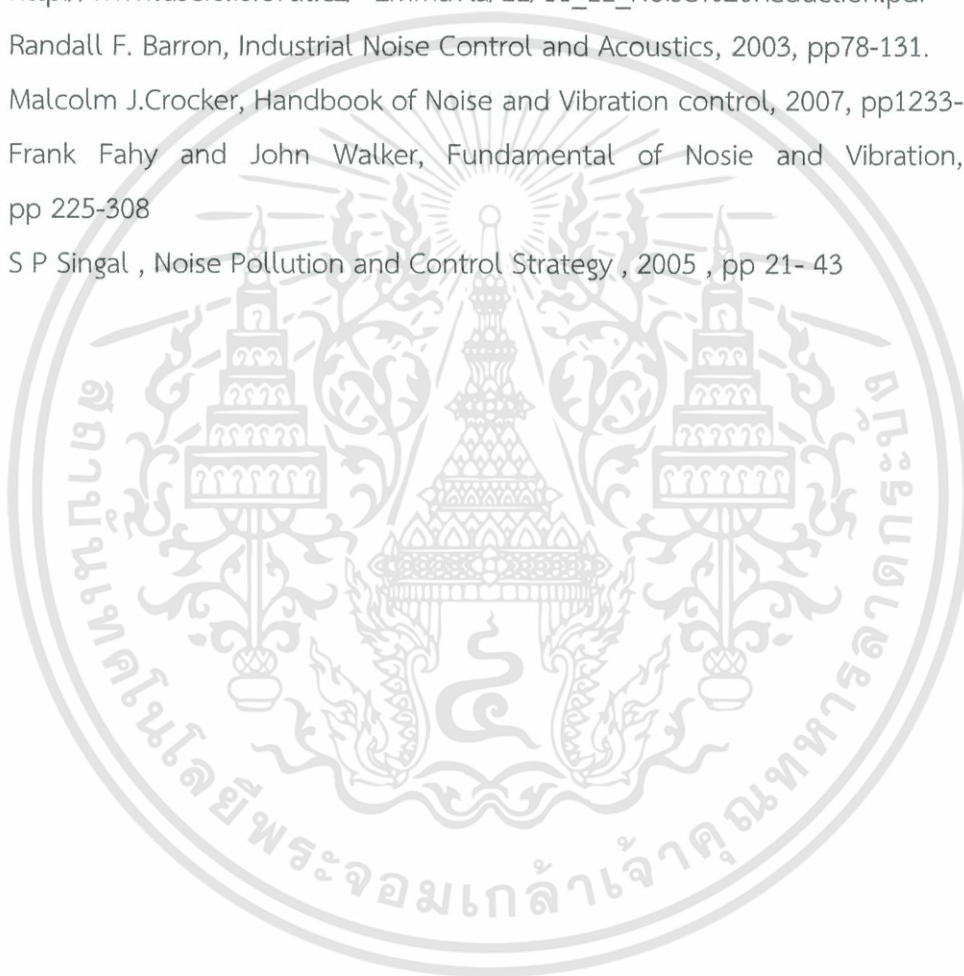
## เอกสารอ้างอิง

- [1] Osama A.B. Hassan. Airborne Sound insulation, Building Acoustic and Vibration. 2009. pp 264-441
- [2] J. S. Lamancusa. “Noise Control: Transmission of sound through structure”. Penn State. January 2010. pp 9.1 -9.19
- [3] Ralph Bradley. “Product Characteristics – Acoustic Insulation, absorption Attenuation”. European Federation Association of Insulation Contractors. September 2002. pp 2-35
- [4] พิพัฒน์ ละอองศรี “การประเมินประสิทธิภาพของกำแพงกันเสียงตามแนวทางพลวงพิเศษ หมายเลข 9 ตามสภาพปัจจุบัน” วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2556
- [5] Reinhard O. Neubauer. “Advance Rating Method of Airborne sound insulation” [Online]. Available: [www.mdpi.com/journal/applsci](http://www.mdpi.com/journal/applsci) .2016
- [6] J.D. Quirt, A.C.C. Warnock, J.A. Birta. “Sound Transmission Through Gypsum Board wall: Sound transmission result”. National Research Council Canada. October 2007. pp 13-38.
- [7] J. Negreira, D. Bard “Sound insulation” Division of engineering Acoustic Lund University. November 2015.
- [8] รุ่งรัตน์ เต็มสันเทียะ “ประสิทธิภาพของกำแพงกันเสียงชั่วคราวในการลดระดับเสียงดังจากพื้นที่ก่อสร้าง” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2549.
- [9] ISO 717-1 (1996). Acoustic- Rating of sound insulation in building and of building element part 1 Air borne sound insulation.
- [10] กฎหมายเกี่ยวกับมลพิษทางเสียงและความสั่นสะเทือนเข้าถึงได้จาก: [http://infofile.pcd.go.th/air/Noise\\_law.pdf](http://infofile.pcd.go.th/air/Noise_law.pdf)
- [11] Gerretsen, E. and Nightingale, T. R. T., Prediction Models in Building Acoustics: Introduction to the Special Session at Forum Acusticum 1999 in Berlin, Building Acoustics, 1999, 6, pp 151-158.
- [12] Mahn, J. and Stevenson, D. C., Separation of Resonant and Non-Resonant Components - Part 2: Surface Velocity, Building Acoustics, 2008, 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] Mace, B. R., On the Statistical Energy Analysis Hypothesis of Coupling Power Proportionality and Some Implications of Its Failure, *Journal of Sound and Vibration*, 1994, pp95-112.
- [14] Miroslav Kučera, Fundamentals of Noise Reduction Fundamentals of Noise Reduction Propagation of noise in space. [online] Available: [http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/EE/11\\_EE\\_Noise%20Reduction.pdf](http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/EE/11_EE_Noise%20Reduction.pdf)
- [15] Randall F. Barron, *Industrial Noise Control and Acoustics*, 2003, pp78-131.
- [16] Malcolm J.Crocker, *Handbook of Noise and Vibration control*, 2007, pp1233- 1404
- [17] Frank Fahy and John Walker, *Fundamental of Nositie and Vibration*, 1998, pp 225-308
- [18] S P Singal , *Noise Pollution and Control Strategy* , 2005 , pp 21- 43





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## คุณสมบัติวัสดุผนังและโครงสร้างที่ใช้ในการเทียบค่า

## 1) แผ่นยิปซัม

ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุจาก Gypsum Association โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ ASTM C 473.

## ชนิดของแผ่นยิปซัม (ASTM C 1396)

- a = Gypsum Wallboard and Predecorated Gypsum Board
- b = Gypsum Backing and Gypsum Coreboard
- c = Water-Resistant Gypsum Backing Board
- d = Exterior Gypsum Soffitt Board
- e = Gypsum Sheathing Board
- f = Gypsum Base for Veneer Plaster
- g = Gypsum Lath
- h = Gypsum Ceiling Board

## ความหนาของแผ่นยิปซัมมาตรฐาน

Type of Gypsum Board	Thickness in. (mm)
a , b	1/4 (6.4)
a	5/16 (7.9)
a , b , e , f , g	3/8 (9.5)
e	4/10 (10.2)
a , b , c , d , e , f , g , h	1/2 (12.7)
a , b , c , d , e , f	5/8 (15.9)
a	3/4 (19.0)
b	1 (25.4)

Gypsum Association, 2010

## ค่า Effective Stiffness

Board Thickness (in.)	kN*mm <sup>2</sup> /mm of width
1/2	220 to 580
5/8	440 to 1,160

Gypsum Association, 2010

## ค่า Compressive Strength

Thickness in. (mm)	Board Type	kPa	Psi
5/6 (7.9)	MH Gypsum board	2750	400
1/2 (12.7)	Regular Gypsum board	2400	350
5/8 (15.9)	Type X gypsum board	2750	400

Gypsum Association, 2010

## ค่า Weight per Unit Area

Thickness in. (mm)	Weight	
	Kg/m <sup>2</sup>	Psf
1/4 in. (6.4 mm)	6.0	1.2
5/16 in. (7.9 mm)	6.4	1.3
3/8 in. (9.5 mm)	6.8	1.4
1/2 in. (12.7 mm)	9.8	2.0
5/8 in. (15.9 mm)	12	2.5
3/4 in. (19.0 mm)	15	3.0
1 in. (25.4 mm)	20	4.0

Gypsum Association, 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) คุณสมบัติวัสดุอื่น อ้างอิงจาก Hassan,2009

Material	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Damping coefficient	Young's Modulus (X10 <sup>9</sup> N/m <sup>2</sup> )	Poisson's ratio
Chipboard	625 – 750	0.020	0.34 – 1.5	0.08
Plywood	1150	0.020 – 0.04	3.4 – 5.6	0.40
Rubber (hard)	950 - 1250	0.080	1.7 – 1.9	0.40 – 0.50
Steel	7700 - 7850	0.0001 – 0.01	186 - 210	0.27 – 0.31
Wood	7130 - 7140	0.0002 – 0.0003	13.1	0.33

## 3) โครงสร้างผนัง อ้างอิงจาก Hassan,2009

Properties		Material	
		non-loadbearing steel	Wood stud
Type of stud		Non-rigid	Rigid
Width	w [m]	0.038	0.05
Thickness	t [m]	0.0005	-
Density	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2500	625
Elastic Modulus	E [Pa]	1.89x10 <sup>9</sup>	2.1x10 <sup>9</sup>

## 4) วัสดุซับเสียง อ้างอิงจาก Hassan,2009 : 394

Properties		Material	
		Glass Fiber	Mineral Wool
Spacing of wall	d [m]	0.09	0.09
Mass per surface	M <sub>s</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	1.476	2.934
Density	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	16.4	32.6

## ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใช้งานโปรแกรมคำนวณผลดัชนีการวัดเสียง

- 1) แสดงหน้าโปรแกรมในส่วนของข้อมูล ลักษณะของผนัง วัสดุที่ใช้ และคุณสมบัติต่างๆ

Description of wall			Properties of Material					
<b>Front Layer 1</b> Material: Gypsum board Size: $l_x$ (m) 1.2, $l_y$ (m) 2.4 Thickness: $h$ (m) 0.0159 Mass per surface: $M_s$ ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) 12.084 Density: $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 780 Poisson's ratio: $\nu$ 0.24 Elastic Modulus: $E$ (Pa) 2100000000 Loss factor: $\eta$ 0.03			<b>Front Layer 2</b> Material: Gypsum board Size: $l_x$ (m) 1.2, $l_y$ (m) 2.4 Thickness: $h$ (m) 0.0159 Mass per surface: $M_s$ ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) 12.084 Density: $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 780 Poisson's ratio: $\nu$ 0.24 Elastic Modulus: $E$ (Pa) 2100000000 Loss factor: $\eta$ 0.03		<b>Front Layer 3</b> Material: Gypsum board Size: $l_x$ (m) 1.2, $l_y$ (m) 2.4 Thickness: $h$ (m) 0 Mass per surface: $M_s$ ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) 0 Density: $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 0 Poisson's ratio: $\nu$ 0 Elastic Modulus: $E$ (Pa) 0 Loss factor: $\eta$ 0			
			<b>Behind Layer 1</b> Material: Gypsum board Size: $l_x$ (m) 1.2, $l_y$ (m) 2.4 Thickness: $h$ (m) 0.0159 Mass per surface: $M_s$ ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) 12.084 Density: $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 780 Poisson's ratio: $\nu$ 0.24 Elastic Modulus: $E$ (Pa) 2100000000 Loss factor: $\eta$ 0.03 Speed of sound: $c_w$ (m/s) 1670		<b>Behind Layer 2</b> Material: Fiberboard Size: $l_x$ (m) 1.2, $l_y$ (m) 2.4 Thickness: $h$ (m) 0.019 Mass per surface: $M_s$ ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) 16.72 Density: $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 880 Poisson's ratio: $\nu$ 0.15 Elastic Modulus: $E$ (Pa) 7000000000 Loss factor: $\eta$ 0.05 Speed of sound: $c_w$ (m/s) 2750		<b>Behind Layer 3</b> Material: Gypsum board Size: $l_x$ (m) 1.2, $l_y$ (m) 2.4 Thickness: $h$ (m) 0.0159 Mass per surface: $M_s$ ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) 12.084 Density: $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 780 Poisson's ratio: $\nu$ 0.24 Elastic Modulus: $E$ (Pa) 2100000000 Loss factor: $\eta$ 0.03 Speed of sound: $c_w$ (m/s) 1670	
<b>Absorption</b> Material: Mineral wool Thickness: $d$ (m) 0.089 Mass per surface: $M_s$ ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) 2.934 Density: $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 22.6 Airflow resistivity: $\mu$ ( $\text{N s}/\text{m}^4$ ) 12709		<b>Stud</b> Material: steel Dynamic Modulus: $E_d$ (Pa) 10000000 Density: $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 1100 Speed of sound: $c_w$ (m/s) 190 Spacing of stud: $b$ (m) 0.8 thickness: $t$ 0.01 Width: $w$ 0.085		<b>Air</b> Density: $\rho_a$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 1.184 Speed of sound: $c_a$ (m/s) 349.2				

- [1] เป็นส่วนที่ไว้สำหรับใส่ข้อมูลและคุณสมบัติของวัสดุ ในผนังด้านนอก ซึ่งเป็นด้านแรกที่คลื่นเสียงมากระทบ ผนังด้านนอกสามารถมีได้มากที่สุด 3 ชั้นด้วยกัน โดยเรียงลำดับหมายเลข 1 คือชั้นนอกสุด
- [2] เป็นส่วนที่ไว้สำหรับใส่ข้อมูลและคุณสมบัติของวัสดุ ในผนังด้านใน ซึ่งเป็นด้านที่อยู่ใกล้กับผู้รับเสียงมากที่สุด สามารถมีได้มากที่สุด 3 ชั้น โดยเรียงลำดับหมายเลข 1 คือชั้นนอกสุด
- [3] เป็นส่วนที่ไว้สำหรับใส่ข้อมูลและคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นตัวดูดซับเสียง ซึ่งอยู่ตรงช่องว่างระหว่างผนังทั้ง 2 ด้าน
- [4] เป็นส่วนที่ไว้สำหรับใส่ข้อมูลและคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นโครงสร้าง
- [5] เป็นส่วนที่ไว้สำหรับใส่ข้อมูลและคุณสมบัติของตัวกลางในการเคลื่อนที่ของเสียง

2) หน้าโปรแกรม แสดงส่วนที่คำนวณความถี่สั่นพ้อง (Resonance frequency)

Resonance frequency ( $f_0$ )

Frequency	Ms (front)				Ms (back)				$C_0$	$p_0$	$d$	$1/M_{s1}+1/M_{s2}$	$1.8 p_0/d$	$c/2PI$	$f_0$
	$M_{s1}$	$M_{s2}$	$M_{s3}$	$M_{s4}$	$M_{s5}$	$M_{s6}$	$M_{s7}$	$M_{s8}$							
12.5	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
16	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
20	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
25	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
31.5	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
40	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
50	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
63	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
80	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
100	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
125	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
160	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
200	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
250	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
315	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
400	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
500	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
630	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
800	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
1000	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
1250	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
1600	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
2000	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
2500	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
3150	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
4000	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
5000	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
6300	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
8000	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
10000	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
12500	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
16000	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907
20000	12.1	12.1	0	24.168	12.1	16.7	12	40.888	349.2	1.164	0.089	0.065834081	23.54157	55.57691	69.18907

หน้านี้จะแสดงผลการคำนวณความถี่สั่นพ้อง ( Resonance frequency ,  $f_0$ ) ของผนังทั้งระบบ เนื่องจากความสะดวกในการคำนวณในขั้นต่อไป จึงมีการคำนวณความถี่สั่นพ้องของผนังในทุกย่านความถี่ โดยในแต่ละความถี่จะมีค่าความถี่สั่นพ้องของผนังเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) หน้าโปรแกรม แสดงส่วนที่คำนวณความถี่วิกฤติ (Resonance frequency) ของผนังด้านนอก

f, single panel										f, Double panel									
Frequency	Ph. P	d-v <sub>0</sub>	CL	C <sub>0</sub> "/B"	PI"C"/h	E <sub>0</sub>	E <sub>0</sub> "h <sub>0</sub>	E <sub>0</sub> "h <sub>0</sub> <sup>2</sup>	X	E <sub>0</sub> "h <sub>0</sub> <sup>3</sup>	1-1/3(1-2X/h <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>	1-1/3(1-2X/h <sub>0</sub> ) <sup>3</sup>	12(1-v <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>	B	C <sub>0</sub> "/(2*PI)	(M <sub>0</sub> h <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>	f <sub>r</sub>		
125	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
160	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
200	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
250	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
315	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
400	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
500	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
630	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
800	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
1000	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
1250	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
1600	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
2000	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
2500	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
3150	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
4000	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
5000	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
6300	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
8000	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
10000	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
12500	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
16000	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	
20000	760	716.22	1712.32	211207	85.53	2469.32	3E+07	530901	3E+07	530901	0	8441.3	4	11.309	8441.3	19407.5	0.063618	1234.66	

[1] แสดงความถี่วิกฤติผนังด้านนอก กรณีมีแผ่นผนังชั้นเดียว (Single Panel)

[2] แสดงความถี่วิกฤติผนังด้านนอก กรณีมีแผ่นผนังสองชั้น (Double Panel)

E. Sandwich panel

Frequency	G <sub>s</sub>	C <sub>s</sub>	V <sub>o1</sub>	V <sub>o2</sub>	V <sub>o3</sub>	V <sub>o4</sub>	V <sub>o5</sub>	V <sub>o6</sub>	V <sub>o7</sub>	V <sub>o8</sub>	V <sub>o9</sub>	V <sub>o10</sub>	V <sub>o11</sub>	V <sub>o12</sub>	V <sub>o13</sub>	V <sub>o14</sub>	V <sub>o15</sub>	V <sub>o16</sub>	V <sub>o17</sub>	V <sub>o18</sub>	V <sub>o19</sub>	V <sub>o20</sub>	V <sub>o21</sub>	V <sub>o22</sub>	V <sub>o23</sub>	V <sub>o24</sub>	V <sub>o25</sub>	V <sub>o26</sub>	V <sub>o27</sub>	V <sub>o28</sub>	V <sub>o29</sub>	V <sub>o30</sub>	V <sub>o31</sub>	V <sub>o32</sub>	V <sub>o33</sub>	V <sub>o34</sub>	V <sub>o35</sub>	V <sub>o36</sub>	V <sub>o37</sub>	V <sub>o38</sub>	V <sub>o39</sub>	V <sub>o40</sub>	V <sub>o41</sub>	V <sub>o42</sub>	V <sub>o43</sub>	V <sub>o44</sub>	V <sub>o45</sub>	V <sub>o46</sub>	V <sub>o47</sub>	V <sub>o48</sub>	V <sub>o49</sub>	V <sub>o50</sub>	V <sub>o51</sub>	V <sub>o52</sub>	V <sub>o53</sub>	V <sub>o54</sub>	V <sub>o55</sub>	V <sub>o56</sub>	V <sub>o57</sub>	V <sub>o58</sub>	V <sub>o59</sub>	V <sub>o60</sub>	V <sub>o61</sub>	V <sub>o62</sub>	V <sub>o63</sub>	V <sub>o64</sub>	V <sub>o65</sub>	V <sub>o66</sub>	V <sub>o67</sub>	V <sub>o68</sub>	V <sub>o69</sub>	V <sub>o70</sub>	V <sub>o71</sub>	V <sub>o72</sub>	V <sub>o73</sub>	V <sub>o74</sub>	V <sub>o75</sub>	V <sub>o76</sub>	V <sub>o77</sub>	V <sub>o78</sub>	V <sub>o79</sub>	V <sub>o80</sub>	V <sub>o81</sub>	V <sub>o82</sub>	V <sub>o83</sub>	V <sub>o84</sub>	V <sub>o85</sub>	V <sub>o86</sub>	V <sub>o87</sub>	V <sub>o88</sub>	V <sub>o89</sub>	V <sub>o90</sub>	V <sub>o91</sub>	V <sub>o92</sub>	V <sub>o93</sub>	V <sub>o94</sub>	V <sub>o95</sub>	V <sub>o96</sub>	V <sub>o97</sub>	V <sub>o98</sub>	V <sub>o99</sub>	V <sub>o100</sub>	V <sub>o101</sub>	V <sub>o102</sub>	V <sub>o103</sub>	V <sub>o104</sub>	V <sub>o105</sub>	V <sub>o106</sub>	V <sub>o107</sub>	V <sub>o108</sub>	V <sub>o109</sub>	V <sub>o110</sub>	V <sub>o111</sub>	V <sub>o112</sub>	V <sub>o113</sub>	V <sub>o114</sub>	V <sub>o115</sub>	V <sub>o116</sub>	V <sub>o117</sub>	V <sub>o118</sub>	V <sub>o119</sub>	V <sub>o120</sub>	V <sub>o121</sub>	V <sub>o122</sub>	V <sub>o123</sub>	V <sub>o124</sub>	V <sub>o125</sub>	V <sub>o126</sub>	V <sub>o127</sub>	V <sub>o128</sub>	V <sub>o129</sub>	V <sub>o130</sub>	V <sub>o131</sub>	V <sub>o132</sub>	V <sub>o133</sub>	V <sub>o134</sub>	V <sub>o135</sub>	V <sub>o136</sub>	V <sub>o137</sub>	V <sub>o138</sub>	V <sub>o139</sub>	V <sub>o140</sub>	V <sub>o141</sub>	V <sub>o142</sub>	V <sub>o143</sub>	V <sub>o144</sub>	V <sub>o145</sub>	V <sub>o146</sub>	V <sub>o147</sub>	V <sub>o148</sub>	V <sub>o149</sub>	V <sub>o150</sub>	V <sub>o151</sub>	V <sub>o152</sub>	V <sub>o153</sub>	V <sub>o154</sub>	V <sub>o155</sub>	V <sub>o156</sub>	V <sub>o157</sub>	V <sub>o158</sub>	V <sub>o159</sub>	V <sub>o160</sub>	V <sub>o161</sub>	V <sub>o162</sub>	V <sub>o163</sub>	V <sub>o164</sub>	V <sub>o165</sub>	V <sub>o166</sub>	V <sub>o167</sub>	V <sub>o168</sub>	V <sub>o169</sub>	V <sub>o170</sub>	V <sub>o171</sub>	V <sub>o172</sub>	V <sub>o173</sub>	V <sub>o174</sub>	V <sub>o175</sub>	V <sub>o176</sub>	V <sub>o177</sub>	V <sub>o178</sub>	V <sub>o179</sub>	V <sub>o180</sub>	V <sub>o181</sub>	V <sub>o182</sub>	V <sub>o183</sub>	V <sub>o184</sub>	V <sub>o185</sub>	V <sub>o186</sub>	V <sub>o187</sub>	V <sub>o188</sub>	V <sub>o189</sub>	V <sub>o190</sub>	V <sub>o191</sub>	V <sub>o192</sub>	V <sub>o193</sub>	V <sub>o194</sub>	V <sub>o195</sub>	V <sub>o196</sub>	V <sub>o197</sub>	V <sub>o198</sub>	V <sub>o199</sub>	V <sub>o200</sub>	V <sub>o201</sub>	V <sub>o202</sub>	V <sub>o203</sub>	V <sub>o204</sub>	V <sub>o205</sub>	V <sub>o206</sub>	V <sub>o207</sub>	V <sub>o208</sub>	V <sub>o209</sub>	V <sub>o210</sub>	V <sub>o211</sub>	V <sub>o212</sub>	V <sub>o213</sub>	V <sub>o214</sub>	V <sub>o215</sub>	V <sub>o216</sub>	V <sub>o217</sub>	V <sub>o218</sub>	V <sub>o219</sub>	V <sub>o220</sub>	V <sub>o221</sub>	V <sub>o222</sub>	V <sub>o223</sub>	V <sub>o224</sub>	V <sub>o225</sub>	V <sub>o226</sub>	V <sub>o227</sub>	V <sub>o228</sub>	V <sub>o229</sub>	V <sub>o230</sub>	V <sub>o231</sub>	V <sub>o232</sub>	V <sub>o233</sub>	V <sub>o234</sub>	V <sub>o235</sub>	V <sub>o236</sub>	V <sub>o237</sub>	V <sub>o238</sub>	V <sub>o239</sub>	V <sub>o240</sub>	V <sub>o241</sub>	V <sub>o242</sub>	V <sub>o243</sub>	V <sub>o244</sub>	V <sub>o245</sub>	V <sub>o246</sub>	V <sub>o247</sub>	V <sub>o248</sub>	V <sub>o249</sub>	V <sub>o250</sub>	V <sub>o251</sub>	V <sub>o252</sub>	V <sub>o253</sub>	V <sub>o254</sub>	V <sub>o255</sub>	V <sub>o256</sub>	V <sub>o257</sub>	V <sub>o258</sub>	V <sub>o259</sub>	V <sub>o260</sub>	V <sub>o261</sub>	V <sub>o262</sub>	V <sub>o263</sub>	V <sub>o264</sub>	V <sub>o265</sub>	V <sub>o266</sub>	V <sub>o267</sub>	V <sub>o268</sub>	V <sub>o269</sub>	V <sub>o270</sub>	V <sub>o271</sub>	V <sub>o272</sub>	V <sub>o273</sub>	V <sub>o274</sub>	V <sub>o275</sub>	V <sub>o276</sub>	V <sub>o277</sub>	V <sub>o278</sub>	V <sub>o279</sub>	V <sub>o280</sub>	V <sub>o281</sub>	V <sub>o282</sub>	V <sub>o283</sub>	V <sub>o284</sub>	V <sub>o285</sub>	V <sub>o286</sub>	V <sub>o287</sub>	V <sub>o288</sub>	V <sub>o289</sub>	V <sub>o290</sub>	V <sub>o291</sub>	V <sub>o292</sub>	V <sub>o293</sub>	V <sub>o294</sub>	V <sub>o295</sub>	V <sub>o296</sub>	V <sub>o297</sub>	V <sub>o298</sub>	V <sub>o299</sub>	V <sub>o300</sub>	V <sub>o301</sub>	V <sub>o302</sub>	V <sub>o303</sub>	V <sub>o304</sub>	V <sub>o305</sub>	V <sub>o306</sub>	V <sub>o307</sub>	V <sub>o308</sub>	V <sub>o309</sub>	V <sub>o310</sub>	V <sub>o311</sub>	V <sub>o312</sub>	V <sub>o313</sub>	V <sub>o314</sub>	V <sub>o315</sub>	V <sub>o316</sub>	V <sub>o317</sub>	V <sub>o318</sub>	V <sub>o319</sub>	V <sub>o320</sub>	V <sub>o321</sub>	V <sub>o322</sub>	V <sub>o323</sub>	V <sub>o324</sub>	V <sub>o325</sub>	V <sub>o326</sub>	V <sub>o327</sub>	V <sub>o328</sub>	V <sub>o329</sub>	V <sub>o330</sub>	V <sub>o331</sub>	V <sub>o332</sub>	V <sub>o333</sub>	V <sub>o334</sub>	V <sub>o335</sub>	V <sub>o336</sub>	V <sub>o337</sub>	V <sub>o338</sub>	V <sub>o339</sub>	V <sub>o340</sub>	V <sub>o341</sub>	V <sub>o342</sub>	V <sub>o343</sub>	V <sub>o344</sub>	V <sub>o345</sub>	V <sub>o346</sub>	V <sub>o347</sub>	V <sub>o348</sub>	V <sub>o349</sub>	V <sub>o350</sub>	V <sub>o351</sub>	V <sub>o352</sub>	V <sub>o353</sub>	V <sub>o354</sub>	V <sub>o355</sub>	V <sub>o356</sub>	V <sub>o357</sub>	V <sub>o358</sub>	V <sub>o359</sub>	V <sub>o360</sub>	V <sub>o361</sub>	V <sub>o362</sub>	V <sub>o363</sub>	V <sub>o364</sub>	V <sub>o365</sub>	V <sub>o366</sub>	V <sub>o367</sub>	V <sub>o368</sub>	V <sub>o369</sub>	V <sub>o370</sub>	V <sub>o371</sub>	V <sub>o372</sub>	V <sub>o373</sub>	V <sub>o374</sub>	V <sub>o375</sub>	V <sub>o376</sub>	V <sub>o377</sub>	V <sub>o378</sub>	V <sub>o379</sub>	V <sub>o380</sub>	V <sub>o381</sub>	V <sub>o382</sub>	V <sub>o383</sub>	V <sub>o384</sub>	V <sub>o385</sub>	V <sub>o386</sub>	V <sub>o387</sub>	V <sub>o388</sub>	V <sub>o389</sub>	V <sub>o390</sub>	V <sub>o391</sub>	V <sub>o392</sub>	V <sub>o393</sub>	V <sub>o394</sub>	V <sub>o395</sub>	V <sub>o396</sub>	V <sub>o397</sub>	V <sub>o398</sub>	V <sub>o399</sub>	V <sub>o400</sub>	V <sub>o401</sub>	V <sub>o402</sub>	V <sub>o403</sub>	V <sub>o404</sub>	V <sub>o405</sub>	V <sub>o406</sub>	V <sub>o407</sub>	V <sub>o408</sub>	V <sub>o409</sub>	V <sub>o410</sub>	V <sub>o411</sub>	V <sub>o412</sub>	V <sub>o413</sub>	V <sub>o414</sub>	V <sub>o415</sub>	V <sub>o416</sub>	V <sub>o417</sub>	V <sub>o418</sub>	V <sub>o419</sub>	V <sub>o420</sub>	V <sub>o421</sub>	V <sub>o422</sub>	V <sub>o423</sub>	V <sub>o424</sub>	V <sub>o425</sub>	V <sub>o426</sub>	V <sub>o427</sub>	V <sub>o428</sub>	V <sub>o429</sub>	V <sub>o430</sub>	V <sub>o431</sub>	V <sub>o432</sub>	V <sub>o433</sub>	V <sub>o434</sub>	V <sub>o435</sub>	V <sub>o436</sub>	V <sub>o437</sub>	V <sub>o438</sub>	V <sub>o439</sub>	V <sub>o440</sub>	V <sub>o441</sub>	V <sub>o442</sub>	V <sub>o443</sub>	V <sub>o444</sub>	V <sub>o445</sub>	V <sub>o446</sub>	V <sub>o447</sub>	V <sub>o448</sub>	V <sub>o449</sub>	V <sub>o450</sub>	V <sub>o451</sub>	V <sub>o452</sub>	V <sub>o453</sub>	V <sub>o454</sub>	V <sub>o455</sub>	V <sub>o456</sub>	V <sub>o457</sub>	V <sub>o458</sub>	V <sub>o459</sub>	V <sub>o460</sub>	V <sub>o461</sub>	V <sub>o462</sub>	V <sub>o463</sub>	V <sub>o464</sub>	V <sub>o465</sub>	V <sub>o466</sub>	V <sub>o467</sub>	V <sub>o468</sub>	V <sub>o469</sub>	V <sub>o470</sub>	V <sub>o471</sub>	V <sub>o472</sub>	V <sub>o473</sub>	V <sub>o474</sub>	V <sub>o475</sub>	V <sub>o476</sub>	V <sub>o477</sub>	V <sub>o478</sub>	V <sub>o479</sub>	V <sub>o480</sub>	V <sub>o481</sub>	V <sub>o482</sub>	V <sub>o483</sub>	V <sub>o484</sub>	V <sub>o485</sub>	V <sub>o486</sub>	V <sub>o487</sub>	V <sub>o488</sub>	V <sub>o489</sub>	V <sub>o490</sub>	V <sub>o491</sub>	V <sub>o492</sub>	V <sub>o493</sub>	V <sub>o494</sub>	V <sub>o495</sub>	V <sub>o496</sub>	V <sub>o497</sub>	V <sub>o498</sub>	V <sub>o499</sub>	V <sub>o500</sub>	V <sub>o501</sub>	V <sub>o502</sub>	V <sub>o503</sub>	V <sub>o504</sub>	V <sub>o505</sub>	V <sub>o506</sub>	V <sub>o507</sub>	V <sub>o508</sub>	V <sub>o509</sub>	V <sub>o510</sub>	V <sub>o511</sub>	V <sub>o512</sub>	V <sub>o513</sub>	V <sub>o514</sub>	V <sub>o515</sub>	V <sub>o516</sub>	V <sub>o517</sub>	V <sub>o518</sub>	V <sub>o519</sub>	V <sub>o520</sub>	V <sub>o521</sub>	V <sub>o522</sub>	V <sub>o523</sub>	V <sub>o524</sub>	V <sub>o525</sub>	V <sub>o526</sub>	V <sub>o527</sub>	V <sub>o528</sub>	V <sub>o529</sub>	V <sub>o530</sub>	V <sub>o531</sub>	V <sub>o532</sub>	V <sub>o533</sub>	V <sub>o534</sub>	V <sub>o535</sub>	V <sub>o536</sub>	V <sub>o537</sub>	V <sub>o538</sub>	V <sub>o539</sub>	V <sub>o540</sub>	V <sub>o541</sub>	V <sub>o542</sub>	V <sub>o543</sub>	V <sub>o544</sub>	V <sub>o545</sub>	V <sub>o546</sub>	V <sub>o547</sub>	V <sub>o548</sub>	V <sub>o549</sub>	V <sub>o550</sub>	V <sub>o551</sub>	V <sub>o552</sub>	V <sub>o553</sub>	V <sub>o554</sub>	V <sub>o555</sub>	V <sub>o556</sub>	V <sub>o557</sub>	V <sub>o558</sub>	V <sub>o559</sub>	V <sub>o560</sub>	V <sub>o561</sub>	V <sub>o562</sub>	V <sub>o563</sub>	V <sub>o564</sub>	V <sub>o565</sub>	V <sub>o566</sub>	V <sub>o567</sub>	V <sub>o568</sub>	V <sub>o569</sub>	V <sub>o570</sub>	V <sub>o571</sub>	V <sub>o572</sub>	V <sub>o573</sub>	V <sub>o574</sub>	V <sub>o575</sub>	V <sub>o576</sub>	V <sub>o577</sub>	V <sub>o578</sub>	V <sub>o579</sub>	V <sub>o580</sub>	V <sub>o581</sub>	V <sub>o582</sub>	V <sub>o583</sub>	V <sub>o584</sub>	V <sub>o585</sub>	V <sub>o586</sub>	V <sub>o587</sub>	V <sub>o588</sub>	V <sub>o589</sub>	V <sub>o590</sub>	V <sub>o591</sub>	V <sub>o592</sub>	V <sub>o593</sub>	V <sub>o594</sub>	V <sub>o595</sub>	V <sub>o596</sub>	V <sub>o597</sub>	V <sub>o598</sub>	V <sub>o599</sub>	V <sub>o600</sub>	V <sub>o601</sub>	V <sub>o602</sub>	V <sub>o603</sub>	V <sub>o604</sub>	V <sub>o605</sub>	V <sub>o606</sub>	V <sub>o607</sub>	V <sub>o608</sub>	V <sub>o609</sub>	V <sub>o610</sub>	V <sub>o611</sub>	V <sub>o612</sub>	V <sub>o613</sub>	V <sub>o614</sub>	V <sub>o615</sub>	V <sub>o616</sub>	V <sub>o617</sub>	V <sub>o618</sub>	V <sub>o619</sub>	V <sub>o620</sub>	V <sub>o621</sub>	V <sub>o622</sub>	V <sub>o623</sub>	V <sub>o624</sub>	V <sub>o625</sub>	V <sub>o626</sub>	V <sub>o627</sub>	V <sub>o628</sub>	V <sub>o629</sub>	V <sub>o630</sub>	V <sub>o631</sub>	V <sub>o632</sub>	V <sub>o633</sub>	V <sub>o634</sub>	V <sub>o635</sub>	V <sub>o636</sub>	V <sub>o637</sub>	V <sub>o638</sub>	V <sub>o639</sub>	V <sub>o640</sub>	V <sub>o641</sub>	V <sub>o642</sub>	V <sub>o643</sub>	V <sub>o644</sub>	V <sub>o645</sub>	V <sub>o646</sub>	V <sub>o647</sub>	V <sub>o648</sub>	V <sub>o649</sub>	V <sub>o650</sub>	V <sub>o651</sub>	V <sub>o652</sub>	V <sub>o653</sub>	V <sub>o654</sub>	V <sub>o655</sub>	V <sub>o656</sub>	V <sub>o657</sub>	V <sub>o658</sub>	V <sub>o659</sub>	V <sub>o660</sub>	V <sub>o661</sub>	V <sub>o662</sub>	V <sub>o663</sub>	V <sub>o664</sub>	V <sub>o665</sub>	V <sub>o666</sub>	V <sub>o667</sub>	V <sub>o668</sub>	V <sub>o669</sub>	V <sub>o670</sub>	V <sub>o671</sub>	V <sub>o672</sub>	V <sub>o673</sub>	V <sub>o674</sub>	V <sub>o675</sub>	V <sub>o676</sub>	V <sub>o677</sub>	V <sub>o678</sub>	V <sub>o679</sub>	V <sub>o680</sub>	V <sub>o681</sub>	V <sub>o682</sub>	V <sub>o683</sub>	V <sub>o684</sub>	V <sub>o685</sub>	V <sub>o686</sub>	V <sub>o687</sub>	V <sub>o688</sub>	V <sub>o689</sub>	V <sub>o690</sub>	V <sub>o691</sub>	V <sub>o692</sub>	V <sub>o693</sub>	V <sub>o694</sub>	V <sub>o695</sub>	V <sub>o696</sub>	V <sub>o697</sub>	V <sub>o698</sub>	V <sub>o699</sub>	V <sub>o700</sub>	V <sub>o701</sub>	V <sub>o702</sub>	V <sub>o703</sub>	V <sub>o704</sub>	V <sub>o705</sub>	V <sub>o706</sub>	V <sub>o707</sub>	V <sub>o708</sub>	V <sub>o709</sub>	V <sub>o710</sub>	V <sub>o711</sub>	V <sub>o712</sub>	V <sub>o713</sub>	V <sub>o714</sub>	V <sub>o715</sub>	V <sub>o716</sub>	V <sub>o717</sub>	V <sub>o718</sub>	V <sub>o719</sub>	V <sub>o720</sub>	V <sub>o721</sub>	V <sub>o722</sub>	V <sub>o723</sub>	V <sub>o724</sub>	V <sub>o725</sub>	V <sub>o726</sub>	V <sub>o727</sub>	V <sub>o728</sub>	V <sub>o729</sub>	V <sub>o730</sub>	V <sub>o731</sub>	V <sub>o732</sub>	V <sub>o733</sub>	V <sub>o734</sub>	V <sub>o735</sub>	V <sub>o736</sub>	V <sub>o737</sub>	V <sub>o738</sub>	V <sub>o739</sub>	V <sub>o740</sub>	V <sub>o741</sub>	V <sub>o742</sub>	V <sub>o743</sub>	V <sub>o744</sub>	V <sub>o745</sub>	V <sub>o746</sub>	V <sub>o747</sub>	V <sub>o748</sub>	V <sub>o749</sub>	V <sub>o750</sub>	V <sub>o751</sub>	V <sub>o752</sub>	V <sub>o753</sub>	V <sub>o754</sub>	V <sub>o755</sub>	V <sub>o756</sub>	V <sub>o757</sub>	V <sub>o758</sub>	V <sub>o759</sub>	V <sub>o760</sub>	V <sub>o761</sub>	V <sub>o762</sub>	V <sub>o763</sub>	V <sub>o764</sub>	V <sub>o765</sub>	V <sub>o766</sub>	V <sub>o767</sub>	V <sub>o768</sub>	V <sub>o769</sub>	V <sub>o770</sub>	V <sub>o771</sub>	V <sub>o772</sub>	V <sub>o773</sub>	V <sub>o774</sub>	V <sub>o775</sub>	V <sub>o776</sub>	V <sub>o777</sub>	V <sub>o778</sub>	V <sub>o779</sub>	V <sub>o780</sub>	V <sub>o781</sub>	V <sub>o782</sub>	V <sub>o783</sub>	V <sub>o784</sub>	V <sub>o785</sub>	V <sub>o786</sub>	V <sub>o787</sub>	V <sub>o788</sub>	V <sub>o789</sub>	V <sub>o790</sub>	V <sub>o791</sub>	V <sub>o792</sub>	V <sub>o793</sub>	V <sub>o794</sub>	V <sub>o795</sub>	V <sub>o796</sub>	V <sub>o797</sub>	V <sub>o798</sub>	V <sub>o799</sub>	V <sub>o800</sub>	V <sub>o801</sub>	V <sub>o802</sub>	V <sub>o803</sub>	V <sub>o804</sub>	V <sub>o805</sub>	V <sub>o806</sub>	V <sub>o807</sub>	V <sub>o808</sub>	V <sub>o809</sub>	V <sub>o810</sub>	V <sub>o811</sub>	V <sub>o812</sub>	V <sub>o813</sub>	V <sub>o814</sub>	V <sub>o815</sub>	V <sub>o816</sub>	V <sub>o817</sub>	V <sub>o818</sub>	V <sub>o819</sub>	V <sub>o820</sub>	V <sub>o821</sub>	V <sub>o822</sub>	V <sub>o823</sub>	V <sub>o824</sub>	V <sub></sub>
-----------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	---------------





5) หน้าโปรแกรมแสดงการคำนวณค่า ประสิทธิภาพการกระจายเสียงของผนัง (Radiation Efficiency)

frequency	S	A	U	α	C <sub>s</sub>	1-α <sup>2</sup>	α(1-α) <sup>2</sup>	E <sub>s</sub> (α)	1-α <sup>4</sup>	(1-α <sup>2</sup> ) <sup>1/2</sup>	ln((1+α)/(1-α))	(4π <sup>2</sup> h <sup>2</sup> (1-α) <sup>1/2</sup> ) <sup>2</sup>	h <sup>2</sup> ln((1+α)/1)	E <sub>s</sub> (h)	(A <sub>s</sub> )/S	(A <sub>s</sub> )/S	[(2πf)/c] <sup>3</sup>	0.5[(0.15π <sup>2</sup> h <sup>2</sup> /V)	(1-f/h) <sup>0.5</sup>	σ	
12.5	2.88	0.74	7.2	0.06	0.0093	0.993	0.05773	1.41315	0.9967	0.995	0.115719787	39.18057666	0.1153917	0.005882	0.187893	1.83904	0	0	0	0.00216667	
16	2.88	0.74	7.2	0.07	0.0119	0.991	0.06528	1.24729	0.9957	0.9936	0.131029777	39.21252406	0.1130469	0.006662	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0019932	
20	2.88	0.74	7.2	0.07	0.0149	0.989	0.07295	1.1138	0.9947	0.992	0.146548222	39.162030123	0.1457642	0.007457	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0033214	
25	2.88	0.74	7.2	0.08	0.0166	0.987	0.08615	0.99419	0.9933	0.99	0.16391934	39.08306731	0.1628291	0.008351	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0037555	
31.5	2.88	0.74	7.2	0.09	0.0234	0.983	0.09141	0.88335	0.9916	0.9874	0.184106379	38.96049368	0.1825551	0.009393	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0041893	
40	2.88	0.74	7.2	0.1	0.0257	0.979	0.10285	0.78116	0.9893	0.984	0.207623	38.84649459	0.2054015	0.010613	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0045427	
50	2.88	0.74	7.2	0.12	0.0372	0.973	0.11487	0.69582	0.9866	0.98	0.232938829	38.68904563	0.2292313	0.011503	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0056708	
63	2.88	0.74	7.2	0.13	0.0468	0.966	0.12872	0.61654	0.9831	0.9748	0.251106151	38.48468091	0.256706	0.012417	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0065781	
80	2.88	0.74	7.2	0.15	0.0594	0.957	0.14471	0.54323	0.9786	0.9661	0.264687223	38.2179797	0.2688381	0.015201	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0077295	
100	2.88	0.74	7.2	0.16	0.0743	0.947	0.16135	0.48177	0.9733	0.9601	0.280070565	37.90500611	0.3212417	0.017106	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0090638	
125	2.88	0.74	7.2	0.18	0.0929	0.933	0.17878	0.42629	0.9666	0.9503	0.3068876214	37.54549574	0.3575086	0.019278	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0107328	
160	2.88	0.74	7.2	0.21	0.1189	0.914	0.2024	0.37103	0.9572	0.9385	0.415820019	36.87124859	0.4018519	0.021061	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0131119	
200	2.88	0.74	7.2	0.23	0.1466	0.893	0.22503	0.32592	0.9465	0.9208	0.471123457	36.35307126	0.4459187	0.024591	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0158312	
250	2.88	0.74	7.2	0.26	0.1855	0.866	0.2498	0.2648	0.9331	0.9014	0.52815952	35.56525127	0.4938251	0.028411	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0196471	
315	2.88	0.74	7.2	0.29	0.2341	0.831	0.27778	0.24583	0.9157	0.8763	0.597740265	34.59528857	0.5473738	0.034604	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0248463	
400	2.88	0.74	7.2	0.33	0.2972	0.786	0.30911	0.20883	0.893	0.8439	0.679169393	33.31489524	0.6064991	0.037842	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0323481	
500	2.88	0.74	7.2	0.41	0.4681	0.663	0.37433	0.17674	0.8663	0.8062	0.766937928	31.82920709	0.6643612	0.045883	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0423013	
630	2.88	0.74	7.2	0.46	0.5945	0.572	0.41013	0.14545	0.8515	0.7882	0.872462076	29.93195756	0.7254322	0.051656	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0572743	
800	2.88	0.74	7.2	0.52	0.7431	0.465	0.44265	0.08628	0.7825	0.6968	1.001224577	27.51032319	0.7869651	0.061237	0.187893	1.83904	0	0	0	0.0808338	
1000	2.88	0.74	7.2	0.58	0.9288	0.331	0.47177	0.05767	0.6656	0.5491	1.145021795	24.74893406	0.8387322	0.075632	0.187893	1.83904	0	0	0	0.1154689	
1250	2.88	0.74	7.2	0.65	1.1889	0	0	0	0.572	0.4326	1.315653764	21.43917794	0.8783959	0.094919	0.187893	1.83904	0	0	0	0.1721959	
2000	2.88	0.74	7.2	0.73	1.4861	0	0	0	0.465	0.3171	1.863602256	17.07889041	0.8953356	0.129034	0.187893	1.83904	0	0	0	0.2821297	
2500	2.88	0.74	7.2	0.82	1.8577	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5085801	
3150	2.88	0.74	7.2	0.92	2.3407	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4905086	
4000	2.88	0.74	7.2	1.03	2.9723	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4905086	
5000	2.88	0.74	7.2	1.16	3.7154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.9100314	
6300	2.88	0.74	7.2	1.3	4.6814	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.95073	
8000	2.88	0.74	7.2	1.46	5.9446	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.56824	
10000	2.88	0.74	7.2	1.64	7.4307	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.37011	
12500	2.88	0.74	7.2	1.83	9.2894	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.26374	
16000	2.88	0.74	7.2	2.07	11.889	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.15443	
20000	2.88	0.74	7.2	2.31	14.861	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.14231	
																					1.10950034

Radiation Efficiency

เป็นหน้าที่ใช้คำนวณประสิทธิภาพการกระจายเสียงของผนัง (Radiation Efficiency) ซึ่งเป็นผนังด้านใน โดยค่าประสิทธิภาพการกระจายเสียงจะขึ้นอยู่กับขนาดและความหนาของผนัง ซึ่งค่าประสิทธิภาพการกระจายเสียงของผนังจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณการทะลุผ่านของเสียงผ่านโครงสร้างยึดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) หน้าที่โปรแกรมแสดงการคำนวณค่าการทวง (Damping Coefficient) ของผนังด้านนอก

**Damping coefficient front panel**

$E1(h_1^2)$	$E2(h_2^2)$	$E1h_1$	$E2h_2$	$\chi$
530901	530901	33390000	33390000	0

$$\chi_{1c} = \frac{E_1 h_1^2 - E_2 h_2^2}{2(E_1 h_1 + E_2 h_2)}$$

**Damping coefficient (12)**

$$\eta_{1c} = \frac{(\eta_1 E_1 h_1 + \eta_2 E_2 h_2) \times (h_1 + h_2)^2}{E_1 h_1^3 \left[ 1 + 3 \left( 1 - \frac{2\chi}{h_1} \right)^2 \right] + E_2 h_2^3 \left[ 1 + 3 \left( 1 - \frac{2\chi}{h_2} \right)^2 \right]}$$

$\eta_1$ single	0.09
$\eta_{1c}$ double	0.09
$\eta_f$ (sandwich)	0.054

**Volume Fraction (1,2)**

$$V_{f1} = \frac{V_1}{V_1 + V_2} \times 100$$

$$V_{f2} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100$$

$V_{f1}$	0.5
$V_{f2}$	0.5

**Elastic Modulus (12)**

$$E_{1c} = E_1 V_{f1} + E_2 V_{f2}$$

**Overall neutral axis**

$$\chi_{1c} = \frac{E_1 h_1^2 - E_2 h_2^2}{2(E_1 h_1 + E_2 h_2)}$$

$E1*Vf1$	$E2*Vf2$	$E1c$
1050000000	1050000000	2100000000

$E_{1c}(h_1^2)$	$E_{2c}(h_2^2)$	$E_{1c}h_1$	$E_{2c}h_2$
21236000	530901	66780000	33390000

**Overall Damping coefficient**

$$\eta_{1c} = \frac{(\eta_1 E_1 h_1 + \eta_2 E_2 h_2) \times (h_1 + h_2)^2}{E_{1c} h_1^3 \left[ 1 + 3 \left( 1 - \frac{2\chi}{h_1} \right)^2 \right] + E_{2c} h_2^3 \left[ 1 + 3 \left( 1 - \frac{2\chi}{h_2} \right)^2 \right]}$$

$\eta_1 * E_{1c} * h_1$	$\eta_2 * E_{2c} * h_2$	$(h_1 + h_2)^2$
20093400	1001700	0.00227529

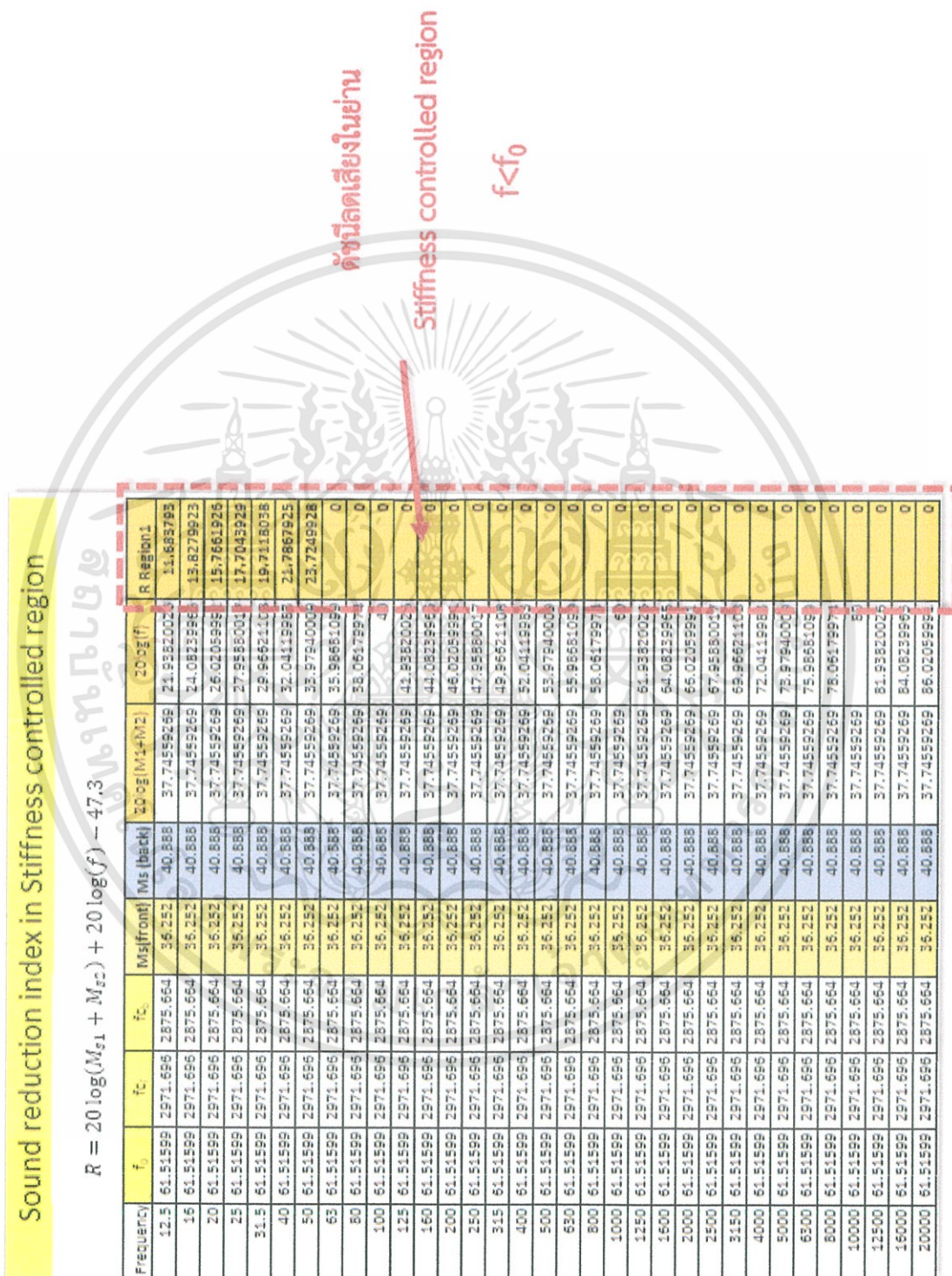
$E_{1c} * h_1^3$	$E_{2c} * h_2^3$	$1 + 3 \left( 1 - \frac{2\chi}{h_1} \right)^2$	$1 + 3 \left( 1 - \frac{2\chi}{h_2} \right)^2$
67530.6072	8441.3259	1.75	1

**แสดงค่าการทวงของผนังแต่ละรูปแบบผนัง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



8) หน้าโปรแกรมแสดงการคำนวณค่าดัชนีลดเสียงในขอบเขตควบคุมด้วยความแข็ง (Stiffness controlled region)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) หน้าโปรแกรมแสดงการคำนวณดัชนีลดเสียงในขอบเขตควบคุมด้วยมวล (Mass controlled region) กรณีโครงสร้างแข็ง

Sound reduction index in Mass controlled region																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Frequency	M <sub>s</sub> (front)					M <sub>s</sub> (back)					Rigid stud (All type)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	f <sub>0</sub>	f <sub>c1</sub>	f <sub>c2</sub>	M <sub>1,1</sub>	M <sub>1,2</sub>	M <sub>1,3</sub>	M <sub>1,4</sub>	M <sub>1,5</sub>	M <sub>1,6</sub>	M <sub>1,7</sub>	M <sub>1,8</sub>	M <sub>1,9</sub>	M <sub>1,10</sub>	M <sub>1,11</sub>	M <sub>1,12</sub>	M <sub>1,13</sub>	M <sub>1,14</sub>	M <sub>1,15</sub>	M <sub>1,16</sub>	M <sub>1,17</sub>	M <sub>1,18</sub>	M <sub>1,19</sub>	M <sub>1,20</sub>	M <sub>1,21</sub>	M <sub>1,22</sub>	M <sub>1,23</sub>	M <sub>1,24</sub>	M <sub>1,25</sub>	M <sub>1,26</sub>	M <sub>1,27</sub>	M <sub>1,28</sub>	M <sub>1,29</sub>	M <sub>1,30</sub>	M <sub>1,31</sub>	M <sub>1,32</sub>	M <sub>1,33</sub>	M <sub>1,34</sub>	M <sub>1,35</sub>	M <sub>1,36</sub>	M <sub>1,37</sub>	M <sub>1,38</sub>	M <sub>1,39</sub>	M <sub>1,40</sub>	M <sub>1,41</sub>	M <sub>1,42</sub>	M <sub>1,43</sub>	M <sub>1,44</sub>	M <sub>1,45</sub>	M <sub>1,46</sub>	M <sub>1,47</sub>	M <sub>1,48</sub>	M <sub>1,49</sub>	M <sub>1,50</sub>	M <sub>1,51</sub>	M <sub>1,52</sub>	M <sub>1,53</sub>	M <sub>1,54</sub>	M <sub>1,55</sub>	M <sub>1,56</sub>	M <sub>1,57</sub>	M <sub>1,58</sub>	M <sub>1,59</sub>	M <sub>1,60</sub>	M <sub>1,61</sub>	M <sub>1,62</sub>	M <sub>1,63</sub>	M <sub>1,64</sub>	M <sub>1,65</sub>	M <sub>1,66</sub>	M <sub>1,67</sub>	M <sub>1,68</sub>	M <sub>1,69</sub>	M <sub>1,70</sub>	M <sub>1,71</sub>	M <sub>1,72</sub>	M <sub>1,73</sub>	M <sub>1,74</sub>	M <sub>1,75</sub>	M <sub>1,76</sub>	M <sub>1,77</sub>	M <sub>1,78</sub>	M <sub>1,79</sub>	M <sub>1,80</sub>	M <sub>1,81</sub>	M <sub>1,82</sub>	M <sub>1,83</sub>	M <sub>1,84</sub>	M <sub>1,85</sub>	M <sub>1,86</sub>	M <sub>1,87</sub>	M <sub>1,88</sub>	M <sub>1,89</sub>	M <sub>1,90</sub>	M <sub>1,91</sub>	M <sub>1,92</sub>	M <sub>1,93</sub>	M <sub>1,94</sub>	M <sub>1,95</sub>	M <sub>1,96</sub>	M <sub>1,97</sub>	M <sub>1,98</sub>	M <sub>1,99</sub>	M <sub>1,100</sub>	M <sub>1,101</sub>	M <sub>1,102</sub>	M <sub>1,103</sub>	M <sub>1,104</sub>	M <sub>1,105</sub>	M <sub>1,106</sub>	M <sub>1,107</sub>	M <sub>1,108</sub>	M <sub>1,109</sub>	M <sub>1,110</sub>	M <sub>1,111</sub>	M <sub>1,112</sub>	M <sub>1,113</sub>	M <sub>1,114</sub>	M <sub>1,115</sub>	M <sub>1,116</sub>	M <sub>1,117</sub>	M <sub>1,118</sub>	M <sub>1,119</sub>	M <sub>1,120</sub>	M <sub>1,121</sub>	M <sub>1,122</sub>	M <sub>1,123</sub>	M <sub>1,124</sub>	M <sub>1,125</sub>	M <sub>1,126</sub>	M <sub>1,127</sub>	M <sub>1,128</sub>	M <sub>1,129</sub>	M <sub>1,130</sub>	M <sub>1,131</sub>	M <sub>1,132</sub>	M <sub>1,133</sub>	M <sub>1,134</sub>	M <sub>1,135</sub>	M <sub>1,136</sub>	M <sub>1,137</sub>	M <sub>1,138</sub>	M <sub>1,139</sub>	M <sub>1,140</sub>	M <sub>1,141</sub>	M <sub>1,142</sub>	M <sub>1,143</sub>	M <sub>1,144</sub>	M <sub>1,145</sub>	M <sub>1,146</sub>	M <sub>1,147</sub>	M <sub>1,148</sub>	M <sub>1,149</sub>	M <sub>1,150</sub>	M <sub>1,151</sub>	M <sub>1,152</sub>	M <sub>1,153</sub>	M <sub>1,154</sub>	M <sub>1,155</sub>	M <sub>1,156</sub>	M <sub>1,157</sub>	M <sub>1,158</sub>	M <sub>1,159</sub>	M <sub>1,160</sub>	M <sub>1,161</sub>	M <sub>1,162</sub>	M <sub>1,163</sub>	M <sub>1,164</sub>	M <sub>1,165</sub>	M <sub>1,166</sub>	M <sub>1,167</sub>	M <sub>1,168</sub>	M <sub>1,169</sub>	M <sub>1,170</sub>	M <sub>1,171</sub>	M <sub>1,172</sub>	M <sub>1,173</sub>	M <sub>1,174</sub>	M <sub>1,175</sub>	M <sub>1,176</sub>	M <sub>1,177</sub>	M <sub>1,178</sub>	M <sub>1,179</sub>	M <sub>1,180</sub>	M <sub>1,181</sub>	M <sub>1,182</sub>	M <sub>1,183</sub>	M <sub>1,184</sub>	M <sub>1,185</sub>	M <sub>1,186</sub>	M <sub>1,187</sub>	M <sub>1,188</sub>	M <sub>1,189</sub>	M <sub>1,190</sub>	M <sub>1,191</sub>	M <sub>1,192</sub>	M <sub>1,193</sub>	M <sub>1,194</sub>	M <sub>1,195</sub>	M <sub>1,196</sub>	M <sub>1,197</sub>	M <sub>1,198</sub>	M <sub>1,199</sub>	M <sub>1,200</sub>	M <sub>1,201</sub>	M <sub>1,202</sub>	M <sub>1,203</sub>	M <sub>1,204</sub>	M <sub>1,205</sub>	M <sub>1,206</sub>	M <sub>1,207</sub>	M <sub>1,208</sub>	M <sub>1,209</sub>	M <sub>1,210</sub>	M <sub>1,211</sub>	M <sub>1,212</sub>	M <sub>1,213</sub>	M <sub>1,214</sub>	M <sub>1,215</sub>	M <sub>1,216</sub>	M <sub>1,217</sub>	M <sub>1,218</sub>	M <sub>1,219</sub>	M <sub>1,220</sub>	M <sub>1,221</sub>	M <sub>1,222</sub>	M <sub>1,223</sub>	M <sub>1,224</sub>	M <sub>1,225</sub>	M <sub>1,226</sub>	M <sub>1,227</sub>	M <sub>1,228</sub>	M <sub>1,229</sub>	M <sub>1,230</sub>	M <sub>1,231</sub>	M <sub>1,232</sub>	M <sub>1,233</sub>	M <sub>1,234</sub>	M <sub>1,235</sub>	M <sub>1,236</sub>	M <sub>1,237</sub>	M <sub>1,238</sub>	M <sub>1,239</sub>	M <sub>1,240</sub>	M <sub>1,241</sub>	M <sub>1,242</sub>	M <sub>1,243</sub>	M <sub>1,244</sub>	M <sub>1,245</sub>	M <sub>1,246</sub>	M <sub>1,247</sub>	M <sub>1,248</sub>	M <sub>1,249</sub>	M <sub>1,250</sub>	M <sub>1,251</sub>	M <sub>1,252</sub>	M <sub>1,253</sub>	M <sub>1,254</sub>	M <sub>1,255</sub>	M <sub>1,256</sub>	M <sub>1,257</sub>	M <sub>1,258</sub>	M <sub>1,259</sub>	M <sub>1,260</sub>	M <sub>1,261</sub>	M <sub>1,262</sub>	M <sub>1,263</sub>	M <sub>1,264</sub>	M <sub>1,265</sub>	M <sub>1,266</sub>	M <sub>1,267</sub>	M <sub>1,268</sub>	M <sub>1,269</sub>	M <sub>1,270</sub>	M <sub>1,271</sub>	M <sub>1,272</sub>	M <sub>1,273</sub>	M <sub>1,274</sub>	M <sub>1,275</sub>	M <sub>1,276</sub>	M <sub>1,277</sub>	M <sub>1,278</sub>	M <sub>1,279</sub>	M <sub>1,280</sub>	M <sub>1,281</sub>	M <sub>1,282</sub>	M <sub>1,283</sub>	M <sub>1,284</sub>	M <sub>1,285</sub>	M <sub>1,286</sub>	M <sub>1,287</sub>	M <sub>1,288</sub>	M <sub>1,289</sub>	M <sub>1,290</sub>	M <sub>1,291</sub>	M <sub>1,292</sub>	M <sub>1,293</sub>	M <sub>1,294</sub>	M <sub>1,295</sub>	M <sub>1,296</sub>	M <sub>1,297</sub>	M <sub>1,298</sub>	M <sub>1,299</sub>	M <sub>1,300</sub>	M <sub>1,301</sub>	M <sub>1,302</sub>	M <sub>1,303</sub>	M <sub>1,304</sub>	M <sub>1,305</sub>	M <sub>1,306</sub>	M <sub>1,307</sub>	M <sub>1,308</sub>	M <sub>1,309</sub>	M <sub>1,310</sub>	M <sub>1,311</sub>	M <sub>1,312</sub>	M <sub>1,313</sub>	M <sub>1,314</sub>	M <sub>1,315</sub>	M <sub>1,316</sub>	M <sub>1,317</sub>	M <sub>1,318</sub>	M <sub>1,319</sub>	M <sub>1,320</sub>	M <sub>1,321</sub>	M <sub>1,322</sub>	M <sub>1,323</sub>	M <sub>1,324</sub>	M <sub>1,325</sub>	M <sub>1,326</sub>	M <sub>1,327</sub>	M <sub>1,328</sub>	M <sub>1,329</sub>	M <sub>1,330</sub>	M <sub>1,331</sub>	M <sub>1,332</sub>	M <sub>1,333</sub>	M <sub>1,334</sub>	M <sub>1,335</sub>	M <sub>1,336</sub>	M <sub>1,337</sub>	M <sub>1,338</sub>	M <sub>1,339</sub>	M <sub>1,340</sub>	M <sub>1,341</sub>	M <sub>1,342</sub>	M <sub>1,343</sub>	M <sub>1,344</sub>	M <sub>1,345</sub>	M <sub>1,346</sub>	M <sub>1,347</sub>	M <sub>1,348</sub>	M <sub>1,349</sub>	M <sub>1,350</sub>	M <sub>1,351</sub>	M <sub>1,352</sub>	M <sub>1,353</sub>	M <sub>1,354</sub>	M <sub>1,355</sub>	M <sub>1,356</sub>	M <sub>1,357</sub>	M <sub>1,358</sub>	M <sub>1,359</sub>	M <sub>1,360</sub>	M <sub>1,361</sub>	M <sub>1,362</sub>	M <sub>1,363</sub>	M <sub>1,364</sub>	M <sub>1,365</sub>	M <sub>1,366</sub>	M <sub>1,367</sub>	M <sub>1,368</sub>	M <sub>1,369</sub>	M <sub>1,370</sub>	M <sub>1,371</sub>	M <sub>1,372</sub>	M <sub>1,373</sub>	M <sub>1,374</sub>	M <sub>1,375</sub>	M <sub>1,376</sub>	M <sub>1,377</sub>	M <sub>1,378</sub>	M <sub>1,379</sub>	M <sub>1,380</sub>	M <sub>1,381</sub>	M <sub>1,382</sub>	M <sub>1,383</sub>	M <sub>1,384</sub>	M <sub>1,385</sub>	M <sub>1,386</sub>	M <sub>1,387</sub>	M <sub>1,388</sub>	M <sub>1,389</sub>	M <sub>1,390</sub>	M <sub>1,391</sub>	M <sub>1,392</sub>	M <sub>1,393</sub>	M <sub>1,394</sub>	M <sub>1,395</sub>	M <sub>1,396</sub>	M <sub>1,397</sub>	M <sub>1,398</sub>	M <sub>1,399</sub>	M <sub>1,400</sub>	M <sub>1,401</sub>	M <sub>1,402</sub>	M <sub>1,403</sub>	M <sub>1,404</sub>	M <sub>1,405</sub>	M <sub>1,406</sub>	M <sub>1,407</sub>	M <sub>1,408</sub>	M <sub>1,409</sub>	M <sub>1,410</sub>	M <sub>1,411</sub>	M <sub>1,412</sub>	M <sub>1,413</sub>	M <sub>1,414</sub>	M <sub>1,415</sub>	M <sub>1,416</sub>	M <sub>1,417</sub>	M <sub>1,418</sub>	M <sub>1,419</sub>	M <sub>1,420</sub>	M <sub>1,421</sub>	M <sub>1,422</sub>	M <sub>1,423</sub>	M <sub>1,424</sub>	M <sub>1,425</sub>	M <sub>1,426</sub>	M <sub>1,427</sub>	M <sub>1,428</sub>	M <sub>1,429</sub>	M <sub>1,430</sub>	M <sub>1,431</sub>	M <sub>1,432</sub>	M <sub>1,433</sub>	M <sub>1,434</sub>	M <sub>1,435</sub>	M <sub>1,436</sub>	M <sub>1,437</sub>	M <sub>1,438</sub>	M <sub>1,439</sub>	M <sub>1,440</sub>	M <sub>1,441</sub>	M <sub>1,442</sub>	M <sub>1,443</sub>	M <sub>1,444</sub>	M <sub>1,445</sub>	M <sub>1,446</sub>	M <sub>1,447</sub>	M <sub>1,448</sub>	M <sub>1,449</sub>	M <sub>1,450</sub>	M <sub>1,451</sub>	M <sub>1,452</sub>	M <sub>1,453</sub>	M <sub>1,454</sub>	M <sub>1,455</sub>	M <sub>1,456</sub>	M <sub>1,457</sub>	M <sub>1,458</sub>	M <sub>1,459</sub>	M <sub>1,460</sub>	M <sub>1,461</sub>	M <sub>1,462</sub>	M <sub>1,463</sub>	M <sub>1,464</sub>	M <sub>1,465</sub>	M <sub>1,466</sub>	M <sub>1,467</sub>	M <sub>1,468</sub>	M <sub>1,469</sub>	M <sub>1,470</sub>	M <sub>1,471</sub>	M <sub>1,472</sub>	M <sub>1,473</sub>	M <sub>1,474</sub>	M <sub>1,475</sub>	M <sub>1,476</sub>	M <sub>1,477</sub>	M <sub>1,478</sub>	M <sub>1,479</sub>	M <sub>1,480</sub>	M <sub>1,481</sub>	M <sub>1,482</sub>	M <sub>1,483</sub>	M <sub>1,484</sub>	M <sub>1,485</sub>	M <sub>1,486</sub>	M <sub>1,487</sub>	M <sub>1,488</sub>	M <sub>1,489</sub>	M <sub>1,490</sub>	M <sub>1,491</sub>	M <sub>1,492</sub>	M <sub>1,493</sub>	M <sub>1,494</sub>	M <sub>1,495</sub>	M <sub>1,496</sub>	M <sub>1,497</sub>	M <sub>1,498</sub>	M <sub>1,499</sub>	M <sub>1,500</sub>	M <sub>1,501</sub>	M <sub>1,502</sub>	M <sub>1,503</sub>	M <sub>1,504</sub>	M <sub>1,505</sub>	M <sub>1,506</sub>	M <sub>1,507</sub>	M <sub>1,508</sub>	M <sub>1,509</sub>	M <sub>1,510</sub>	M <sub>1,511</sub>	M <sub>1,512</sub>	M <sub>1,513</sub>	M <sub>1,514</sub>	M <sub>1,515</sub>	M <sub>1,516</sub>	M <sub>1,517</sub>	M <sub>1,518</sub>	M <sub>1,519</sub>	M <sub>1,520</sub>	M <sub>1,521</sub>	M <sub>1,522</sub>	M <sub>1,523</sub>	M <sub>1,524</sub>	M <sub>1,525</sub>	M <sub>1,526</sub>	M <sub>1,527</sub>	M <sub>1,528</sub>	M <sub>1,529</sub>	M <sub>1,530</sub>	M <sub>1,531</sub>	M <sub>1,532</sub>	M <sub>1,533</sub>	M <sub>1,534</sub>	M <sub>1,535</sub>	M <sub>1,536</sub>	M <sub>1,537</sub>	M <sub>1,538</sub>	M <sub>1,539</sub>	M <sub>1,540</sub>	M <sub>1,541</sub>	M <sub>1,542</sub>	M <sub>1,543</sub>	M <sub>1,544</sub>	M <sub>1,545</sub>	M <sub>1,546</sub>	M <sub>1,547</sub>	M <sub>1,548</sub>	M <sub>1,549</sub>	M <sub>1,550</sub>	M <sub>1,551</sub>	M <sub>1,552</sub>	M <sub>1,553</sub>	M <sub>1,554</sub>	M <sub>1,555</sub>	M <sub>1,556</sub>	M <sub>1,557</sub>	M <sub>1,558</sub>	M <sub>1,559</sub>	M <sub>1,560</sub>	M <sub>1,561</sub>	M <sub>1,562</sub>	M <sub>1,563</sub>	M <sub>1,564</sub>	M <sub>1,565</sub>	M <sub>1,566</sub>	M <sub>1,567</sub>	M <sub>1,568</sub>	M <sub>1,569</sub>	M <sub>1,570</sub>	M <sub>1,571</sub>	M <sub>1,572</sub>	M <sub>1,573</sub>	M <sub>1,574</sub>	M <sub>1,575</sub>	M <sub>1,576</sub>	M <sub>1,577</sub>	M <sub>1,578</sub>	M <sub>1,579</sub>	M <sub>1,580</sub>	M <sub>1,581</sub>	M <sub>1,582</sub>	M <sub>1,583</sub>	M <sub>1,584</sub>	M <sub>1,585</sub>	M <sub>1,586</sub>	M <sub>1,587</sub>	M <sub>1,588</sub>	M <sub>1,589</sub>	M <sub>1,590</sub>	M <sub>1,591</sub>	M <sub>1,592</sub>	M <sub>1,593</sub>	M <sub>1,594</sub>	M <sub>1,595</sub>	M <sub>1,596</sub>	M <sub>1,597</sub>	M <sub>1,598</sub>	M <sub>1,599</sub>	M <sub>1,600</sub>	M <sub>1,601</sub>	M <sub>1,602</sub>	M <sub>1,603</sub>	M <sub>1,604</sub>	M <sub>1,605</sub>	M <sub>1,606</sub>	M <sub>1,607</sub>	M <sub>1,608</sub>	M <sub>1,609</sub>	M <sub>1,610</sub>	M <sub>1,611</sub>	M <sub>1,612</sub>	M <sub>1,613</sub>	M <sub>1,614</sub>	M <sub>1,615</sub>	M <sub>1,616</sub>	M <sub>1,617</sub>	M <sub>1,618</sub>	M <sub>1,619</sub>	M <sub>1,620</sub>	M <sub>1,621</sub>	M <sub>1,622</sub>	M <sub>1,623</sub>	M <sub>1,624</sub>	M <sub>1,625</sub>	M <sub>1,626</sub>	M <sub>1,627</sub>	M <sub>1,628</sub>	M <sub>1,629</sub>	M <sub>1,630</sub>	M <sub>1,631</sub>	M <sub>1,632</sub>	M <sub>1,633</sub>	M <sub>1,634</sub>	M <sub>1,635</sub>	M <sub>1,636</sub>	M <sub>1,637</sub>	M <sub>1,638</sub>	M <sub>1,639</sub>	M <sub>1,640</sub>	M <sub>1,641</sub>	M <sub>1,642</sub>	M <sub>1,643</sub>	M <sub>1,644</sub>	M <sub>1,645</sub>	M <sub>1,646</sub>	M <sub>1,647</sub>	M <sub>1,648</sub>	M <sub>1,649</sub>	M <sub>1,650</sub>	M <sub>1,651</sub>	M <sub>1,652</sub>	M <sub>1,653</sub>	M <sub>1,654</sub>	M <sub>1,655</sub>	M <sub>1,656</sub>	M <sub>1,657</sub>	M <sub>1,658</sub>	M <sub>1,659</sub>	M <sub>1,660</sub>	M <sub>1,661</sub>	M <sub>1,662</sub>	M <sub>1,663</sub>	M <sub>1,664</sub>	M <sub>1,665</sub>	M <sub>1,666</sub>	M <sub>1,667</sub>	M <sub>1,668</sub>	M <sub>1,669</sub>	M <sub>1,670</sub>	M <sub>1,671</sub>	M <sub>1,672</sub>	M <sub>1,673</sub>	M <sub>1,674</sub>	M <sub>1,675</sub>	M <sub>1,676</sub>	M <sub>1,677</sub>	M <sub>1,678</sub>	M <sub>1,679</sub>	M <sub>1,680</sub>	M <sub>1,681</sub>	M <sub>1,682</sub>	M <sub>1,683</sub>	M <sub>1,684</sub>	M <sub>1,685</sub>	M <sub>1,686</sub>	M <sub>1,687</sub>	M <sub>1,688</sub>	M <sub>1,689</sub>	M <sub>1,690</sub>	M <sub>1,691</sub>	M <sub>1,692</sub>	M <sub>1,693</sub>	M <sub>1,694</sub>	M <sub>1,695</sub>	M <sub>1,696</sub>	M <sub>1,697</sub>	M <sub>1,698</sub>	M <sub>1,699</sub>	M <sub>1,700</sub>	M <sub>1,701</sub>	M <sub>1,702</sub>	M <sub>1,703</sub>	M <sub>1,704</sub>	M <sub>1,705</sub>	M <sub>1,706</sub>	M <sub>1,707</sub>	M <sub>1,708</sub>	M <sub>1,709</sub>	M <sub>1,710</sub>	M <sub>1,711</sub>	M <sub>1,712</sub>	M <sub>1,713</sub>	M <sub>1,714</sub>	M <sub>1,715</sub>	M <sub>1,716</sub>	M <sub>1,717</sub>	M <sub>1,718</sub>	M <sub>1,719</sub>	M <sub>1,720</sub>	M <sub>1,721</sub>	M <sub>1,722</sub>	M <sub>1,723</sub>	M <sub>1,724</sub>	M <sub>1,725</sub>	M <sub>1,726</sub>	M <sub>1,727</sub>	M <sub>1,728</sub>	M <sub>1,729</sub>	M <sub>1,730</sub>	M <sub>1,731</sub>	M <sub>1,732</sub>	M <sub>1,733</sub>	M <sub>1,734</sub>	M <sub>1,735</sub>	M <sub>1,736</sub>	M <sub>1,737</sub>	M <sub>1,738</sub>	M <sub>1,739</sub>	M <sub>1,740</sub>	M <sub>1,741</sub>	M <sub>1,742</sub>	M <sub>1,743</sub>	M <sub>1,744</sub>	M <sub>1,745</sub>	M <sub>1,746</sub>	M <sub>1,747</sub>	M <sub>1,748</sub>	M <sub>1,749</sub>	M <sub>1,750</sub>	M <sub>1,751</sub>	M <sub>1,752</sub>	M <sub>1,753</sub>	M <sub>1,754</sub>	M <sub>1,755</sub>	M <sub>1,756</sub>	M <sub>1,757</sub>	M <sub>1,758</sub>	M <sub>1,759</sub>	M <sub>1,760</sub>	M <sub>1,761</sub>	M <sub>1,762</sub>	M <sub>1,763</sub>

10) หน้าโปรแกรมแสดงการคำนวณดัชนีลดเสียงในขอบเขตควบคุมตัวมวล (Mass controlled region) กรณีโครงสร้างยืดหยุ่น

**Sound reduction index in Mass controlled region**

Frequency	ΔR <sub>w</sub>	p <sub>0</sub>	Co	d	k=(2πf)/c	20log(kd)	For Single & Double		For sandwich panel			R Region2 (Resilient stud)					
							20log(Ms)	20log(Ms)	R <sub>s</sub> (EqA)	(F <sup>1/2</sup> /C)	R <sub>s</sub> (EqB)	R <sub>f</sub>	R <sub>b</sub>	R Region2			
12.5	0	1.16	349	0.09	0.224914	-33.97185	21.9382	27.66481	29.18906	0	0	0.09661	0	0	0	0	0
16	0	1.16	349	0.09	0.287889	-31.82769	24.0824	27.66481	29.18906	0	0	0.12366	0	0	0	0.12366	0
20	0	1.16	349	0.09	0.359862	-29.68949	26.0206	27.66481	29.18906	0	0	0.1545	0	0	0	0	0
25	0	1.16	349	0.09	0.442827	-27.95129	27.9588	27.66481	29.18906	0	0	0.19322	0	0	0	0	0
31.5	0	1.16	349	0.09	0.556782	-25.92388	29.9621	27.66481	29.18906	0	0	0.24346	0	0	0	0	0
40	0	1.16	349	0.09	0.719723	-23.86889	32.0412	27.66481	29.18906	0	0	0.3091	0	0	0	0	0
50	0	1.16	349	0.09	0.896554	-21.93059	33.9794	27.66481	29.18906	0	0	0.38644	0	0	0	0	0
63	8.6009628	1.16	349	0.09	1.133564	-19.92328	35.98681	27.66481	29.18906	16.35163	17.87587	0.48692	19.44982	20.49214	19.449819	20.49214	32.47454
80	8.5889566	1.16	349	0.09	1.439447	-17.84829	38.0618	27.66481	29.18906	18.42661	19.95086	0.61831	21.51953	22.56296	21.519527	22.56296	36.93297
100	8.5789237	1.16	349	0.09	1.792334	-15.91009	40.0824	27.66481	29.18906	20.36481	21.88906	0.77289	23.45463	24.498717	23.454621	24.498717	41.17372
125	8.5741416	1.16	349	0.09	2.249136	-13.97189	41.9382	27.66481	29.18906	22.30901	23.82726	0.966124	25.35083	26.4395353	25.350832	26.4395353	45.50118
160	8.5856008	1.16	349	0.09	2.878894	-11.82769	44.0824	27.66481	29.18906	24.44721	25.97146	1.23663	27.53965	28.578468	27.539653	28.578468	50.40541
200	8.6305489	1.16	349	0.09	3.596617	-9.88927	46.0206	27.66481	29.18906	26.38541	27.96866	1.54579	29.47108	30.5216057	29.471075	30.5216057	54.99552
250	8.7436262	1.16	349	0.09	4.498271	-7.951287	47.9588	27.66481	29.18906	28.32361	29.84786	1.93224	31.40878	32.453866	31.408778	32.453866	59.61729
315	8.9968602	1.16	349	0.09	5.667822	-5.943376	49.8621	27.66481	29.18906	30.33103	31.8552	2.43463	33.41586	34.46102	33.415861	34.46102	64.54782
400	9.5122841	1.16	349	0.09	7.197234	-3.866887	52.0412	27.66481	29.18906	32.40501	33.93026	3.09159	35.49064	36.595842	35.490638	36.595842	69.71142
500	10.345351	1.16	349	0.09	8.996543	-1.930687	53.9794	27.66481	29.18906	34.44421	35.86846	3.86495	37.42871	38.473945	37.428714	38.473945	74.55385
630	11.652496	1.16	349	0.09	11.39564	0.0767289	55.98681	27.66481	29.18906	36.35163	37.89587	4.86946	39.43604	40.481291	39.436043	40.481291	79.60048
800	13.462953	1.16	349	0.09	14.39447	2.151715	58.0618	27.66481	29.18906	38.42661	39.95086	6.18319	41.51098	42.556238	41.510979	42.556238	84.99873
1000	15.456627	1.16	349	0.09	17.99309	4.0899138	60.0824	27.66481	29.18906	40.36481	41.88906	7.72898	43.44915	44.494414	43.449148	44.494414	90.48002
1250	17.577051	1.16	349	0.09	22.49136	6.0281131	61.9382	27.66481	29.18906	42.30501	43.82726	9.66123	45.38733	46.432599	45.387328	46.432599	96.73423
1600	19.893999	1.16	349	0.09	28.78894	8.1723135	64.0824	27.66481	29.18906	44.44721	45.97146	12.3663	47.59151	48.576767	47.591514	48.576767	105.0032
2000	21.587795	1.16	349	0.09	35.98617	10.110513	66.0206	27.66481	29.18906	46.38541	47.90666	15.4579	49.46971	50.574981	49.469706	50.574981	114.3831
2500	21.498292	1.16	349	0.09	44.98271	12.048713	67.9588	27.66481	29.18906	48.32361	49.84786	19.3224	51.4079	52.453178	51.407902	52.453178	127.3455
3150	0	1.16	349	0.09	56.67822	14.056124	69.9621	27.66481	29.18906	0	0	24.3463	0	0	0	0	0
4000	0	1.16	349	0.09	71.97234	16.13113	72.0412	27.66481	29.18906	0	0	30.9159	0	0	0	0	0
5000	0	1.16	349	0.09	89.95543	18.069313	73.9794	27.66481	29.18906	0	0	38.6449	0	0	0	0	0
6300	0	1.16	349	0.09	113.3564	20.076724	75.98681	27.66481	29.18906	0	0	48.6996	0	0	0	0	0
8000	0	1.16	349	0.09	143.9447	22.151713	78.0618	27.66481	29.18906	0	0	61.8319	0	0	0	0	0
10000	0	1.16	349	0.09	179.9309	24.089513	80	27.66481	29.18906	0	0	77.2898	0	0	0	0	0
12500	0	1.16	349	0.09	224.9136	26.028113	81.9382	27.66481	29.18906	0	0	96.6123	0	0	0	0	0
16000	0	1.16	349	0.09	287.8894	28.172312	84.0824	27.66481	29.18906	0	0	123.6639	0	0	0	0	0
20000	0	1.16	349	0.09	359.8617	30.110513	86.0206	27.66481	29.18906	0	0	154.5798	0	0	0	0	0

→ ดัชนีลดเสียงในย่าน Mass controlled region  $f_0 < f < f_c$   
→ ดัชนีลดเสียง กรณีผนัง 3 ชั้น  
→ ดัชนีลดเสียงกรณี ผนัง 1-2 ชั้น  
→ ค่าการทะลุผ่านของเสียงทาง โครงสร้างแบบยืดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



12) หน้าโปรแกรมแสดงการคำนวณดัชนีลดเสียงในขอบเขตควบคุมด้วยวิธีการห้อง (Damping controlled region)

Sound reduction index in Damping controlled region

frequency	Front (Single & Double)				Back (Single & Double)				Front (Sandwich)				Back (Sandwich)				R Region3	
	PO	CO	$\eta_1$	$\eta_2$	20log(M <sub>1</sub> )	10log(R <sub>1</sub> (Ec))	10log(R <sub>1</sub> (Eoc))	10log(R <sub>1</sub> (Eoc))	10log(R <sub>1</sub> (Eoc))	10log(R <sub>1</sub> (Eoc))	10log(R <sub>1</sub> (Eoc))	10log(R <sub>1</sub> (Eoc))	10log(R <sub>1</sub> (Eoc))	10log(R <sub>1</sub> (Eoc))	10log(R <sub>1</sub> (Eoc))	10log(R <sub>1</sub> (Eoc))	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
12.5	1.164	349	0.054	0.204	36.198	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	3.95028599	0.000144	0	0	0	0
16	1.164	349	0.054	0.204	39.736	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	4.48936606	0.00018507	0	0	0	0
20	1.164	349	0.054	0.204	42.934	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	5.60392377	0.000313	0	0	0	0
25	1.164	349	0.054	0.204	46.132	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	7.00478822	0.000282	0	0	0	0
31.5	1.164	349	0.054	0.204	49.442	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	8.82602559	0.000364	0	0	0	0
40	1.164	349	0.054	0.204	52.869	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	11.0076515	0.00046273	0	0	0	0
50	1.164	349	0.054	0.204	56.066	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	14.0055643	0.0005784	0	0	0	0
63	1.164	349	0.054	0.204	59.372	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	17.6520512	0.000728	0	0	0	0
80	1.164	349	0.054	0.204	62.802	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	22.4153031	0.00092546	0	0	0	0
100	1.164	349	0.054	0.204	66	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	28.0191389	0.0011566	0	0	0	0
125	1.164	349	0.054	0.204	69.198	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	35.0239111	0.0014466	0	0	0	0
160	1.164	349	0.054	0.204	72.736	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	44.8306066	0.0018509	0	0	0	0
200	1.164	349	0.054	0.204	75.934	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	56.0392577	0.0023136	0	0	0	0
250	1.164	349	0.054	0.204	79.132	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	70.0478822	0.0028920	0	0	0	0
315	1.164	349	0.054	0.204	82.442	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	86.2602859	0.0036440	0	0	0	0
400	1.164	349	0.054	0.204	85.869	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	112.076515	0.0046273	0	0	0	0
500	1.164	349	0.054	0.204	89.066	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	140.085648	0.0057841	0	0	0	0
630	1.164	349	0.054	0.204	92.372	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	176.520512	0.0072862	0	0	0	0
800	1.164	349	0.054	0.204	95.802	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	224.153031	0.0092546	0	0	0	0
1000	1.164	349	0.054	0.204	99	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	280.191289	0.0115668	0	0	0	0
1250	1.164	349	0.054	0.204	102.198	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	350.239111	0.0144603	0	0	0	0
1600	1.164	349	0.054	0.204	105.736	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	448.306066	0.0185092	0	0	0	0
2000	1.164	349	0.054	0.204	108.934	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	560.362577	0.0231365	0	0	0	0
2500	1.164	349	0.054	0.204	112.132	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	700.478222	0.0289201	0	0	0	0
3150	1.164	349	0.054	0.204	115.444	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	862.602559	0.0364401	0	0	0	0
4000	1.164	349	0.054	0.204	118.868	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	1052.0512	0.046273	0	0	0	0
5000	1.164	349	0.054	0.204	122.066	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	1274.9	0.057841	0	0	0	0
6300	1.164	349	0.054	0.204	125.378	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	1544.938	0.072862	0	0	0	0
8000	1.164	349	0.054	0.204	128.802	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	1862.602559	0.0925463	0	0	0	0
10000	1.164	349	0.054	0.204	132	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	2241.53031	0.1156683	0	0	0	0
12500	1.164	349	0.054	0.204	135.198	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	2680.191289	0.144603	0	0	0	0
16000	1.164	349	0.054	0.204	138.736	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	3191.11	0.185092	0	0	0	0
20000	1.164	349	0.054	0.204	141.934	31.18664	45.1491	-12.67	32.23192	44.9636	-6.911	0	3774.938	0.231365	0	0	0	0

ดัชนีลดเสียงในย่าน

Damping controlled region

$f > f_c$

ดัชนีลดเสียงผนัง

ด้านใน

ดัชนีลดเสียงผนัง

ด้านนอก

ดัชนีลดเสียงผนัง

ด้านใน

ดัชนีลดเสียงผนัง

ด้านนอก

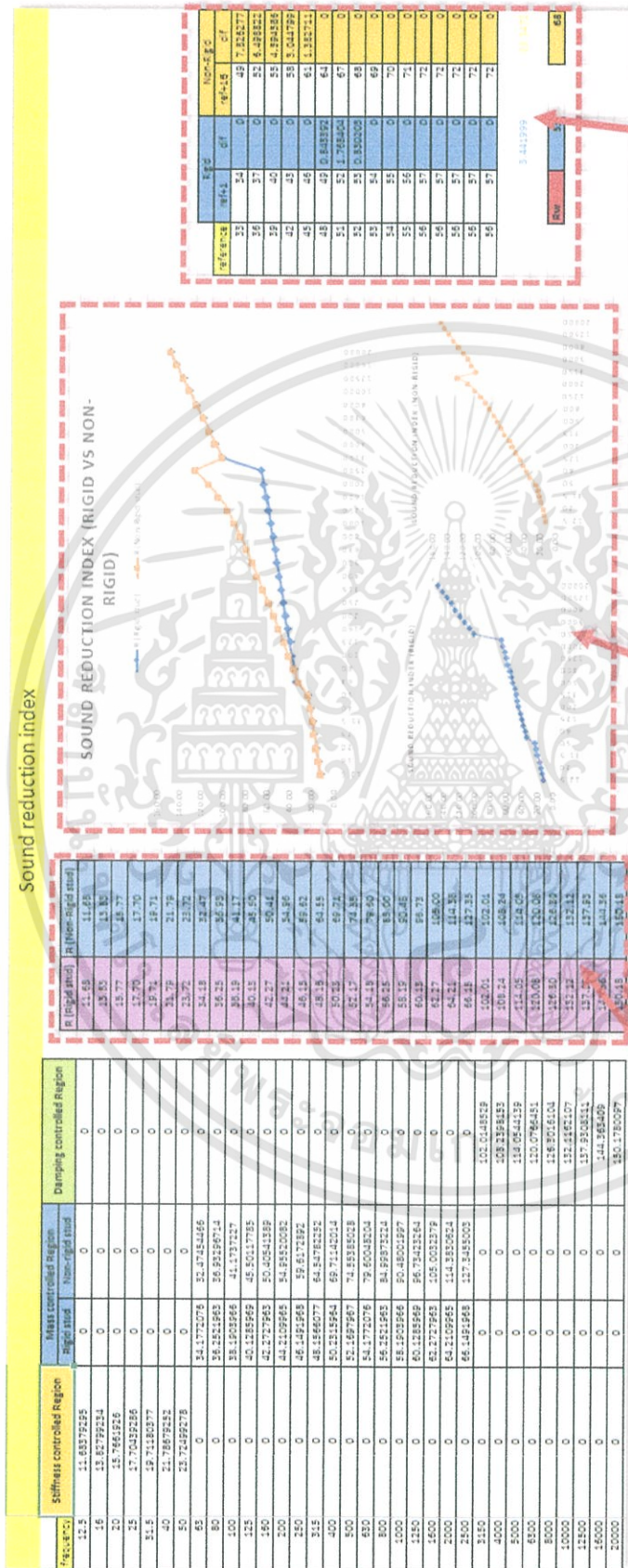
กรณีผนัง 3 ชั้น

กรณีผนัง 3 ชั้น

กรณีผนัง 1-2 ชั้น

กรณีผนัง 1-2 ชั้น

13) หน้าโปรแกรมแสดงผลการรวมค่าดัชนีการลดเสียง



ดัชนีการลดเสียงแบบ Single Number

ผลรวมดัชนีการลดเสียงทุก ความถี่ แยกประเภทของ โครงสร้าง

กราฟแสดงดัชนีการลดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้