การศึกษาคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคาด้วยวัสดุพอลิเมอร์ชนิดอิลาสโทเมอริกโฟม
(ฉนวนยางดำ)

นางสาวปรมาภรณ์ พูลสวัสดิ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN INVESTIGATION OF SOUND INSULATION PROPERTIES OF METAL SHEET ROOF WITH ELASTOMERIC MATERIALS

Miss Poramaporn Poolsawas

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคาด้วยวัสดุพอลิเมอร์ชนิดอิลาสโทเมอริกโฟม (ฉนวนยางดำ)
โดย	นางสาวปรมาภรณ์ พูลสวัสดิ์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ นาวาโท ไตรวัฒน์ วิรยศิริ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปรมาภรณ์ พูลสวัสดิ์ : การศึกษาคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคาด้วยวัสดุพอลิเมอร์ชนิดอิลาสโทเมอริกโฟม (ฉนวนยางดำ) (AN INVESTIGATION OF SOUND INSULATION PROPERTIES OF METAL SHEET ROOF WITH ELASTOMERIC MATERIALS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. พรรณชลัท สุริโยธิน, 107 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาและแก้ไขปัญหาด้านเสียงที่เกิดขึ้นในอาคารเมื่อใช้วัสดุพอลิเมอร์ชนิดยางดำติดตั้งกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า ฉนวนยางดำมีคุณสมบัติที่ดีในการลดเสียงรบกวนจากภายนอก จึงได้ทำการศึกษารูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำที่มีความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตรกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา 4 รูปแบบ คือ รูปแบบ A แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน รูปแบบ B แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ รูปแบบ C แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ปูฉนวนยางดำลงบนแป และรูปแบบ D แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ติดตั้งฉนวนยางดำกับแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบในรูปแบบแซนวิช ทดสอบเสียงรบกวนโดยใช้ฝนประดิษฐ์อ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 10140-5

ผลการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงรบกวนจากภายนอกของฉนวนยางดำ เมื่อเปรียบเทียบการติดตั้งทั้ง 4 รูปแบบ ในด้านค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลอง ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง พบว่า รูปแบบ B แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ ความหนา 25 มิลลิเมตร พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานฉาบเรียบ 2 ชั้น มีช่องว่างอากาศ ภายในห้องจำลอง มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงต่ำที่สุด เท่ากับ 40.89 dBA มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 2,002.14 บาท/ตารางเมตร และรูปแบบ A แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวนติดตั้งบนโครงหลังคา (Base-case) มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงสูงที่สุด เท่ากับ 62.02 dBA มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 395 บาท/ตารางเมตร และเมื่อพิจารณารูปแบบการติดตั้งทั้ง 4 รูปแบบร่วมกับเกณฑ์ของเสียงรบกวนที่สามารถยอมรับได้ภายในอาคาร พบว่า รูปแบบ B แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ ความหนา 9 มิลลิเมตร พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานฉาบเรียบชั้นเดียว คือรูปแบบการติดตั้งที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีเสียงรบกวนเกิดขึ้นภายในห้อง 44.41 dBA มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,318.57 บาท/ตารางเมตร ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบการใช้งานที่เหมาะสมตามเกณฑ์ของเสียงรบกวนที่สามารถยอมรับได้ภายในอาคาร พบว่า สามารถนำไปใช้งานกับอาคารประเภทที่พักอาศัยที่มีขนาดใกล้เคียงกับห้องจำลองที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งผู้ออกแบบสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับอาคารได้

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2560

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5973385925 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORDS: METAL SHEET / ACOUSTIC INSULATION / ELASTOMERIC FOAM / SOUND PRESSURE / ARTIFICIAL RAIN

PORAMAPORN POOLSAWAS: AN INVESTIGATION OF SOUND INSULATION PROPERTIES OF METAL SHEET ROOF WITH ELASTOMERIC MATERIALS. ADVISOR: ASSOC. PROF. PHANCHALATH SURIYOTHIN, 107 pp.

The purpose of this study is investigate of sound insulation properties of Metal Sheet roof with Elastomeric materials (EM). The pilot study revealed that EM was proper to be sound insulation material for Metal Sheet roof. Therefor the 4 types of installed EM, which 9, 19 and 25 mm of thickness, were studied. Type A was Metal Sheet without EM. Type B was Metal Sheet pressed with EM. Type C was installed EM on the purlin before roofing Metal Sheet and type D Metal Sheet without EM and installed EM with gypsum board in sandwich style. The 4 types of installation were tested sound pressure level in the test room with artificial rain applied from ISO 10140-5. The experiment founded that type B of installation, which Metal Sheet pressed with EM (25 mm) and installed double gypsum board in the test room, had the lowest average sound pressure level is 40.89 dBA and price of installation is 2,002.14 bath/m^2. The highest of average sound pressure level is type A which Metal Sheet without EM. It had 62.02 dBA of the average sound pressure level and price of installation is 395 bath/m^2.

The criterion of maximum sound pressure levels in rooms was considered with an average sound pressure level and price of installation. Results indicated Type B which Metal Sheet pressed with EM (9 mm) and installed single gypsum board in the test room is the best styles compared with the rest 3 style. It has 44.41 dBA of the average sound pressure level and price of installation is 1,318.57 bath/m^2. Furthermore, it could install in a building as Residences which are similar scale to the test room.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Architecture Student's Signature .....
Field of Study: Architecture Advisor's Signature .....
Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออันดียิ่งจาก

รศ.พรรณชลัท สุริโยธิน อาจารย์ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์ซึ่งช่วยชี้แนะแนวทาง คอยดูแลการทำวิจัยอย่างใกล้ชิด รวมทั้งให้คำปรึกษาและแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาระหว่างการทำงานที่ดีเสมอมา ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำที่ดียิ่งในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณวิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำและข้อสังเกตในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณพลากร ช่วยศรีนวล บริษัท อันดามันเมทัลชีท จำกัด ที่ให้ข้อมูลในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณอารียา เอี่ยมบู่ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และกำลังใจในการเรียนมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับ “ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต” ที่สนับสนุนงบประมาณในการศึกษาวิจัยนี้

และสุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อสมนึก พูลสวัสดิ์ คุณแม่จันทร์อบ มุกดากิจ

ครอบครัวพูลสวัสดิ์ และเพื่อนร่วมรุ่นทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษา สนับสนุนและให้กำลังใจทุกอย่างในการทำงานวิจัยมาโดยตลอด ซึ่งประโยชน์อันเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บุคคลต่างๆที่ได้กล่าวมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญภาพ 1
สารบัญตาราง 1
สารบัญแผนภูมิ 1
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 9
1.3 ขอบเขตของการศึกษา 9
1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา 10
1.4.1 การรวบรวมข้อมูล 10
1.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล 10
1.4.3 การสรุปผลและเสนอแนะ 14
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 14
บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 15
2.1 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา 16
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเสียง 17
2.2.1 นิยามของเสียง 17
2.2.2 ประเภทของเสียง 18
2.2.3 ความเข้มของเสียง 18

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.2.4 ระดับความเข้มเสียง 19
2.2.5 หน่วยวัดความดังของเสียง 19
2.2.6 ระดับเสียงเวจท์ (Weighted Sound Level) 19
2.2.7 ความดันเสียงและระดับความดันเสียง (Sound Pressure and Sound Pressure Level) 20
2.2.8 ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง 21
2.2.9 ขอบเขตการได้ยินของมนุษย์ 22
2.3 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ (อิลาสโทเมอริกโฟม, Elastomeric) 24
2.3.1 สารพอลิเมอร์ (Polymer) 24
2.4 เกณฑ์และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเสียงภายในอาคาร 28
2.4.1 เกณฑ์ของเสียงรบกวน (Noise Criteria) 28
2.4.2 ระดับเสียงสูงที่สุดที่สามารถรับได้ของห้องแต่ละประเภท (Maximum Sound Pressure Levels in Rooms) 30
2.5 ฝน (Rain) 32
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34
2.7 การศึกษานำร่อง (Pilot study) : ทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของฉนวน PE ฉนวนโฟม PU และฉนวนยางดำ 36
2.7.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ่นด้วยฉนวนโฟม PU และแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ 36
2.7.2 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ่นด้วยฉนวนโฟม PU และแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ 38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.7.3 ขั้นตอนการแปลงผลข้อมูลของการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ่นด้วยฉนวนโฟม PU และแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ 40

2.7.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ่นด้วยฉนวนโฟม PU และแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ..... 41

2.7.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ่นด้วยฉนวนโฟม PU และแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ..... 43

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 46

3.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ 46

3.2 ขั้นตอนการเตรียมสถานที่เพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียง..... 49

3.3 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ..... 51

3.4 ขั้นตอนการแปลงผลข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ..... 65

บทที่ 4 อภิปรายผลการวิจัย..... 67

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ..... 67

4.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ 77

4.3 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งฉนวนยางดำเข้ากับแผ่นเหล็กมุงหลังคา..... 80

4.4 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งฉนวนยางดำเข้ากับแผ่นเหล็กมุงหลังคา 84

4.5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงกับค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 86

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 89

5.1 สรุปผลการวิจัยคุณสมบัติทางเสียงของฉนวนยางดำ..... 89

5.2 เปรียบเทียบค่าระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลองกับค่า Noise Criteria (NC).... 97

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

5.3 การประยุกต์ใช้งานรูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำกับเกณฑ์ระดับเสียงที่ยอมรับได้สูงที่สุดของห้องแต่ละประเภท 100

5.4 ข้อเสนอในการพัฒนางานวิจัยต่อไปในอนาคต 101

รายการอ้างอิง 102

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 107

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1.1 แสดงประเภทของสารพอลิเมอร์ 4
ภาพ 1.2 การพ่นฉนวนโฟม PU บนแผ่นเหล็กมุงหลังคาเพื่อป้องกันเสียงรบกวน 5
ภาพ 1.3 รายละเอียดแผ่นเหล็กมุงหลังคาติดตั้งระบบฝ้าเพดานกันเสียง 6
ภาพ 1.4 การติดตั้งฉนวนใยแก้วบนแป 6
ภาพ 1.5 แผ่นหลังคารีดลอนบุด้วยฉนวน PE ปิดผิวด้วยแผ่นฟอยล์ 7
ภาพ 1.6 ภาพจำลองของกล่องทดสอบคุณสมบัติทางเสียง 10
ภาพ 1.7 กระบะที่ใช้ในการสร้างฝนประดิษฐ์ 12
ภาพ 1.8 ภาพจำลองการทดสอบคุณสมบัติทางเสียง 13
ภาพ 2.1 เปรียบความดันเสียงและระดับความดันเสียง 21
ภาพ 2.2 ขอบเขตการได้ยินของมนุษย์ 23
ภาพ 2.3 ความแตกต่างโครงสร้างโมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติ้งพลาสติก 25
ภาพ 2.4 แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยส่วนที่เป็นระเบียบ (ที่จัดเรียงตัวตามแนวแกนของเส้นใย) ส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ และส่วนที่เป็นช่องว่าง 26
ภาพ 2.5 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยาง EPDM 27
ภาพ 2.6 สูตรโครงสร้างของไดอีนที่มีอยู่ในยางอีพีดีเอ็ม 27
ภาพ 2.7 กล่องทดสอบในการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของฉนวนแต่ละชนิดที่ใช้กับแผ่นเหล็กมุงหลังคา 36
ภาพ 2.8 ฉนวน PE ทาด้วยกาวก่อนรีดติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา 37
ภาพ 2.9 การรีดฉนวน PE ติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยใช้เครื่องรีด 37
ภาพ 2.10 แสดงการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE 38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

ภาพ 2.11 การวางไมโครโฟนในกล่องทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของฉนวนแต่ละชนิดที่ใช้งานกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา 39

ภาพ 2.12 เครื่อง Tapping Machine 39

ภาพ 2.13 แสดงระดับความดันเสียงในแต่ละความถี่ของฉนวน PE ฉนวนโฟม PU และฉนวนยางดำ 41

ภาพ 3.1 ทากาวบนแผ่นเหล็กมุงหลังและบนฉนวนยางดำ 47

ภาพ 3.2 เครื่องจักรที่ใช้งานรีดฉนวนยางดำติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา 47

ภาพ 3.3 แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ 48

ภาพ 3.4 ภาพจำลองแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 9 มิลลิเมตร 48

ภาพ 3.5 ภาพจำลองแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 19 มิลลิเมตร 48

ภาพ 3.6 ภาพจำลองแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 25 มิลลิเมตร 49

ภาพ 3.7 แสดงการติดตั้งโครงผนังห้องจำลอง 49

ภาพ 3.8 แสดงการติดตั้งผนังห้องจำลอง 50

ภาพ 3.9 แสดงการติดตั้งผนังห้องจำลอง 50

ภาพ 3.10 แสดงภาพจำลองด้านข้างห้องทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียง 51

ภาพ 3.11 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน 54

ภาพ 3.12 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 55

ภาพ 3.13 แสดงภาพจำลองด้านหน้าของการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 55

ภาพ 3.14 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบในรูปแบบแซนวิช 56

หน้า

ภาพ 3.15 แสดงภาพจำลองด้านหน้าของการติดตั้งการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบในรูปแบบแซนวิช 56

ภาพ 3.16 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยใช้ฉนวนยางดำ 57

ภาพ 3.17 แสดงภาพจำลองด้านหน้าของการติดตั้งติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยใช้ฉนวนยางดำ ... 57

ภาพ 3.18 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยใช้ฉนวนยางดำ พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 58

ภาพ 3.19 แสดงภาพจำลองด้านหน้าของการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยใช้ฉนวนยางดำ พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 58

ภาพ 3.20 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้น มีช่องว่างอากาศ พร้อมติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยใช้ฉนวนยางดำ..... 59

ภาพ 3.21 แสดงภาพจำลองด้านหน้าของการติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้น มีช่องว่างอากาศ สูงจากพื้นเป็นระยะ 2.8 เมตรพร้อมติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยใช้ฉนวนยางดำ .. 59

ภาพ 3.22 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งลวดกรงไก่ลงบนแป และวางฉนวนยางดำทับลงตามด้วยติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาลงบนฉนวนยางดำ..... 60

ภาพ 3.23 แสดงภาพจำลองด้านหน้าของการติดตั้งลวดกรงไก่ลงบนแป และวางฉนวนยางดำบนแป ตามด้วยติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาลงบนฉนวนยางดำ 60

ภาพ 3.24 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งฉนวนยางดำกับฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบในรูปแบบแซนวิช 61

ภาพ 3.25 แสดงภาพจำลองด้านหน้าของการติดตั้งฉนวนยางดำกับฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบในรูปแบบแซนวิช 61

ภาพ 3.26 Sound Level Meter ยี่ห้อ RION รุ่น NL-52 62

ภาพ 3.27 แสดงการติดตั้ง Sound Level Meter บริเวณกลางห้องจำลอง 62

ภาพ 3.28 แสดงผังพื้นการติดตั้ง Sound Level Meter ทั้ง 5 ตำแหน่ง..... 63

ภาพ 3.29 การติดตั้งกระบะไว้เหนือหลังคาเป็นระยะ 1 เมตร 64

หน้า

ภาพ 3.30 ภาพจำลองการติดตั้งกระบะไว้เหนือหลังคาเป็นระยะ 1 เมตร 64

ภาพ 3.31 แสดงระดับความดันเสียงในแต่ละความถี่ของการติดตั้งรูปแบบ A-1 แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน วางพาดบนโครงหลังคา(Base-case)..... 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1.1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุฉนวนโฟม PU ฉนวน PE ฉนวนใยแก้วและฉนวนยางดำ 8
ตาราง 2.1 แสดงชั้นคุณภาพและการรับน้ำหนักแผ่สม่ำเสมอ 16
ตาราง 2.2 แสดงรายละเอียดแผ่นเหล็กมุงหลังคาเคลือบด้วยสังกะสีและอลูมิเนียม..... 17
ตาราง 2.3 แสดงรายละเอียดสมบัติเชิงกลแผ่นเหล็กมุงหลังคา..... 17
ตาราง 2.4 แสดงการเปรียบเทียบค่า NC และ NR สำหรับพื้นที่ใช้สอยในอาคารแต่ละประเภท 28
ตาราง 2.5 ระดับเสียงสูงที่สุดที่สามารถรับได้ของห้องแต่ละประเภท 30
ตาราง 2.6 ค่าระดับความดันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ่นด้วยฉนวนโฟม PU และแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ 42
ตาราง 3.1 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ในแต่ละรูปแบบการติดตั้งในการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียง.. 53
ตาราง 4.1 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ในแต่ละรูปแบบการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียง..... 68
ตาราง 4.2 ค่าระดับความดันเสียงของการติดตั้งรูปแบบ A-1, A-2 และ A-3..... 70
ตาราง 4.3 ค่าระดับความดันเสียงของการติดตั้งรูปแบบ B-1, 2 และ 3 72
ตาราง 4.4 ค่าระดับความดันเสียงของการติดตั้งรูปแบบ C..... 74
ตาราง 4.5 ค่าระดับความดันเสียงของการติดตั้งรูปแบบ D..... 76
ตาราง 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความดันเสียงของการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D 78
ตาราง 4.7 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ A 80
ตาราง 4.8 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ B 81
ตาราง 4.9 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ C 82
ตาราง 4.10 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ D..... 83
ตาราง 4.11 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D..... 84
ตาราง 4.12 แสดงค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D... 86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

ตาราง 5.1 ระดับเสียงสูงที่สุดที่สามารถยอมรับได้ของห้องแต่ละประเภท 90
ตาราง 5.2 ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของกลุ่มที่ 1 93
ตาราง 5.3 ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของกลุ่มที่ 2 94
ตาราง 5.4 ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของกลุ่มที่ 3 95
ตาราง 5.5 ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของกลุ่มที่ 4 95
ตาราง 5.6 ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของกลุ่มที่ 5 96
ตาราง 5.7 รูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำที่เหมาะสมกับการใช้งานอาคาร 97
ตาราง 5.8 การเปรียบเทียบค่า NC และ NR สำหรับพื้นที่ใช้สอยในอาคารแต่ละประเภท 98
ตาราง 5.9 แสดงรูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำที่เหมาะสมกับการใช้งานห้องแต่ละประเภท 100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิ 2.1 แสดงค่าระดับเสียงต่างๆ ที่ถูกเวจท์ 20

แผนภูมิ 2.2 แสดง NC Curves ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดันเสียงต่อย่านความถี่ของเสียง . 29

แผนภูมิ 2.3 แสดง NR Curves ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดันเสียงต่อย่านความถี่ของเสียง.. 29

แผนภูมิ 2.4 แสดงการกระจายตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดฝนใน Rain Intensity ที่ต่างกัน 33

แผนภูมิ 2.5 แสดงความเร็วปลายของเม็ดฝนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกันตามทฤษฎี .. 34

แผนภูมิ 2.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของฉนวนยางดำในแต่ละความหนา 35

แผนภูมิ 2.7 แสดงค่าระดับความดันเสียงที่ความถี่ 31.5 – 16000 Hz ของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดฉนวน PE แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ้นติดด้วยฉนวนโฟม PU (PU) และแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ (EM) 44

แผนภูมิ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงของการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D 79

แผนภูมิ 4.2 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D 85

แผนภูมิ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D... 87

แผนภูมิ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ลดได้และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่เพิ่มขึ้นของรูปแบบ 88

แผนภูมิ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลองและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D 93

แผนภูมิ 5.2 แสดงค่าระดับความดันเสียงในแต่ละย่านความถี่ของรูปแบบ A-1 (Base Case), B-1 (9), B-2 (9) และ D (9) เปรียบเทียบกับค่า NC 99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หลังคาเป็นส่วนที่สำคัญของอาคาร เพราะเป็นส่วนที่ป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์ ป้องกันลมที่มากระทำต่ออาคาร ป้องกันน้ำฝน ป้องกันภัยธรรมชาติต่างๆ และป้องกันเพลิงไหม้ วัสดุมุงหลังคาจึงต้องมีคุณสมบัติที่แข็งแรง ทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี การเลือกใช้ชนิดของวัสดุมุงหลังคาที่แตกต่างกันนั้น ย่อมทำให้เกิดความแตกต่างในด้านโครงสร้างของหลังคา หากเลือกใช้วัสดุมุงหลังคาที่มีขนาดที่เหมาะสมและมีน้ำหนักเบา จะส่งผลให้โครงสร้างหลังคามีภาระรับน้ำหนักน้อย สามารถเพิ่มมุมลาดเอียงหลังคาได้เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำฝน และไม่ต้องใช้วัสดุยึดเหนี่ยวสำหรับมุงหลังคาในปริมาณมาก (พงศ์พัน วรสุนทโรสถ, 2532)

ในปัจจุบันนิยมนำแผ่นเหล็กมุงหลังคา (Metal Sheet) (มอก.1128-2535) มาใช้เป็นวัสดุมุงหลังคากันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นวัสดุที่ทำจากแผ่นเหล็กกล้ากำลังสูงที่มีน้ำหนักเบา แข็งแรง ไม่แตกหัก นำมาเคลือบด้วยโลหะผสมระหว่างอลูมิเนียมและสังกะสีทำให้มีคุณสมบัติกันสนิมได้และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ซึ่งแตกต่างจากวัสดุมุงหลังคาสังกะสี (สุภาวดี รัตนมาศ, 2543) อีกทั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคายังมีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนได้ดีและไม่เกิดการกัดกร่อนเมื่อเปรียบเทียบกับสังกะสี (กวี หวังนิเวศน์กุล, 2552) ด้วยคุณสมบัติเชิงกลที่ดีของแผ่นเหล็กมุงหลังคา จึงทำให้สามารถวางพาดช่วงได้กว้างกว่าแผ่นสังกะสี ซึ่งช่วยป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนได้ดี และยังเหมาะกับการใช้งานสำหรับอาคารประเภทโรงงาน ซึ่งเป็นอาคารที่ไม่มีเสาระหว่างกลาง (สุภาวดี รัตนมาศ, 2543) อีกทั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคายังสามารถดัดโค้งได้ตามความต้องการของผู้ออกแบบ จึงทำให้มีความนิยมอย่างมากในการเลือกใช้เป็นวัสดุมุงหลังคาสำหรับการออกแบบอาคารที่มีรูปทรงที่สวยงาม (พงศ์พัน วรสุนทโรสถ, 2532)

แผ่นเหล็กมุงหลังคานั้นเป็นวัสดุที่ทำจากโลหะจึงทำให้มีคุณสมบัตินำความร้อนได้ดี ส่งผลให้ในช่วงเวลาระหว่างวันที่แสงแดดรุนแรง เกิดการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ในปริมาณที่สูงเข้ามาภายในอาคาร อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดมลภาวะทางเสียงในขณะที่ฝนตก (กวี หวังนิเวศน์กุล, 2552) โดยมลภาวะทางเสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนส่งผ่านหลังคาและแผ่กระจายกลายเป็นเสียงรบกวนภายในอาคาร ซึ่งหากเกิดเสียงรบกวนในขณะที่กำลังนอนหลับพักผ่อนหรือแม้กระทั่งขณะสื่อสารกับผู้อื่น เสียงรบกวนที่เกิดขึ้นนี้อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่พึงประสงค์ได้ (Seidman and Standring,

2010) โดยเสียงรบกวนนั้นจะส่งผลให้คุณภาพชีวิตของมนุษย์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Bluyssen, 2010)

ซึ่งที่ผ่านมา Suga และ Tachibana (1994) มหาวิทยาลัยโตเกียว ได้ศึกษาการแผ่กระจายของเสียงในขณะฝนตกผ่านวัสดุมุงหลังคาเหล็กลูกฟูกที่ไม่มีฉนวนป้องกันเสียงพบว่า มีระดับเสียงรบกวนถึง 70dB ส่วน Idris และคณะ (2012) ได้ทำการศึกษาการตอบสนองต่อเสียงรบกวนของผู้ใช้งานอาคารที่ใช้แผ่นเหล็กมุงหลังคาพบว่า มีเสียงรบกวนถึง 90dB ซึ่งทำให้สภาวะน่าสบายในการใช้งานอาคารลดลงและส่งผลโดยตรงต่อผู้ใช้งานอาคาร

ระดับความดันเสียงที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้คือ 0-130 เดซิเบล อยู่ในช่วงความถี่ 20-20,000 เฮิรตซ์ แต่ความสั่นสะเทือนที่รับรู้ได้จะมีช่วงความถี่ 1-125 เฮิรตซ์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) ซึ่งระดับความดันเสียงที่มนุษย์สามารถรับได้โดยไม่เป็นอันตรายคือ 55-60 dB (Bronzaft and Hangler, 2010) โดยช่วงความถี่ที่หูของมนุษย์ได้ยินชัดเจน คือ 1,000-4,000 เฮิรตซ์ และสามารถรับเสียงได้ดีที่สุดในช่วงความถี่ 3,000-4,000 เฮิรตซ์ แต่มีความเสี่ยงที่จะสูญเสียการได้ยิน เนื่องจากโครงสร้างทางกายวิภาคของใบหูและช่องหูช่วยทำการขยายเสียงในช่วงความถี่นี้ (Goelzer et al., 2011)

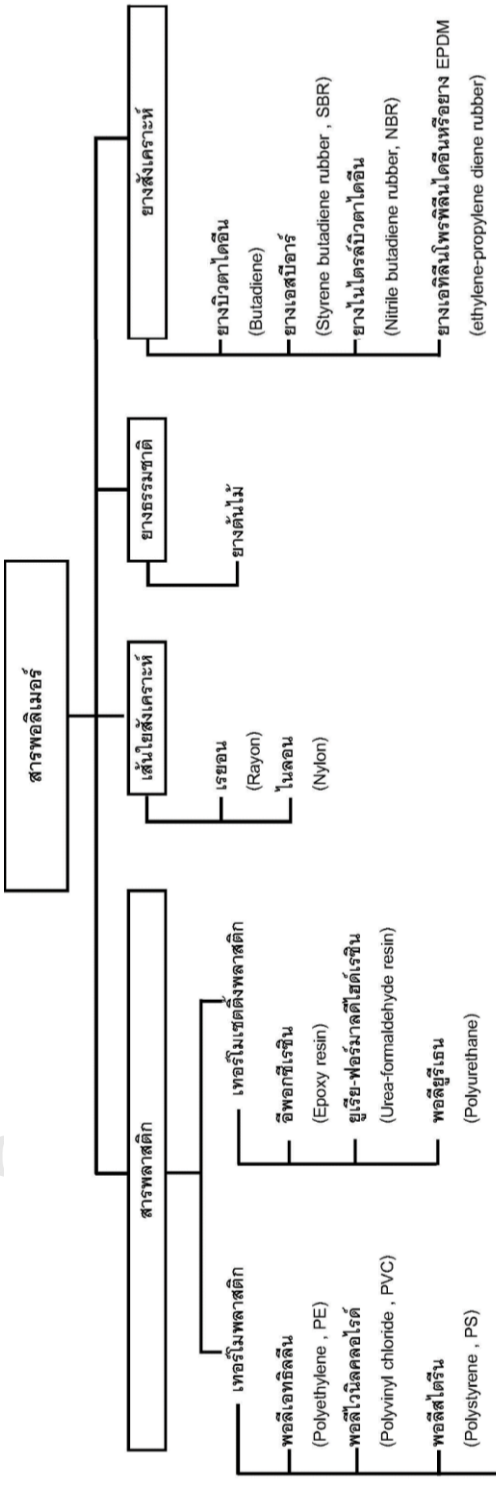
ด้วยระดับเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากแผ่นเหล็กมุงหลังคา จึงมีการนำวัสดุฉนวนกันเสียงหลากหลายชนิดมาใช้ควบคู่กับแผ่นเหล็กมุงหลังคา เพื่อช่วยลดปริมาณเสียงที่ส่งผ่านเข้ามาภายในอาคาร จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับวัสดุกันเสียง พบว่า วัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการกันเสียงมีหลากหลายประเภท ยกตัวอย่างเช่น ฉนวนโฟม PU (Polyurethane), ฉนวน PS (Polystyrenes), ฉนวนใยหิน, ฉนวนใยแก้ว เป็นต้น ซึ่งการใช้งานโดยส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในส่วนของผนัง นอกจากนี้ยังมีวัสดุกันเสียงทางเลือก ซึ่งเป็นเส้นใยที่ได้จากพืช เส้นใยจากการรีไซเคิลวัสดุประเภทสิ่งทอ ฝอยไม้ เส้นใยปอและฟางข้าว (Pedroso et al., 2017) โดยวัสดุกันเสียงประเภทโฟม (Foam) เส้นใย (Fibrous) และวัสดุประกอบ (Composites Materials) นั้นเป็นวัสดุที่ภายในมีลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งส่งผลให้มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงที่ดี (Tang and Fang, 2017)

ในปัจจุบันมีการนำวัสดุพอลิเมอร์ (Polymer) มาทำเป็นวัสดุฉนวนกันเสียง (บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน), 2559) เนื่องจากวัสดุพอลิเมอร์มีลักษณะโปร่งเบา มีรูพรุน เหมาะสำหรับป้องกันเสียงที่มีความถี่สูง (วีทิต วรรณเลิศลักษณ์, 2560) อีกทั้งยังมีความหนาแน่นต่ำ เหมาะกับการใช้เป็นฉนวน (Sivertsen, 2007)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารพอลิเมอร์ คือ สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ประกอบไปด้วยอะตอมจำนวนหลายร้อยอะตอม โดยสารพอลิเมอร์นั้นมีทั้งที่อยู่ตามธรรมชาติและที่เกิดจากการสังเคราะห์โดยมนุษย์ ซึ่งสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ได้แก่ ยางธรรมชาติ แป้ง โปรตีน และกรดนิวคลีอิค และสารพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ขึ้น ได้แก่ พอลิสไตรีน (Polystyrene) พอลิเอทีลีน (Polyethylene) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride) เป็นต้น สารพอลิเมอร์แบ่งประเภทได้ดังภาพ 1.1 (กุลยา โอกาตะ, ทะยานรุ่ง เหลือสินทรัพย์, & พิทยา สีสด, 2559)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

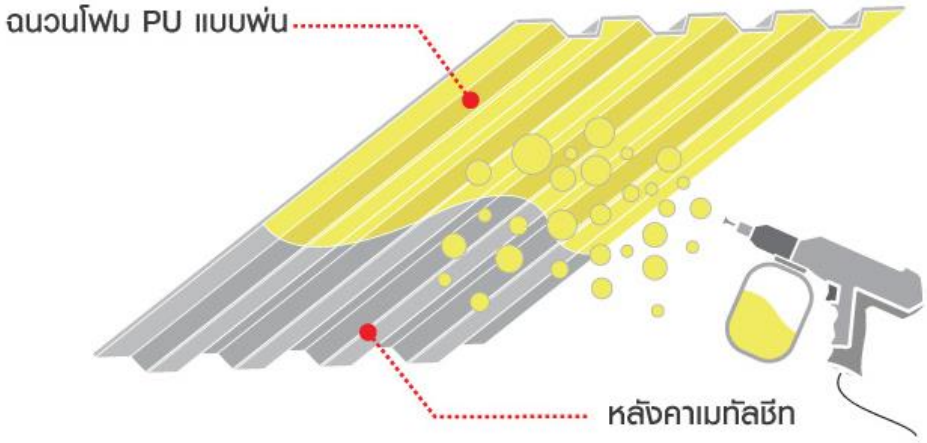


ภาพ 1.1 แสดงประเภทของสารพอลิเมอร์

ที่มา : จัดทำขึ้นโดยผู้วิจัย วันที่ 14 มกราคม 2561

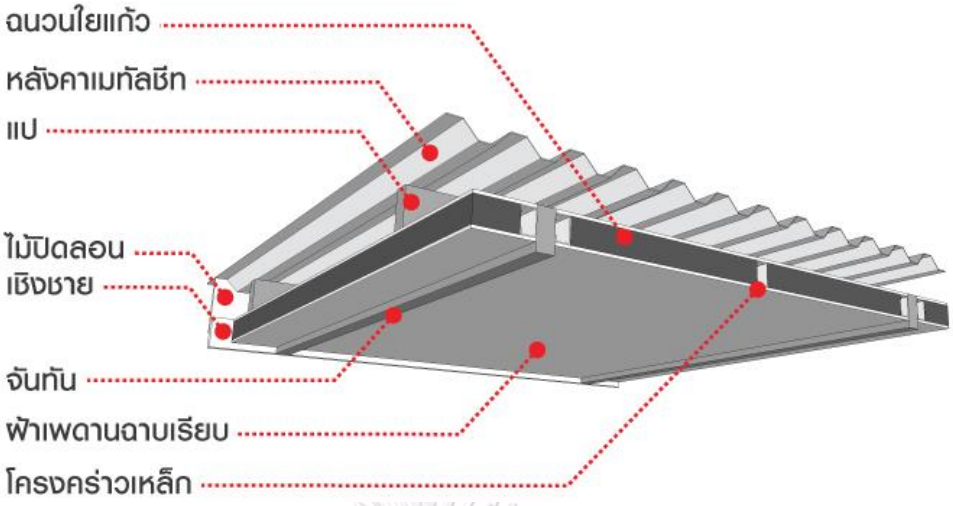
จะเห็นได้ว่าในปัจจุบันมีฉนวนที่ผลิตจากพอลิเมอร์อยู่ด้วยกันหลายชนิด ซึ่งฉนวนแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน อีกทั้งผู้ประกอบการยังมีเทคนิคที่นิยมใช้ในการติดตั้งฉนวนอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ (บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน), 2559) ได้แก่

แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ่นฉนวนโฟม PU โดยทำการพ่นฉนวนโฟม PU ด้านใต้หรือด้านบนแผ่นเหล็กมุงหลังคาหลังจากที่ทำการมุงหลังคาแล้วเสร็จ



ภาพ 1.2 การพ่นฉนวนโฟม PU บนแผ่นเหล็กมุงหลังคาเพื่อป้องกันเสียงรบกวน
ที่มา : http://www.scgbuildingmaterials.com/th/LivingIdea/Renovation/Reduce-Sound-of-Rain-Hitting-Metal-Sheet-Roof.aspx สืบค้นวันที่ 14 มกราคม 2561

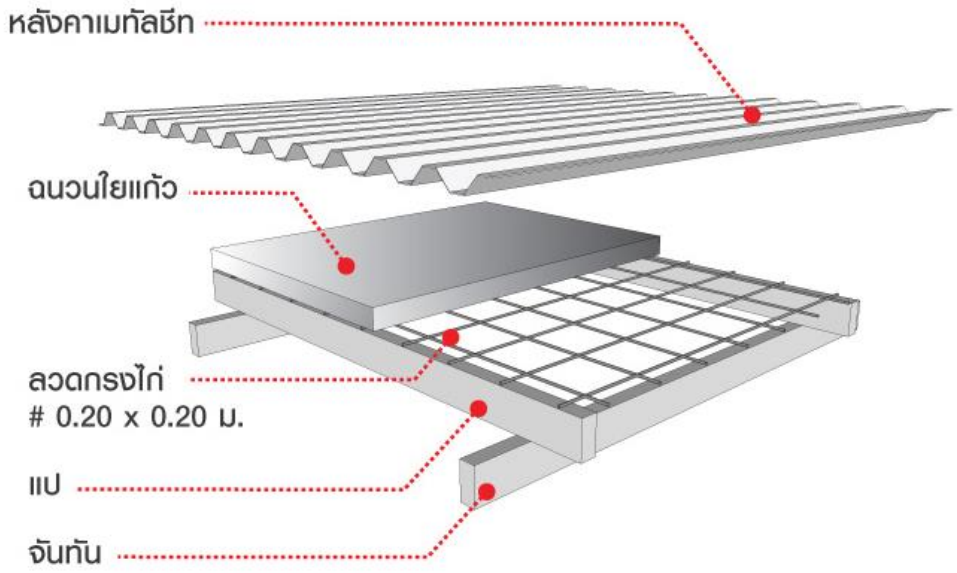
ติดตั้งฉนวนใยแก้วกับแผ่นฝ้าเพดาน โดยทำการติดตั้งฉนวนใยแก้วเข้ากับแผ่นฝ้าเพดานในรูปแบบแซนวิช (sandwich) เริ่มโดยติดตั้งฝ้าเพดานแผ่นบนเข้ากับโครงคร่าวซึ่งยึดติดกับแป แล้วติดตั้งโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี C-Line ยึดกับแผ่นฝ้าเพดานแผ่นบน กรุช่องว่างระหว่างโครงคร่าวด้วยแผ่นฉนวนใยแก้ว ความหนาน้อยที่สุด 5 ซม. (2 นิ้ว) ที่มีการผลิตตามท้องตลาด จากนั้นจึงติดตั้งแผ่นฝ้าแผ่นล่างอีกชั้น แล้วปิดขอบหลังคาโดยรอบด้วยไม้เชิงชาย



ภาพ 1.3 รายละเอียดแผ่นเหล็กมุงหลังคาติดตั้งระบบฝ้าเพดานกันเสียง

ที่มา : http://www.scgbuildingmaterials.com/th/LivingIdea/Renovation/Reduce-Sound-of-Rain-Hitting-Metal-Sheet-Roof.aspx สืบค้นวันที่ 14 มกราคม 2561

ติดตั้งฉนวนใยแก้วบนแป โดยวางและยึดลวดกรงไก่บนแป จากนั้นปูด้วยแผ่นฉนวนใยแก้วหุ้ม foil ความหนา 5 ซม. (2 นิ้ว) แล้วจึงติดตั้งหลังคาเมทัลชีทโดยใช้สกรูยึดติดกับแป วิธีการนี้ฉนวนใยแก้วจะแนบติดกับแผ่นหลังคา ซึ่งช่วยลดการกระพือที่ทำให้เกิดเสียงดัง



ภาพ 1.4 การติดตั้งฉนวนใยแก้วบนแป

ที่มา : http://www.scgbuildingmaterials.com/th/LivingIdea/Renovation/Reduce-Sound-of-Rain-Hitting-Metal-Sheet-Roof.aspx สืบค้นวันที่ 14 มกราคม 2561

แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดลอนติดตั้งฉนวน PE โดยทำการรีดฉนวน PE หนา 5 มิลลิเมตร ติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา ซึ่งเป็นความหนาที่เหมาะสม (บริษัท อันดามันเมทัลชีท จำกัด, 2560) แล้วนำมาติดตั้งกับโครงหลังคาได้เลย

ภาพ 1.5 แผ่นหลังคารีดลอนบุด้วยฉนวน PE ปิดผิวด้วยแผ่นฟอยล์
ที่มา : http://homedeeroof.blogspot.com/2013/07/pe-foam-insulation.html
สืบค้นวันที่ 14 มกราคม 2561

โดยแต่ละรูปแบบมีการลดเสียงรบกวนที่แตกต่างกัน ตามคุณสมบัติและการติดตั้งของวัสดุฉนวนกันเสียง ซึ่งฉนวนโฟม PU มีลักษณะการติดตั้งที่ง่าย แต่ไม่สามารถควบคุมความหนาของวัสดุให้มีความสม่ำเสมอในการฉีดพ่นได้ ส่วนฉนวนใยแก้วนั้นต้องใช้ระยะเวลาในการติดตั้งควบคู่ไปกับการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคา และฉนวน PE ซึ่งเป็นวัสดุฉนวนที่ประกอบสำเร็จรูปกับแผ่นเหล็กมุงหลังคาสามารถติดตั้งได้ง่ายแต่มีคุณสมบัติในการกันเสียงที่ไม่ดีนักเมื่อเปรียบเทียบกับฉนวนกันเสียงชนิดอื่นที่กล่าวมาข้างต้น

จากการศึกษาคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันข้างต้น จะเห็นได้ว่าวัสดุฉนวนกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคายังมีคุณสมบัติในการกันเสียงที่ไม่ดีนัก รวมถึงคุณสมบัติของวัสดุฉนวนกันเสียงบางชนิดไม่เหมาะสมต่อการนำมาเป็นฉนวนสำหรับวัสดุมุงหลังคา ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอวัสดุฉนวนยางดำ (อิลาสโทเมอริกโฟม, Elastomeric) ที่เป็นวัสดุพอลิเมอร์ยางสังเคราะห์ โดยเกิดจากการสังเคราะห์ยาง EPDM อยู่ในสถานะของแข็ง มีคุณสมบัติที่ยืดหยุ่นได้ นำมาใช้งานเป็นวัสดุฉนวนครั้งแรกในทศวรรษที่ 1950 โดยฉนวนยางดำเป็นวัสดุที่ติดตั้งได้กับอุปกรณ์ทุกประเภท ซึ่งส่วนใหญ่จะติดตั้งกับอุปกรณ์ประเภทท่อ คุณสมบัติทางเสียงของฉนวนยางดำขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุและใช้วิธีการยึดติดกับอุปกรณ์เพื่อเป็นฉนวน (Swift, 2017) โดยคุณสมบัติที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แตกต่างกันของวัสดุฉนวนแต่ละชนิด (สายัณห์ และ วิรัตน์, 2549), (บริษัท พี.ยู.โฟม อินซูเลชั่น แอนด์ เทรดดิ้ง จำกัด, 2560), (บริษัท เอ.เอ็น.อินซูเลชั่น จำกัด., 2560), (Farina and Torelli, 1997), (El-Nagar et al., 2011), (Nascimento and Zindeluk, 2007) สามารถแสดงในตารางได้ดังต่อไปนี้

ตาราง 1.1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุฉนวนโฟม PU ฉนวน PE ฉนวนใยแก้วและฉนวนยางดำ

คุณสมบัติ	ฉนวนโฟม PU หนา 25 มิลลิเมตร	ฉนวน PE หนา 5 มิลลิเมตร	ฉนวนยางดำ หนา 25 มิลลิเมตร
ลักษณะในการติดตั้ง	ฉีดพ่น	รีดติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา	รีดติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา
อุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสม (°C)	25 – 90	25 – 85	-57 – 125
ความหนาแน่น (kg/m^3)	35 – 40	30 – 50	53
สภาพการนำความร้อน K (W/m.K)	0.032	0.034 – 0.037	0.031 – 0.037
การลามไฟ	ชะลอการลามไฟ	ชะลอการลามไฟ	ชะลอการลามไฟและไฟดับเองได้
ความทนทานต่อแสงแดด UV	เสื่อมสภาพเมื่อโดนแสง	เสื่อมสภาพเมื่อโดนแสง	ป้องกันรังสี UV ได้
อัตราการซึมน้ำ (%)	5 – 10 %	2 – 5 %	5 %
สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง (α)	0.2 – 0.75 ที่ความถี่ 1000 – 5000 Hz	0.1 – 0.6 % ที่ความถี่ 160 – 2500 Hz	0.26 – 0.96 % ที่ความถี่ 250 – 4000 Hz

(ที่มา : ดัดแปลงจาก http://www.dss.go.th/images/st-article/pep_8_2549_energy-saving-foam.pdf , http://www.pufoaminsulation.com/wp-content/uploads/โปรชัวร์งานพ่นพียูโฟม.pdf, https://www.an-insulation.com/product/ฉนวนยางดำ-aeroflex, http://www.csmfab.com/submit/Aeroflex%20duct%20liner.pdf, http://www.acoustic.ua/st/web_absorption_data_eng.pdf, http://www.fao.org/docrep/006/y5013e/y5013e08.htm สืบค้นวันที่ 15 มกราคม 2561)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุฉนวนโฟม PU ฉนวน PE ฉนวนใยแก้วและฉนวนยางดำ จะเห็นได้ว่าฉนวนยางดำมีคุณสมบัติในการกันเสียงได้ดีกว่าฉนวนโฟม PU ฉนวน PE และดูดกลืนเสียงได้ดีกว่าฉนวนใยแก้วเล็กน้อยในช่วงความถี่ที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ฉนวนยางดำยังมีค่าสภาพการนำความร้อนที่ต่ำ ใกล้เคียงกับฉนวนโฟม PU ฉนวน PE และฉนวนใยแก้ว จึงเหมาะสมกับการเป็นวัสดุฉนวนกันเสียงสำหรับแผ่นเหล็กมุงหลังคา แต่ฉนวนยางดำมีความหนาแน่นสูงกว่าฉนวนอื่นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกัน ทำให้การติดตั้งฉนวนยางดำเพื่อเป็นวัสดุฉนวนของแผ่นเหล็กมุงหลังคาต้องใช้ต้นทุนสูง เพื่อสร้างโครงสร้างสำหรับรับน้ำหนักของฉนวนยางดำให้แข็งแรง ปลอดภัยและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน จึงต้องการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงเมื่อติดตั้งฉนวนยางดำกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา โดยวิธีติดตั้งฉนวนกับแผ่นฝ้าเพดานในรูปแบบแซนวิช ติดตั้งฉนวนบนแป และติดตั้งด้วยการบุหรือรีดติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา เพื่อนำเสนอวิธีการติดตั้งวัสดุฉนวนยางดำสำหรับการกันเสียงโดยใช้ต้นทุนในการติดตั้งที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาคุณสมบัติของแผ่นเหล็กมุงหลังคาในปัจจุบัน

1.2.2 ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในการใช้งานอาคารของแผ่นเหล็กมุงหลังคา

1.2.3 พัฒนาและแก้ไขปัญหาด้านเสียงที่เกิดขึ้นในการใช้งานอาคารของแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยใช้วัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ

1.2.4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งฉนวนยางดำกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา ที่ใช้วิธีติดตั้งฉนวนกับฝ้าเพดานในรูปแบบแซนวิช ติดตั้งฉนวนบนแป และติดตั้งด้วยการบุหรือรีดติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาเฉพาะแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดลอนหนา 0.4 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นที่นิยมในการใช้งาน (บริษัท อันดามันเมทัลชีท จำกัด, 2560)

1.3.2 ศึกษาเฉพาะเรื่องเสียงจากฝนประดิษฐ์ที่ดัดแปลงจากมาตรฐาน ISO 10140-5 เท่านั้น

1.3.3 ศึกษาเฉพาะวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตรที่มีการผลิตตามท้องตลาด

1.3.4 ศึกษาเฉพาะห้องจำลองขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 3.3 x 3.5 x 3.5 เมตร ขนาดใกล้เคียงกับห้องพักอาศัยในอาคาร ใช้วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์เซาะร่องหนา 6 มิลลิเมตร เป็นวัสดุผนัง

1.3.5 ศึกษาเฉพาะคุณสมบัติในการกันเสียงรบกวนจากภายนอกของวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร เท่านั้น

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

1.4.1 การรวบรวมข้อมูล

1) ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน คุณสมบัติ ของแผ่นเหล็กมุงหลังคา

2) ศึกษาทฤษฎีของเสียง

3) ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ

4) ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ

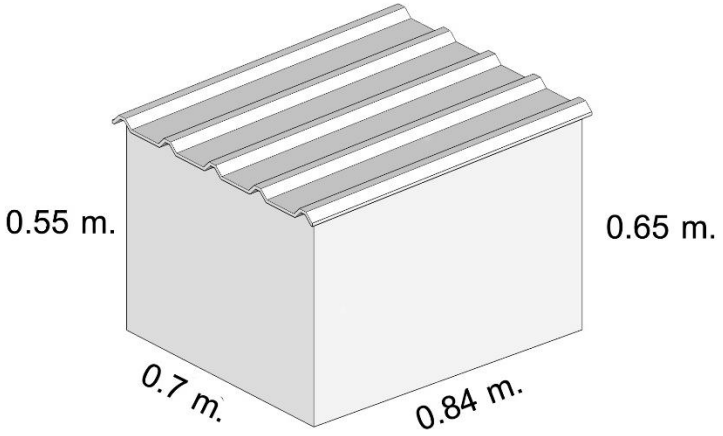
1.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) วิเคราะห์ปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาเกี่ยวกับคุณสมบัติของแผ่นเหล็กมุงหลังคาในปัจจุบัน

2) ดำเนินการทดลอง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1

1.1) สร้างกล่องจำลองขนาดความกว้าง 0.70 เมตร ความยาว 0.84 เมตร และความสูง 0.55 เมตร เพื่อทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียง



ภาพ 1.6 ภาพจำลองของกล่องทดสอบคุณสมบัติทางเสียง

ที่มา : จัดทำโดยผู้วิจัย

1.2) ขึ้นรูปแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ

1.3) ขึ้นรูปแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE

1.4) ขึ้นรูปแผ่นเหล็กมุงหลังคาพ่นติดด้วยฉนวนโฟม PU

1.5) ทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ ฉนวนโฟม PU และฉนวน PE

ส่วนที่ 2

2.1) ขึ้นรูปแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำเข้ากับแผ่นเหล็กมุงหลังคา โดยใช้ฉนวนยางดำความหนา 10, 19 และ 25 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาที่มีการผลิตตามท้องตลาดทั่วไป

2.2) สร้างห้องจำลองขนาด 3.3 x 3.5 x 3.8 เมตร เพื่อทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคาตามรูปแบบการติดตั้ง ซึ่งมีที่มาจากการทบทวนวรรณกรรมเรื่อง การติดตั้งฉนวนควบคู่กับแผ่นเหล็กมุงหลังคา (บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน), 2559) ดังนี้

2.2.1) แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน วางพาดบนโครงหลังคา

2.2.2) แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวนวางพาดลงบนโครงหลังคา ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบความหนา 12.5 มิลลิเมตร 1 ชั้น โดยมีระดับความสูงจากพื้นเป็นระยะ 2.8 เมตร ภายในห้องจำลอง

2.2.3) แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวนวางพาดลงบนโครงหลังคา ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบความหนา 12.5 มิลลิเมตร 2 ชั้น โดยมีระดับความสูงจากพื้นเป็นระยะ 2.8 เมตรภายในห้องจำลอง ซึ่งติดตั้งในลักษณะรูปแบบแซนวิช โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นฝ้า 25 มิลลิเมตร

2.2.4) แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำวางพาดบนโครงหลังคา

2.2.5) แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำวางพาดบนโครงหลังคา ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบความหนา 12.5 มิลลิเมตร 1 ชั้น โดยมีระดับความสูงจากพื้นเป็นระยะ 2.8 เมตร ภายในห้องจำลอง

2.2.6) แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำวางพาดบนโครงหลังคา ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบความหนา 12.5 มิลลิเมตร 2 ชั้น โดยมีระดับความสูงจากพื้นเป็นระยะ 2.8 เมตรภายในห้องจำลอง ซึ่งติดตั้งในลักษณะรูปแบบแซนวิช โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นฝ้า 25 มิลลิเมตร

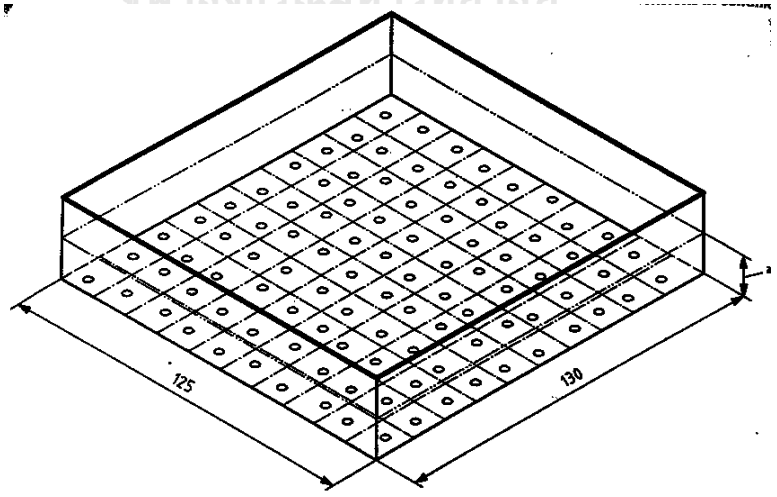
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.7) ติดตั้งฉนวนยางดำบนแปเหล็กตัวซี ขนาด 75 x 35 มิลลิเมตร ความหนา 2.3 มิลลิเมตร โดยปูลวดกรงไก่พาดลงบนแปเพื่อป้องกันฉนวนยางดำตกท้องช้างและวางฉนวนยางดำทับลงบนลวดกรงไก่ แล้วติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคา โดยการวางพาดลงบนฉนวนยางดำ

2.2.8) แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวนวางพาดลงบนโครงหลังคา ติดตั้งฉนวนยางดำกับฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบความหนา 12.5 มิลลิเมตร 2 ชั้น โดยมีระดับความสูงจากพื้นเป็นระยะ 2.8 เมตรภายในห้องจำลอง ซึ่งติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบไว้ด้านบนและด้านล่างของฉนวนยางดำในลักษณะรูปแบบแซนวิช โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นฝ้าตามความหนาของฉนวนยางดำ

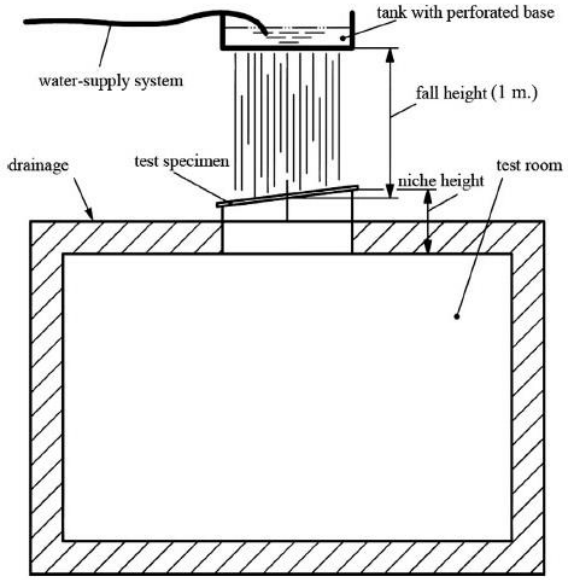
โดยจะทำการวางแผ่นเหล็กมุงหลังคาให้ได้ความลาดเอียงในอัตราส่วน 3 : 100 ที่นิยมใช้กับแผ่นเหล็กมุงหลังคา (สุภาวดี รัตนมาศ, 2543)

2.3) สร้างฝนประดิษฐ์เพื่อทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ติดตั้งฉนวนยางดำเข้ากับแผ่นฝ้าเพดานในรูปแบบแซนวิช และแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ติดตั้งฉนวนยางดำด้วยลวดกรงไก่บนแป ดัดแปลงจากมาตรฐาน ISO 10140-5 ซึ่งกำหนดวิธีการในการสร้างฝนประดิษฐ์ โดยใช้กระบะที่มีขนาดความกว้าง 1.25 เมตร ความยาว 1.30 เมตร เจาะรูให้มีระยะสม่ำเสมอทั่วทั้งบริเวณฐานกระบะ โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3-0.5 มิลลิเมตร ใช้ระบบท่อส่งน้ำในการเติมน้ำ โดยระดับน้ำจะต้องไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิเมตร ติดตั้งกระบะไว้ที่ความสูงเหนือหลังคา 1 เมตร ใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 30 วินาที ต่อ 1 จุดการทดสอบ ตามมาตรฐาน ISO 3745



ภาพ 1.7 กระบะที่ใช้ในการสร้างฝนประดิษฐ์

ที่มา : ISO 10140-5



ภาพ 1.8 ภาพจำลองการทดสอบคุณสมบัติทางเสียง

ที่มา : ISO 10140-5

2.4) สอบเทียบเครื่องมือ Sound Level Meter ยี่ห้อ RION รุ่น NL-52 ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียง

2.5) ทำการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงตามมาตรฐาน ISO 10140-3 ของแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวนและติดตั้งฉนวนยางดำทั้ง 4 รูปแบบดังหัวข้อ 2.2) โดยใช้เครื่องมือ Sound Level Meter ในการวัดเสียง ติดตั้งไมโครโฟนสูงจากพื้น 1.2 เมตร โดยดำเนินการวัดเสียงในรูปแบบแยกความถี่ 1/3 Octave

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6) เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งฉนวนกันเสียง ของแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ แผ่นเหล็กมุงหลังคาติดตั้งฉนวนยางดำกับฝ้าเพดานในรูปแบบแซนวิช และแผ่นเหล็กมุงหลังคาติดตั้งฉนวนยางดำด้วยลวดกรงไก่บนแป

2.7) ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงและค่าใช้จ่าย ของแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ แผ่นเหล็กมุงหลังคาติดตั้งฉนวนยางดำกับฝ้าเพดานในรูปแบบแซนวิช และแผ่นเหล็กมุงหลังคาติดตั้งฉนวนยางดำด้วยลวดกรงไก่บนแป โดยนำค่าที่ได้จากการบันทึกด้วยเครื่องมือ Sound Level Meter ยี่ห้อ RION รุ่น NL-52 ประมวลผลผ่านโปรแกรมของ RION แสดงผลออกมาในรูปแบบของแผนภูมิ

1.4.3 การสรุปผลและเสนอแนะ

1) นำเสนอผลการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงโดยใช้แผนภูมิ

2) สรุปผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงและค่าใช้จ่าย ของแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ แผ่นเหล็กมุงหลังคาติดตั้งฉนวนยางดำกับฝ้าเพดานในรูปแบบแซนวิช และแผ่นเหล็กมุงหลังคาติดตั้งฉนวนยางดำด้วยลวดกรงไก่บนแป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้แผ่นเหล็กมุงหลังคาติดตั้งฉนวน ที่มีคุณสมบัติในการกันเสียงรบกวนจากภายนอกที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

1.5.2 เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาแผ่นเหล็กมุงหลังคาต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทบทวนทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง แบ่งได้ตามหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเสียง

- 2.2.1 นิยามของเสียง
- 2.2.2 ความเข้มของเสียง
- 2.2.3 ระดับความเข้มเสียง
- 2.2.4 หน่วยวัดความดังของเสียง
- 2.2.5 ระดับเสียงเวจท์ (Weighted Sound Level)
- 2.2.6 ความดันเสียงและระดับความดันเสียง (Sound Pressure and Sound Pressure Level)
- 2.2.7 ขอบเขตการได้ยินของมนุษย์

2.3 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ (อีลาสโทเมอริกโฟม, Elastomeric)

- 2.3.1 สารพอลิเมอร์ (Polymer)
- 2.3.2 ฉนวนยางดำ (อิลาสโทเมอริกโฟม, Elastomeric)

2.4 เกณฑ์และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเสียงภายในอาคาร

- 2.4.1 เกณฑ์ของเสียงรบกวน (Noise Criteria)
- 2.4.2 ระดับเสียงสูงที่สุดที่สามารถรับได้ของห้องแต่ละประเภท (Maximum Sound Pressure Levels in Rooms)

2.5 ฝน (Rain)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7 การศึกษานำร่อง (Pilot study) : ทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของฉนวน PE ฉนวนโฟม PU และฉนวนยางดำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา

แผ่นเหล็กมุงหลังคา (Metal Sheet) (มอก. 1128-2535) หมายถึง วัสดุแผ่นมีลอนแบบเกาะเกยหรือแบบอื่นๆที่คล้ายกันสำหรับใช้มุงหลังคาทำจากแผ่นเหล็กรีดเย็นที่นำมาเคลือบด้วยวัสดุที่ทนทานต่อสภาวะอากาศ ขึ้นรูป แล้วยึดด้วยอุปกรณ์ต่างๆเข้ากับโครงหลังคา โดยมีชั้นคุณภาพและการรับน้ำหนักแผ่สม่ำเสมอดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 แสดงชั้นคุณภาพและการรับน้ำหนักแผ่สม่ำเสมอ

ชั้นคุณภาพ	การรับน้ำหนักแผ่สม่ำเสมอ นิวตันต่อตารางเมตร
C 980	980
C 1 960	1 960
C 2 940	2 940
C 3 920	3 920
C 4 900	4 900

(ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 1128-2535) สืบค้นวันที่ 15 มกราคม 2561)

โดย ;

C 980 คือ ชั้นคุณภาพที่สามารถรับน้ำหนักได้ 980 นิวตันต่อตารางเมตร

C 1 960 คือ ชั้นคุณภาพที่ 1 สามารถรับน้ำหนักได้ 960 นิวตันต่อตารางเมตร

C 2 940 คือ ชั้นคุณภาพที่ 2 สามารถรับน้ำหนักได้ 940 นิวตันต่อตารางเมตร

C 3 920 คือ ชั้นคุณภาพที่ 3 สามารถรับน้ำหนักได้ 920 นิวตันต่อตารางเมตร

C 4 900 คือ ชั้นคุณภาพที่ 4 สามารถรับน้ำหนักได้ 900 นิวตันต่อตารางเมตร

แผ่นเหล็กมุงหลังคาได้ผ่านการเคลือบด้วยสังกะสีและอลูมิเนียม เพื่อป้องกันการกัดกร่อนและทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ซึ่งรายละเอียดของแผ่นเหล็กที่ผ่านการเคลือบด้วยโลหะสามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 2.2 แสดงรายละเอียดแผ่นเหล็กมุงหลังคาเคลือบด้วยสังกะสีและอลูมิเนียม

Grade Mpa	ความหนาชั้นเคลือบ (กรัม/ตร.ม.) Coating Mass (g/m^2)	ความหนาเหล็กไม่รวมชั้นเคลือบ (มม.) Preferred Base Metal Thickness (mm.)	ความกว้าง (มม.) Width (mm.)
G250	150 - 200	0.30 - 1.20	600 - 1265
G300	150 - 200	0.30 - 1.20	600 - 1265
G550	150 - 200	0.30 - 1.00	600 - 1260

(ที่มา : บริษัท เอ็นเอส บลูสโคป(ประเทศไทย) จำกัด)

ตาราง 2.3 แสดงรายละเอียดสมบัติเชิงกลแผ่นเหล็กมุงหลังคา

ชั้นเคลือบคุณภาพ Base Metal Steel Grade	ความเค้นจุดคราก (นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร) Yield Stress (N/mm2)	ความต้านแรงดึง (นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร) Tensile Strength (N/mm2)	การยืดตัว (%) Elongation (%)
G250	≥ 250	≥ 320	25
G300	≥ 300	≥ 340	20
G550	≥ 550	≥ 550	2

(ที่มา : บริษัท เอ็นเอส บลูสโคป(ประเทศไทย) จำกัด)

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเสียง

2.2.1 นิยามของเสียง

คลื่นเสียง (Sound Waves) เป็นคลื่นกลชนิดหนึ่ง เกิดขึ้นจากการสั่นของต้นกำเนิดเสียง ทำให้อากาศโดยรอบเกิดการอัดตัวและขยายตัว แล้วส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความดันอากาศ ทำให้ส่วนอัดและส่วนขยายของอากาศถูกถ่ายทอดออกไปในทุกทิศทาง เกิดคลื่นตามยาวแผ่ออกไป กระทบหูของผู้ฟังเกิดเป็นเสียง ซึ่งคลื่นเสียงสามารถเคลื่อนที่ผ่านของแข็ง ของเหลว และก๊าซได้

2.2.2 ประเภทของเสียง

เสียงสามารถจำแนกประเภทได้ 3 ประเภทดังต่อไปนี้

1) เสียงดังแบบต่อเนื่อง (Continuous Noise) เป็นเสียงที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยที่สามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

- เสียงดังตอเนื่องแบบคงที่ (Steady-state Noise) คือ เสียงที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยที่เกิดการเปลี่ยนของระดับเสียงไม่เกิน 3 เดซิเบล

- เสียงดังตอเนื่องที่ไม่คงที่ (Non-steady State Noise) คือ เสียงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับเสียงเกินกว่า 10 เดซิเบล

2) เสียงดังเป็นช่วงๆ (Intermittent Noise) เป็นเสียงที่ดังไม่ต่อเนื่องโดยที่มีระดับเสียงที่ดังและเบาสลับกันไปมา

3) เสียงกระทบหรือกระแทก (Impact or Impulse Noise) เป็นเสียงที่เกิดขึ้นแล้วมีการเปลี่ยนแปลงของระดับเสียงมากกว่า 40 เดซิเบล โดยสิ้นสุดลงในระเวลาอันรวดเร็วซึ่งใช้เวลาไม่เกิน 1 วินาที

2.2.3 ความเข้มของเสียง

ในขณะที่คลื่นเสียงเคลื่อนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งจะเกิดการถ่ายทอดพลังงาน ซึ่งอัตราเฉลี่ยของการส่งผ่านพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียง เรียกว่า ความเข้มของเสียง ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$I = \frac{P}{A} \qquad (2.1)$$

ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงมีขนาดเล็กมากจนถือว่าเป็นจุด สามารถหาความเข้มของเสียงได้ดังสมการ 2.2

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \qquad (2.2)$$

ที่ ;

I คือ ความเข้มของเสียง มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

P คือ กำลัง มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

r คือ ระยะจากแหล่งกำเนิดเสียง มีหน่วยเป็น เมตร (m)

2.2.4 ระดับความเข้มเสียง

ระดับความเข้มเสียงเป็นระดับความดังของเสียงซึ่งเกิดจากการเปรียบเทียบความเข้มของเสียง โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2.3

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \qquad (2.3)$$

ที่ ;

β คือ ระดับความเข้มของเสียง มีหน่วยเป็น เดซิเบล (decibel, dB)

I คือ ความเข้มเสียงที่กำลังพิจารณา มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

I_0 คือ ความเข้มเสียงเบาที่สุดซึ่งเท่ากับ 10^{-12} วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

2.2.5 หน่วยวัดความดังของเสียง

เนื่องด้วยความเข้มของเสียงมีช่วงที่กว้างมากและมีสเกลเป็นลอการิทึม จึงนำความเข้มของเสียงมาเปรียบเทียบกับความเข้มของเสียงอ้างอิงเพื่อสะดวกในการบ่งบอกความเข้มของเสียง ถ้าความเข้มของเสียงมีความแตกต่างกันเท่ากับ 10 จะกำหนดให้ความเข้มของเสียงแตกต่างกัน 1 เบล โดยหน่วยสากลที่ใช้กันทั่วไปสำหรับความดังของเสียงคือ เดซิเบล (Decibel, dB) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1 เบล

2.2.6 ระดับเสียงเวจท์ (Weighted Sound Level)

ระดับเสียงเวจท์ คือ ระดับเสียงที่ได้จากการวัดไมโครโฟนผ่านที่กรองเวจท์ (Weighting network) ซึ่งมีระดับเสียงเวจท์หลากหลายรูปแบบ เช่น A-weighted (dBA), B-weighted (dBB), C-weighted (dBC) และ D-weighted (dBD) โดยที่

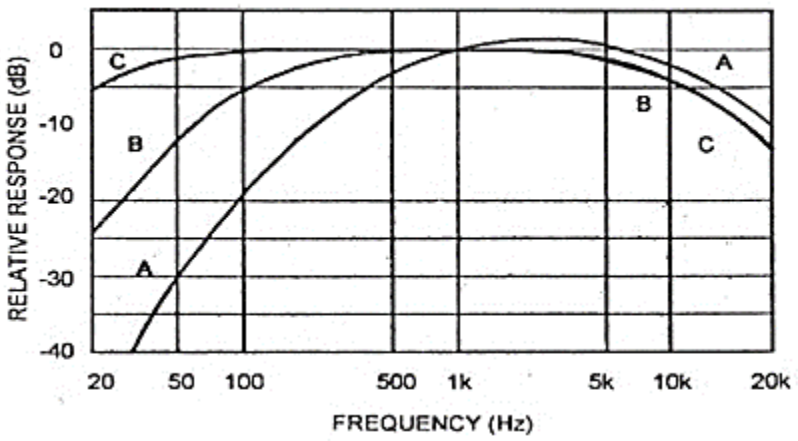
A-weighted เป็นการกรองเสียงเพื่อให้ผลตรงกับความรู้สึกของคน และใกล้เคียงกับการตอบสนองในการได้ยินของหูมนุษย์มากกว่า Scale B และ C

B-weighted ใช้กับเสียงความเข้มปานกลาง โดยจะตอบสนองได้ดีในความถี่ระหว่าง 400 Hz–3000 Hz

C-weighted การวัดจะใกล้เคียงกับความเป็นจริง มีการกรองเสียงน้อย ใช้วัดเสียงของกลุ่มความถี่ต่ำ เนื่องจาก Scale A มีการกรองเสียงมากเกินไป

D-weighted ใช้วัดเสียงจากอากาศยาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



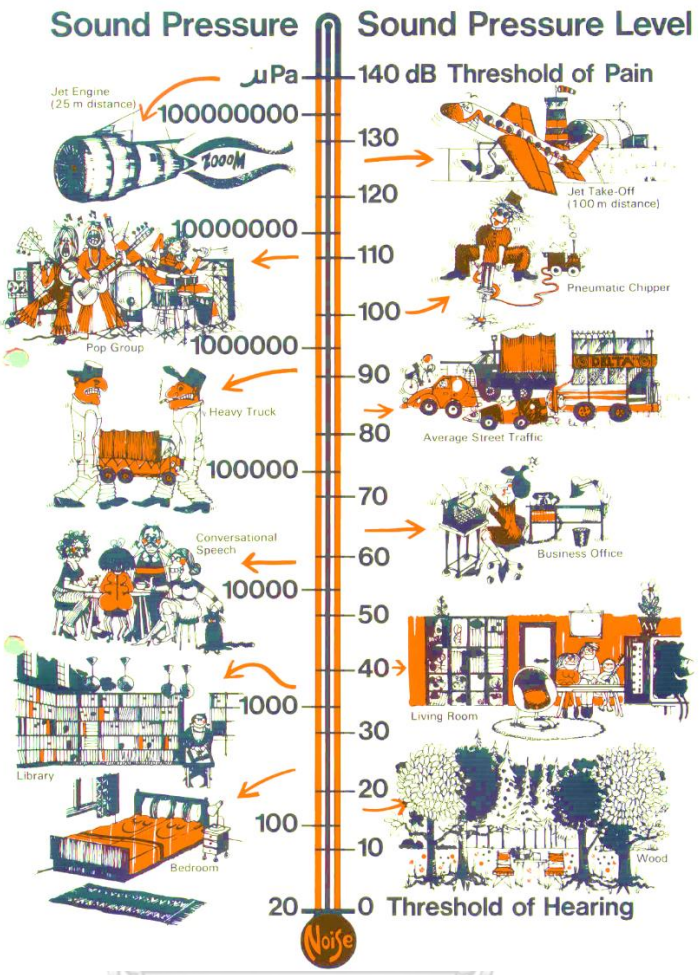
แผนภูมิ 2.1 แสดงค่าระดับเสียงต่างๆ ที่ถูกเวจท์

ที่มา: Cowan, Architectural Acoustics Design Guide

2.2.7 ความดันเสียงและระดับความดันเสียง (Sound Pressure and Sound Pressure Level)

ความดันเสียงเกิดจากค่าความดันของคลื่นเสียงที่เปลี่ยนไปเปรียบเทียบจากความดันปกติ มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือ Pascal ซึ่งความดันเสียงที่ความถี่ 1,000 Hz เป็นความดันเสียงต่ำสุดที่มนุษย์สามารถได้ยิน โดยค่าความดันอ้างอิงในการตรวจวัดระดับความดันเสียงมีหน่วยเป็น เดซิเบล :ซึ่งความดันเสียง 2×10^{-5} N/m^2 = 0 เดซิเบล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพ 2.1 เปรียบความดันเสียงและระดับความดันเสียง

ที่มา : http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/tn220A_P73_75.pdf

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.8 ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง

ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound Transmission Loss, TL) คือ ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของโครงสร้างที่วัดเป็นปริมาณ หมายความว่า จำนวนเดซิเบลของพลังงานเสียงที่สูญเสียไปเมื่อเสียงเดินทางผ่านโครงสร้าง ซึ่งค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงสามารถคำนวณได้ตามมาตรฐานของ The American Society for Testing and Materials (ASTM) E90-70T จาก “Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions” และ ISO Recommendation R140, “Field and Laboratory Measurement of Airborne and Impact Sound Transmission” 1960 ดังสมการที่ 2.4

$$TL = 10\log\frac{W_1}{W_2} = 10\log\frac{1}{\lambda} \qquad (2.4)$$

ที่ ;

TL คือ ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของโครงสร้าง (ผนัง,พื้น,ฝ้าเพดาน) มีหน่วยเป็น เดซิเบล (decibel, dB)

W_1 คือ กำลังเสียงที่ตกกระทบผนัง มีหน่วยเป็น วัตต์ (watt)

W_2 คือ กำลังเสียงที่ส่งผ่านผนัง มีหน่วยเป็น วัตต์ (watt)

λ คือ สัมประสิทธิ์ค่าความเป็นฉนวนเฉลี่ยของวัสดุที่ได้จากห้องทดลอง

λ = 1/antilog10 (TL/10)

การหาค่าเฉลี่ยรวมของการส่งผ่านเสียงในแต่ละความถี่มักมีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง จึงได้มีการกำหนดค่า Sound Transmission Class หรือ STC เพื่อใช้ในการบอกค่าการส่งผ่านเสียงที่ใกล้เคียงค่าจริง โดยค่า STC เกิดจากการนำค่า TL มาพล็อตลงในกราฟคอนทัวร์ของ STC

ค่า STC คือค่าที่ยอมให้เสียงผ่านได้ของระบบเปลือกอาคาร 4 ประเภท คือ

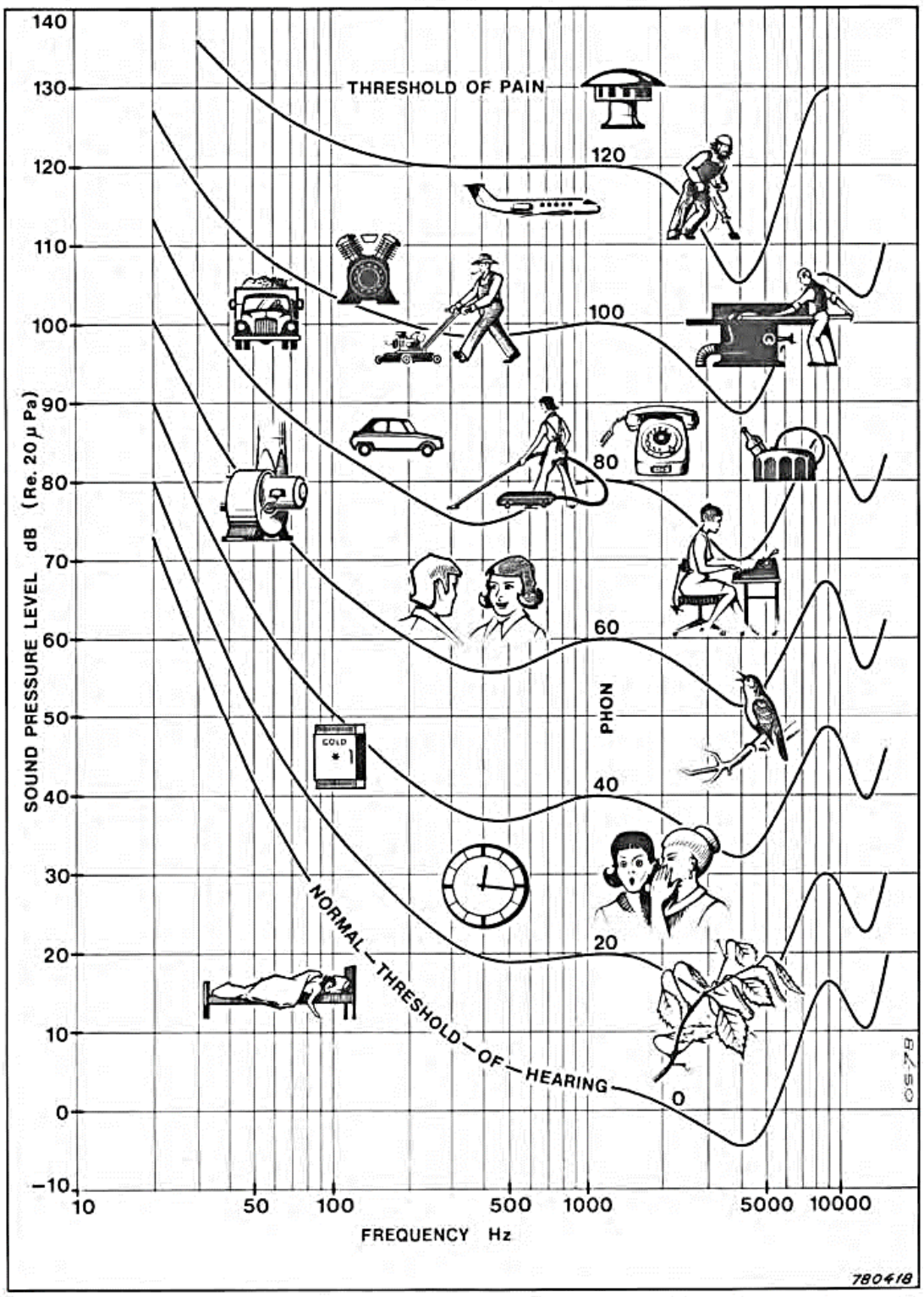
- ผนังทึบชั้นเดียว (Single Homogeneous Wall)
- ผนังสองชั้นมีช่องว่างอากาศ (Cavity Wall)
- ผนังผสม (Composite Wall)
- ผนังกรณีเปิดช่องเปิด

การรั่วซึมของผนัง เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการป้องกันเสียงรบกวนภายในอาคาร ดังนั้น ควรมีการขยายจุดต่อต่างๆ และหาแนวทางการป้องกันการรั่วซึมของเสียง เช่น การติดตั้งฉนวน เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2.9 ขอบเขตการได้ยินของมนุษย์

การได้ยินของมนุษย์เกิดจากการรับเสียงของหูแล้วประมวลผลในสมองเกิดเป็นการได้ยิน โดยระดับความดันเสียงที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้คือ 0-130 เดซิเบล ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ 20-20,000 เฮิรตซ์ แต่ความสั่นสะเทือนที่รับรู้ได้จะมีช่วงความถี่ 1-125 เฮิรตซ์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2555) ซึ่งระดับความดันเสียงที่มนุษย์สามารถรับได้โดยไม่เป็นอันตรายคือ 55-60 dB (Bronzaft and Hangler, 2010) โดยช่วงความถี่ที่หูของมนุษย์ได้ยินชัดเจน คือ 1,000-4,000 เฮิรตซ์ และสามารถรับเสียงได้ดีที่สุดในช่วงความถี่ 3,000-4,000 เฮิรตซ์ แต่มีความเสี่ยงที่จะสูญเสียการได้ยิน เนื่องจากโครงสร้างทางกายวิภาคของใบหูและช่องหูช่วยทำการขยายเสียงในช่วงความถี่นี้ (Goelzer et al., 2011)



ภาพ 2.2 ขอบเขตการได้ยินของมนุษย์

ที่มา : Bruel & Kjaer, Architectural Acoustics

โดยการสูญเสียการได้ยินแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

-การสูญเสียการไดยินแบบชั่วคราว ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่หูสัมผัสกับเสียงรบกวนที่มีระดับเสียงดังเป็นเวลา 14-16 ชั่วโมง ส่งผลให้เซลล์ขนได้กรับการกระทบกระเทือน แต่หากเสียงรบกวนสิ้นสุดลง เซลล์ขนสามารถกลับสู่สภาพเดิมได้

-การสูญเสียการไดยินแบบถาวร เกิดจากการที่หูสัมผัสกับเสียงรบกวนที่มีระดับเสียงดัง และสามารถทำการรักษาให้ได้ยินได้ดังเดิมอีกครั้ง

2.3 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ (อิลาสโทเมอริกโฟม, Elastomeric)

2.3.1 สารพอลิเมอร์ (Polymer) คือ สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ประกอบไปด้วยอะตอมจำนวนหลายร้อยอะตอม โดยสารพอลิเมอร์นั้นมีทั้งที่อยู่ตามธรรมชาติและที่เกิดจากการสังเคราะห์โดยมนุษย์ ซึ่งสารพอลิเมอร์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ได้แก่ ยางธรรมชาติ แป้ง โปรตีน และกรดนิวคลีอิค และสารพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ขึ้น ได้แก่ พอลิสไตรีน (Polystyrene) พอลิเอทีลีน (Polyethylene) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride) (กุลยา โอกาตะ et al., 2559) เอทิลีนโพรพิลีนไดอีน (Ethylene-Propylene Diene Rubber) (พงษ์ธร แซ่อุย, 2547) เป็นต้น

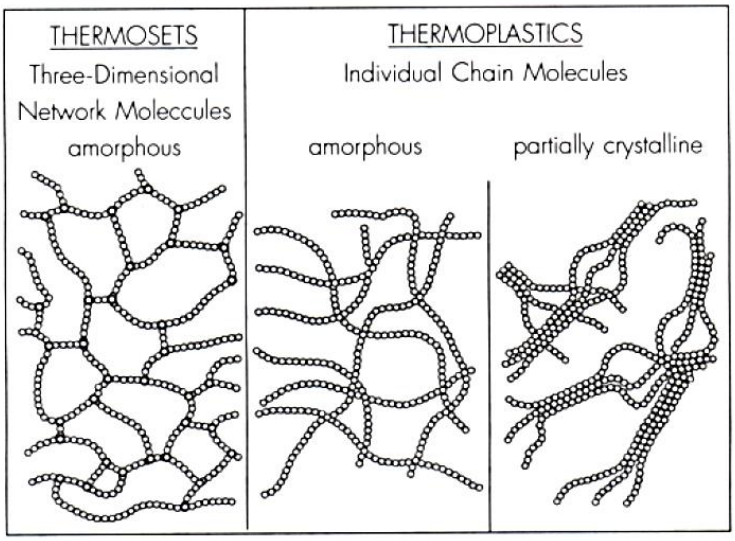
สารพอลิเมอร์แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ สารพลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์

ก.) สารพลาสติก เกิดจากโมโนเมอร์ตั้งแต่ 2 โมโนเมอร์มาทำปฏิกิริยากันแบบพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยสารพลาสติกแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ เทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซตติ้งพลาสติก

- เทอร์โมพลาสติกเป็นสารพอลิเมอร์ที่สามารถหลอมตัวได้เมื่อถูกความร้อนและแข็งตัวเมื่อเย็นลง สามารถนำมาหลอมใหม่ได้หลายครั้งโดยที่คุณสมบัติทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลง ยกตัวอย่างเช่น พอลีเอทธิลลีน (Polyethylene , PE) นำไปใช้งานเป็นฉนวนกันความร้อนและส่วนประกอบของรถยนต์ พอลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride , PVC) นำไปใช้ทำท่อน้ำ ทำฉนวนหุ้มไฟฟ้า ทำหนังเทียม รองเท้า อุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น พอลีสไตรีน (Polystyrene , PS) ใช้เป็นฉนวนในส่วนประกอบของตู้เย็นเพราะมีคุณสมบัติไม่นำไฟฟ้า พอลีพรอพีลีน (Polypropylene , PP) ใช้ในการทำแผ่นฟิล์มสำหรับหุ้มภาชนะ ถุงพลาสติกใส่ของร้อน ถังขยะ ชิ้นส่วนของตู้เย็น เป็นต้น พอลีเอสเทอร์ (Polyester) เป็นสารที่ใช้ในการทำเทปบันทึกเสียง ทำเส้นใยเสื้อผ้า เป็นต้น

- เทอร์โมเซตติ้งพลาสติก เป็นสารพอลิเมอร์ที่มีรูปทรงถาวรเมื่อผ่านกระบวนการผลิต ไม่สามารถนำกลับมาหลอมละลายหรือเปลี่ยนรูปร่างใหม่ได้อีกครั้ง เช่น อีพอกซีเร

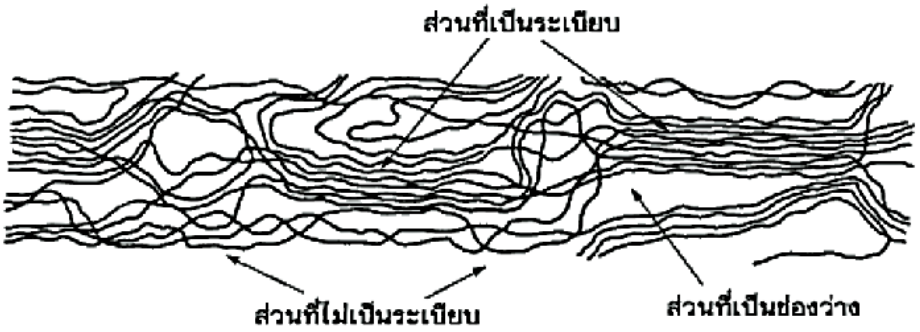
ซิน (Epoxy resin) ใช้ในการฉีดรอยรั่วต่างๆ ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เรซิน (Urea-formaldehyde resin) ทนต่อแรงดึง แรงกระแทก ดูดซึมน้ำได้เล็กน้อยและเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี พอลียูรีเธน (Polyurethane) ใช้ทำโฟมชนิดยืดหยุ่นและโฟมชนิดแข็ง จึงใช้เป็นฉนวนในกระติกน้ำแข็ง ทำน้ำยาเคลือบผิววัสดุป้องกันการขีดข่วน เป็นต้น



ภาพ 2.3 ความแตกต่างโครงสร้างโมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติ้งพลาสติก
ที่มา : http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM103(50)/CM103-13(50).pdf

ก.) เส้นใยสังเคราะห์ เกิดจากการสังเคราะห์สารอินทรีย์ 2 ชนิด คือ อะมีนและกรดคาร์บอกซิลิก โดยมีการนำเส้นใยสังเคราะห์ไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ เรยอน (Rayon) ซึ่งได้จากการนำเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับกรดแอซีติกในกรดซัลฟิวริก โดยนำเรยอนไปใช้งานทำผ้าตัดเสื้อ เส้นใยสังเคราะห์อีกชนิดหนึ่งคือ ไนลอน (Nylon) ซึ่งพัฒนามาจากการสังเคราะห์ยาง นำไปใช้แทนผ้าไหมทำเสื้อ ทำพรม เป็นต้น การจัดเรียงตัวของเส้นใยมีทั้งรูปแบบที่ไม่เป็นระเบียบและเป็นระเบียบ โดยที่การจัดเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบจะเป็นส่วนที่ย้อมสีติดง่ายแต่ไม่แข็งแรง ส่วนรูปแบบการเรียงตัวของเส้นใยที่เป็นระเบียบจะมีความแข็งแรงแต่ย้อมสีไม่ติด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพ 2.4 แสดงลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยส่วนที่เป็นระเบียบ (ที่จัดเรียงตัวตามแนวแกนของเส้นใย) ส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ และส่วนที่เป็นช่องว่าง

ที่มา : http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM103(50)/CM103-13(50).pdf

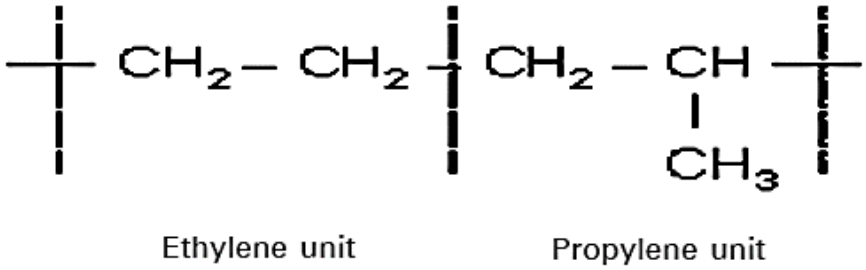
ข.) ยางธรรมชาติ เป็นสารพอลิเมอร์ที่ได้มาจากยางของต้นไม้ ซึ่งมีลักษณะสีขาวเหมือนน้ำนม มีความหนืด 12-15 cemtipios มีเนื้อยางผสมประมาณ 25-40% มีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีประโยชน์ในการใช้งานน้อย เนื่องจากจะเกิดความเหนียวเมื่ออากาศร้อนและเปราะ แตกง่ายเมื่ออากาศเย็นลง

ค.) ยางสังเคราะห์ เกิดจากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันให้โมเลกุลใหญ่ ซึ่งวัตถุดิบในการผลิตยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ผลิตจากปิโตเลียม เช่น ยางบิวตาไดอีน (Butadiene) เกิดจากสารโมโนเมอร์ของสารบิวตาไดอีนมาต่อกันหลายโมเลกุล ยางเอสบีอาร์ (Styrene butadiene rubber , SBR) เกิดจากการผสมของ styrene 25 % และ butadiene 75 % สารพอลิเมอร์ชนิดนี้มีความยืดหยุ่นและทนต่อการแตกสลายได้ดี โดยส่วนใหญ่ใช้ทำอุปกรณ์กีฬาและผสมทำยางรถยนต์ ยางไนไตรล์บิวตาไดอีน (Nitrile butadiene rubber, NBR) เป็นสารประกอบของไนไตรล์และบิวตาไดอีนมาผสมกัน ยางชนิดนี้มีคุณสมบัติในการทนต่อน้ำมัน (พิทยา และคณะ, 2559) ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนหรือยาง EPDM (ethylene-propylene diene rubber) (พงษ์ธร แซ่อุย, 2547)

2.3.2 ฉนวนยางดำ (อิลาสโทเมอริกโฟม, Elastomeric) เกิดจากการสังเคราะห์ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนหรือยาง EPDM (ethylene-propylene diene rubber) ซึ่งยาง EPDM เกิดจากการทำปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชันระหว่างโมโนเมอร์ของเอทิลีน (ethylene) โพรพิลีน (propylene) และเติมไดอีน (diene) ลงไปในระหว่างการทำปฏิกิริยา ทำให้เกิดยาง EPDM ที่สามารถคงรูปได้ด้วยกำมะถัน ซึ่งยาง EPDM มีคุณสมบัติที่ทนต่อการเสื่อมสภาพจากอากาศ ออกซิเจน โอโซน แสงแดด และความร้อนได้ดี นอกจากนี้ยังทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากสารเคมี กรด และด่างได้ดีอีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

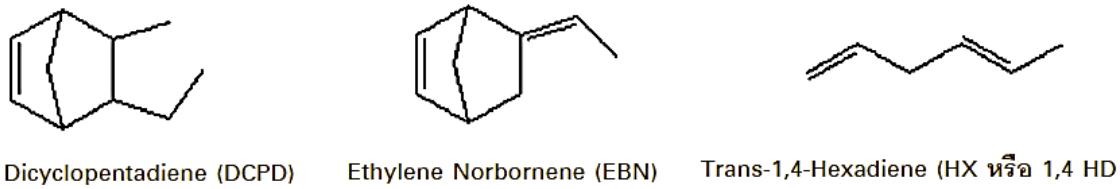
ยาง EPDM ถูกใช้ในการผลิตท่อยางของเครื่องซักผ้า ฉนวนหุ้มสายเคเบิล ฉนวนยางดำ เป็นต้น (พงษ์ธร แซ่อุย, 2547)



ภาพ 2.5 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยาง EPDM

ที่มา : https://oer.learn.in.th

ยาง EPDM มีหลายเกรด โดยแต่ละเกรดจะแตกต่างกันที่สัดส่วนของเอทิลีนและโพรพิลีน รวมไปถึงปริมาณของไดอีน ซึ่งโดยทั่วไปยาง EPDM จะมีเอทิลีนอยู่ 45-85%โมล และปริมาณของไดอีนอยู่ในช่วง 3-11%โมล โดยไดอีนที่ใช้ในการสังเคราะห์มีอยู่ 3 ชนิดที่ใช้งานกันโดยทั่วไป คือ Dicyclopentadiene (DCPD), Ethylidene Norbornene และ trans-1,4-hexadiene (1,4 HD) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังภาพ 2.6 โดย ENB เป็นไดอีนชนิดที่ใช้งานกันมากที่สุด เพราะจะทำให้โมเลกุลของยางว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาคงรูปด้วยกำมะถัน (surfur vulcanization) (พงษ์ธร แซ่อุย, 2547)



ภาพ 2.6 สูตรโครงสร้างของไดอีนที่มีอยู่ในยางอีพีดีเอ็ม

ที่มา : https://oer.learn.in.th

2.4 เกณฑ์และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเสียงภายในอาคาร

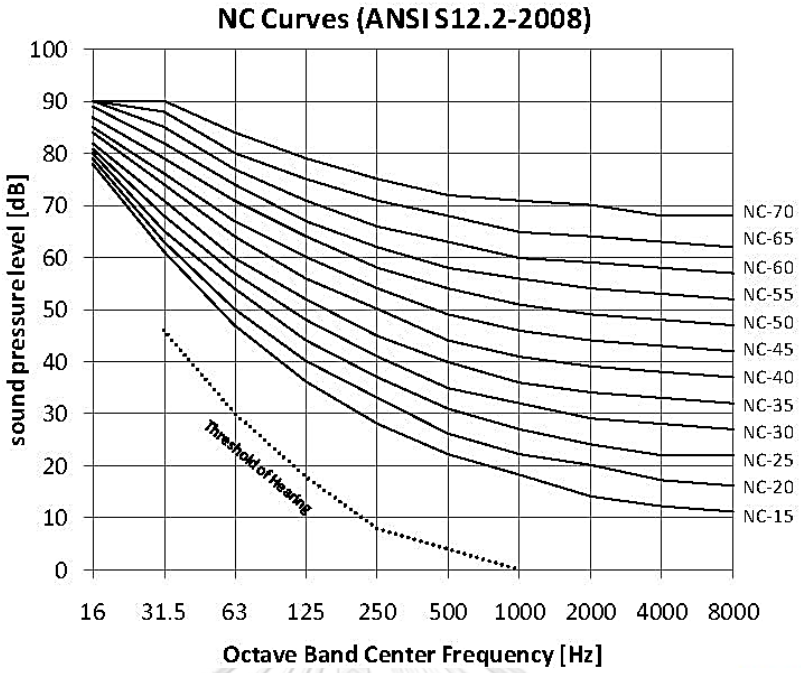
2.4.1 เกณฑ์ของเสียงรบกวน (Noise Criteria)

เกณฑ์ระดับเสียงในการใช้งานอาคารแต่ละประเภทถูกกำหนดด้วยค่าดัชนี Noise Criteria (NC) หรือ Noise Rating (NR) โดยดัชนี NC ใช้ในสหรัฐอเมริกา ส่วนดัชนี NR ใช้ในยุโรป ซึ่งทั้ง NC และ NR มีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงในตาราง 2.4 มาตรฐานระดับเสียงกำหนดขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่ใช้สอยในอาคารในแต่ละย่านความถี่ของเสียง ดังแผนภูมิ 2.2 และ 2.3

ตาราง 2.4 แสดงการเปรียบเทียบค่า NC และ NR สำหรับพื้นที่ใช้สอยในอาคารแต่ละประเภท

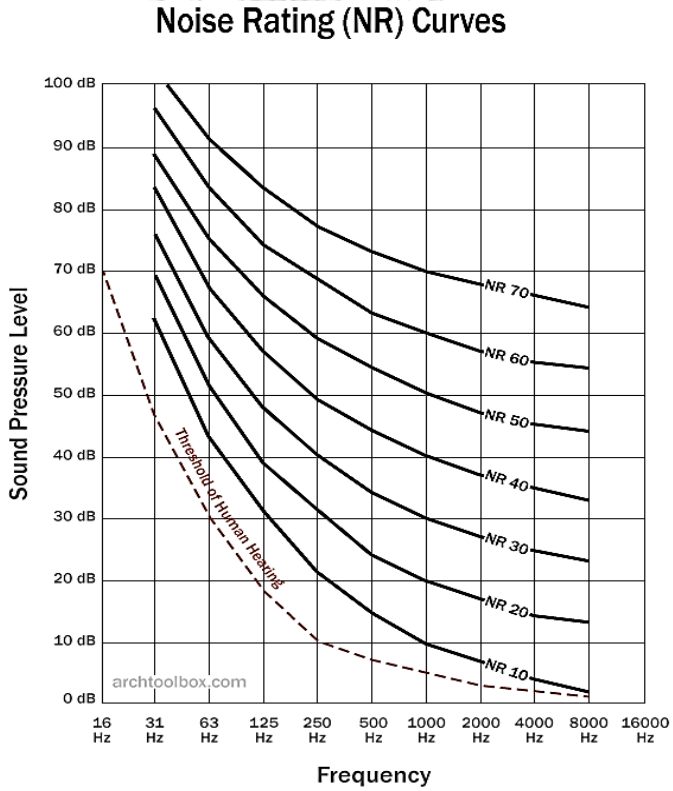
ชนิดห้อง		Noise Criteria NC	Noise Rating NR	dB(A)
เงียบมาก	ห้องแสดงคอนเสริตและโอเปร่า ห้องอัดเสียง โรงภาพยนต์ ฯลฯ	10-20	20	25-30
	ห้องนอนส่วนตัว โรงละคร ห้องอัดรายการโทรทัศน์และวิทยุ ห้องประชุมและห้องเรียนโบสถ์ขนาดใหญ่ ห้องสมุด ฯลฯ	20-25	25	25-30
	ห้องนั่งเล่นส่วนตัว ห้องประชุมและห้องเรียน ห้องนอนในโรงแรม	30-40	30	30-35
เงียบ	ห้องสาธารณะในโรงแรม ห้องทำงาน ห้องเรียน ห้องพิพากษา	30-40	35	40-45
เสียงดัง	ห้องเขียบแบบ ห้องสุขา ห้องน้ำ ห้องโถงรับแขก ทางเดิน ห้างสรรพสินค้า	35-45	40	45-55
เสียงดังมาก	ห้องครัวในโรงพยาบาลและโรงแรม ห้องซักรีด ห้องคอมพิวเตอร์ โรงอาหาร ซูปเปอร์มาร์เกต สำนักงาน พื้นที่นอกอาคาร	40-50	45	45-55

(ที่มา : http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/ENV/CH7.pdf)



แผนภูมิ 2.2 แสดง NC Curves ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดันเสียงต่อย่านความถี่ของเสียง

ที่มา : https://web.iit.edu/



แผนภูมิ 2.3 แสดง NR Curves ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดันเสียงต่อย่านความถี่ของเสียง

ที่มา : https://www.archtoolbox.com/

2.4.2 ระดับเสียงสูงที่สุดที่สามารถรับได้ของห้องแต่ละประเภท (Maximum Sound Pressure Levels in Rooms)

ระดับเสียงในการใช้งานของอาคารหรือห้องแต่ละประเภทจะมีระดับเสียงสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ อ้างอิงจากมาตรฐาน ANSI/ASA S12.2-2008 ดังตาราง 2.5

ตาราง 2.5 ระดับเสียงสูงที่สุดที่สามารถรับได้ของห้องแต่ละประเภท

ประเภทของห้อง	Recommended NC Level	ระดับความดันเสียง (dBA)
ห้องบันทึกเสียง	15-20	25-30
ห้องจัดแสดงคอนเสิร์ต	15-20	25-30
ห้องประชุมขนาดเล็ก (≤500 ที่นั่ง)	25-30	35-39
ห้องประชุมขนาดใหญ่ (>500 ที่นั่ง)	20-25	30-35
ห้องออกอากาศทางโทรทัศน์	15-25	16-35
โรงละคร (Legitimate theaters)	20-25	30-35
โรงภาพยนตร์	30-40	39-48
โบสถ์ขนาดเล็ก	30-35	39-44
โบสถ์ขนาดใหญ่	20-25	30-35
ห้องพิจารณาคดี	30-40	39-44
ห้องสมุด	35-40	44-48
ร้านอาหาร	40-45	48-52
บ้านพักส่วนตัว		
- ห้องนอน	25-30	35-39
- อะพาร์ตเมนต์	30-40	39-48
- ห้องสำหรับครอบครัวและห้องนั่งเล่น	30-40	39-48

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 2.5 (ต่อ) ระดับเสียงสูงที่สุดที่สามารถรับได้ของห้องแต่ละประเภท

ประเภทของห้อง	Recommended NC Level	ระดับความดันเสียง (dBA)
โรงแรม		
- ห้องพักแบบส่วนตัวหรือห้องชุด	30-35	39-44
- ห้องประชุมหรือห้องจัดเลี้ยง	25-35	35-44
- ห้องฝ่ายบริการลูกค้า	40-50	48-57
สำนักงาน		
- ห้องประชุมขนาดใหญ่	25-30	35-39
- พื้นที่เปิดโล่ง	35-40	44-48
- ห้องคอมพิวเตอร์หรือเครื่องใช้สำนักงาน	40-45	48-53
โรงพยาบาลและคลินิก		
- ห้องพักส่วนตัว	25-30	35-39
- ห้องผ่าตัด	25-35	35-44
- พื้นที่สาธารณะ	40-45	48-52
โรงเรียน		
- ห้องบรรยายและห้องเรียน < 566 ลูกบาศก์เมตร	25-30	35
- ห้องเรียนแบบเปิดโล่ง	25-30	35

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5 ฝน (Rain)

ในทางอุตุนิยมวิทยา Rain Intensity (I) คือ ตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการอธิบายเกี่ยวกับฝนและปริมาณของปริมาณฝนที่ตกลงมาในเวลา 1 ชั่วโมง โดยจำแนกประเภทของฝนออกเป็น ฝนตกเล็กน้อย ปานกลาง หนักและรุนแรง ตามปริมาณของฝน 0–2 mm/h, 2–10 mm/h, 10–50 mm/h และมากกว่า 50 mm/h ตามลำดับ ซึ่งการกระจายตัวของเม็ดฝนมีความสัมพันธ์กันกับ Rain Intensity ดังสมการ 2.4

$$N(D) = N_0 \times e^{-4.1 I^{-0.21} D} \qquad (2.4)$$

ที่ ;

$N(D)$ คือ จำนวนเม็ดฝนในปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร มีหน่วยเป็น $m^{-3}mm^{-1}$

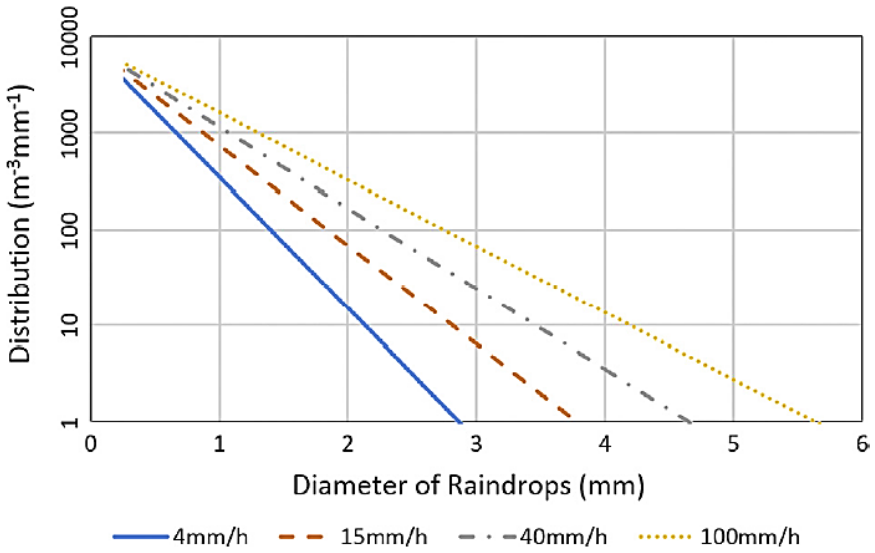
N_0 คือ ค่าคงที่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8000 $m^{-3}mm^{-1}$

I คือ Rain Intensity มีหน่วยเป็น mm/h

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดฝน มีหน่วยเป็น mm

โดยขนาดของเม็ดฝนจะเป็นตัวกำหนดความเร็วของเม็ดฝนในขณะที่ตกกระทบพื้น ซึ่งเรียกความเร็วชนิดนี้ว่า ความเร็วปลาย (Terminal Velocity) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s) เมื่อฝนตกลงมาจากฟ้า แรงโน้มถ่วงทำให้ความเร็วของเม็ดฝนเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม หลังจากที่ความต้านทานอากาศมีค่าเท่ากับแรงโน้มถ่วง ความเร็วของเม็ดฝนจะเป็นค่าคงที่จนกระทั่งเม็ดฝนตกกระทบพื้น เพราะว่าความต้านทานอากาศเป็นสัดส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดฝนยกกำลังสองและความเร็วของเม็ดฝนยกกำลังสอง โดยที่ความเร็วปลายของเม็ดฝนขนาดใหญ่จะมีค่ามากกว่าเม็ดฝนขนาดเล็ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

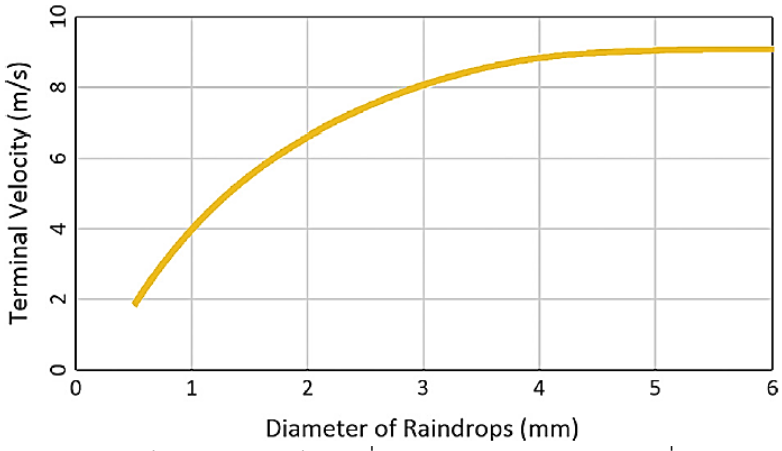


แผนภูมิ 2.4 แสดงการกระจายตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดฝนใน Rain Intensity ที่ต่างกัน

ที่มา : Yan Xiang, Lu Shuai และ Li Junjie, Experimental studies on the rain noise of lightweight roofs: Natural rains vs artificial rains

เมื่อพิจารณาพลังงานจลน์ของเม็ดฝนด้วย จะพบว่า พลังงานจลน์เป็นสัดส่วนกับมวลและความเร็วของเม็ดฝนยกกำลังสอง พลังงานจลน์ต่อมวลของเม็ดฝนขนาดใหญ่มีค่ามากกว่าเม็ดฝนขนาดเล็กเมื่อเม็ดฝนตกกระทบพื้น นอกเหนือจากขนาดของเม็ดฝนแล้ว ลมก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยของความเร็วปลายเม็ดฝน ซึ่งไม่เพียงแค่ส่งผลต่อความเร็วเม็ดฝน แต่ยังเปลี่ยนแปลงทิศทางของเม็ดฝนด้วย

ดังนั้น เม็ดฝนที่มีขนาดเท่ากันจะมีพลังงานจลน์ขณะกระทบพื้นที่ต่างกันเมื่อมีเรื่องความเร็วลมเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งความเร็วลมเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว พลังงานจลน์ของเม็ดฝนเมื่อกระทบพื้นมีความไม่แน่นอนอย่างมีนัยสำคัญโดยแรงลมส่งผลเป็นอย่างมากต่อเม็ดฝนที่มีขนาดเล็กลงและทำให้พลังงานจลน์ของเม็ดฝนมีความไม่แน่นอนมากขึ้น



แผนภูมิ 2.5 แสดงความเร็วปลายของเม็ดฝนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกันตามทฤษฎี
ที่มา : Yan Xiang, Lu Shuai และ Li Junjie, Experimental studies on the rain noise of lightweight roofs: Natural rains
vs artificial rains

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1) Experimental studies on the rain noise of lightweight roofs: Natural rains vs artificial rains : Yan Xiang, Lu Shuai, Li Junjie

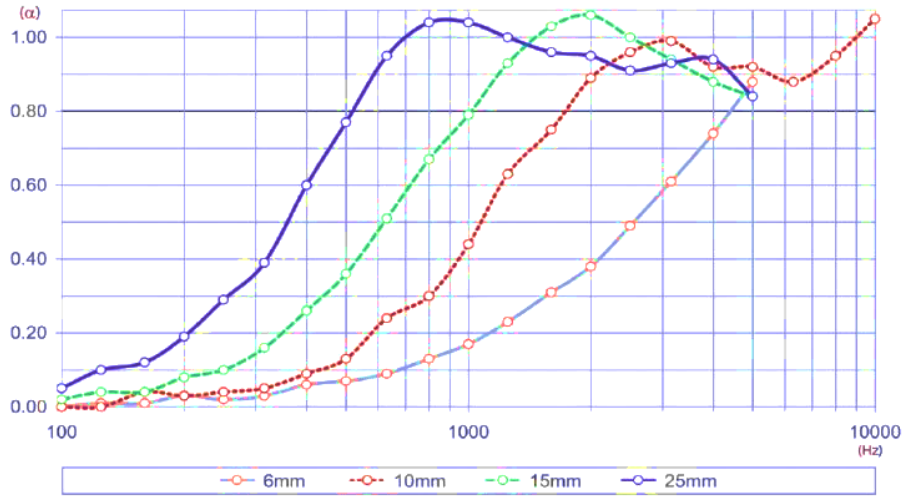
การศึกษาเสียงรบกวนที่เกิดจากฝนของหลังคาชนิดเบาโดยใช้ฝนประดิษฐ์และฝนธรรมชาติ โดยทำการสร้างเสียงรบกวนจากฝนประดิษฐ์ตามมาตรฐาน ISO 140-18: 2006 ซึ่งใช้กระบะขนาดกว้าง 1.25 เมตร ยาว 1.30 เมตร เจาะรูสม่ำเสมอทั่วทั้งกระบะ วางสูงเหนือหลังคาเป็นระยะ 3.5 เมตร และส่งน้ำผ่านเครื่องสูบน้ำไหลลงกระบะตกลงบนแผ่นหลังคาเพื่อสร้างเสียงรบกวนที่เกิดจากฝนที่ตกหนัก เปรียบเทียบกับเสียงรบกวนที่เกิดจากฝนธรรมชาติ ผลการศึกษาสรุปได้ว่า การใช้เสียงจากฝนประดิษฐ์นั้นเป็นประโยชน์ในการนำมาใช้งานได้จริงมากกว่าใช้ฝนธรรมชาติ เนื่องจากว่าฝนธรรมชาติไม่สามารถควบคุม ขนาดเม็ดฝน ความหนาแน่นของฝน (Rain Intensity) ลม และปัจจัยอื่นๆภายนอกได้

2.6.2) Multifunctional Thermal and Acoustical Solutions : Dr. Mark Swift

วัสดุฉนวนที่มีลักษณะยืดหยุ่นได้ผลิตขึ้นจากยางสังเคราะห์ โดยอิลาสโทเมอริกโฟม หรือฉนวนยางดำ เป็นวัสดุฉนวนกันความร้อนและฉนวนกันเสียงที่สามารถติดตั้งได้กับวัสดุทุกประเภท โดยส่วนใหญ่จะติดตั้งกับวัสดุประเภทท่อเพื่อป้องกันเสียงรบกวนที่จะเกิดขึ้น ต่อได้มาการพัฒนาคุณสมบัติของฉนวนยางดำให้ดียิ่งขึ้น และได้ทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ฉนวนยางดำตามมาตรฐาน ISO 354 โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับเสียงมีค่าไม่เกิน 1 หากค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับเสียงมีค่ามาก แสดงว่าฉนวนยางดำมีความสามารถในการดูดซับเสียงได้มาก ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังแผนภูมิ 2.6



แผนภูมิ 2.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของฉนวนยางดำในแต่ละความหนา
ที่มา : Thermo-acoustic properties of elastomeric pipeline insulation, Mark Swift and Kirill V. Horoshenkov

จากผลการทดสอบพบว่า ฉนวนยางดำที่ความหนา 25 มิลลิเมตรมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเท่ากับ 0.8 ที่ความถี่ 500 Hz และมีค่าเข้าใกล้ 1 ที่ความถี่ 700 Hz ในขณะที่ฉนวนยางดำที่ความหนา 6, 10 และ 15 มิลลิเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเท่ากับ 0.8 ที่ความถี่ 4000, 2000 และ 1000 Hz ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ฉนวนยางดำที่ความหนา 25 มิลลิเมตร มีความสามารถในการกันเสียงได้ดีกว่าความหนาอื่นๆ

2.6.3) A hybrid elastomeric foam-core/solid-shell spherical structure for enhanced energy absorption performance : Baoxing Xu, Weizhu Yang and Zhufeng Yue

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอโครงสร้างการดูดซึมพลังงานในรูปแบบของวัสดุที่มีแกนกลางอยู่ในสถานะโฟมและผิวภายนอกอยู่ในสถานะของแข็งทรงกลม (FSS) ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบใหม่ โดยที่แกนโฟมภายในเปลี่ยนแปลงรูปแบบเป็นขนาดใหญ่จากโครงสร้างโฟมเดิม และผิวภายนอกมีลักษณะเป็นของแข็งที่บาง ซึ่งจะทำให้มีความแข็งแรงสูงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการดูดกลืนพลังงานสูงในโครงสร้าง FSS แบบจำลองทางทฤษฎีได้รับการพัฒนาเพื่อศึกษาลักษณะโมดูลัสยืดหยุ่นและพฤติกรรมการโค้งงอของโครงสร้างภายใต้แรงอัด และวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย Finite Element

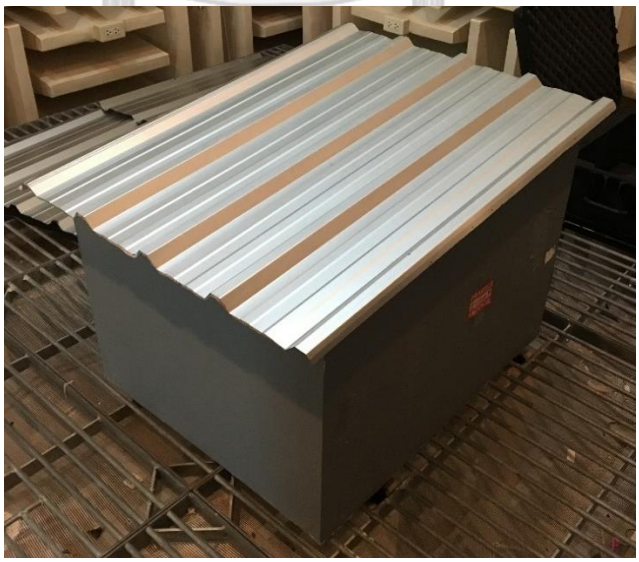
Analysis (FEA) นอกจากนี้ ประสิทธิภาพในการดูดซับพลังงานและแรงกระตุ้นในการดูดกลืนพลังงานมีความสัมพันธ์กับกลไกการเปลี่ยนรูปและค่าทางเรขาคณิตของโครงสร้าง FSS ทั้งในการคำนวณเชิงตัวเลขและทฤษฎี แสดงให้เห็นว่า วัสดุที่มีผิวภายนอกที่อยู่ในสถานะของแข็งและมีลักษณะบางล้อมรอบโครงสร้างโฟมภายในจะช่วยเพิ่มความสามารถการดูดซับพลังงานให้มีประสิทธิภาพสูง

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการพัฒนาวัสดุฉนวนยางดำข้างต้น พบว่า ฉนวนยางดำมีความสามารถในการเป็นฉนวนกันเสียงที่ดี และยังสามารถติดตั้งได้กับอุปกรณ์หลายประเภท จึงได้ทำการศึกษานำร่อง (Pilot study) ทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของฉนวน PE ฉนวนโฟม PU และฉนวนยางดำ โดยมีวิธีดำเนินการทดสอบดังหัวข้อที่ 2.7

2.7 การศึกษานำร่อง (Pilot study) : ทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของฉนวน PE ฉนวนโฟม PU และฉนวนยางดำ

2.7.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ่นด้วยฉนวนโฟม PU และแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ

1) สร้างกล่องทดสอบขนาดความกว้าง 0.70 เมตร ความยาว 0.84 เมตร และความสูง 0.55 เมตร โดยใช้แผ่นยิปซัมที่มีความหนา 9 มิลลิเมตร ภายในกล่องทดสอบบุด้วยฉนวนใยแก้วความหนา 6 นิ้ว เพื่อป้องกันเสียงสะท้อนภายในกล่องทดสอบ

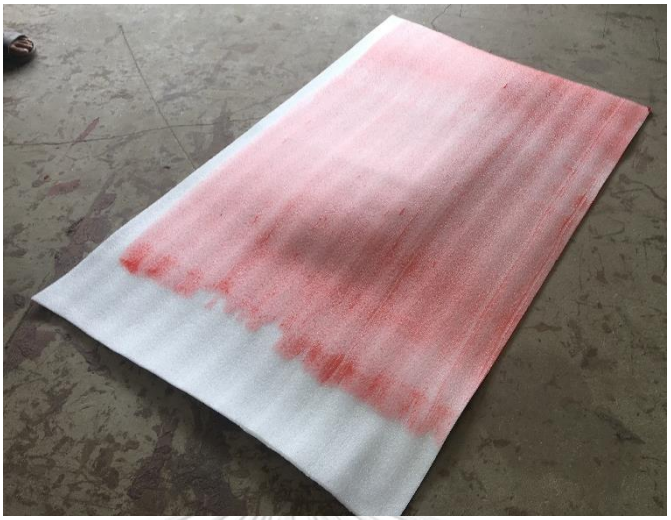


ภาพ 2.7 กล่องทดสอบในการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของฉนวนแต่ละชนิดที่ใช้กับแผ่นเหล็กมุงหลังคา

ที่มา : ถ่ายโดยผู้วิจัย วันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2561

2) เตรียมชิ้นงานแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดลอนขนาดกว้าง 0.80 เมตร ยาว 1.00 เมตร

3) ขึ้นรูปแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE ความหนา 5 มิลลิเมตร



ภาพ 2.8 ฉนวน PE ทาด้วยกาวก่อนรีดติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา

ที่มา : ถ่ายโดยผู้วิจัย วันที่ 24 มกราคม 2561

ภาพ 2.9 การรีดฉนวน PE ติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยใช้เครื่องรีด

ที่มา : ถ่ายโดยผู้วิจัย วันที่ 24 มกราคม 2561

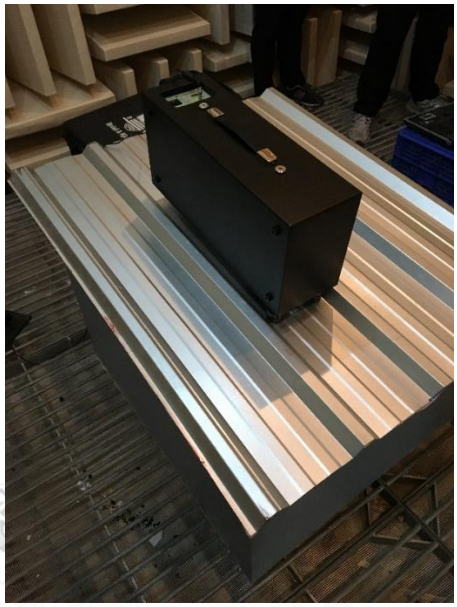
4) ขึ้นรูปแผ่นเหล็กมุงหลังคาติดด้วยฉนวนโฟม PU ด้วยวิธีการพ่น ความหนา 25 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาน้อยที่สุดที่สามารถพ่นได้ สำหรับการใช้งานกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา

5) ขึ้นรูปแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ ความหนา 25 มิลลิเมตร

2.7.2 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ่นด้วยฉนวนโฟม PU และแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ

1) ทำการทดสอบคุณสมบัติทางเสียงโดยแบ่งตามรูปแบบ ดังนี้

- นำแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE วางพาดบนกล่องทดสอบ



ภาพ 2.10 แสดงการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE
ที่มา : ถ่ายโดยผู้วิจัย วันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2561

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- นำแผ่นเหล็กมุงหลังคาพ้นติดด้วยฉนวนโฟม PU วางพาดบนกล่องทดสอบ
- นำแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ วางพาดบนกล่องทดสอบ

2) วางไมโครโฟนบริเวณกึ่งกลางของกล่องทดสอบ สูงจากพื้น 35 เซนติเมตร

ภาพ 2.11 การวางไมโครโฟนในกล่องทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของฉนวนแต่ละชนิดที่ใช้งานกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา

ที่มา : ถ่ายโดยผู้วิจัย วันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2561

3) ทำการสร้างเสียงรบกวนโดยใช้เครื่องมือ Tapping Machine ตามมาตรฐาน ASTM E1007-14 เคาะบนแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ติดฉนวนแต่ละชนิด

ภาพ 2.12 เครื่อง Tapping Machine

ที่มารูปภาพ http://www.bksv.com สืบค้นวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2561

4) ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยวิธีแยกความถี่ 1/3 Octave

2.7.3 ขั้นตอนการแปลงผลข้อมูลของการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ่นด้วยฉนวนโฟม PU และแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ

ข้อมูลคุณสมบัติในการกันเสียงที่ได้จากการทดสอบโดยวิธี Tapping Machine Impact Noise คือค่าระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level) โดยแจกแจงรายละเอียดในแต่ละช่วงความถี่ของคลื่นเสียง อยู่ในชุดข้อมูลทั้งหมด 28 ข้อมูล ต่อหนึ่งรูปแบบการทดสอบ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (1)

$$L_p = 10\log(\frac{P}{P_{ref}})^2 \qquad (1)$$

ที่ ;

L_p คือ ค่าระดับความดันเสียง มีหน่วยเป็น เดซิเบล (dB)

P คือ ความดันเสียง มีหน่วยเป็น ปาสคาล

P_{ref} คือ ความดันเสียงอ้างอิง ซึ่งเท่ากับ 2 x 10^{-5} ปาสคาล หรือเท่ากับ 20 mPa

ซึ่งในการทำการทดสอบ 1 ครั้ง ใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 30 วินาที ซึ่งจะมีค่าระดับความดันเสียงที่คงที่ 1 ค่า ในระยะเวลา 30 วินาที หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียง (Overall dBA) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$L_{eq,T} = 10\log[\frac{1}{T}\sum_{i=1}^{n} t_i 10^{\frac{L_i}{10}}] \qquad (2)$$

ที่ ;

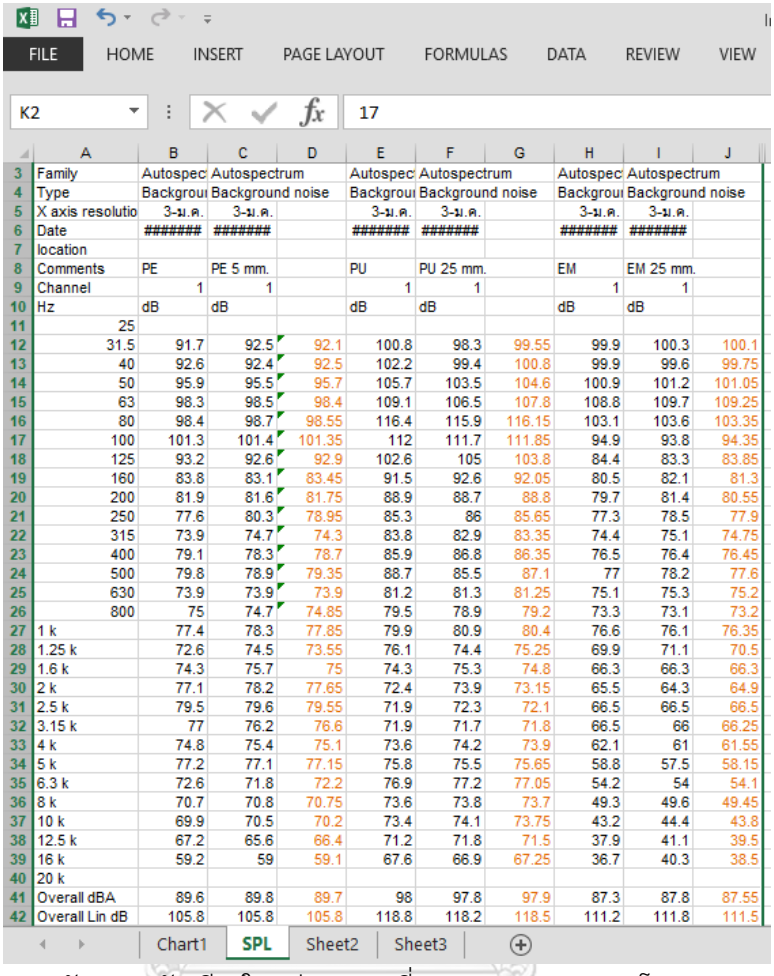
T คือ ช่วงเวลาทั้งหมด

t_i คือ ช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด $(\sum t_i = T)$

L_i คือ ระดับเสียงที่ตรวจวัดได้ในช่วงเวลา t_i

โดยข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะแสดงผลในโปรแกรม Microsoft Excel ดังภาพ 2.13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
3	Family	Autospec	Autospectrum		Autospec	Autospectrum		Autospec	Autospectrum	
4	Type	Backgrou	Background noise		Backgrou	Background noise		Backgrou	Background noise	
5	X axis resolutio	3-ม.ค.	3-ม.ค.		3-ม.ค.	3-ม.ค.		3-ม.ค.	3-ม.ค.	
6	Date	#######	#######		#######	#######		#######	#######	
7	location									
8	Comments	PE	PE 5 mm.		PU	PU 25 mm.		EM	EM 25 mm.	
9	Channel	1	1		1	1		1	1	
10	Hz	dB	dB		dB	dB		dB	dB	
11	25									
12	31.5	91.7	92.5	92.1	100.8	98.3	99.55	99.9	100.3	100.1
13	40	92.6	92.4	92.5	102.2	99.4	100.8	99.9	99.6	99.75
14	50	95.9	95.5	95.7	105.7	103.5	104.6	100.9	101.2	101.05
15	63	98.3	98.5	98.4	109.1	106.5	107.8	108.8	109.7	109.25
16	80	98.4	98.7	98.55	116.4	115.9	116.15	103.1	103.6	103.35
17	100	101.3	101.4	101.35	112	111.7	111.85	94.9	93.8	94.35
18	125	93.2	92.6	92.9	102.6	105	103.8	84.4	83.3	83.85
19	160	83.8	83.1	83.45	91.5	92.6	92.05	80.5	82.1	81.3
20	200	81.9	81.6	81.75	88.9	88.7	88.8	79.7	81.4	80.55
21	250	77.6	80.3	78.95	85.3	86	85.65	77.3	78.5	77.9
22	315	73.9	74.7	74.3	83.8	82.9	83.35	74.4	75.1	74.75
23	400	79.1	78.3	78.7	85.9	86.8	86.35	76.5	76.4	76.45
24	500	79.8	78.9	79.35	88.7	85.5	87.1	77	78.2	77.6
25	630	73.9	73.9	73.9	81.2	81.3	81.25	75.1	75.3	75.2
26	800	75	74.7	74.85	79.5	78.9	79.2	73.3	73.1	73.2
27	1 k	77.4	78.3	77.85	79.9	80.9	80.4	76.6	76.1	76.35
28	1.25 k	72.6	74.5	73.55	76.1	74.4	75.25	69.9	71.1	70.5
29	1.6 k	74.3	75.7	75	74.3	75.3	74.8	66.3	66.3	66.3
30	2 k	77.1	78.2	77.65	72.4	73.9	73.15	65.5	64.3	64.9
31	2.5 k	79.5	79.6	79.55	71.9	72.3	72.1	66.5	66.5	66.5
32	3.15 k	77	76.2	76.6	71.9	71.7	71.8	66.5	66	66.25
33	4 k	74.8	75.4	75.1	73.6	74.2	73.9	62.1	61	61.55
34	5 k	77.2	77.1	77.15	75.8	75.5	75.65	58.8	57.5	58.15
35	6.3 k	72.6	71.8	72.2	76.9	77.2	77.05	54.2	54	54.1
36	8 k	70.7	70.8	70.75	73.6	73.8	73.7	49.3	49.6	49.45
37	10 k	69.9	70.5	70.2	73.4	74.1	73.75	43.2	44.4	43.8
38	12.5 k	67.2	65.6	66.4	71.2	71.8	71.5	37.9	41.1	39.5
39	16 k	59.2	59	59.1	67.6	66.9	67.25	36.7	40.3	38.5
40	20 k									
41	Overall dBA	89.6	89.8	89.7	98	97.8	97.9	87.3	87.8	87.55
42	Overall Lin dB	105.8	105.8	105.8	118.8	118.2	118.5	111.2	111.8	111.5

ภาพ 2.13 แสดงระดับความดันเสียงในแต่ละความถี่ของฉนวน PE ฉนวนโฟม PU และฉนวนยางดำ

ที่มา : จัดทำโดยผู้วิจัย วันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2561

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ่นด้วยฉนวนโฟม PU และแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ

จากการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ่นด้วยฉนวนโฟม PU และแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ ผ่านการประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้ชุดข้อมูลค่าระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level) ที่เป็นอัตราส่วนเปรียบเทียบกับค่าระดับความดันเสียงความถี่ตั้งแต่ 31.5 – 16000 Hz ซึ่งเป็นความถี่ที่วัดได้จากมาตรวัดระดับเสียงในหน่วย เดซิเบลเอ (dBA) และได้ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงของวัสดุพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด (Overall dBA) โดยค่าระดับความดันเสียงที่วัดได้ภายในกล่องทดสอบนั้น หากมีค่าน้อยหมายความว่าฉนวนที่ติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคามีคุณสมบัติที่สามารถกันเสียงได้มาก แต่หากมีค่ามากหมายความว่าฉนวนที่ติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคามีคุณสมบัติที่สามารถกันเสียงได้น้อย ซึ่งแสดงในตาราง 2.6

ตาราง 2.6 ค่าระดับความดันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ่นด้วยฉนวนโฟม PU และแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ

Frequency (Hz)	Sound Pressure Level (dBA)		
	PE	PU	ฉนวนยางดำ
31.5	92.1	99.55	100.1
40	92.5	100.8	99.75
50	95.7	104.6	101.05
63	98.4	107.8	109.25
80	98.55	116.15	103.35
100	101.35	111.85	94.35
125	92.9	103.8	83.85
160	83.45	92.05	81.3
200	81.75	88.8	80.55
250	78.95	85.65	77.9
315	74.3	83.35	74.75
400	78.7	86.35	76.45
500	79.35	87.1	77.6
630	73.9	81.25	75.2
800	74.85	79.2	73.2
1000	77.85	80.4	76.35
1250	73.55	75.25	70.5
1600	75	74.8	66.3
2000	77.65	73.15	64.9
2500	79.55	72.1	66.5
3150	76.6	71.8	66.25
4000	75.1	73.9	61.55
5000	77.15	75.65	58.15
6300	72.2	77.05	54.1
8000	70.75	73.7	49.45
10000	70.2	73.75	43.8
12500	66.4	71.5	39.5
16000	59.1	67.25	38.5
Overall dBA	**89.7**	**97.9**	**84.35**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.7.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวน PE แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ่นด้วยฉนวนโฟม PU และแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ

1) อภิปรายผลการศึกษานำร่อง

จากผลการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของฉนวนทั้ง 3 ชนิดติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา พบว่า

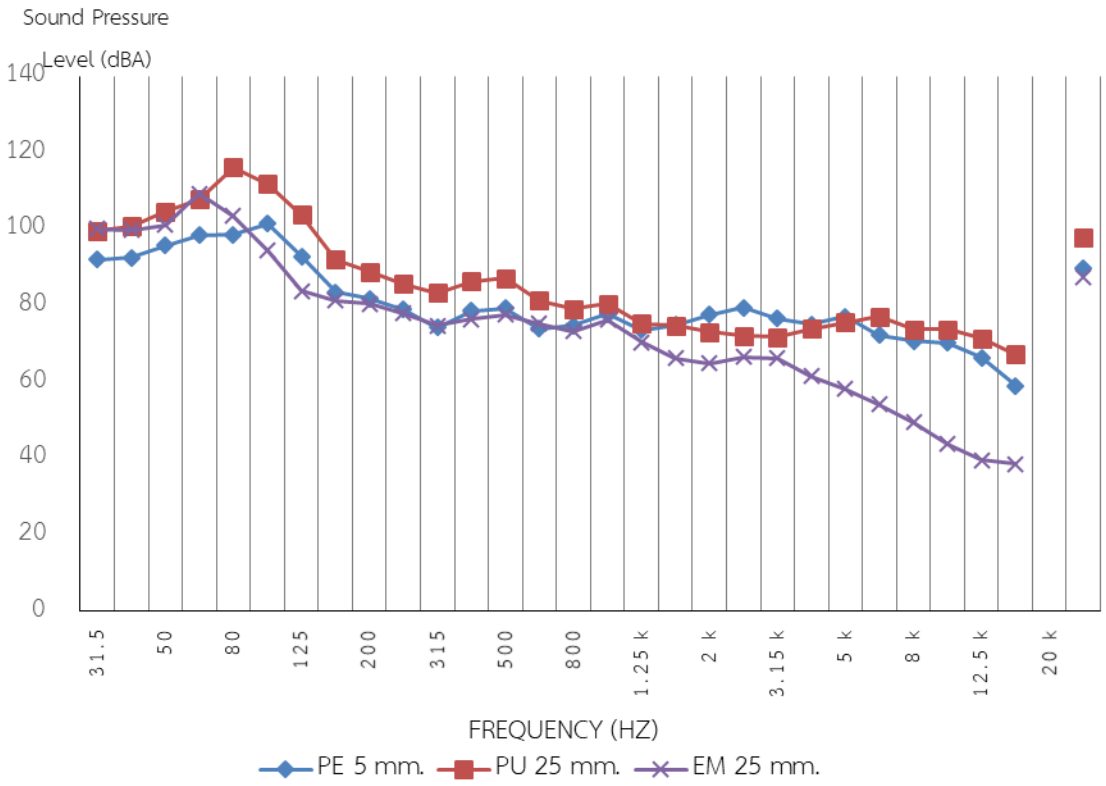
- ฉนวน PE ความหนา 5 มิลลิเมตร รีดติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียง 89.7 dBA และมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันเสียงที่ดีในช่วงคลื่นความถี่ของเสียงที่ 31.5-80 Hz

- ฉนวนยางดำ (EM) ความหนา 25 มิลลิเมตร รีดติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียง (dBA) 84.35 dB และมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันเสียงที่ดีในช่วงคลื่นความถี่ของเสียงที่ 800-16000 Hz

- ฉนวนโฟม PU ความหนา 25 มิลลิเมตร พ้นติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียง (dBA) 97.9 dB และมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันเสียงได้ดีแต่น้อยกว่าการติดตั้งฉนวน PE และฉนวนยางดำรีดติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา

โดยสามารถแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงของการติดฉนวนทั้ง 3 ชนิดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา ในแผนภูมิต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิ 2.7 แสดงค่าระดับความดันเสียงที่ความถี่ 31.5 – 16000 Hz ของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดฉนวน PE แผ่นเหล็กมุงหลังคาพ้นติดด้วยฉนวนโฟม PU (PU) และแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ (EM)

2) สรุปผลการศึกษานำร่อง

จากการเปรียบเทียบการติดตั้งฉนวนทั้ง 3 ชนิดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา จะเห็นได้ว่า ฉนวนยางดำมีคุณสมบัติที่ดีกว่าในการลดเสียง เมื่อเปรียบเทียบกับฉนวนโฟม PU และฉนวน PE โดยเฉพาะความถี่ในช่วงที่มนุษย์มีความสามารถในการได้ยินดีที่สุด คือ 1000 – 4000 Hz (Goelzer et al., 2011) อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนที่ดีในย่านความถี่สูงที่ส่งผลให้ประสาทการได้ยินของมนุษย์เสื่อม ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ 6000 Hz (อานนท์, 2552)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการทบทวนวรรณกรรมและทำการศึกษานำร่องข้างต้น มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำเสนอข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับเรื่องเสียง เช่น การเกิดขึ้นของเสียง ลักษณะของเสียง กลไกในการได้ยินและรับรู้เสียงของมนุษย์ รวมไปถึงสมการในการคำนวณหาค่าระดับความดังของเสียง เพื่อสร้างความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับเสียง

ข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องแผ่นเหล็กมุงหลังคา วัสดุพอลิเมอร์ วัสดุฉนวนกันเสียงชนิดฉนวนยางดำ เพื่อแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นฉนวนกันเสียงควบคู่กับแผ่นเหล็กมุงหลังคา อีกทั้งยังทบทวนเกี่ยวกับเรื่องเกณฑ์และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเสียงภายในอาคารเนื่องด้วยอาคารในแต่ละประเภทมีข้อกำหนดของระดับเสียงภายในอาคารตามความเหมาะสมในการใช้งานของอาคารประเภทนั้นๆ และทบทวนเกี่ยวกับข้อมูลเรื่องฝนซึ่งเป็นเสียงรบกวนที่นำมาปรับใช้ในกระบวนการทดสอบคุณภาพทางเสียง

พร้อมทั้งมีการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการสร้างฝนประดิษฐ์ในการทดสอบคุณภาพทางเสียงเปรียบเทียบกับการใช้ฝนจริง และการพัฒนาวัสดุฉนวนยางดำเพื่อใช้เป็นวัสดุฉนวนกันเสียงสำหรับงานระบบ จึงได้มีการอ้างอิงวิธีการทดสอบคุณภาพทางเสียงด้วยฝนประดิษฐ์จากงานวิจัยข้างต้น และใช้งานฉนวนยางดำเพื่อเป็นฉนวนกันเสียงควบคู่กับแผ่นเหล็กมุงหลังคาในกระบวนการวิจัยบทต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ด้วยคุณสมบัติในการกันเสียงที่ดีของวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ จึงต้องการศึกษาคุณสมบัติในการกันเสียงรบกวนจากภายนอกของวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร โดยทำการทดสอบด้วยรูปแบบการติดตั้ง 4 รูปแบบ ซึ่งมีที่มาจากการทบทวนวรรณกรรม เรื่อง การติดตั้งฉนวนควบคู่กับแผ่นเหล็กมุงหลังคา (บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน), 2559) ได้แก่

รูปแบบ A แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวนติดตั้งบนโครงหลังคา เป็น Base-case

รูปแบบ B แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดด้วยฉนวนยางดำติดตั้งบนโครงหลังคา

รูปแบบ C แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ปูลวดกรงไก่บนแปเหล็กตัวซี พร้อมติดตั้งฉนวนยางดำในลักษณะวางบนลวดกรงไก่

รูปแบบ D แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ติดตั้งฉนวนยางดำกับแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ โดยประกบแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบไว้ด้านบนและด้านล่างฉนวนยางดำ ซึ่งต่อไปจะเรียกว่ารูปแบบแซนวิช ซึ่งได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

การทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ โดยทำการทดสอบด้วยรูปแบบการติดตั้ง 4 รูปแบบ

3.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ

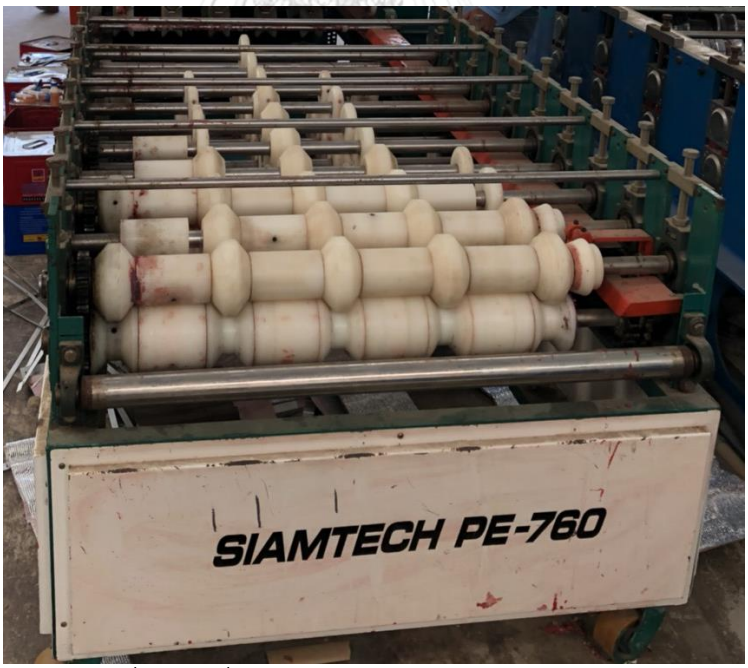
ดำเนินการเตรียมชิ้นงานแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำที่ บริษัท อันดามันเมทัลชีท จำกัด

3.1.1 ทากาวบริเวณฉนวนยางดำความหนา 9 มิลลิเมตรและแผ่นเหล็กมุงหลังคาความหนา 0.4 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพ 3.1 ทากาวบนแผ่นเหล็กมุงหลังและบนฉนวนยางดำ

3.1.2 ใช้เครื่องจักรในการรีดฉนวนยางดำติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา โดยนำแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ติดฉนวนยางดำรีดทางปลายลูกกลิ้งของเครื่องจักร เพื่อช่วยให้ฉนวนยางดำยึดติดกับเครื่องจักรได้อย่างคงทน

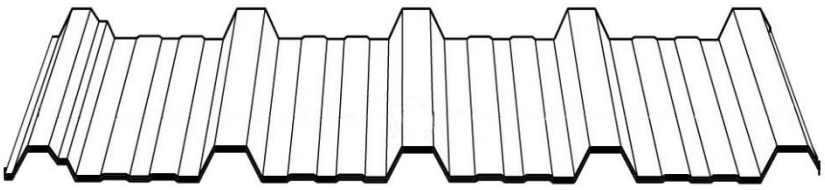


ภาพ 3.2 เครื่องจักรที่ใช้งานรีดฉนวนยางดำติดกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา

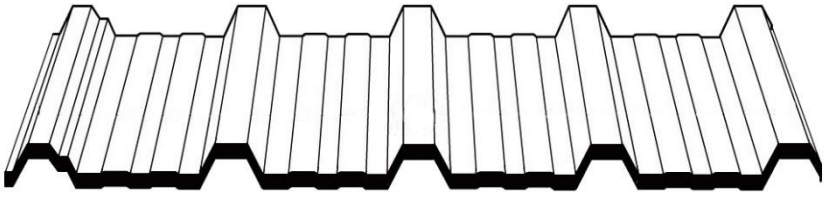
3.1.3 ได้แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ

ภาพ 3.3 แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ

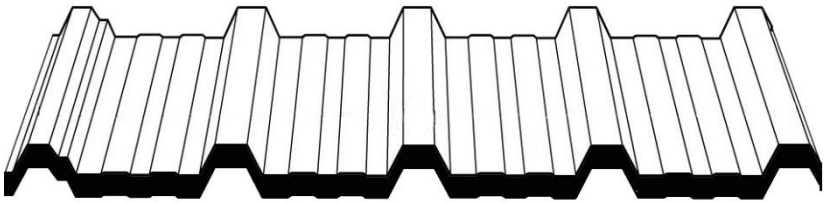
3.1.4 ดำเนินการขึ้นรูปแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 19 และ 25 มิลลิเมตรตามขั้นตอนที่ 3.6.1-3.6.3



ภาพ 3.4 ภาพจำลองแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 9 มิลลิเมตร



ภาพ 3.5 ภาพจำลองแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 19 มิลลิเมตร



ภาพ 3.6 ภาพจำลองแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 25 มิลลิเมตร

3.2 ขั้นตอนการเตรียมสถานที่เพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียง

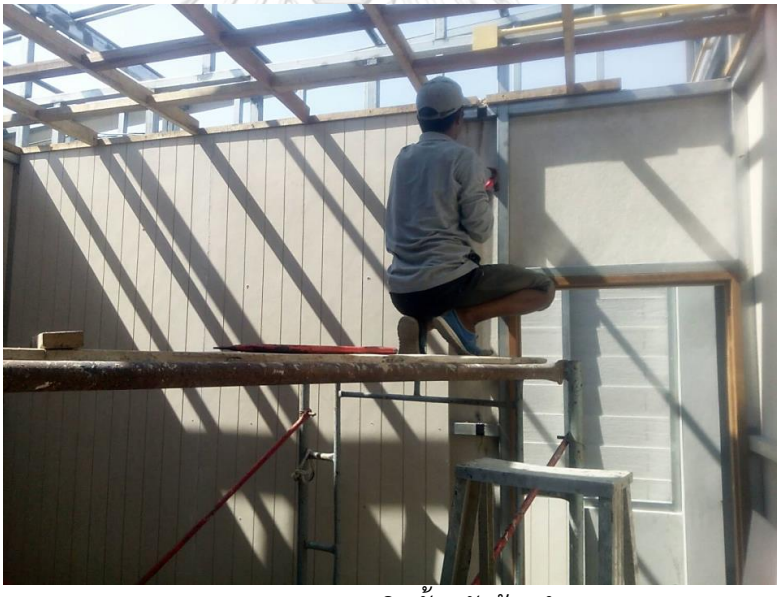
3.2.1 เทพื้นขัดมันพร้อมขึ้นผนังห้องจำลองด้วยวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์เซาะร่องขนาดกว้าง 3.3 เมตร ยาว 3.5 เมตร และสูง 3.8 เมตร ด้วยโครงเหล็กกล่อง 2 x 2 นิ้ว

ภาพ 3.7 แสดงการติดตั้งโครงผนังห้องจำลอง

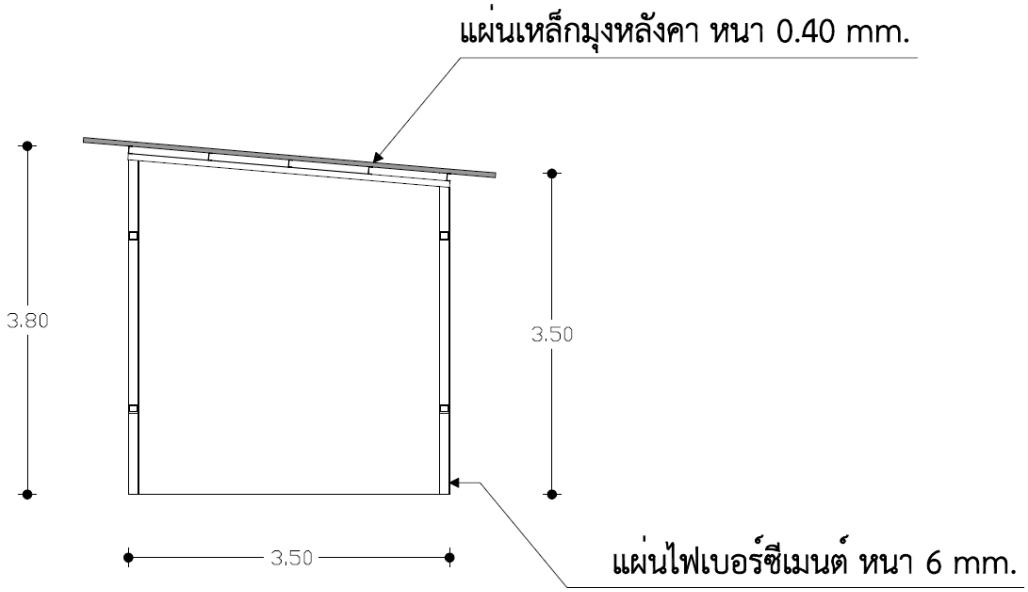
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.2 ทำการติดตั้งผนังด้วยวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์เซาะร่องความหนา 6 มิลลิเมตร โดยทำการติดตั้งผนังสองชั้นและปิดร่องรอยต่อระหว่างพื้นและผนัง เพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอก

ภาพ 3.8 แสดงการติดตั้งผนังห้องจำลอง



ภาพ 3.9 แสดงการติดตั้งผนังห้องจำลอง



ภาพ 3.10 แสดงภาพจำลองด้านข้างห้องทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียง

ที่มา : จัดทำโดยผู้วิจัย

3.3 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ

ในขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียง ผู้วิจัยกำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้แทนรูปแบบของการติดตั้งวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา โดยในการทดสอบนั้นมีรูปแบบการติดตั้ง 4 รูปแบบ แบ่งประเภทตามตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม ได้แก่

<u>รูปแบบ A</u> แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวนติดตั้งบนโครงหลังคา

ตัวแปรต้น : แผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ

ตัวแปรตาม : ระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลอง

ตัวแปรควบคุม : ความหนาของแผ่นเหล็กมุงหลังคา, ระดับน้ำในกระบะฝนประดิษฐ์, ขนาดห้องจำลอง

<u>รูปแบบ B</u> แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำติดตั้งบนโครงหลังคา

ตัวแปรต้น คือ แผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ, ความหนาของฉนวนยางดำ

ตัวแปรตาม คือ ระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลอง

ตัวแปรควบคุม คือ ความหนาของแผ่นเหล็กมุงหลังคา, ระดับน้ำในกระบะฝนประดิษฐ์, ขนาดห้องจำลอง

รูปแบบ C แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ปูลวดกรงไก่บนแปเหล็กตัวซี พร้อมติดตั้งฉนวนยางดำในลักษณะวางบนลวดกรงไก่

ตัวแปรต้น คือ ความหนาของฉนวนยางดำ

ตัวแปรตาม คือ ระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลอง

ตัวแปรควบคุม คือ ความหนาของแผ่นเหล็กมุงหลังคา, ระดับน้ำในกระบะฝนประดิษฐ์, ขนาดห้องจำลอง, ขนาดของลวดกรงไก่

รูปแบบ D แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ติดตั้งฉนวนยางดำกับแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ โดยประกบแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบไว้ด้านบนและด้านล่างฉนวนยางดำ เรียกว่ารูปแบบแซนวิช

ตัวแปรต้น คือ ความหนาของฉนวนยางดำ

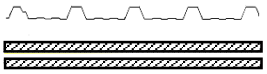
ตัวแปรตาม คือ ระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลอง

ตัวแปรควบคุม คือ ความหนาของแผ่นเหล็กมุงหลังคา, ระดับน้ำในกระบะฝนประดิษฐ์, ขนาดห้องจำลอง, ความหนาของแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ

โดยสัญลักษณ์ที่ใช้แทนรูปแบบของการติดตั้งวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำกับแผ่นเหล็กมุงหลังคาจะแสดงดังตารางต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 3.1 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ในแต่ละรูปแบบการติดตั้งในการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียง

สัญลักษณ์	รูปแบบการทดสอบ	ภาพจำลองด้านข้าง
A-1 (Base-case)	แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน	
A-2	แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบชั้นเดียว	
A-3	แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้นมี ช่องว่างอากาศ	
B-1	แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ	
B-2	แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ ติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ	
B-3	แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้นมี ช่องว่างอากาศ	
C	แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ปูลวดกรงไก่บนแปเหล็กตัวซีพร้อมติดตั้งฉนวนยาง ดำ	
D	แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ติดตั้งฉนวนยางดำกับแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด ฉาบเรียบในรูปแบบแซนวิช	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

 แผ่นเหล็กมุงหลังคา

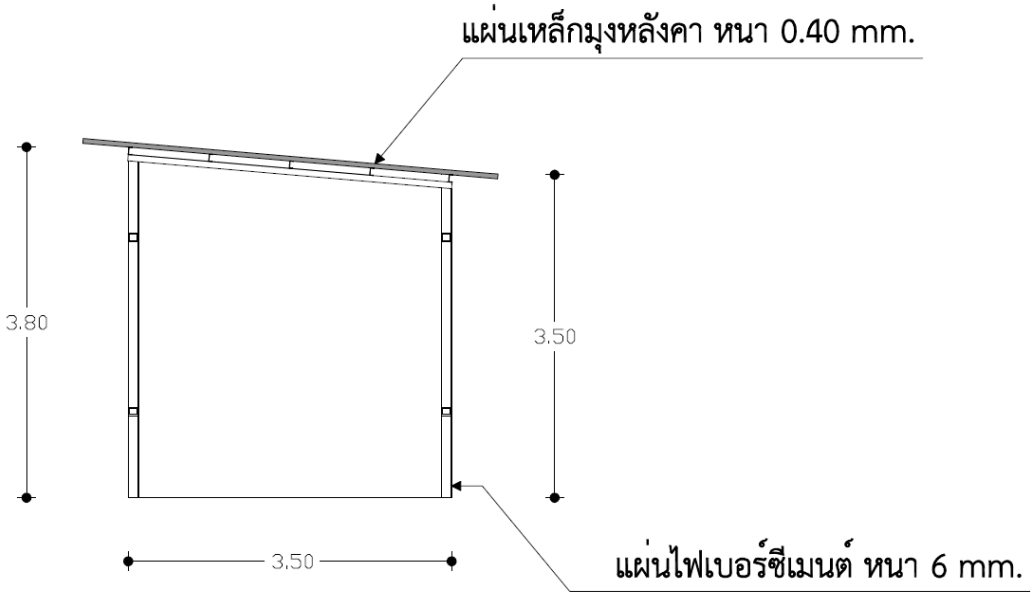
ฉนวนยางดำ

แผ่นยิปซัมบอร์ด

 ลวดกรงไก่

ทำการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียง ตามรูปแบบการติดตั้งวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา 4 รูปแบบ ดังแสดงด้วยภาพจำลองด้านข้างต่อไปนี้

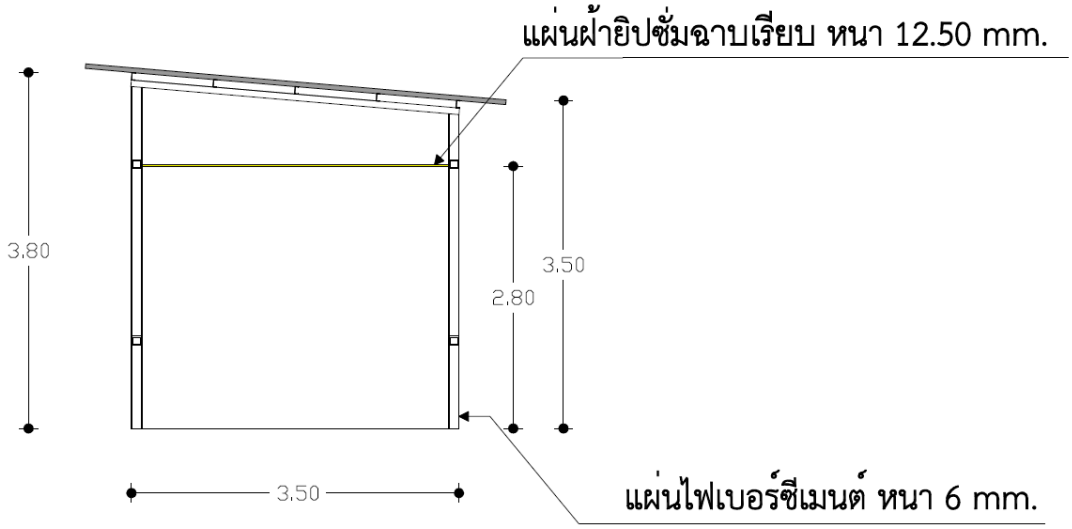
3.3.1 รูปแบบ A-1 แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน วางพาดบนโครงหลังคา(Base-case)



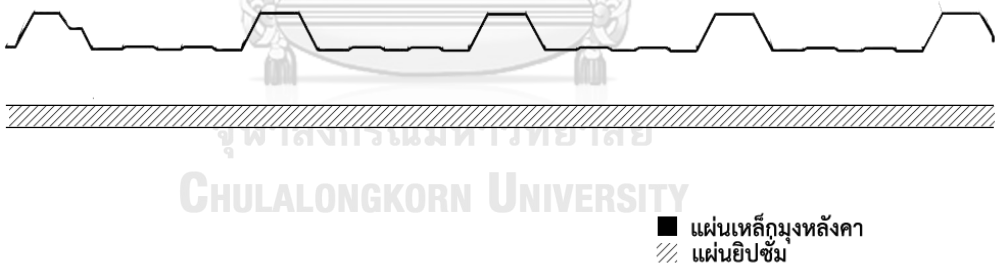
ภาพ 3.11 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3.2 รูปแบบ A-2 แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวนวางพาดลงบนโครงหลังคา ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบความหนา 12.5 มิลลิเมตร ชั้นเดียว สูงจากพื้นเป็นระยะ 2.8 เมตรภายในห้องทดสอบ



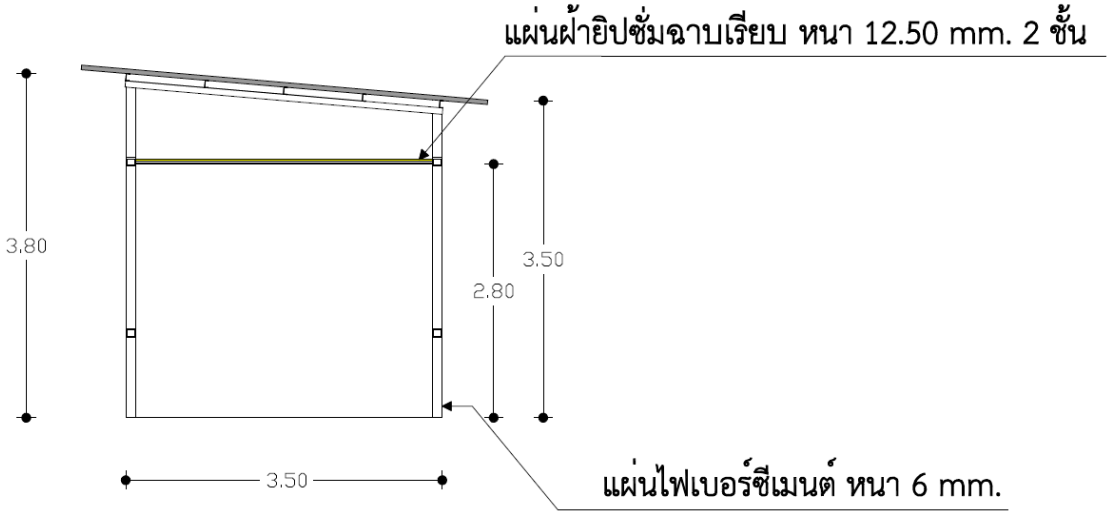
ภาพ 3.12 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ



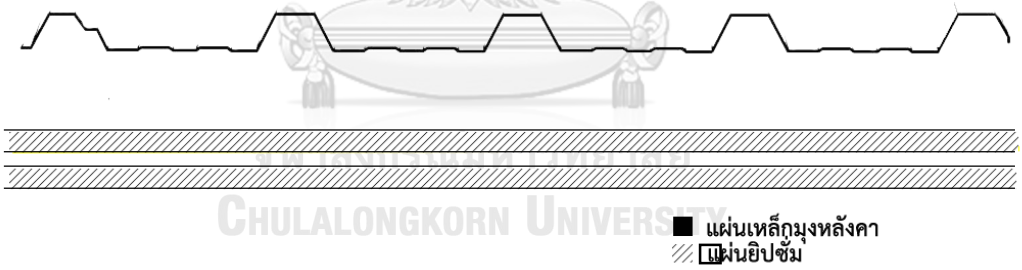
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพ 3.13 แสดงภาพจำลองด้านหน้าของการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ

3.3.3 รูปแบบ A-3 แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวนวางพาดลงบนโครงหลังคา ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบความหนา 12.5 มิลลิเมตร 2 ชั้น มีช่องว่างอากาศ สูงจากพื้นเป็นระยะ 2.8 เมตร ภายในห้องจำลอง โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นฝ้า 25 มิลลิเมตร

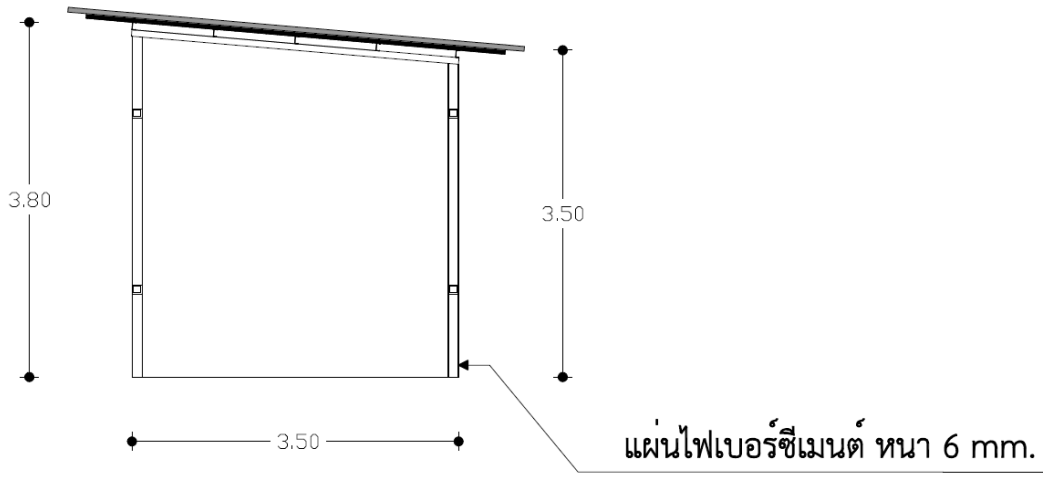


ภาพ 3.14 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบในรูปแบบแซนวิช



ภาพ 3.15 แสดงภาพจำลองด้านหน้าของการติดตั้งการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบในรูปแบบแซนวิช

3.3.4 รูปแบบ B-1 แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำวางพาดบนโครงหลังคา



ภาพ 3.16 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยใช้ฉนวนยางดำ

ภาพ 3.17 แสดงภาพจำลองด้านหน้าของการติดตั้งติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยใช้ฉนวนยางดำ

โดยจะดำเนินการทดสอบตามความหนาของฉนวนยางดำ ดังต่อไปนี้

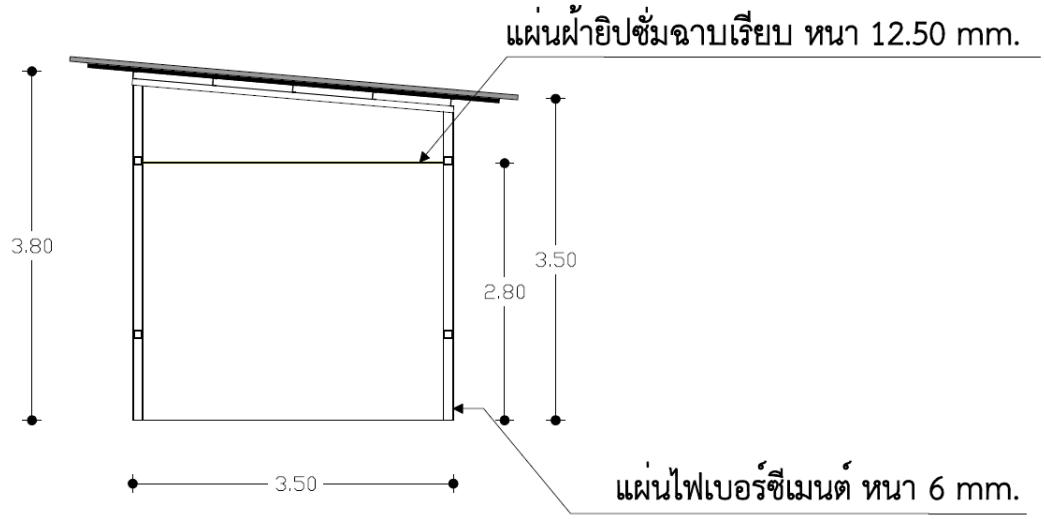
ก.) ฉนวนยางดำความหนา 9 มิลลิเมตร

ข.) ฉนวนยางดำความหนา 19 มิลลิเมตร

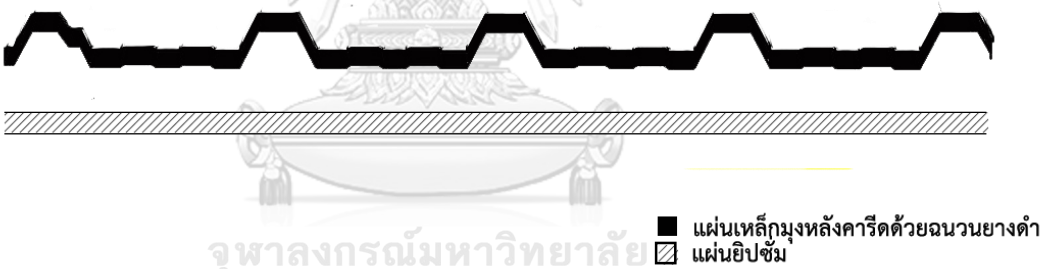
ค.) ฉนวนยางดำความหนา 25 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.5 รูปแบบ B-2 แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำวางพาดบนโครงหลังคา ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบความหนา 12.5 มิลลิเมตร 1 ชั้นความสูงจากพื้นเป็นระยะ 2.8 เมตร ภายในห้องจำลอง



ภาพ 3.18 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยใช้ฉนวนยางดำ พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ



ภาพ 3.19 แสดงภาพจำลองด้านหน้าของการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยใช้ฉนวนยางดำ พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ

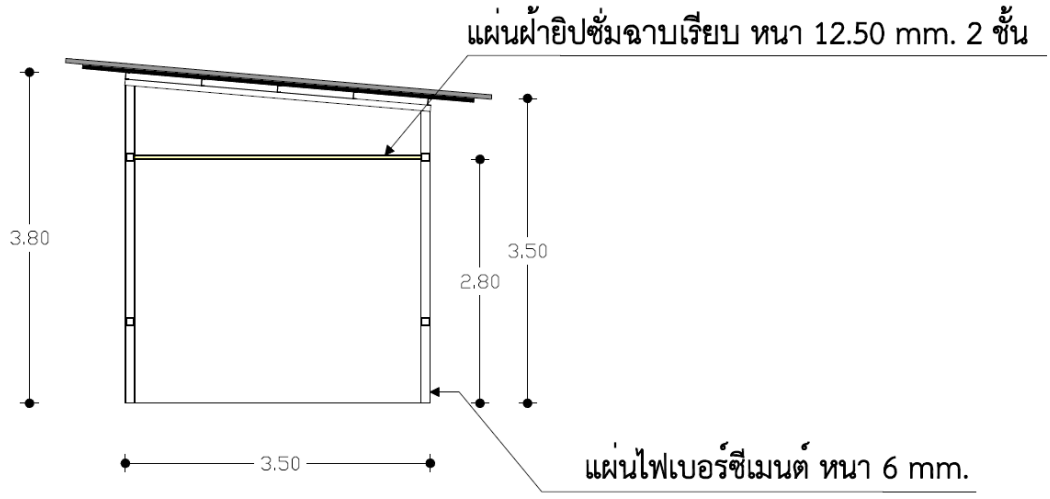
ดำเนินการทดสอบตามความหนาของฉนวนยางดำ ดังนี้

ก.) ฉนวนยางดำความหนา 9 มิลลิเมตร

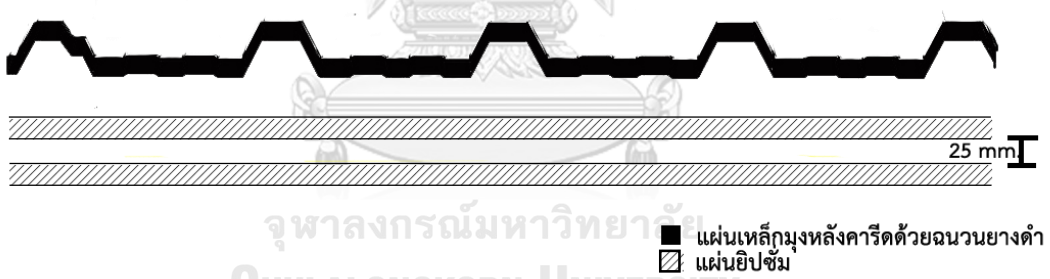
ข.) ฉนวนยางดำความหนา 19 มิลลิเมตร

ค.) ฉนวนยางดำความหนา 25 มิลลิเมตร

3.3.6 รูปแบบ B-3 แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำวางพาดบนโครงหลังคา ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบความหนา 12.5 มิลลิเมตร 2 ชั้น มีช่องว่างอากาศ ความสูงจากพื้นเป็นระยะ 2.8 เมตร ภายในห้องจำลอง โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นฝ้า 25 มิลลิเมตร



ภาพ 3.20 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้น มีช่องว่างอากาศ พร้อมติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยใช้ฉนวนยางดำ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพ 3.21 แสดงภาพจำลองด้านหน้าของการติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้น มีช่องว่างอากาศ สูงจากพื้นเป็นระยะ 2.8 เมตรพร้อมติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยใช้ฉนวนยางดำ

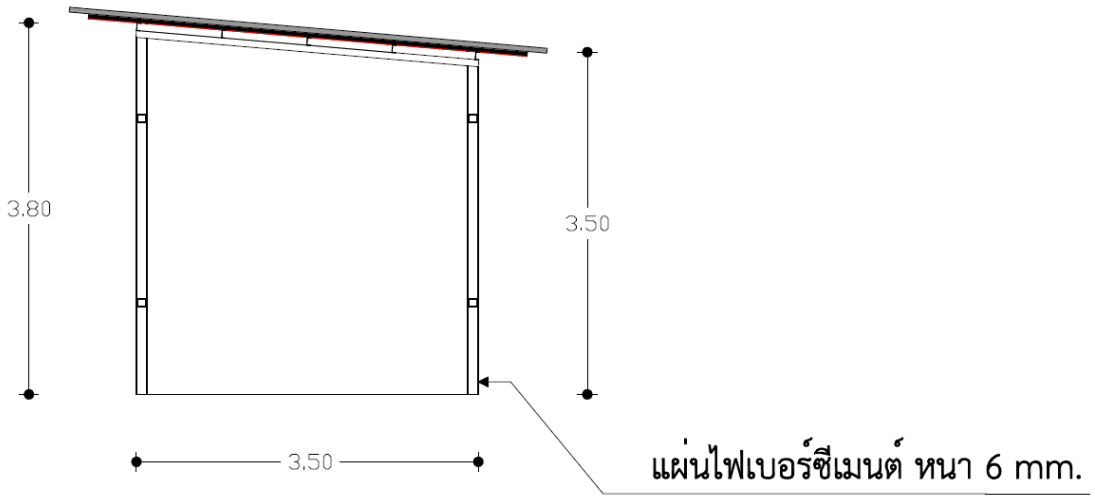
ดำเนินการทดสอบตามความหนาของฉนวนยางดำ ดังนี้

ก.) ฉนวนยางดำความหนา 9 มิลลิเมตร

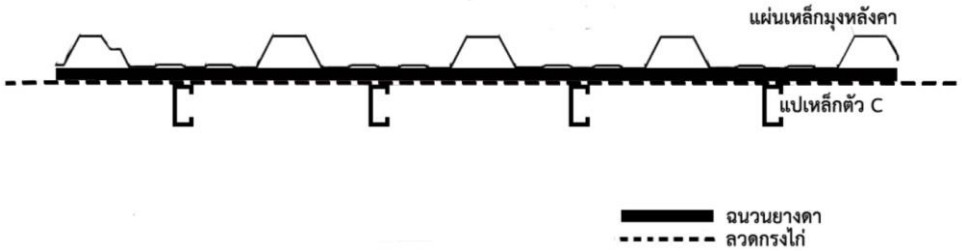
ข.) ฉนวนยางดำความหนา 19 มิลลิเมตร

ค.) ฉนวนยางดำความหนา 25 มิลลิเมตร

3.3.7 รูปแบบ C ติดตั้งฉนวนยางดำบนแปเหล็กตัวซี โดยปูลวดกรงไก่พาดลงบนแปและวางฉนวนยางดำบนลวดกรงไก่ แล้วติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาโดยการวางพาดลงบนฉนวนยางดำ



ภาพ 3.22 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งลวดกรงไก่ลงบนแป และวางฉนวนยางดำทับลงตามด้วยติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาลงบนฉนวนยางดำ



ภาพ 3.23 แสดงภาพจำลองด้านหน้าของการติดตั้งลวดกรงไก่ลงบนแป และวางฉนวนยางดำบนแปตามด้วยติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาลงบนฉนวนยางดำ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

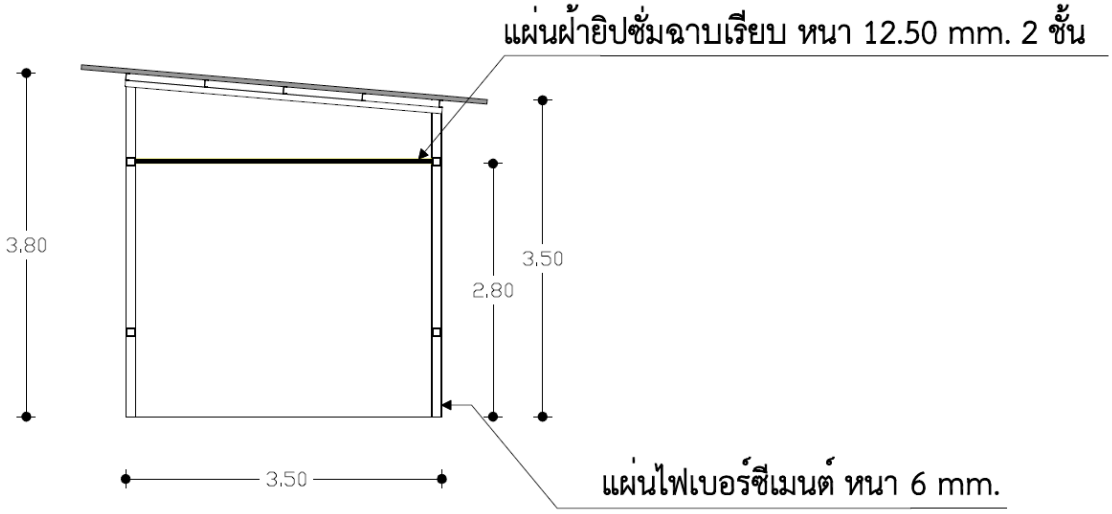
ดำเนินการทดสอบตามความหนาของฉนวนยางดำ ดังนี้

ก.) ฉนวนยางดำความหนา 9 มิลลิเมตร

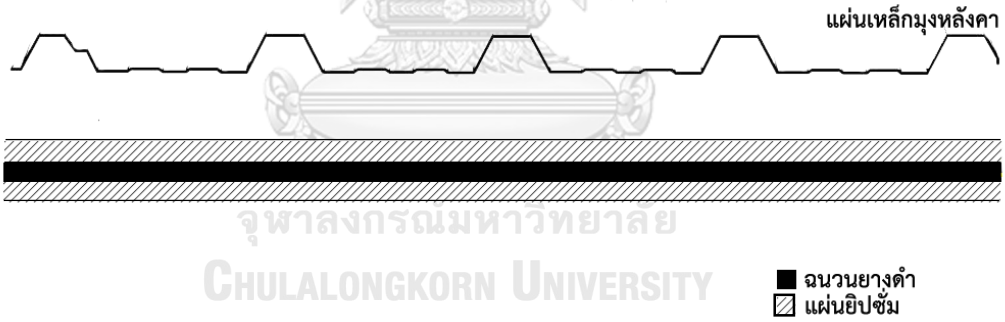
ข.) ฉนวนยางดำความหนา 19 มิลลิเมตร

ค.) ฉนวนยางดำความหนา 25 มิลลิเมตร

3.3.8 รูปแบบ D แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวนวางพาดลงบนโครงหลังคา ติดตั้งฉนวนยางดำกับฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบในรูปแบบแซนวิช ความสูงจากพื้นเป็นระยะ 2.8 เมตร



ภาพ 3.24 แสดงภาพจำลองด้านข้างของการติดตั้งฉนวนยางดำกับฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบในรูปแบบแซนวิช



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพ 3.25 แสดงภาพจำลองด้านหน้าของการติดตั้งฉนวนยางดำกับฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบในรูปแบบแซนวิช

ดำเนินการทดสอบตามความหนาของฉนวนยางดำ ดังนี้

ก.) ฉนวนยางดำความหนา 9 มิลลิเมตร

ข.) ฉนวนยางดำความหนา 19 มิลลิเมตร

ค.) ฉนวนยางดำความหนา 25 มิลลิเมตร

3.3.9 ในการทดสอบใช้เครื่องมือ Sound Level Meter ยี่ห้อ RION รุ่น NL-52 ทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียง ดังภาพ 3.26

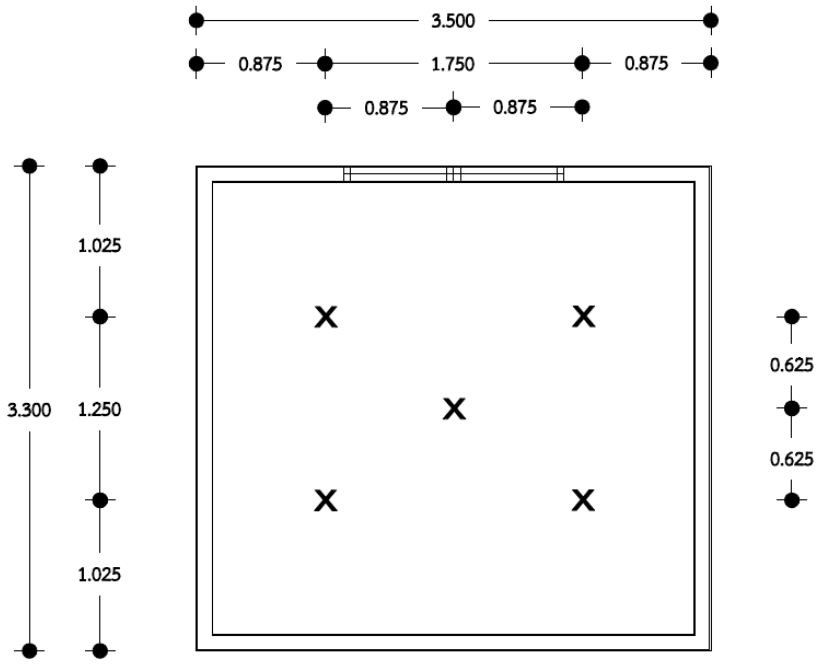
ภาพ 3.26 Sound Level Meter ยี่ห้อ RION รุ่น NL-52

ที่มา : http://rion-sv.com/products/NL-52_42-E.html

3.3.10 ติดตั้ง Sound Level Meter ด้วยความสูงจากพื้น 1.2 เมตร โดยทำการวัดเสียงบริเวณ 5 จุดกึ่งกลางห้องจำลองต่อการทดสอบการติดตั้ง 1 รูปแบบ ดังภาพ 3.27 และ 3.28

ภาพ 3.27 แสดงการติดตั้ง Sound Level Meter บริเวณกลางห้องจำลอง

ที่มา : ถ่ายโดยผู้วิจัย วันที่ 28 เมษายน 2561

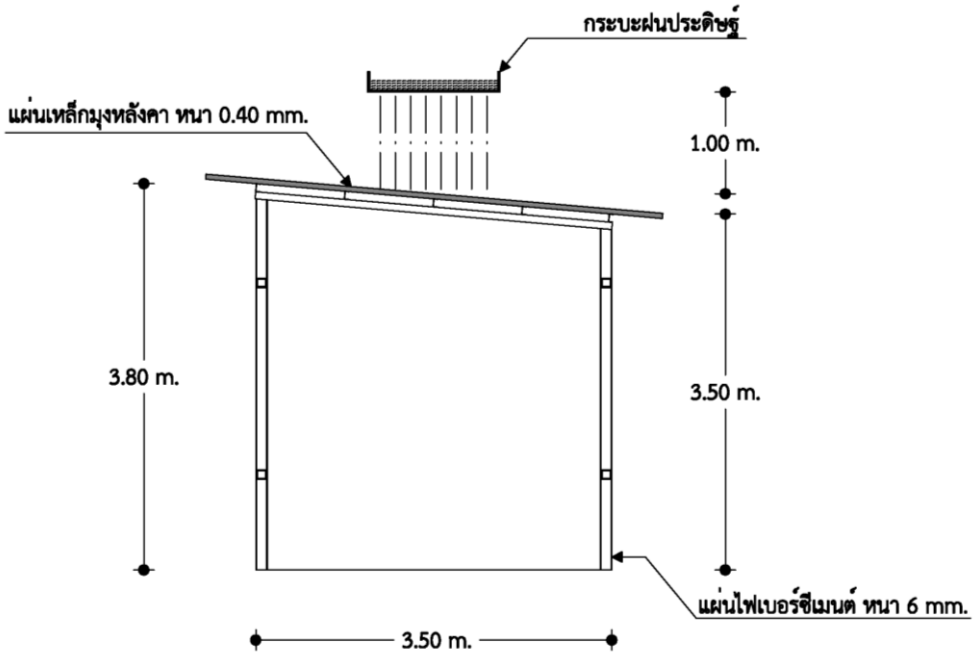


ภาพ 3.28 แสดงผังพื้นการติดตั้ง Sound Level Meter ทั้ง 5 ตำแหน่ง

3.3.11 สร้างเสียงรบกวนโดยใช้ฝนประดิษฐ์ดัดแปลงจากมาตรฐาน ISO 10140-5 ได้กำหนดวิธีการในการสร้างฝนประดิษฐ์ โดยใช้กระบะที่มีขนาดความกว้าง 1.25 เมตร ความยาว 1.30 เมตร เจาะรูให้มีระยะสม่ำเสมอทั่วทั้งบริเวณฐานกระบะโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร ใช้ระบบท่อส่งน้ำในการเติมน้ำ โดยระดับน้ำสูง 10 เซนติเมตร ติดตั้งกระบะไว้ที่ความสูงเหนือหลังคา 1 เมตร ใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 30 วินาที ต่อ 1 จุดการทดสอบ ตามมาตรฐาน ISO 3745 โดยใช้ห้องจำลองขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 3.3 x 3.5 x 3.5 เมตร ซึ่งแตกต่างจากมาตรฐาน ISO 10140-5 ที่กำหนดขนาดห้องจำลองมีปริมาตรไม่ต่ำกว่า 50 m^3 เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ในการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพ 3.29 การติดตั้งกระบะไว้เหนือหลังคาเป็นระยะ 1 เมตร



ภาพ 3.30 ภาพจำลองการติดตั้งกระบะไว้เหนือหลังคาเป็นระยะ 1 เมตร

3.4 ขั้นตอนการแปลงผลข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ

ข้อมูลคุณสมบัติในการกันเสียงที่ได้จากการทดสอบโดยวิธี Tapping Machine Impact Noise คือค่าระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level) โดยแจกแจงรายละเอียดในแต่ละช่วงความถี่ของคลื่นเสียงตั้งแต่ 31.5-16,000 Hz ซึ่งอยู่ในชุดข้อมูลทั้งหมด 28 ข้อมูล ต่อการทดสอบ 1 จุดในห้องจำลอง โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$L_p = 10\log(\frac{P}{P_{ref}})^2 \qquad (1)$$

ที่ ;

L_p คือ ค่าระดับความดันเสียง มีหน่วยเป็น เดซิเบล (dB)

P คือ ความดันเสียง มีหน่วยเป็น ปาสคาล

P_{ref} คือ ความดันเสียงอ้างอิง ซึ่งเท่ากับ 2×10^{-5} ปาสคาล หรือเท่ากับ 20 mPa

ซึ่งในการทำการทดสอบ 1 ครั้ง ใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 30 วินาที ซึ่งจะมีค่าระดับความดันเสียงที่คงที่ 1 ค่า ในระยะเวลา 30 วินาที หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียง (Overall dBA) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$L_{eq,T} = 10\log[\frac{1}{T}\sum_{i=1}^{n} t_i 10^{\frac{L_i}{10}}] \qquad (2)$$

ที่ ;

T คือ ช่วงเวลาทั้งหมด

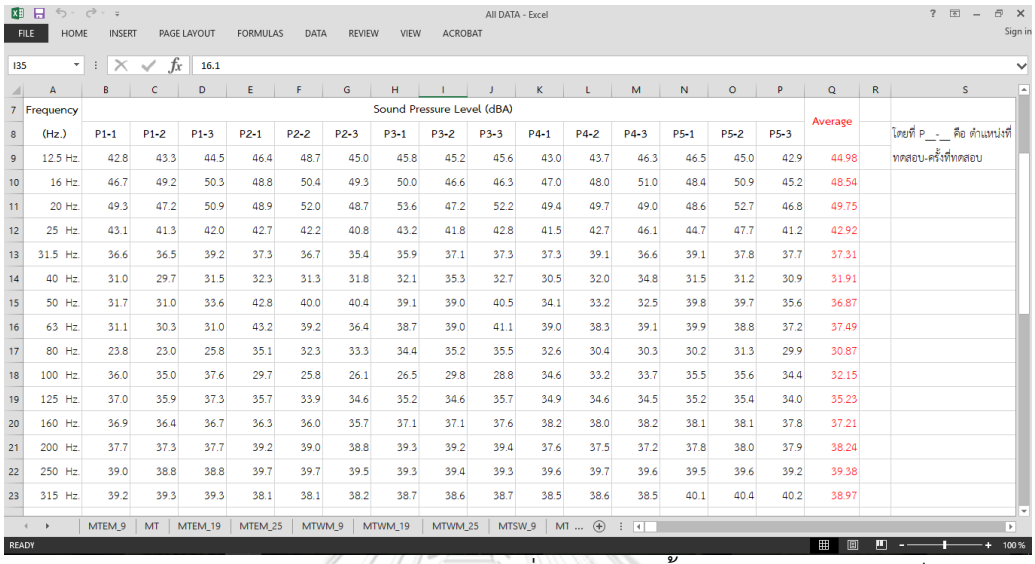
t_i คือ ช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด $(\sum t_i = T)$

L_i คือ ระดับเสียงที่ตรวจวัดได้ในช่วงเวลา t_i

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยค่าระดับความดันเสียงที่วัดได้ภายในห้องจำลองนั้น หากมีค่าน้อยหมายความว่ารูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำที่ติดตั้งพร้อมกับแผ่นเหล็กมุงหลังคามีคุณสมบัติที่สามารถกันเสียงได้มาก แต่หากมีค่ามากหมายความว่ารูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำที่ติดตั้งพร้อมกับแผ่นเหล็กมุงหลังคามีคุณสมบัติที่สามารถกันเสียงได้น้อย ซึ่งข้อมูลที่ได้จะแสดงผลในโปรแกรม Microsoft Excel ดังตัวอย่างภาพ 3.31

เป็นการแสดงระดับความดันเสียงในแต่ละความถี่ของการติดตั้งรูปแบบ A-1 แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวนวางพาดบนโครงหลังคา (Base-case) ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้จากการแสดงผลในโปรแกรม Microsoft Excel



All DATA - Excel

Frequency	Sound Pressure Level (dBA)															Average	
(Hz.)	P1-1	P1-2	P1-3	P2-1	P2-2	P2-3	P3-1	P3-2	P3-3	P4-1	P4-2	P4-3	P5-1	P5-2	P5-3		โดยที่ P__-__ คือ ตำแหน่งที่
12.5 Hz.	42.8	43.3	44.5	46.4	48.7	45.0	45.8	45.2	45.6	43.0	43.7	46.3	46.5	45.0	42.9	44.98	ทดสอบ-ครั้งที่ทดสอบ
16 Hz.	46.7	49.2	50.3	48.8	50.4	49.3	50.0	46.6	46.3	47.0	48.0	51.0	48.4	50.9	45.2	48.54	
20 Hz.	49.3	47.2	50.9	48.9	52.0	48.7	53.6	47.2	52.2	49.4	49.7	49.0	48.6	52.7	46.8	49.75	
25 Hz.	43.1	41.3	42.0	42.7	42.2	40.8	43.2	41.8	42.8	41.5	42.7	46.1	44.7	47.7	41.2	42.92	
31.5 Hz.	36.6	36.5	39.2	37.3	36.7	35.4	35.9	37.1	37.3	37.3	39.1	36.6	39.1	37.8	37.7	37.31	
40 Hz.	31.0	29.7	31.5	32.3	31.3	31.8	32.1	35.3	32.7	30.5	32.0	34.8	31.5	31.2	30.9	31.91	
50 Hz.	31.7	31.0	33.6	42.8	40.0	40.4	39.1	39.0	40.5	34.1	33.2	32.5	39.8	39.7	35.6	36.87	
63 Hz.	31.1	30.3	31.0	43.2	39.2	36.4	38.7	39.0	41.1	39.0	38.3	39.1	39.9	38.8	37.2	37.49	
80 Hz.	23.8	23.0	25.8	35.1	32.3	33.3	34.4	35.2	35.5	32.6	30.4	30.3	30.2	31.3	29.9	30.87	
100 Hz.	36.0	35.0	37.6	29.7	25.8	26.1	26.5	29.8	28.8	34.6	33.2	33.7	35.5	35.6	34.4	32.15	
125 Hz.	37.0	35.9	37.3	35.7	33.9	34.6	35.2	34.6	35.7	34.9	34.6	34.5	35.2	35.4	34.0	35.23	
160 Hz.	36.9	36.4	36.7	36.3	36.0	35.7	37.1	37.1	37.6	38.2	38.0	38.2	38.1	38.1	37.8	37.21	
200 Hz.	37.7	37.3	37.7	39.2	39.0	38.8	39.3	39.2	39.4	37.6	37.5	37.2	37.8	38.0	37.9	38.24	
250 Hz.	39.0	38.8	38.8	39.7	39.7	39.5	39.3	39.4	39.3	39.6	39.7	39.6	39.5	39.6	39.2	39.38	
315 Hz.	39.2	39.3	39.3	38.1	38.1	38.2	38.7	38.6	38.7	38.5	38.6	38.5	40.1	40.4	40.2	38.97	

ภาพ 3.31 แสดงระดับความดันเสียงในแต่ละความถี่ของการติดตั้งรูปแบบ A-1 แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน วางพาดบนโครงหลังคา(Base-case)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
อภิปรายผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ

การทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงรบกวนจากภายนอกของฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร ผู้วิจัยกำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้แทนรูปแบบของการติดตั้งวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำกับแผ่นเหล็กมุงหลังคา โดยในการทดสอบนั้นมีรูปแบบการติดตั้ง 4 รูปแบบ ได้แก่

รูปแบบ A แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน

รูปแบบ B แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ

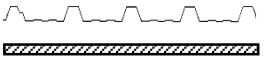
รูปแบบ C แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ปูลวดกรงไก่บนแปเหล็กตัวซี พร้อมติดตั้งฉนวนยางดำโดยวางบนลวดกรงไก่

รูปแบบ D แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ติดตั้งฉนวนยางดำกับแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ โดยประกบแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบไว้ด้านบนและด้านล่างฉนวนยางดำ เรียกว่ารูปแบบแซนวิช

โดยสัญลักษณ์ที่ใช้แทนรูปแบบของการติดตั้งวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำกับแผ่นเหล็กมุงหลังคาแสดงดังตาราง 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 4.1 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ในแต่ละรูปแบบการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียง

สัญลักษณ์	รูปแบบการทดสอบ	ภาพจำลองด้านข้าง
A-1	แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน	
A-2	แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบชั้นเดียว	
A-3	แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้นมีช่องว่างอากาศ	
B-1	แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ	
B-2	แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ ติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ	
B-3	แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ ติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้นมีช่องว่างอากาศ	
C	แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ปูลวดกรงไก่บนแปเหล็กตัวซีพร้อมติดตั้งฉนวนยางดำ	
D	แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ติดตั้งฉนวนยางดำกับแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบในรูปแบบแซนวิช	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผ่นเหล็กมุงหลังคา

ฉนวนยางดำ

แผ่นยิปซัมบอร์ด

ลวดกรงไก่

การทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร ได้ค่าระดับความดันเสียงที่เกิดจากเสียงฝนประดิษฐ์ โดยแจกแจงรายละเอียดในแต่ละช่วงความถี่ของคลื่นเสียงตั้งแต่ 31.5–16,000 Hz ซึ่งอยู่ในชุดข้อมูลทั้งหมด 28 ข้อมูล ต่อการทดสอบ 1 จุดในห้องจำลอง และค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียง (Overall dBA) โดยแสดงผลแบ่งตามรูปแบบการติดตั้ง 4 รูปแบบ ซึ่งค่าระดับความดันเสียงที่วัดได้ภายในห้องจำลองนั้น หากมีค่าน้อยหมายความว่ารูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำที่ติดตั้งพร้อมกับแผ่นเหล็กมุงหลังคามีคุณสมบัติที่สามารถกันเสียงได้มาก ดังตาราง 4.2 – ตาราง 4.6 และแผนภูมิ 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 4.2 ค่าระดับความดันเสียงของการติดตั้งรูปแบบ A-1, A-2 และ A-3

Frequency (Hz.)	Sound Pressure Level (dBA)		
	A-1(Base-case)	A-2	A-3
31.5 Hz.	41.99	39.40	36.86
40 Hz.	39.27	33.73	32.93
50 Hz.	43.30	41.31	40.89
63 Hz.	42.18	40.00	39.62
80 Hz.	38.64	34.43	33.63
100 Hz.	41.92	36.52	35.69
125 Hz.	44.99	40.51	40.13
160 Hz.	44.73	40.79	39.69
200 Hz.	44.63	41.76	40.17
250 Hz.	48.54	43.63	42.24
315 Hz.	51.13	46.19	43.67
400 Hz.	52.48	47.01	43.47
500 Hz.	53.69	46.67	43.31
630 Hz.	53.37	45.09	43.08
800 Hz.	52.58	43.57	40.25
1 kHz.	54.80	44.95	42.26
1.25 kHz.	54.23	43.33	40.59
1.6 kHz.	50.06	37.67	35.64
2 kHz.	47.75	34.60	32.21
2.5 kHz.	46.79	32.97	30.20
3.15 kHz.	48.21	33.67	30.03
4 kHz.	48.19	34.69	29.40
5 kHz.	47.81	32.35	27.59
6.3 kHz.	44.21	28.09	23.82
8 kHz.	38.30	21.80	18.89
10 kHz.	37.25	19.41	16.43
12.5 kHz.	34.26	16.23	13.47
16 kHz.	29.59	12.49	10.63
Overall dBA	**62.20**	**52.37**	**49.65**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงดังตาราง 4.2 พบว่า ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงของการติดตั้งรูปแบบแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 3 รูปแบบ มีค่าดังนี้

- A-1 (Base-case) มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 62.20 dBA
- A-2 พร้อมติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบชั้นเดียว มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 52.37 dBA
- A-3 พร้อมติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้น มีช่องว่างอากาศ (A-3) มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 49.65 dBA

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งรูปแบบ A-3 มีความสามารถในการกันเสียงมากกว่าการติดตั้งรูปแบบ A-1 และ A-2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 4.3 ค่าระดับความดันเสียงของการติดตั้งรูปแบบ B-1, 2 และ 3

Frequency (Hz.)	Sound Pressure Level (dBA)								
	B-1 (9)	B-1 (19)	B-1 (25)	B-2 (9)	B-2 (19)	B-2 (25)	B-3 (9)	B-3 (19)	B-3 (25)
31.5 Hz.	41.67	40.77	39.09	38.88	38.03	40.22	37.31	35.51	35.41
40 Hz.	39.84	38.11	36.46	33.90	33.26	33.02	31.91	29.77	29.85
50 Hz.	41.93	42.26	39.41	40.57	40.13	39.67	36.87	36.21	36.93
63 Hz.	42.41	41.58	38.90	39.17	38.87	38.95	37.49	35.69	36.75
80 Hz.	37.31	35.19	33.55	31.43	31.13	30.18	30.87	27.44	28.54
100 Hz.	39.51	37.79	35.67	32.97	31.55	31.38	32.15	28.79	30.50
125 Hz.	40.93	40.23	38.05	36.80	34.73	34.29	35.23	31.38	32.55
160 Hz.	43.04	41.04	39.87	37.90	37.00	37.41	37.21	34.81	34.61
200 Hz.	42.82	41.52	40.72	36.53	36.71	36.46	38.24	35.79	35.63
250 Hz.	46.45	44.35	43.69	37.66	37.36	37.03	39.38	36.59	36.57
315 Hz.	46.33	44.22	44.27	38.04	37.08	36.79	38.97	34.29	34.27
400 Hz.	48.29	46.29	46.32	39.88	39.09	39.40	40.28	36.07	36.29
500 Hz.	49.88	48.12	48.89	39.91	39.35	39.97	39.58	36.01	37.08
630 Hz.	49.29	48.50	49.35	37.13	37.47	38.69	37.33	35.53	36.92
800 Hz.	47.67	46.31	46.15	35.01	34.73	35.69	32.80	32.17	33.37
1 kHz.	49.55	47.13	45.18	36.40	34.75	33.73	33.55	31.28	31.85
1.25 kHz.	47.69	46.33	43.62	33.22	32.70	31.08	30.11	29.94	29.41
1.6 kHz.	43.96	43.83	39.28	29.69	28.98	27.03	25.27	27.19	25.73
2 kHz.	41.60	41.89	37.15	27.27	26.93	24.21	22.66	23.45	21.88
2.5 kHz.	40.42	39.61	35.05	24.08	24.59	21.01	19.62	21.21	20.57
3.15 kHz.	39.77	37.95	33.52	27.33	23.57	22.11	20.30	19.73	20.44
4 kHz.	36.53	35.81	29.09	25.64	21.69	19.89	19.23	17.58	17.51
5 kHz.	34.31	32.10	26.33	21.73	18.26	17.25	16.35	16.17	16.47
6.3 kHz.	27.94	28.13	21.11	17.47	15.17	14.87	13.58	14.37	14.49
8 kHz.	23.05	22.05	19.40	13.85	12.47	12.25	11.63	12.80	12.79
10 kHz.	19.23	18.31	15.37	11.09	10.72	11.12	10.20	10.92	11.23
12.5 kHz.	14.57	14.32	12.37	9.77	9.61	9.95	9.32	9.67	9.80
16 kHz.	10.89	10.79	10.12	8.85	8.87	9.04	8.70	8.99	9.27
Overall dBA	**56.39**	**55.05**	**53.77**	**44.41**	**43.66**	**43.60**	**43.29**	**41.01**	**40.89**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากผลการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงดังตาราง 4.3 พบว่า ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงของการติดตั้งรูปแบบ B ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 3 รูปแบบ มีค่าดังนี้

แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร มีค่าดังนี้

- B-1 ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 56.39 dBA
- B-1 ความหนา 19 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 55.05 dBA
- B-1 ความหนา 25 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 53.77 dBA

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งรูปแบบ B-1 ความหนา 25 มิลลิเมตร มีความสามารถในการกันเสียงมากกว่าการติดตั้งรูปแบบ B-1 ความหนา 9 มิลลิเมตร และ B-1 ความหนา 19 มิลลิเมตร

แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร พร้อมติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ มีค่าดังนี้

- B-2 ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 44.41 dBA
- B-2 ความหนา 19 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 43.66 dBA
- B-2 ความหนา 25 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 43.60 dBA

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งรูปแบบ B-2 ความหนา 25 มิลลิเมตร มีความสามารถในการกันเสียงมากกว่าการติดตั้งรูปแบบ B-2 ความหนา 9 มิลลิเมตร และ B-2 ความหนา 9 มิลลิเมตร

แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้นมีช่องว่างอากาศ มีค่าดังนี้

- B-3 ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 43.29 dBA
- B-3 ความหนา 19 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 41.01 dBA
- B-3 ความหนา 25 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 40.89 dBA

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งรูปแบบ B-3 ความหนา 25 มิลลิเมตร มีความสามารถในการกันเสียงมากกว่าการติดตั้งรูปแบบ B-3 ความหนา 9 มิลลิเมตร และ B-3 ความหนา 19 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 4.4 ค่าระดับความดันเสียงของการติดตั้งรูปแบบ C

Frequency (Hz.)	Sound Pressure Level (dBA)		
	C (9)	C (19)	C (25)
31.5 Hz.	41.65	40.07	39.47
40 Hz.	38.43	38.15	37.77
50 Hz.	42.31	42.03	40.51
63 Hz.	41.64	41.34	40.31
80 Hz.	36.98	38.51	37.59
100 Hz.	38.97	40.05	38.23
125 Hz.	43.00	43.41	41.93
160 Hz.	43.51	44.34	43.16
200 Hz.	43.44	44.38	43.96
250 Hz.	48.40	48.61	48.91
315 Hz.	50.48	50.89	51.51
400 Hz.	51.23	52.07	52.09
500 Hz.	53.06	54.71	54.25
630 Hz.	54.51	55.95	55.37
800 Hz.	53.78	54.42	52.29
1 kHz.	55.53	54.90	53.19
1.25 kHz.	54.27	53.16	50.94
1.6 kHz.	47.91	47.01	43.85
2 kHz.	43.21	41.91	38.84
2.5 kHz.	41.91	40.69	37.67
3.15 kHz.	41.70	40.51	37.97
4 kHz.	39.72	38.63	36.63
5 kHz.	36.57	35.61	33.43
6.3 kHz.	32.51	32.07	29.62
8 kHz.	26.41	26.09	25.20
10 kHz.	23.87	24.21	22.74
12.5 kHz.	20.17	20.77	19.04
16 kHz.	15.49	16.24	15.31
Overall dBA	**61.44**	**60.82**	**60.05**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงดังตาราง 4.4 พบว่า ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงของการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ปูลวดกรงไก่บนแปเหล็กตัวซีพร้อมติดตั้งฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร มีค่าดังนี้

- C ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 61.44 dBA
- C ความหนา 19 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 60.82 dBA
- C ความหนา 25 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 60.05 dBA

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งรูปแบบ C ความหนา 25 มิลลิเมตร มีความสามารถในการกันเสียงมากกว่าการติดตั้งรูปแบบ C ความหนา 9 มิลลิเมตร และ C ความหนา 19 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 4.5 ค่าระดับความดันเสียงของการติดตั้งรูปแบบ D

Frequency (Hz.)	Sound Pressure Level (dBA)		
	D (9)	D (19)	D (25)
31.5 Hz.	37.43	37.07	37.55
40 Hz.	33.57	33.13	33.43
50 Hz.	38.33	39.93	37.31
63 Hz.	40.20	40.51	38.56
80 Hz.	34.71	34.35	33.81
100 Hz.	36.24	35.56	36.47
125 Hz.	39.28	39.29	38.55
160 Hz.	39.05	37.69	37.31
200 Hz.	39.65	38.70	38.50
250 Hz.	41.22	40.57	40.63
315 Hz.	41.22	40.15	40.99
400 Hz.	40.74	39.95	40.24
500 Hz.	41.35	40.79	40.11
630 Hz.	40.77	40.28	40.09
800 Hz.	38.68	38.28	37.81
1 kHz.	40.25	39.86	39.21
1.25 kHz.	39.31	38.80	38.26
1.6 kHz.	35.58	34.56	34.38
2 kHz.	32.51	31.45	31.74
2.5 kHz.	29.73	29.07	29.43
3.15 kHz.	29.34	28.69	28.97
4 kHz.	28.21	27.97	27.95
5 kHz.	25.93	25.78	26.03
6.3 kHz.	22.24	22.12	22.67
8 kHz.	17.28	17.29	19.11
10 kHz.	15.03	15.03	15.95
12.5 kHz.	12.19	12.15	13.57
16 kHz.	9.87	9.75	10.46
Overall dBA	**47.95**	**47.34**	**47.08**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงดังตาราง 4.5 พบว่า ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน พร้อมติดตั้งฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร กับแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบในรูปแบบแซนวิช มีค่าดังนี้

- D ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 47.95 dBA
- D ความหนา 19 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 47.34 dBA
- D ความหนา 25 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงเท่ากับ 47.08 dBA

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งรูปแบบ D ความหนา 25 มิลลิเมตร มีความสามารถในการกันเสียงมากกว่าการติดตั้งรูปแบบ D ความหนา 9 มิลลิเมตร และ D ความหนา 19 มิลลิเมตร

4.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ

ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงของฉนวนยางดำจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับความดันเสียง (Overall dBA) โดยเป็นค่าระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลองของการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D แสดงดังตาราง 4.6 และแผนภูมิ 4.1 ซึ่งค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่วัดได้ภายในห้องจำลองนั้น หากมีค่าน้อยหมายความว่ารูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำที่ติดตั้งพร้อมกับแผ่นเหล็กมุงหลังคามีคุณสมบัติที่สามารถกันเสียงได้มาก

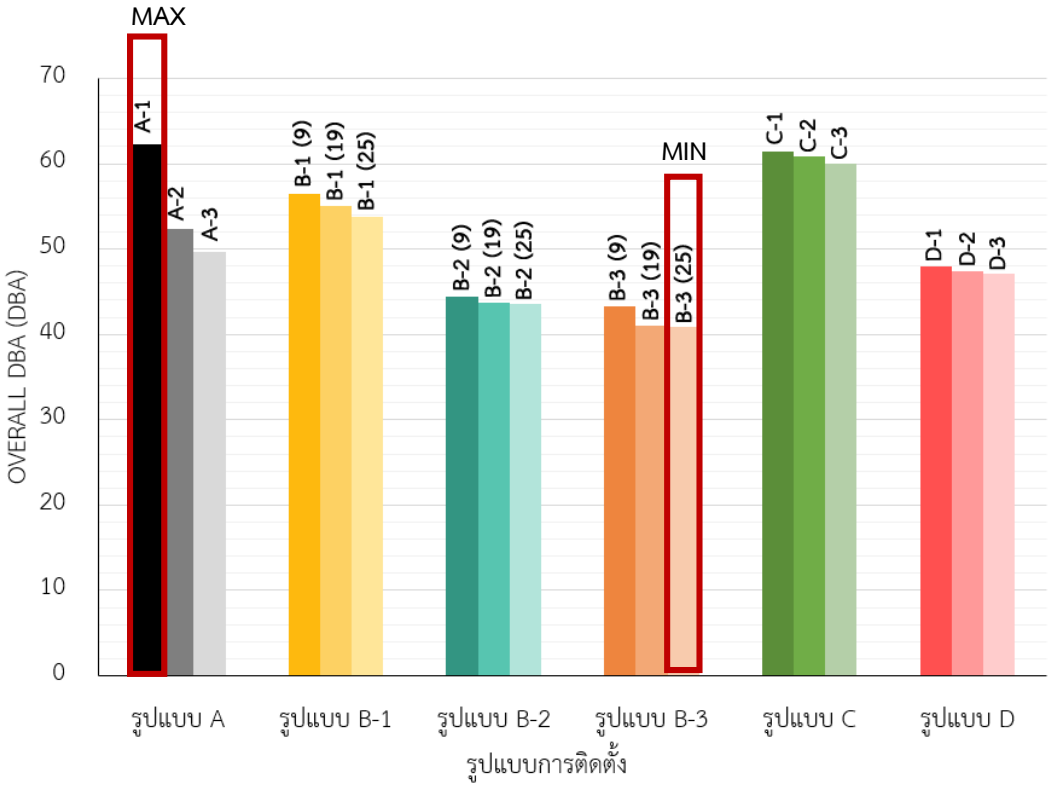
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความดันเสียงของการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D

รูปแบบการติดตั้ง		**Overall dBA**
รูปแบบ A	**A-1(Base-case)**	**62.20**
	A-2	52.37
	A-3	49.65
รูปแบบ B	B-1 (9)	56.39
	B-1 (19)	55.05
	B-1 (25)	53.77
	B-2 (9)	44.41
	B-2 (19)	43.66
	B-2 (25)	43.60
	B-3 (9)	43.29
	B-3 (19)	41.01
	B-3 (25)	**40.89**
รูปแบบ C	C (9)	61.44
	C (19)	60.82
	C (25)	60.05
รูปแบบ D	D (9)	47.95
	D (19)	47.34
	D (25)	47.08

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

*ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงของรูปแบบการติดตั้งที่เป็น **ตัวอักษรหนา** คือ ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่มีค่ามากที่สุดและน้อยที่สุด



แผนภูมิ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงของการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D *ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงของรูปแบบการติดตั้งที่มีกรอบสีแดง คือ ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่มีค่ามากที่สุดและน้อยที่สุด

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงรบกวนจากภายนอกของฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร ของการติดตั้งทั้ง 4 รูปแบบ ดังตาราง 4.6 และแผนภูมิ 4.1 พบว่า A-1 การติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน (Base-case) มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงส่งผ่านมายังห้องจำลองมากที่สุด คือ 62.20 dBA และ B-3 การติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 25 มิลลิเมตร พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้นมีช่องว่างอากาศ มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงส่งผ่านมายังห้องจำลองน้อยที่สุด คือ 40.89 dBA

แสดงให้เห็นว่า จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงส่งผ่านมายังห้องจำลองของการติดตั้งทั้ง 4 รูปแบบนั้น การติดตั้งรูปแบบ B-3 ความหนา 25 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงน้อยที่สุดหรือมีคุณสมบัติที่สามารถกันเสียงได้มากที่สุด สำหรับกลุ่มวัสดุที่ทำการทดสอบและการติดตั้ง

4.3 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งฉนวนยางดำเข้ากับแผ่นเหล็กมุงหลังคา

จากการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D ซึ่งอ้างอิงราคาจาก กรมโยธาธิการและผังเมือง : ราคากลางการประเมินงานซอมแซมที่อยู่อาศัย/สถานที่ราชการและสาธารณูปโภคพื้นฐาน โดยทำการเปรียบเทียบตามรูปแบบการติดตั้งในแต่ละรูปแบบ สามารถแจกแจงได้ดังตาราง 4.7

ตาราง 4.7 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ A

รายการวัสดุ+ค่าแรง	**ค่าใช้จ่ายตามรูปแบบการติดตั้ง (บาท/ตารางเมตร)**		
	A-1(Base-case)	**A-2**	**A-3**
แผ่นเหล็กรีดลอน	395.00	395.00	395.00
งานฝ้าเพดาน	-	520.00	700.00
รวม	**395.00**	**915.00**	**1,095.00**

จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ A ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 3 รูปแบบ ในตาราง 4.7 พบว่า

- A-1 แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน(Base-case) มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 395.00 บาท/ตารางเมตร
- A-2 แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบชั้นเดียว มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 915.00 บาท/ตารางเมตร
- A-3 แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้น มีช่องว่างอากาศ มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,095.00 บาท/ตารางเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 4.8 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ B

รายการวัสดุ+ค่าแรง	ค่าใช้จ่ายตามรูปแบบการติดตั้ง (บาท/ตารางเมตร)								
	B-1 (9)	B-1 (19)	B-1 (25)	B-2 (9)	B-2 (19)	B-2 (25)	B-3 (9)	B-3 (19)	B-3 (25)
แผ่นเหล็กรีดลอน	395	395	395	395	395	395	395	395	395
งานฝ้า	-	-	-	520	520	520	700	700	700
ฉนวนยางดำ	353.57	642.86	857.14	353.57	642.86	857.14	353.57	642.86	857.14
ค่าแรงรีดฉนวน	50	50	50	50	50	50	50	50	50
รวม	798.57	1,087.86	1,302.14	1,318.57	1,607.86	1,822.14	1,498.57	1,787.86	2,002.14

จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ B ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 3 รูปแบบ ในตาราง 4.8 พบว่า

แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร

- B-1 ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 798.57 บาท/ตารางเมตร
- B-1 ความหนา 19 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,087.86 บาท/ตารางเมตร
- B-1 ความหนา 25 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,302.14 บาท/ตารางเมตร

จะเห็นได้ว่า การติดตั้งรูปแบบ B-1 ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูกที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งรูปแบบ B-1 ความหนา 19 มิลลิเมตร และ B-1 ความหนา 25 มิลลิเมตร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งรูปแบบ A-1(Base-case) การติดตั้งรูปแบบ B-1 ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งแพงกว่า 403.57 บาท/ตารางเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร พร้อมติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ มีค่าดังนี้

- B-2 ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,318.57 บาท/ตารางเมตร
- B-2 ความหนา 19 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,607.86 บาท/ตารางเมตร
- B-2 ความหนา 25 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,822.14 บาท/ตารางเมตร

จะเห็นได้ว่า การติดตั้งรูปแบบ B-2 ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูกที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งรูปแบบ B-2 ความหนา 19 มิลลิเมตร และ B-2 ความหนา 25 มิลลิเมตร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งรูปแบบ A-1(Base-case) การติดตั้งรูปแบบ B-2 ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งแพงกว่า 923.57 บาท/ตารางเมตร

แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้นมีช่องว่างอากาศ มีค่าดังนี้

- B-3 ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,498.57 บาท/ตารางเมตร
- B-3 ความหนา 19 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,787.86 บาท/ตารางเมตร
- B-3 ความหนา 25 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 2,002.14 บาท/ตารางเมตร

จะเห็นได้ว่า การติดตั้งรูปแบบ B-3 ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูกที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งรูปแบบ B-3 ความหนา 19 มิลลิเมตร และ B-3 ความหนา 25 มิลลิเมตร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งรูปแบบ A-1(Base-case) การติดตั้งรูปแบบ B-3 ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งแพงกว่า 1,103.57 บาท/ตารางเมตร

ตาราง 4.9 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ C

รายการวัสดุ+ ค่าแรง	**ค่าใช้จ่ายตามรูปแบบการติดตั้ง (บาท/ตารางเมตร)**		
	C (9)	**C (19)**	**C (25)**
แผ่นเหล็กรีดลอน	395.00	395.00	395.00
ลวดกรงไก่	18.00	18.00	18.00
ฉนวนยางดำ	353.57	642.86	857.14
รวม	**766.57**	**1,055.86**	**1,270.14**

จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ปูลวดกรงไก่บนแปเหล็กตัวซีพร้อมติดตั้งฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร ในตาราง 4.9 พบว่า

- C ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 766.57 บาท/ตารางเมตร
- C ความหนา 19 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,055.86 บาท/ตารางเมตร
- C ความหนา 25 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,270.14 บาท/ตารางเมตร

จะเห็นได้ว่า การติดตั้งรูปแบบ C ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูกที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งรูปแบบ C ความหนา 19 มิลลิเมตร และ C ความหนา 25 มิลลิเมตร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งรูปแบบ A-1(Base-case) การติดตั้งรูปแบบ C ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งแพงกว่า 371.57 บาท/ตารางเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 4.10 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ D

รายการวัสดุ+ ค่าแรง	**ค่าใช้จ่ายตามรูปแบบการติดตั้ง (บาท/ตารางเมตร)**		
	D (9)	**D (19)**	**D (25)**
แผ่นเหล็กรีดลอน	395.00	395.00	395.00
งานฝ้า	700.00	700.00	700.00
ฉนวนยางดำ	353.57	642.86	857.14
รวม	**1,448.57**	**1,737.86**	**1,952.14**

จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน พร้อมติดตั้งฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร กับแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบในรูปแบบแซนวิช ในตาราง 4.10 พบว่า

- D ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,448.57 บาท/ตารางเมตร
- D ความหนา 19 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,737.86 บาท/ตารางเมตร
- D ความหนา 25 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 1,952.14 บาท/ตารางเมตร

จะเห็นได้ว่า การติดตั้งรูปแบบ D ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูกที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งรูปแบบ D ความหนา 19 มิลลิเมตรและ D ความหนา 25 มิลลิเมตร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้งรูปแบบ A-1(Base-case) การติดตั้งรูปแบบ D ความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งแพงกว่า 1,053.57 บาท/ตารางเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งฉนวนยางดำเข้ากับแผ่นเหล็กมุงหลังคา

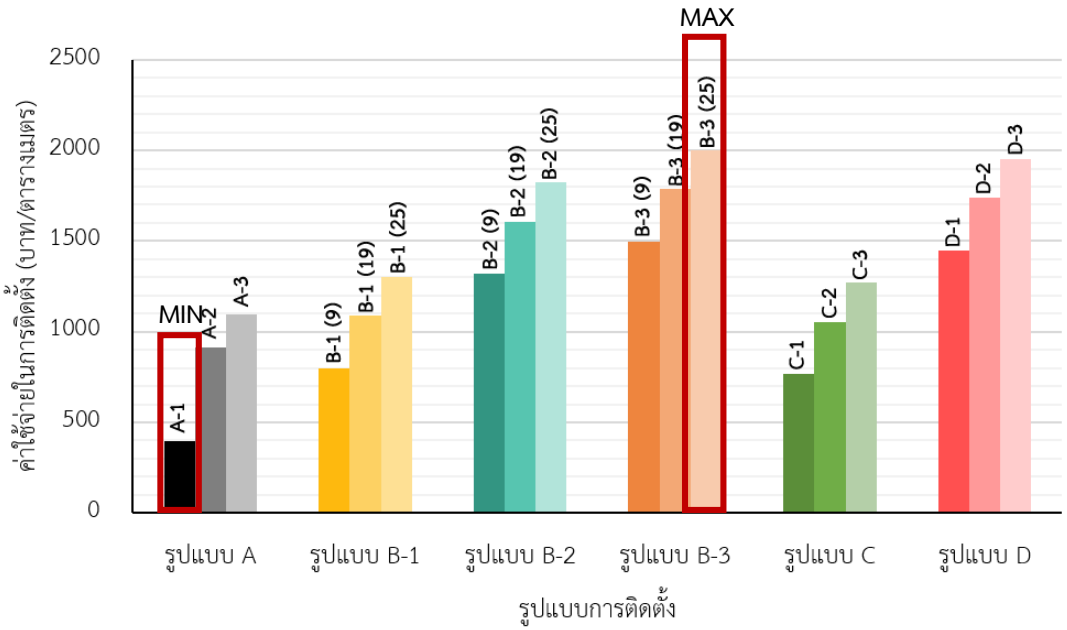
ในการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งฉนวนยางดำเข้ากับแผ่นเหล็กมุงหลังคาจะเปรียบเทียบตามรูปแบบการติดตั้งทั้ง 4 รูปแบบ แสดงดังตาราง 4.11 และแผนภูมิ 4.2

ตาราง 4.11 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D

รูปแบบการติดตั้ง		**ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (บาท/ตารางเมตร)**
รูปแบบ A	**A-1(Base-case)**	**395.00**
	A-2	915.00
	A-3	1,095.00
รูปแบบ B	B-1 (9)	798.57
	B-1 (19)	1,087.86
	B-1 (25)	1,302.14
	B-2 (9)	1,318.57
	B-2 (19)	1,607.86
	B-2 (25)	1,822.14
	B-3 (9)	1,498.57
	B-3 (19)	1,787.86
	B-3 (25)	**2,002.14**
รูปแบบ C	C (9)	766.57
	C (19)	1,055.86
	C (25)	1,270.14
รูปแบบ D	D (9)	1,448.57
	D (19)	1,737.86
	D (25)	1,952.14

*ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่เป็น **ตัวอักษรหนา** คือ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่มีค่ามากที่สุดและน้อยที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิ 4.2 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D

*ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่มีกรอบสีแดง คือ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่มีค่ามากที่สุดและน้อยที่สุด

จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งทั้ง 4 รูปแบบ ดังตาราง 4.11 และแผนภูมิ 4.2 พบว่า A-1 การติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน(Base-case) มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูกที่สุด คือ 395.00 บาท/ตารางเมตร และ B-3 การติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 25 มิลลิเมตร พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้นมีช่องว่างอากาศ มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งแพงที่สุด คือ 2,002.14 บาท/ตารางเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

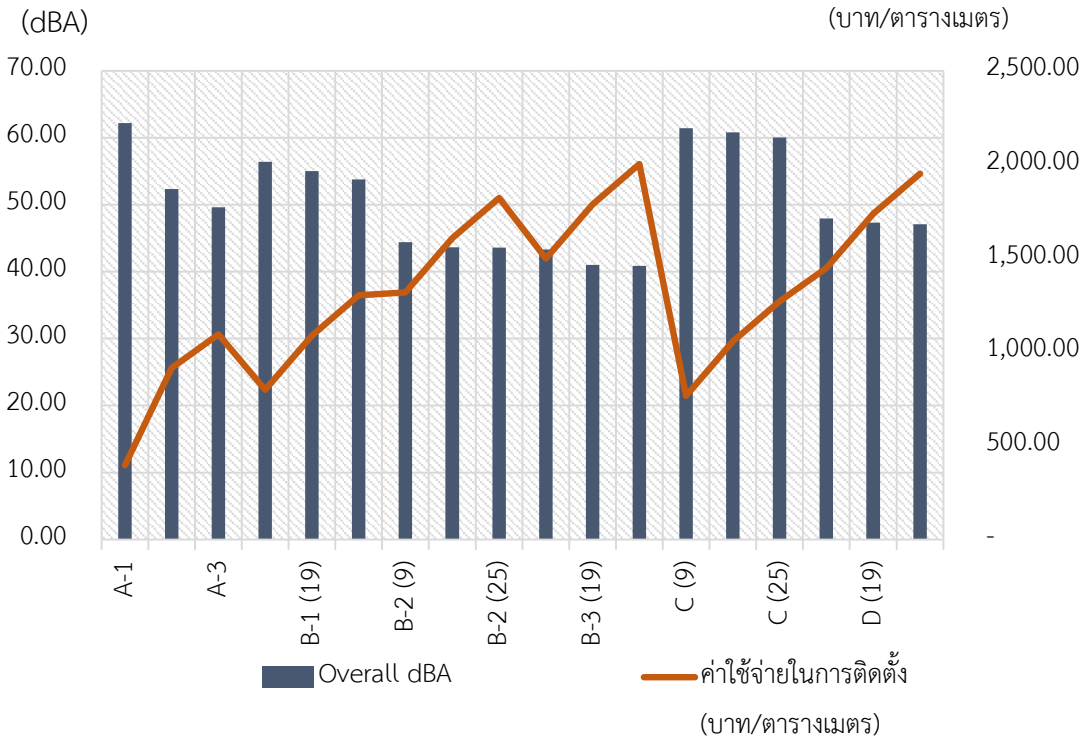
4.5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงกับค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงของการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D ควบคู่กับค่าใช้จ่ายในการติดตั้งแต่ละรูปแบบ สามารถแสดงได้ดังตาราง 4.12 และ แผนภูมิ 4.3

ตาราง 4.12 แสดงค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D

รูปแบบการติดตั้ง		Overall dBA	**ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (บาท/ตารางเมตร)**
รูปแบบ A	A-1(Base-case)	62.20	395.00
	A-2	52.37	915.00
	A-3	49.65	1,095.00
รูปแบบ B	B-1 (9)	56.39	798.57
	B-1 (19)	55.05	1,087.86
	B-1 (25)	53.77	1,302.14
	B-2 (9)	44.41	1,318.57
	B-2 (19)	43.66	1,607.86
	B-2 (25)	43.60	1,822.14
	B-3 (9)	43.29	1,498.57
	B-3 (19)	41.01	1,787.86
	B-3 (25)	40.89	2,002.14
รูปแบบ C	C (9)	61.44	766.57
	C (19)	60.82	1,055.86
	C (25)	60.05	1,270.14
รูปแบบ D	D (9)	47.95	1,448.57
	D (19)	47.34	1,737.86
	D (25)	47.08	1,952.14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



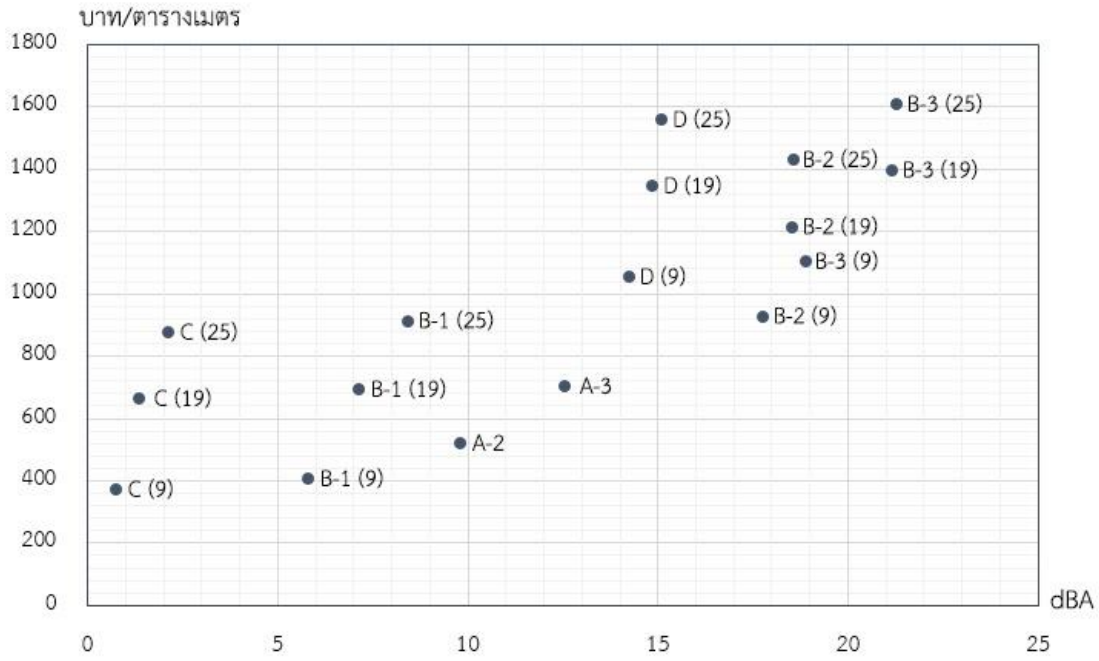
แผนภูมิ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงกับค่าใช้จ่ายในการติดตั้งทั้ง 4 รูปแบบ ดังตาราง 4.12 และแผนภูมิ 4.3 พบว่า A-1 การติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน(Base-case) มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงส่งผ่านมายังห้องจำลองมากที่สุด คือ 62.20 dBA หรือมีคุณสมบัติที่สามารถกันเสียงได้น้อยที่สุด แต่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูกที่สุด คือ 395.00 บาท/ตารางเมตร และ B-3 การติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 25 มิลลิเมตร พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้นมีช่องว่างอากาศ มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงส่งผ่านมายังห้องจำลองน้อยที่สุด คือ 40.89 dBA หรือมีคุณสมบัติที่สามารถกันเสียงได้มากที่สุด แต่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งแพงที่สุด คือ 2,002.14 บาท/ตารางเมตร

โดยการติดตั้งที่สามารถลดค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงได้น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ A-1 การติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน (Base-case) คือ การติดตั้งรูปแบบ C แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ปูลวดกรงไก่บนแปเหล็กตัวซีพร้อมติดตั้งฉนวนยางดำ ความหนา 9 มิลลิเมตร โดยสามารถลดค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงจากการติดตั้งรูปแบบ A-1 ได้ 0.76 dBA แต่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเพิ่มขึ้นจากการติดตั้งรูปแบบ A-1 น้อยที่สุด เท่ากับ 371.57 บาท/ตารางเมตร

ส่วนการติดตั้งที่สามารถลดค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ A-1 การติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน (Base-case) คือ การติดตั้งรูปแบบ B แผ่นเหล็กมุงหลังคารีด

ติดด้วยฉนวนยางดำความหนา 25 มิลลิเมตร พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้นมีช่องว่างอากาศ โดยสามารถลดค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงจากการติดตั้งรูปแบบ A-1 ได้ 21.31 dBA แต่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเพิ่มขึ้นจากการติดตั้งรูปแบบ A-1 มากที่สุด เท่ากับ 1,607.14 บาท/ตารางเมตร แสดงดังแผนภูมิ 4.4



แผนภูมิ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ลดได้และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่เพิ่มขึ้นของรูปแบบ A-2, A-3, B, C และ D เปรียบเทียบกับการติดตั้งรูปแบบ A-1 (Base-case)

จะเห็นได้ว่าเมื่อนำค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงกับค่าใช้จ่ายในการติดตั้งทั้ง 4 รูปแบบ มาเปรียบเทียบกับ การติดตั้งรูปแบบ A-1 ติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน (Base-case) ด้วยวิธีการพล็อตจุดบนกราฟ พบว่าค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ลดได้ของฉนวนยางดำในการติดตั้งแต่ละรูปแบบ มีค่าใกล้เคียงกันเป็นกลุ่มตามระดับความดันเสียงในช่วงต่างๆกัน โดยจะทำการแบ่งกลุ่มตามระดับความดันเสียงต่อไปในบทที่ 5 เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับเกณฑ์ระดับเสียงสูงที่สุดที่สามารถยอมรับได้ของห้องแต่ละประเภท

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัยคุณสมบัติทางเสียงของฉนวนยางดำ

แผ่นเหล็กมุงหลังคามีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ด้วยคุณสมบัติที่เบา แข็งแรง ไม่แตกหัก อีกทั้งยังมีการเคลือบด้วยโลหะผสมระหว่างอลูมิเนียมและสังกะสี ทำให้ไม่เกิดสนิมในระหว่างการใช้งาน แต่เนื่องด้วยแผ่นเหล็กมุงหลังคาเป็นวัสดุที่ทำจากโลหะ ในช่วงเวลาที่ฝนตกส่งผลให้เกิดเสียงรบกวนภายในอาคาร จึงได้ทำการศึกษาคุณสมบัติในการกันเสียงรบกวนจากภายนอกของแผ่นเหล็กมุงหลังคาด้วยวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ ทดสอบโดยใช้เสียงรบกวนจากฝนประดิษฐ์ที่ดัดแปลงจากมาตรฐาน ISO 10140-5 ตามรูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำทั้ง 4 รูปแบบ ได้แก่

<u>รูปแบบ A</u> แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน

A-1 การติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน (Base case)

A-2 การติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน พร้อมติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบชั้นเดียว

A-3 การติดตั้งแผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน พร้อมติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้น มีช่องว่างอากาศ

<u>รูปแบบ B</u> แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ

B-1 แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร

B-2 แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร พร้อมติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ

B-3 แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร พร้อมติดตั้งฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ 2 ชั้นมีช่องว่างอากาศ

<u>รูปแบบ C</u> แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ปูลวดกรงไก่บนแปเหล็กตัวซี พร้อมติดตั้งฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร ในลักษณะวางบนลวดกรงไก่

<u>รูปแบบ D</u> แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ติดตั้งฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร กับแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ โดยประกบแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบไว้ด้านบนและด้านล่างฉนวนยางดำ หรือรูปแบบแซนวิช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการศึกษาพบว่า ฉนวนยางดำความหนา 25 มิลลิเมตร มีความสามารถในการกันเสียงได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับความหนา 9 มิลลิเมตร และ 19 มิลลิเมตร แต่ระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลองเมื่อติดตั้งฉนวนยางดำทั้ง 3 ความหนามีค่าที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า ความหนาของฉนวนยางดำมีผลน้อยมากต่อการลดระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลอง แต่รูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำมีผลต่อความสามารถในการลดระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลองได้มากกว่า

โดยทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลองและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งฉนวนยางดำทั้งหมด 4 รูปแบบ คือ รูปแบบ A-1 (Base case), B, C และ D เท่านั้น เนื่องจากการติดตั้งรูปแบบ A-2 และ A-3 ไม่มีการติดตั้งฉนวนยางดำจึงไม่ได้นำมาเปรียบเทียบ โดยทำการจัดกลุ่มของการติดตั้งที่มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลอง อ้างอิงจากเกณฑ์ระดับเสียงที่ยอมรับได้ของห้องแต่ละประเภท อ้างอิงจากมาตรฐาน ANSI/ASA S12.2-2008 ที่แสดงดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1 ระดับเสียงสูงที่สุดที่สามารถยอมรับได้ของห้องแต่ละประเภท

ประเภทของห้อง	Recommended NC Level	ระดับความดันเสียง (dBA)
ห้องบันทึกเสียง	15-20	25-30
ห้องจัดแสดงคอนเสิร์ต	15-20	25-30
ห้องประชุมขนาดเล็ก (≤500 ที่นั่ง)	25-30	35-39
ห้องประชุมขนาดใหญ่ (>500 ที่นั่ง)	20-25	30-35
ห้องออกอากาศทางโทรทัศน์	15-25	16-35
โรงละคร (Legitimate theaters)	20-25	30-35

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 5.1 (ต่อ) ระดับเสียงสูงที่สุดที่สามารถยอมรับได้ของห้องแต่ละประเภท

ประเภทของห้อง	Recommended NC Level	ระดับความดันเสียง (dBA)
โรงภาพยนตร์	30-40	39-48
โบสถ์ขนาดเล็ก	30-35	39-44
โบสถ์ขนาดใหญ่	20-25	30-35
ห้องพิจารณาคดี	30-40	39-44
ห้องสมุด	35-40	44-48
ร้านอาหาร	40-45	48-52
บ้านพักส่วนตัว		
- ห้องนอน	25-30	35-39
- อะพาร์ตเมนต์	30-40	39-48
- ห้องสำหรับครอบครัวและห้องนั่งเล่น	30-40	39-48
โรงแรม		
- ห้องพักแบบส่วนตัวหรือห้องชุด	30-35	39-44
- ห้องประชุมหรือห้องจัดเลี้ยง	25-35	35-44
- ห้องฝ่ายบริการลูกค้า	40-50	48-57
สำนักงาน		
- ห้องประชุมขนาดใหญ่	25-30	35-39
- พื้นที่เปิดโล่ง	35-40	44-48
- ห้องคอมพิวเตอร์หรือเครื่องใช้สำนักงาน	40-45	48-53

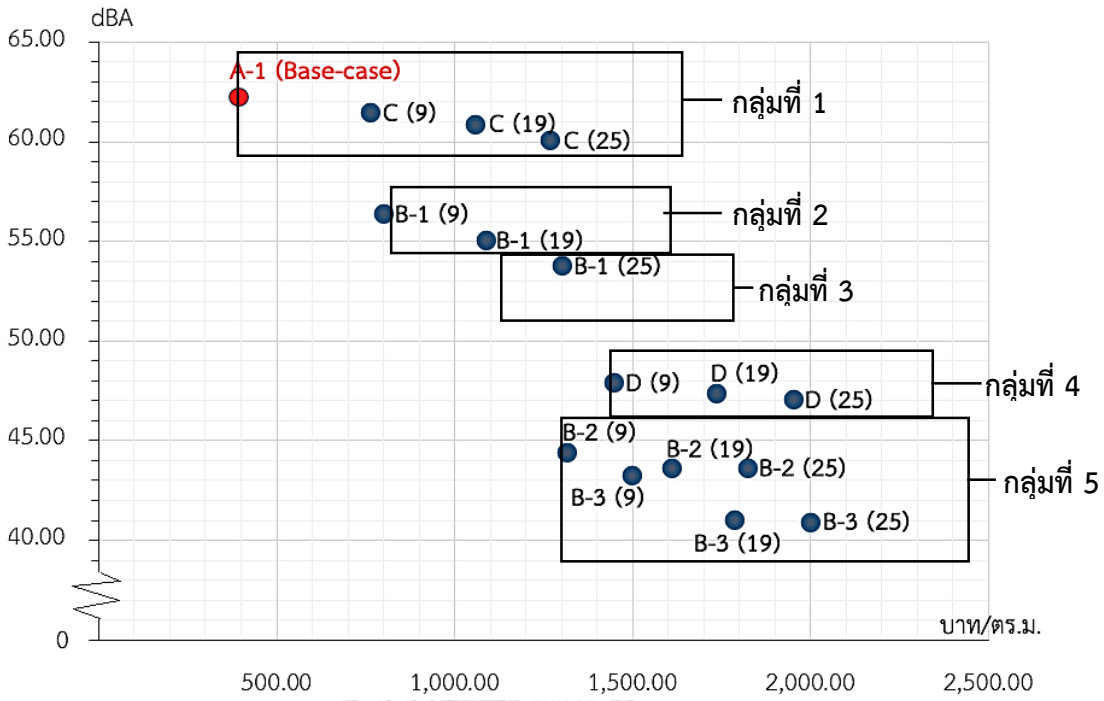
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 5.1 (ต่อ) ระดับเสียงสูงที่สุดที่สามารถยอมรับได้ของห้องแต่ละประเภท

ประเภทของห้อง	Recommended NC Level	ระดับความดันเสียง (dBA)
โรงพยาบาลและคลินิก		
- ห้องพักส่วนตัว	25-30	35-39
- ห้องผ่าตัด	25-35	35-44
- พื้นที่สาธารณะ	40-45	48-52
โรงเรียน		
- ห้องบรรยายและห้องเรียน < 566 ลูกบาศก์เมตร	25-30	35
- ห้องเรียนแบบเปิดโล่ง	25-30	35

จากตาราง 5.1 จะเห็นได้ว่า ระดับเสียงที่สามารถยอมรับได้ของห้องแต่ละประเภทจะอยู่ในช่วงความแตกต่างที่ 5 dBA โดยสามารถจัดกลุ่มรูปแบบการติดตั้งที่มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันได้จำนวน 5 กลุ่ม ซึ่งแสดงดังแผนภูมิ 5.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลองและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งรูปแบบ A, B, C และ D

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลองและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งฉนวนยางดำในแผนภูมิ 5.1 สามารถแจกแจงค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลองอยู่ในช่วงความแตกต่างที่ 5 dBA และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของแต่ละกลุ่ม ได้ดังตารางต่อไปนี้

<u>กลุ่มที่ 1</u> รูปแบบการติดตั้งที่มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ 60-65 dBA

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 5.2 ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของกลุ่มที่ 1

รูปแบบการติดตั้ง	**Overall dBA**	**ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (บาท/ตารางเมตร)**	**ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากรูปแบบ A-1**	
			(บาท/ตารางเมตร)	**จำนวนเท่า**
A-1 (Base-case)	62.20	395.00	-	-
C (9)	61.44	766.57	371.57	1.94
C (19)	60.82	1,055.86	660.86	2.67
C (25)	60.05	1,270.14	875.14	3.22

จากผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ 60-65 dBA และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของกลุ่มที่ 1 พบว่า การติดตั้งรูปแบบ C ที่ติดตั้งฉนวนยางดำ ความหนา 9, 19 และ 25 มิลลิเมตร เป็นรูปแบบที่มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่แตกต่างกับการติดตั้งรูปแบบ A-1 (Base case) เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากเป็นการวางฉนวนยางดำลงบนแป ทำให้ฉนวนยางดำสัมผัสกับลอนของแผ่นเหล็กมุงหลังคาเพียงแค่บางส่วน ส่งผลให้ลอนหลังคาส่วนที่ไม่สัมผัสกับยางดำเกิดการสั่นขณะที่เม็ดฝนตกกระทบ ทำให้เกิดเสียงรบกวนส่งผ่านมายังห้องจำลองในปริมาณที่มาก จึงไม่เกิดความคุ้มค่าในการนำไปใช้งาน

กลุ่มที่ 2 รูปแบบการติดตั้งที่มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ 55-60 dBA

ตาราง 5.3 ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของกลุ่มที่ 2

รูปแบบการติดตั้ง	**Overall dBA**	**ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (บาท/ตารางเมตร)**	**ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากรูปแบบ A-1**	
			(บาท/ตารางเมตร)	**จำนวนเท่า**
B-1 (9)	56.39	798.57	403.57	2.02
B-1 (19)	55.05	1,087.86	692.86	2.75

จากผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ 55-60 dBA และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของกลุ่มที่ 1 พบว่า การติดตั้งรูปแบบ B-1 ติดตั้งฉนวนยางดำความหนา 9 มิลลิเมตร เป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานมากที่สุด เพราะมีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ใกล้เคียงกันกับรูปแบบอื่นๆภายในกลุ่ม อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูกที่สุด เท่ากับ 798.57 บาท/ตารางเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กลุ่มที่ 3 รูปแบบการติดตั้งที่มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ 50-55 dBA

ตาราง 5.4 ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของกลุ่มที่ 3

รูปแบบการติดตั้ง	Overall dBA	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (บาท/ตารางเมตร)	ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากรูปแบบ A-1	
			(บาท/ตารางเมตร)	จำนวนเท่า
B-1 (25)	53.77	1,302.14	907.14	3.30

จากผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ 50-55 dBA และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของกลุ่มที่ 3 พบว่า มีเพียงการติดตั้งรูปแบบ B-1 ติดตั้งฉนวนยางดำความหนา 25 มิลลิเมตร ที่มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงในช่วงเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ 50-55 dBA มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเท่ากับ 1,302.14 บาท/ตารางเมตร

กลุ่มที่ 4 รูปแบบการติดตั้งที่มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ 45-50 dBA

ตาราง 5.5 ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของกลุ่มที่ 4

รูปแบบการติดตั้ง	Overall dBA	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (บาท/ตารางเมตร)	ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากรูปแบบ A-1	
			(บาท/ตารางเมตร)	จำนวนเท่า
D (9)	47.95	1,448.57	1,053.57	3.67
D (19)	47.34	1,737.86	1,342.86	4.40
D (25)	47.08	1,952.14	1,557.14	4.94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ 45-50 dBA และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของกลุ่มที่ 1 พบว่า การติดตั้งรูปแบบ D ติดตั้งฉนวนยางดำความหนา 9 มิลลิเมตร เป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานมากที่สุด เพราะมีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ใกล้เคียงกันกับรูปแบบอื่นๆภายในกลุ่ม แต่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูกที่สุด เท่ากับ 1,448.57 บาท/ตารางเมตร

กลุ่มที่ 5 รูปแบบการติดตั้งที่มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ 40-45 dBA

ตาราง 5.6 ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของกลุ่มที่ 5

รูปแบบการติดตั้ง	**Overall dBA**	**ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (บาท/ตารางเมตร)**	**ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากรูปแบบ A-1**	
			(บาท/ตารางเมตร)	**จำนวนเท่า**
B-2 (9)	44.41	1,318.57	923.57	3.34
B-2 (19)	43.66	1,607.86	1,212.86	4.07
B-2 (25)	43.60	1,822.14	1,427.14	4.61
B-3 (9)	43.29	1,498.57	1,103.57	3.79
B-3 (19)	41.01	1,787.86	1,392.86	4.53
B-3 (25)	40.89	2,002.14	1,607.14	5.07

จากผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ 40-45 dBA และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของกลุ่มที่ 5 พบว่า การติดตั้งรูปแบบ B-2 ติดตั้งฉนวนยางดำความหนา 9 มิลลิเมตร เป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานมากที่สุด เพราะมีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ใกล้เคียงกันกับรูปแบบอื่นๆภายในกลุ่ม อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูกที่สุด เท่ากับ 1,318.57 บาท/ตารางเมตร

จึงสามารถสรุปรูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำที่มีความสามารถในการกันเสียงรบกวนจากภายนอกที่ดีและมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่เหมาะสมได้ทั้งหมด 3 รูปแบบ จากรูปแบบการติดตั้งทั้งหมดที่ทำการศึกษาในงานวิจัยชิ้นนี้ ดังนี้

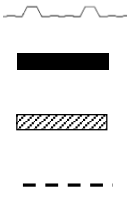
- การติดตั้งรูปแบบ B-1 ติดตั้งฉนวนยางดำความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลอง เท่ากับ 56.39 dBA
- การติดตั้งรูปแบบ D ติดตั้งฉนวนยางดำความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลอง เท่ากับ 47.95 dBA
- การติดตั้งรูปแบบ B-2 ติดตั้งฉนวนยางดำความหนา 9 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลอง เท่ากับ 44.41 dBA

โดยสามารถสรุปรูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำที่เหมาะสมทั้งหมด 3 รูปแบบได้ดังตาราง 5.7

Chulalongkorn University

ตาราง 5.7 รูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำที่เหมาะสมกับการใช้งานอาคาร

สัญลักษณ์	รูปแบบการทดสอบ	ภาพจำลองด้านข้าง
B-1 (9)	แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ ความหนา 9 มิลลิเมตร	
B-2 (9)	แผ่นเหล็กมุงหลังคารีดติดด้วยฉนวนยางดำ ความหนา 9 มิลลิเมตร ติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบ	
D (9)	แผ่นเหล็กมุงหลังคาที่ไม่มีฉนวน ติดตั้งฉนวนยางดำ ความหนา 9 มิลลิเมตร กับแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดฉาบเรียบในรูปแบบแซนวิช	



5.2 เปรียบเทียบค่าระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลองกับค่า Noise Criteria (NC)

เกณฑ์ระดับเสียงในการใช้งานอาคารแต่ละประเภทถูกกำหนดด้วยค่าดัชนี Noise Criteria (NC) ซึ่งหากค่า NC มาก หมายความว่า ฉนวนกันเสียงมีความสามารถในการกันเสียงน้อย แต่ถ้าค่า NC น้อย หมายความว่า ฉนวนกันเสียงมีความสามารถในการกันเสียงมาก แสดงดังตาราง 5.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

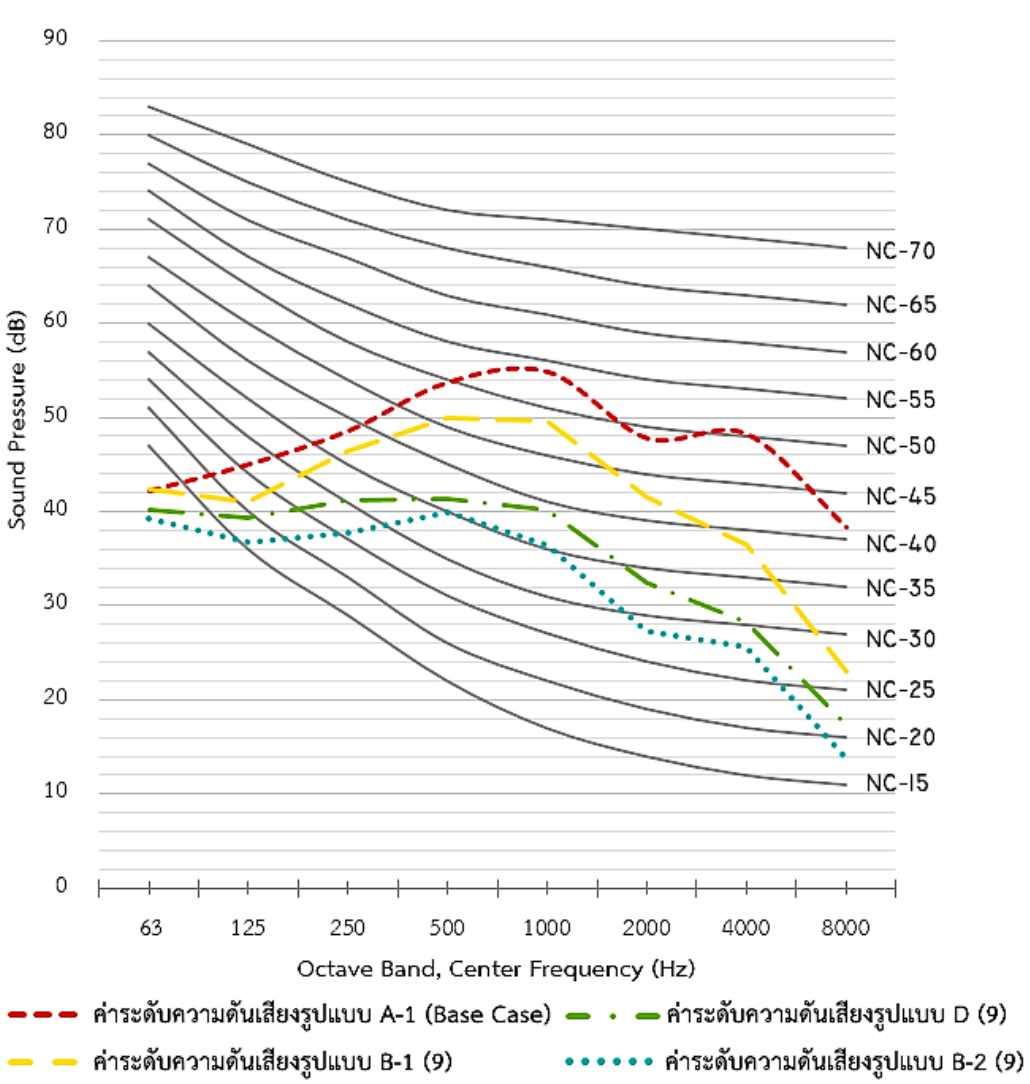
ตาราง 5.8 การเปรียบเทียบค่า NC และ NR สำหรับพื้นที่ใช้สอยในอาคารแต่ละประเภท

ชนิดห้อง		Noise Criteria NC	Noise Rating NR	dB(A)
เงียบมาก	ห้องแสดงคอนเสริตและโอเปร่า ห้องอัดเสียง โรงภาพยนต์ ฯลฯ	10-20	20	25-30
	ห้องนอนส่วนตัว โรงละคร ห้องอัดรายการ โทรทัศน์และวิทยุ ห้องประชุมและห้องเรียน โบสถ์ขนาดใหญ่ ห้องสมุด ฯลฯ	20-25	25	25-30
	ห้องนั่งเล่นส่วนตัว ห้องประชุมและห้องเรียน ห้องนอนในโรงแรม	30-40	30	30-35
เงียบ	ห้องสาธารณะในโรงแรม ห้องทำงาน ห้องเรียน ห้องพิพากษา	30-40	35	40-45
เสียงดัง	ห้องเขียบแบบ ห้องสุขา ห้องน้ำ ห้องโถงรับแขก ทางเดิน ห้างสรรพสินค้า	35-45	40	45-55
เสียงดังมาก	ห้องครัวในโรงพยาบาลและโรงแรม ห้องซักรีด ห้องคอมพิวเตอร์ โรงอาหาร ซูปเปอร์มาร์เกต สำนักงาน พื้นที่นอกอาคาร	40-50	45	45-55

(ที่มา : http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/ENV/CH7.pdf)

จากการทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคาด้วยวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ สามารถสรุปรูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำที่มีความสามารถในการกันเสียงรบกวนจากภายนอกที่ดีและมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่เหมาะสมได้ทั้งหมด 3 รูปแบบ ในตาราง 5.7 และเพื่อให้เกิดความสะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้งาน จึงได้ค่าเฉลี่ยระดับความดันเสียงในแต่ละย่านความถี่ตั้งแต่ 63–8,000 Hz ที่ส่งผ่านมายังห้องจำลองของการติดตั้งฉนวนยางดำรูปแบบ A-1 (Base Case), B-1 (9), B-2 (9) และ D (9) เปรียบเทียบกับค่า NC โดยแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิ 5.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิ 5.2 แสดงค่าระดับความดันเสียงในแต่ละย่านความถี่ของรูปแบบ A-1 (Base Case), B-1 (9), B-2 (9) และ D (9) เปรียบเทียบกับค่า NC

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการคำนวณค่า NC ของรูปแบบการติดตั้ง A-1 (Base Case), B-1 (9), B-2 (9) และ D (9) อ้างอิงการคำนวณค่า NC จาก Room Sound Calculator ของเว็บไซต์ www.krueger-hvac.com พบว่า

- รูปแบบ A-1 (Base Case) ที่มีค่า NC เท่ากับ 54
- รูปแบบ B-2 (9) มีค่า NC เท่ากับ 35
- รูปแบบ D (9) มีค่า NC เท่ากับ 39
- รูปแบบ B-1 (9) มีค่า NC เท่ากับ 49

จะเห็นได้ว่ารูปแบบการติดตั้ง B-2 (9) มีความสามารถในการกันเสียงรบกวนจากภายนอกที่ส่งผ่านมายังห้องจำลองได้มากที่สุด รองลงมาคือ รูปแบบ D (9) และรูปแบบ B-2 (9) ตามลำดับ

5.3 การประยุกต์ใช้งานรูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำกับเกณฑ์ระดับเสียงที่ยอมรับได้สูงที่สุดของห้องแต่ละประเภท

เกณฑ์ระดับเสียงที่ยอมรับได้สูงที่สุดของห้องแต่ละประเภทมีค่าแตกต่างกันตามรูปแบบการใช้งาน จากการศึกษาคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคาด้วยวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในห้องจำลองขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 3.3 x 3.5 x 3.8 เมตร ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับอาคารประเภทที่พักอาศัย จึงได้นำค่า NC และเฉลี่ยระดับความดันเสียงของรูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำที่เหมาะสมทั้ง 3 รูปแบบ ในตาราง 5.7 มาประยุกต์ใช้กับเกณฑ์ระดับเสียงที่ยอมรับได้สูงที่สุดของห้องประเภทที่พักอาศัย สามารถแสดงได้ในตาราง 5.9 ดังนี้

ตาราง 5.9 แสดงรูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำที่เหมาะสมกับการใช้งานห้องแต่ละประเภท

ประเภทของห้อง	Recommended NC Level	ระดับความดันเสียง (dBA)	รูปแบบการติดตั้งฉนวนยางดำ
บ้านพักส่วนตัว			
- ห้องนอน	25-30	35-39	-
- อะพาร์ตเมนต์	30-40	39-48	B-2 (9)
- ห้องสำหรับครอบครัวและห้องนั่งเล่น	30-40	39-48	B-2 (9)

(ที่มา : มาตรฐาน ANSI/ASA S12.2-2008)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการศึกษาคุณสมบัติในการกันเสียงของแผ่นเหล็กมุงหลังคาด้วยวัสดุพอลิเมอร์ชนิดฉนวนยางดำ สามารถสรุปได้ว่า ฉนวนยางดำมีคุณสมบัติในการกันเสียงรบกวนจากภายนอกที่ดีกว่าฉนวนกันเสียงที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเมื่อนำมาใช้ควบคู่กับแผ่นเหล็กมุงหลังคา ซึ่งได้แก่ พ่นฉนวนโฟม PU กับแผ่นเหล็กมุงหลังคา และรีดติดฉนวน PE เข้ากับแผ่นเหล็กมุงหลังคา อีกทั้งฉนวนยางดำยังสามารถติดตั้งภายในอาคารได้หลากหลายรูปแบบ โดยการติดตั้งแต่ละรูปแบบสามารถลดระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านเข้ามาภายในห้องได้แตกต่างกัน ซึ่งผู้ออกแบบสามารถนำการติดตั้งฉนวนยางดำแต่ละรูปแบบมาประยุกต์ใช้งานกับอาคารประเภทที่พักอาศัยหรือที่ใช้งานในลักษณะใกล้เคียงกันได้

5.4 ข้อเสนอในการพัฒนางานวิจัยต่อไปในอนาคต

5.4.1 การติดตั้งฉนวนมีรูปแบบอื่นๆอีกหลากหลาย แต่ด้วยข้อจำกัดของงบประมาณจึงได้มีการศึกษารูปแบบการติดตั้งเพียง 4 รูปแบบ หากมีผู้สนใจจะทำการวิจัยต่อสามารถเลือกใช้รูปแบบอื่นในการติดตั้งฉนวนที่เหมาะสมกับอาคารแต่ละประเภทได้ต่อไป อีกทั้งยังสามารถเลือกใช้วัสดุฉนวนชนิดอื่นโดยใช้รูปแบบการติดตั้งทั้ง 4 รูปแบบข้างต้นได้

5.4.2 ด้วยข้อจำกัดของพื้นที่และงบประมาณ จึงศึกษาเพียงห้องจำลองขนาด 3.3 x 3.5 x 3.8 เมตร อีกทั้งยังมีข้อจำกัดเรื่องการใช้วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์เซาะร่องหนา 6 มิลลิเมตรในการก่อผนัง ซึ่งอาคารในแต่ละประเภทนั้น จะวัสดุผนังที่แตกต่างกันไปตามความเหมาะสม หากมีผู้สนใจจะทำการวิจัยต่อสามารถเลือกใช้รูปแบบการติดตั้งทั้ง 4 รูปแบบ ร่วมกับการสร้างห้องจำลองให้มีขนาดและวัสดุที่สอดคล้องกับอาคารแต่ละประเภท

5.4.3 เกณฑ์ระดับเสียงที่สามารถยอมรับได้ภายในห้องแต่ละประเภทสำหรับประเทศไทยนั้น ยังไม่ครอบคลุมในทุกประเภท จึงต้องใช้เกณฑ์ระดับเสียงที่สามารถยอมรับได้ภายในห้องของต่างประเทศ ซึ่งเป็นเกณฑ์เฉพาะของประเทศนั้นๆ จึงอาจส่งผลให้การประยุกต์ใช้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ หากประเทศไทยมีการกำหนดเกณฑ์ระดับเสียงที่สามารถยอมรับได้ภายในห้องแต่ละประเภทสำหรับประเทศไทยเอง จะทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ง่ายขึ้น

5.4.4 ค่าระดับความดันเสียงที่ส่งผ่านมายังห้องจำลองของรูปแบบการติดตั้งทั้ง 4 รูปแบบ เป็นค่าระดับเสียงรบกวนที่เกิดจากฝนประดิษฐ์ตามข้อจำกัดของการศึกษา หากมีผู้สนใจจะนำไปประยุกต์ใช้งาน ควรมีการพิจารณาเพิ่มเติมในเรื่อง เสียงรบกวนประเภทอื่น วัสดุในการก่อสร้าง ขนาดของห้องและการใช้งานที่เหมาะสม

5.4.5 การติดตั้งในรูปแบบแซนวิช ต้องมีกรอบ (frame) ในการติดตั้งฝ้าเพดานฉาบเรียบสองชั้น ส่งผลให้การติดตั้งฝ้าเพดานมีน้ำหนักที่เพิ่มมากขึ้นและมีโครงสร้างที่ซับซ้อน หากมีผู้สนใจจะนำไปประยุกต์ใช้งานควรมีการพิจารณาเพิ่มเติมในเรื่องดังกล่าวด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. (2555). โลกนี้เสียงดัง. Retrieved 14 ธันวาคม 2560 http://infofile.pcd.go.th/air/NoisyWorldMay55.pdf?CFID=1851148&CFTOKEN=33512493

กวี หวังนิเวศน์กุล. (2552). วัสดุวิศวกรรมก่อสร้าง. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซี เอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล และวัลลภ หาญณรงค์ชัย. (2558). การผลิตวัสดุดูดซับเสียงจากวัสดุผสมยางโฟมธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติ. Retrieved 19 กุมภาพันธ์ 2561 http://doi.nrct.go.th/ListDoi/Download/215761/b1f46b1b6c014cbf28fc1f24a738741d?Resolve_DOI=10.14457/RMUTP.res.2015.15

กุลยา โอกาตะ, ทะยานรุ่ง เหลือสินทรัพย์ and พิทยา สีสด. (2559). เคมีเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน). (2559a). Thermal Insulation For Roof. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน).

บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน). (2559b). จะลดเสียงดังของหลังคาเมทัลชีทตอนฝนตกได้อย่างไร ? Retrieved 14 ธันวาคม 2560 http://www.scgbuildingmaterials.com/th/LivingIdea/Renovation/Reduce-Sound-of-Rain-Hitting-Metal-Sheet-Roof.aspx

บริษัท พี.ยู.โฟม อินซูเลชั่น แอนด์ เทรดดิ้ง จำกัด. (2560). PU Foam ฉนวนป้องกันความร้อน. Retrieved 15 มกราคม 2561 http://www.pufoaminsulation.com/โปรชัวร์งานพ่นพียูโฟม.pdf

บริษัท เอ.เอ็น.อินซูเลชั่น จำกัด. (2560). ฉนวนยางดำ Aeroflex. Retrieved 15 มกราคม 2561 https://www.an-insulation.com/product/ฉนวนยางดำ-aeroflex

พงศ์พัน วรสุนทโรสถ. (2532). วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

พงษ์ธร แซ่อุย. (2547). ชนิดของยางและการใช้งาน. Retrieved 15 มกราคม 2561 http://www.rubbercenter.org/files/technologys.pdf

วิรัตน์ ปฐมชัยอัมพร และ สายัณห์ สุยพงษ์พันธ์. (2549). ฉนวนกันความร้อนประเภทโฟมกับการประหยัดพลังงาน. Retrieved 15 มกราคม 2561 http://www.dss.go.th/images/st-article/pep_8_2549_energy-saving-foam.pdf

วีทิต วรรณเลิศลักษณ์. (2560). ฟิสิกส์รอบตัว ตอน ฉนวนกันเสียง. Retrieved 14 ธันวาคม 2560 http://www.scimath.org/lesson-physics/item/7309-2017-06-14-15-27-55

สภาวิศวกร. (2560). ระบบการจัดการมลภาวะทางเสียง. Retrieved 19 กุมภาพันธ์ 2561 http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/ENV/CH7.pdf

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. แผ่นเหล็กมุงหลังคา 1128, 2535.

สุภาวดี รัตนมาศ. (2543). หลังคาในงานสถาปัตยกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ นุยบุ๊คส์.

ภาษาอังกฤษ

Abd-Elfattah, A., El-Nagar, K. E. and Mahmoud. (2011). Characterization of the Acoustic Behaviours of Laminated Polyester Fabric Using Different Adhesion Systems. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5, 96-101.

Aizhen, L. and Houfeng, L. (2005). Foundation of meteorology and climatology. Beijing: China Meteorological Press, 95-100.

American National Standards Institute (ANSI/ASA). Criteria for Evaluating Room Noise S12.2, 2008.

American Society for Testing and Materials (ASTM). Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions E90-70, 2008.

American Society for Testing and Materials (ASTM). Standard Test Method for Field Measurement of Tapping Machine Impact Sound Transmission Through Floor-Ceiling Assemblies and Associated Support Structures E1007-14, 2014.

Angelo, F. and Anna, T. (1997). Measurement of the sound absorption coefficient of materials with a new sound intensity technique. Retrieved 2018,January 15 http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=1C3AE51DD85EEABDF5F58CAA55CCC022?doi=10.1.1.621.4587&rep=rep1&type=pdf

Baoxing, X., Weizhu, Y. and Y., Z. (2016). A hybrid elastomeric foam-core/solid-shell spherical structure for enhanced energy absorption performance. International Journal of Solids and Structures, 92-93, 17-28.

Barthes, L. and Mallet, C. (2009). Estimation of gamma raindrop size distribution parameters: statistical fluctuations and estimation errors. J Atmos Oceanic Technol, 26, 1572-1584.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Berenice, G., Colin, H. H., Gustav, A. S. and editors. (2001). Occupational exposure to noise: evaluation, prevention and control. Dortmund: WHO.

Boudevillain, B., Delrieu, G., Hazenberg, P., Uijlenhoet, R. and Yu, N. (2014). Unified formulation of single- and multimoment normalizations of the raindrop size distribution based on the gamma probability density function. J Appl Meteorol Climatol, 53(1), 166.

Bronzaft, A. L. and Hangler, L. (2010). Noise: The Invisible Pollutant that cannot be ignored. Emerging Environmental Technologies, 2, 75-96.

Bruel and Kjaer. (1978). Architectural Acoustics. Denmark: Bruël & Kjaer.

Hiromi, S. and Hideki, T. (1994). Sound radiation characteristics of lightweight roof constructions excited by rain. Journal of building Acoustic, 1(4), 249-270.

ISO. Laboratory measurement of sound insulation of building elements—Part5: Requirements for test facilities and equipment. Rainfall sound. 10140-5:2010/AMD 1, 2014.

ISO Recommendation. Field and laboratory measurements of airborne and impact sound transmission. 1960-R140 (E),

ISO. Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements -- Laboratory measurement of sound insulation of building elements. 10140-3, 2010.

ISO. Acoustics. Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure -- Precision methods for anechoic rooms and hemi-anechoic rooms. 3745, 2012.

James P. C. (1999). Architectural Acoustics Design Guide. New York City: McGraw-Hill Professional Publishing.

Junjie, L., Shuai, L. and Y., X. (2016). Experimental studies on the rain noise of lightweight roofs: Natural rains vs artificial rains. Applied Acoustics, 106, 63-76.

Liu Y. (2001). Terminal velocity of the falling raindrops. College Phys, 20, 16-17.

Lu H. (1997). Numerical modeling on rain drops falling velocity. J Soil Erosion Soil Water Conserv, 3, 15-21.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Mark, S. (2017). Multifunctional Thermal and Acoustical Solutions. Retrieved 2017,December 14 https://insulation.org/io/articles/multifunctional-thermal-and-acoustical-solutions/

Marshall, J. S. and Palmer, W. M. (1948). THE DISTRIBUTION OF RAINDROPS WITH SIZE. Journal of Meteorology, 5, 165-166.

Met Office (Meteorological Office of the UK). (2007). National Meteorological Library and Archive: Fact sheet No. 3–Water in the atmosphere. Retrieved 2018,February 19] http://www.library.metoffice.gov.uk/

Michael, D. S. and Robert, T. (2010). Noise and Quality of Life. Int. J. Environ. Res. Public Health, 7, 3730-3738.

Moysés, Z. and Ranny, L. X. N. (2007). MEASUREMENT OF SOUND ABSORPTION COEFFICIENTS OF MATERIALS TO BE USED IN SCALE MODELING. Retrieved 2018,January 15] http://www.abcm.org.br/anais/cobem/2007/pdf/COBEM2007-1469.pdf

Muhammad, F. M. I., Azi, I. N. H. and Seti, M. A. (2012). Occupants' responses on rain noise underneath metal deck roof system. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 35, 404-411.

Pedroso, M., Brito, J. d. and Silvestre., J. D. (2017). Characterization of eco-efficient acoustic insulation materials (traditional and innovative). Construction and Building Materials, 140, 221–228.

Philomena, M. B. (2010). Towards new methods and ways to create healthy and comfortable buildings. Building and Environment, 45, 808–818.

Smith, P. L. (2003). Raindrop size distributions: exponential or gamma-does the difference matter? J Appl Meteorl, 42, 1031-1034.

Xiaoning, T. and Xiong, Y. (2017). Multi-layer fibrous structures for noise Reduction. The Journal of The Textile Institute, 108, 1-11.

Zheng, J. and B., C. (2007). Comparative study of exponential and gamma functional fits to observed raindrop size distribution. J Meteorol Sci, 27, 17-25.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปรมาภรณ์ พูลสวัสดิ์ เกิดวันศุกร์ที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2536 จังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนดีบุกพังงาวิทยายน จังหวัดพังงา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2557 และได้เข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2559

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University