

การพัฒนาวัสดุกันเสียงและดูดซับเสียงจากเส้นใยเปลือกทุเรียน

นายหาญพารณ สามีคศิธรรม



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.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE DEVELOPMENT OF ACOUSTIC BOARD FROM DURIAN PEEL FIBERS

Mr. Hanparon Samakkitam



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

วิทยุพารณ สามีคธีธรรม : การพัฒนาวัสดุกันเสียงและดูดซับเสียงจากเส้นใยเปลือกทุเรียน (THE DEVELOPMENT OF ACOUSTIC BOARD FROM DURIAN PEEL FIBERS) อ.ที่ปรึกษา
 วิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. อรรถจัน เศรษฐบุต, 80 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติในการกันเสียงและดูดซับเสียงของแผ่นวัสดุที่มีส่วนประกอบของใยทุเรียน โดยทำการศึกษาปัจจัยทางด้านความหนาของวัสดุ และความหนาแน่นของวัสดุ ที่มีต่อคุณสมบัติในการกันเสียงและดูดซับเสียง ในการศึกษาที่มีการจัดทำแผ่นวัสดุเพื่อใช้ในการตรวจสอบทั้งหมด 6 ตัวอย่าง โดยผสมใยทุเรียนเข้ากับซีลี้อยู่ในอัตราส่วน 70:30 และใช้กาบผงในปริมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักวัสดุ เป็นสารประสานระหว่างใยทุเรียนกับซีลี้อยู่ ตัวอย่างชิ้นงานแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตัวแปร คือ ตัวแปรด้านความหนาแน่นของวัสดุ $320 \pm 18 \text{ kg/m}^3$ และ $620 \pm 20 \text{ kg/m}^3$ และตัวแปรด้านความหนาของวัสดุ $25 \pm 2 \text{ mm}$, $50 \pm 2 \text{ mm}$ และ $75 \pm 2 \text{ mm}$ จากผลการศึกษาพบว่าชิ้นงานวัสดุที่มีความหนาแน่น $620 \pm 20 \text{ kg/m}^3$ ที่ความหนา $75 \pm 2 \text{ mm}$ มีคุณสมบัติในการกันเสียงดีที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มตัวอย่างทดสอบทั้ง 6 ตัวอย่าง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับวัสดุประกอบอาคารตามท้องตลาด พบว่าแผ่นวัสดุผสมใยทุเรียนมีคุณสมบัติในการกันเสียงได้เทียบเท่าแผ่นยิบซัมบอร์ดหนา 12 mm แต่ในช่วงย่านความถี่ต่ำที่ 125 Hz และย่านความถี่สูงที่ 4,000 Hz แผ่นวัสดุมีคุณสมบัติในการกันเสียงได้เทียบเท่าผนังก่ออิฐหนา 100 mm สำหรับคุณสมบัติในการดูดซับเสียง พบว่าวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนที่มีความหนาแน่น $320 \pm 18 \text{ kg/m}^3$ ที่ความหนา $75 \pm 2 \text{ mm}$ สามารถดูดซับเสียงได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มตัวอย่างทดสอบทั้ง 6 ตัวอย่าง และจากการเปรียบเทียบกับวัสดุประกอบอาคารตามท้องตลาด พบว่าวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนมีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงเทียบเท่าวัสดุประกอบอาคารจำพวกฉนวนใยแก้วที่ความหนา 25 mm และดูดซับเสียงได้ดีกว่าแผ่น Acoustic Foam ที่ความหนา 25 mm เพียง 7% และจากการประเมินประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงภายในห้องตัวอย่างกรณีศึกษา โดยเปรียบเทียบวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับฉนวนดูดซับเสียงพอลิเอทรีลีนหนา 1 นิ้ว และฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว ที่ติดตั้งตามแบบภายในห้อง พบว่าวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนความหนาแน่น $320 \pm 18 \text{ kg/m}^3$ ที่ความหนา $75 \pm 2 \text{ mm}$ มีค่าเวลาในการสะท้อนกลับของเสียง (Reverberation time : RT) น้อยกว่าวัสดุดูดซับเสียงที่ติดตั้งภายในห้อง 0.112 วินาที และมีต้นทุนค่าวัสดุน้อยกว่า 22.42% เมื่อนำวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนความหนาแน่น $320 \pm 18 \text{ kg/m}^3$ ที่ความหนา $25 \pm 2 \text{ mm}$ มาเปรียบเทียบกับพบว่ามีค่าเวลาในการสะท้อนกลับของเสียงมากกว่าวัสดุดูดซับเสียงที่ติดตั้งภายในห้องตัวอย่างกรณีศึกษา 0.054 วินาที แต่มีต้นทุนค่าวัสดุน้อยกว่า 74.68% การนำเส้นใยเปลือกทุเรียนมาใช้ทำเป็นวัสดุดูดซับเสียงจะมีความคุ้มค่าเหมาะสมกว่าการใช้เพื่อกันเสียง

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558

5773345625 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: SOUND INSULATION / SOUND ABSORPTION

HANPARON SAMAKKITAM: THE DEVELOPMENT OF ACOUSTIC BOARD FROM DURIAN PEEL FIBERS. ADVISOR: ASST. PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 80 pp.

The main purpose of this research is to examine the properties of sound insulation and sound absorption of durian fiber-base acoustic board. The question of this study is how the composite thickness and density could affect sound insulation and sound absorption. The composites were prepared into 6 samples with a ratio of durian fiber and sawdust of 70:30 (by weight), and 2 percent of plastic resin glue was added. Samples are categorized into 2 groups by density ($320\pm 18 \text{ kg/m}^3$ and $620\pm 20 \text{ kg/m}^3$) and by thickness ($25\pm 2 \text{ mm}$, $50\pm 2 \text{ mm}$ and $75\pm 2 \text{ mm}$). The study suggest that a sample of $620\pm 20 \text{ kg/m}^3$ of composite density and $75\pm 2 \text{ mm}$ of composite thickness has the best result of sound insulation properties compared with the rest 5 samples. By comparing with composite building wall structure and materials that of, it was found that the durian fiber composite has the sound insulation properties equivalent to gypsum board at 12 mm thickness. In low frequency at 125 Hz and high frequency at 4,000 Hz, the composite has a sound insulation properties equivalent to that of brick wall at 100 mm thickness. In terms of sound absorption the study found that a sample of $320\pm 18 \text{ kg/m}^3$ of composite density and $75\pm 2 \text{ mm}$ of composite thickness has the best result of sound absorption properties compared with the rest 5 samples. Comparing with other building materials it was found that the durian fiber composite has the sound absorption properties equivalent to that of fibrous glass wool at 25 mm thickness, and it has sound absorption properties lower than that of acoustic foam at 25 mm thickness by only 7 percent. An evaluation of sound absorption performance in case study by comparing durian fiber composite with 25 mm polyethylene and 25 mm fiber glass that installed in the room. The study suggest that a sample of $320\pm 18 \text{ kg/m}^3$ of composite density and $75\pm 2 \text{ mm}$ of composite thickness can reduce the reverberation time of the room 0.112 second and also the material reduce cost less than 22.42% and when comparing with a sample of $320\pm 18 \text{ kg/m}^3$ of composite density and $25\pm 2 \text{ mm}$ of composite thickness, the reverberation time of the room are increase by 0.054 second but the material decrease cost less than 74.68%. In conclusion, the durian peel fiber board should be used as sound absorbing material, not sound insulation.

Department: Architecture

Student's Signature

Field of Study: Architecture

Advisor's Signature

Academic Year: 2015

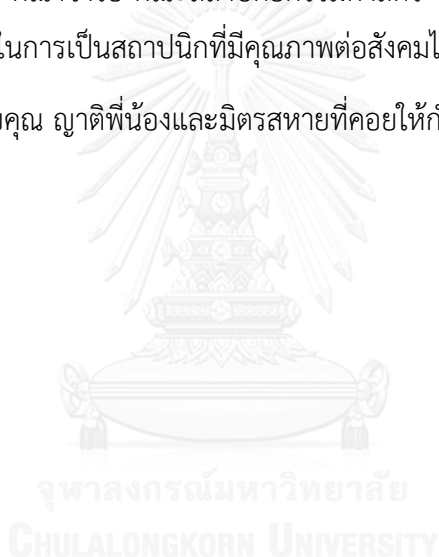
กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ผศ.ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตตร ที่คอยให้ความรู้ความเข้าใจ ชี้แนะแนวทางในการศึกษาในระดับปริญญาโท พร้อมทั้งสอนสั่งและให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ ทรงวุฒิ สามัคคีธรรม และคุณแม่ ละม่อม สามัคคีธรรม ที่คอยประคับประคองชีวิต พร้อมทั้งผลักดันให้ข้าพเจ้าได้มีการศึกษาและชีวิตที่ดีจนมาถึงปัจจุบันนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณาจารย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ในการเป็นสถาปนิกที่มีคุณภาพต่อสังคมไทย

รวมถึงขอบคุณ ญาติพี่น้องและมิตรสหายที่คอยให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	1
สารบัญภาพ.....	1
สารบัญแผนภูมิ.....	4
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	4
1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	6
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเสียง	6
2.1.1 นิยามของเสียง.....	6
2.1.2 ชนิดและส่วนประกอบของคลื่น	6
2.1.3 คุณสมบัติของคลื่น.....	9
2.1.4 การเปลี่ยนแปลงพลังงานของเสียง	10
2.1.5 หน่วยวัดความดังของเสียง.....	10
2.1.6 ระดับเสียงเวกท์ (Weighted sound level).....	13
2.1.7 ขอบเขตการได้ยินของมนุษย์	14

2.1.8 เวลาการสะท้อนกลับของเสียง (Reverberation Time, RT).....	16
2.1.9 การดูดซับเสียง (Sound Absorption).....	17
2.1.10 การส่งผ่านเสียง (Sound Transmission).....	21
2.2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวัสดุ.....	24
2.2.1 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural waste).....	24
2.2.2 ข้อมูลจำเพาะของเปลือกทุเรียน	27
2.2.3 การตรวจสอบคุณสมบัติในการกันเสียงและดูดซับเสียงของวัสดุ.....	29
2.3 เกณฑ์และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเสียงภายในอาคาร	31
2.3.1 เกณฑ์ของเสียงรบกวน (Noise Criteria).....	31
2.3.2 มาตรฐาน Leadership in Energy and Environmental Design (LEED).....	33
2.3.3 มาตรฐาน American National Standards Institute (ANSI).....	34
2.3.4 มาตรฐาน National Research Council (NRC).....	35
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	38
2.4.1 การพัฒนาแผ่นวัสดุคอมโพสิตเส้นใยเปลือกทุเรียน.....	38
2.4.2 แผ่นวัสดุป้องกันความร้อนต้นทุนต่ำจากใยทุเรียนและใยมะพร้าว	38
2.4.3 แผ่นไม้อัดขึ้นรูปพลาสติก.....	38
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	40
3.1 ขั้นตอนการสกัดเส้นใยจากเปลือกทุเรียน	40
3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานวัสดุ.....	43
3.3 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณสมบัติทางเสียงของวัสดุ	46
3.4 ขั้นตอนการแปลงผลข้อมูล.....	51
3.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุประกอบอาคาร ตามท้องตลาด	52

3.6 การประเมินประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงกรณีศึกษา ห้องประชุม 101 คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	53
3.7 การคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์	57
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	59
4.1 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน	59
4.2 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน	61
4.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน	63
4.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน.....	65
4.5 ผลการประเมินประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงและการสะท้อนกลับของเสียงกรณีศึกษา ห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	68
4.6 ผลการคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	70
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	72
5.1. สรุปผลการวิจัยในการพัฒนาวัสดุกันเสียงและดูดซับเสียงจากเส้นใยเปลือกทุเรียน	72
5.1.1. สรุปผลการวิจัยคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน	72
5.1.2. สรุปผลการวิจัยคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน	73
5.2. ข้อเสนอแนะในการพัฒนาการวิจัยต่อไปในอนาคต	74
รายการอ้างอิง	76
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	80

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	เปรียบเทียบระดับเสียงเวท	14
ตารางที่ 2.2	การแบ่งแถบความถี่ของคลื่นเสียง	19
ตารางที่ 2.3	รายละเอียดตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับเสียงของวัสดุ	20
ตารางที่ 2.4	รายละเอียดตัวอย่างค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของวัสดุ	22
ตารางที่ 2.5	ประสิทธิภาพในการได้ยินของผนังตามค่าของ STC	24
ตารางที่ 2.6	การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของวัสดุจากธรรมชาติ	27
ตารางที่ 2.7	การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเสียงระหว่างวัสดุเส้นใยธรรมชาติกับวัสดุสังเคราะห์	27
ตารางที่ 2.8	ส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียน	28
ตารางที่ 2.9	เปรียบเทียบปริมาณของเส้นใยในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	28
ตารางที่ 2.10	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดังเสียงเสียงต่อย่านความถี่ของเสียง	32
ตารางที่ 2.11	ข้อกำหนดสูงสุดของระดับความดังเสียงและเวลาการสะท้อนกลับของเสียงตามมาตรฐาน ANSI Standard S12.60-2010, Part 1	34
ตารางที่ 2.12	ค่าต่ำสุดในการกั้นเสียงของวัสดุ (STC) ที่ใช้กันพื้นที่ภายในตามมาตรฐาน ANSI Standard S12.60-2010, Part 1	35
ตารางที่ 2.13	ข้อกำหนดสูงสุดของระดับความดังเสียงและเวลาการสะท้อนกลับของเสียงตามมาตรฐาน NRC-CNRC Construction Technology Update No 51. Acoustical of Room for Speech	35
ตารางที่ 3.1	อัตราส่วนผสมของชิ้นงานวัสดุที่ได้จากการคำนวณ ที่ความหนาแน่นของวัสดุ 300 kg/m ³ ทั้ง 6 ตัวอย่าง	45
ตารางที่ 3.2	อัตราส่วนผสมของชิ้นงานวัสดุที่ได้จากการคำนวณ ที่ความหนาแน่น 600 kg/m ³ ทั้ง 6 ตัวอย่าง	46
ตารางที่ 3.3	รายละเอียดของชุดข้อมูล	50
ตารางที่ 3.4	ปริมาณของวัสดุที่ใช้ตกแต่งภายในห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	56

ตารางที่ 3.5 SAC และ NRC ของวัสดุที่ใช้ตกแต่งภายในห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	56
ตารางที่ 3.6 รายละเอียดต้นทุนอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดทำชิ้นงานวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนใน งานวิจัยนี้.....	58
ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุ (STL).....	59
ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุ (SAC)	61
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุประกอบ อาคาร.....	63
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุประกอบ อาคารอื่น ๆ.....	64
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุ ประกอบอาคาร	66
ตารางที่ 4.6 ละเอียดวัสดุที่ใช้ตกแต่งภายในพร้อมค่า NRC ห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแทนที่ฉนวนเดิมด้วยวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T75_D3	68
ตารางที่ 4.7 แสดงรายละเอียดวัสดุที่ใช้ตกแต่งภายในพร้อมค่า NRC ห้องประชุม 101 คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแทนที่ฉนวนเดิมด้วยวัสดุเส้นใยเปลือก ทุเรียน T25_D3	69
ตารางที่ 4.8 ปริมาณของวัสดุที่ใช้ตกแต่งภายในพร้อมค่า NRC ห้องประชุม 101 คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแทนที่ฉนวนเดิมด้วยวัสดุเส้นใยเปลือก ทุเรียน T25_D3	70
ตารางที่ 4.9 ต้นทุนการผลิตชิ้นงานวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนต่อตารางเมตรของทั้ง 6 ชุดข้อมูล โดยประมาณ	70
ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ตามกรณีศึกษาห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	71

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1 ลักษณะการสั่นของคลื่นตามยาว (ที่มา : www.wiley.com)	6
ภาพที่ 2.2 ลักษณะการสั่นของคลื่นตามขวาง (ที่มา : www.wiley.com)	7
ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของคลื่น และลักษณะการอัดและขยายของคลื่น (ที่มา : Egan, D. Architectural Acoustic Workbook).....	7
ภาพที่ 2.4 การสะท้อนของคลื่นเสียง (ที่มา : Egan, D. Architectural Acoustic Workbook)	9
ภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงพลังงานของเสียงตามระยะทาง (ที่มา : Egan, D. Architectural Acoustic Workbook).....	10
ภาพที่ 2.6 เปรียบเทียบพลังงานเสียงกับระดับความดังของเสียง (ที่มา : Brüel & Kjær, Architectural Acoustics).....	12
ภาพที่ 2.7 เปรียบเทียบความดันเสียงกับระดับความดังของเสียง (ที่มา : Brüel & Kjær, Architectural Acoustics).....	13
ภาพที่ 2.8 ขอบเขตการได้ยินของมนุษย์ (ที่มา : Brüel & Kjær, Architectural Acoustics).....	15
ภาพที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของเซลล์โลส (ที่มา : https://myorganicchemistry.wikispaces.com).....	25
ภาพที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลล์โลสประเภทไซแลน (ที่มา : www.scientificpsychic.com).....	25
ภาพที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของลิกนินประเภทต่าง ๆ (ที่มา : www.davidmoore.org.uk).....	26
ภาพที่ 2.12 การตรวจสอบเพื่อหาค่าการดูดซับเสียงของวัสดุภายในห้องปฏิบัติการ (ที่มา : http://www.akustikforschung.de/).....	29
ภาพที่ 2.13 การตรวจสอบเพื่อหาค่าการกั้นเสียงของวัสดุภายในห้องปฏิบัติการ (ที่มา : Façade Testing Institute [FTI]. 2015)	30
ภาพที่ 2.14 การตรวจสอบเพื่อหาค่าการดูดซับเสียงของวัสดุด้วยวิธี ท่อความต้านทาน (ที่มา : http://www.bksv.com/)	30

ภาพที่ 2.15 การตรวจสอบเพื่อหาค่าการกั้นเสียงของวัสดุด้วยวิธี ท่อความต้านทาน (ที่มา : http://www.bksv.com/)	31
ภาพที่ 2.16 ลักษณะของท่อความต้านทาน (ที่มา : http://www.bksv.com/)	31
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมเปลือกทุเรียน	40
ภาพที่ 3.2 เครื่องปั่นน้ำผลไม้ห้อง OTTO และของเปลือกทุเรียนที่หั่นจนได้ขนาด 2 cm ก่อน และหลังเข้าเครื่องปั่นน้ำผลไม้.....	41
ภาพที่ 3.3 โยทุเรียนในสารละลาย NaOH (A=เปลือกทุเรียนที่ผ่านการปั่น B และ C เปลือกทุเรียนในสารละลาย NaOH).....	41
ภาพที่ 3.4 โยทุเรียนหลังผ่านการต้มด้วยสารละลาย NaOH	42
ภาพที่ 3.5 โยทุเรียนหลังผ่านการต้มด้วยสารละลาย H ₂ O ₂ (ซ้าย) โยทุเรียนที่ผ่านการอบแห้ง (ขวา).....	42
ภาพที่ 3.6 ท่อ PVC ที่ใช้เป็นแม่แบบในการบรรจุวัสดุ.....	44
ภาพที่ 3.7 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลยี่ห้อ TANITA (ซ้าย), เส้นโยทุเรียนที่ผสมกับซีลี้อยู่ไม่กี่ก่อนใส่สารประสาน (กลาง), กาวผงยี่ห้อ Westwood ที่ใช้เป็นสารประสาน (ขวา).....	44
ภาพที่ 3.8 วัสดุเมื่อทำการบรรจุลงในแม่แบบและทำการบีบอัดแล้ว (ซ้าย) ตัวอย่างชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์หลังจากถอดแม่แบบออก (ขวา)	45
ภาพที่ 3.9 ลักษณะของ Impedance Tube B&K 4206 สำหรับตรวจวัดชิ้นงานขนาด 100 mm (ที่มา : http://www.bksv.com/).....	47
ภาพที่ 3.10 ลักษณะของ Impedance Tube B&K 4206 สำหรับตรวจวัดชิ้นงานขนาด 30 mm (ที่มา : http://www.bksv.com/).....	47
ภาพที่ 3.11 ลักษณะของ Impedance Tube B&K 4206 และ Transmission Loss Tube UA-1630 สำหรับตรวจวัดชิ้นงานขนาด 100 mm (ที่มา : http://www.bksv.com/)	47
ภาพที่ 3.12 ลักษณะของ Impedance Tube B&K 4206 และ Transmission Loss Tube UA-1630 สำหรับตรวจวัดชิ้นงานขนาด 30 mm (ที่มา : http://www.bksv.com/)	48

ภาพที่ 3.13 แสดงลักษณะของ Multi-ch Analyzer B&K 3560C (ซ้าย) และ Power Amplifier B&K 2716 (ขวา) (ที่มา : http://www.bksv.com/).....	48
ภาพที่ 3.14 แสดงลักษณะของ Sound Calibrator B&K 4231 (ซ้าย) และไมโครโฟน B&K 4187 (ขวา) (ที่มา : http://www.bksv.com/)	48
ภาพที่ 3.15 แสดงลักษณะของ Vernier caliper ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น CD-6” CSX (ที่มา : http://www.mitutoyo.co.jp/)	49
ภาพที่ 3.16 แสดงลักษณะของเครื่องวัดอากาศยี่ห้อ Vaisala PTU301 (ซ้าย) และตราชั่งไฟฟ้า ยี่ห้อ Sartorius CP225D (ขวา)	49
ภาพที่ 3.17 ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติทางเสียง (ที่มา : http://www.bksv.com/)	51
ภาพที่ 3.18 การใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2016 ในการทำชุดวิธีการคำนวณหาค่า STC.....	52
ภาพที่ 3.19 ผังพื้นของห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	54
ภาพที่ 3.20 รูปตัดตามยาวของห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	54
ภาพที่ 3.21 ภาพจำลองทัศนียภาพภายในของห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (มองจาก ล่าง-บน).....	55
ภาพที่ 3.22 ภาพจำลองทัศนียภาพภายในของห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (มองจาก บน-ล่าง).....	55

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ 2.1	เปรียบเทียบระดับเสียงเวกซ์ (ที่มา : www.engineeringtoolbox.com).....	14
แผนภูมิที่ 2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพอนต่อระดับความดังของเสียง ตามมาตรฐาน ISO 226:2003 (ที่มา : www.iso.org).....	16
แผนภูมิที่ 2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไอชนต่อระดับความดังของเสียง (ที่มา : hyperphysics.phy-astr.gsu.edu).....	16
แผนภูมิที่ 2.4	แสดงลักษณะของของค่า RT (ที่มา : www.wikipedia.org).....	17
แผนภูมิที่ 2.5	ลักษณะของ STC Curve	23
แผนภูมิที่ 2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดังเสียงต่อย่านความถี่ของเสียง (ที่มา : www.wikipedia.org).....	32
แผนภูมิที่ 2.7	ค่ากำหนดของ RT ในการใช้งานห้องที่มีขนาด 300 m ³ (ขนาดห้องเรียน) ตามมาตรฐาน NRC (ที่มา : NRC, Acoustical Design of Rooms for Speech)	36
แผนภูมิที่ 2.8	ค่ากำหนดสูงสุดของระดับความดังเสียงรบกวนในขนาดห้องต่าง ๆ ตามมาตรฐาน NRC (C=ห้องเรียน, L=ห้องโถงสำหรับเล็กเซอร์, T=ห้องชมภาพยนตร์, A=ออดิทอเรียมขนาดใหญ่) (ที่มา : NRC, Acoustical Design of Rooms for Speech).....	36
แผนภูมิที่ 2.9	ค่ากำหนดของ RT ในช่วงความถี่ย่านกลาง (500 Hz ถึง 2000 Hz) ตามมาตรฐาน NRC (C=ห้องเรียน, L=ห้องโถงสำหรับเล็กเซอร์, T=ห้องชมภาพยนตร์, A=ออดิทอเรียมขนาดใหญ่) (ที่มา : NRC, Acoustical Design of Rooms for Speech).....	37
แผนภูมิที่ 2.10	ข้อกำหนดของค่าการดูดซับเสียงรวม (นับรวมผู้ใช้งานพื้นที่) ตามมาตรฐาน NRC (C=ห้องเรียน, L=ห้องโถงสำหรับเล็กเซอร์, T=ห้องชมภาพยนตร์, A=ออดิทอเรียมขนาดใหญ่) (ที่มา : NRC, Acoustical Design of Rooms for Speech).....	37
แผนภูมิที่ 4.1	ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการกั้นเสียงของวัสดุ (STL).....	60
แผนภูมิที่ 4.2	ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการกั้นเสียงของวัสดุ (STC)	60
แผนภูมิที่ 4.3	ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุ (SAC)	62
แผนภูมิที่ 4.4	ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุ (NRC).....	62

แผนภูมิที่ 4.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการกั้นเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน กับวัสดุ ประกอบอาคาร	64
แผนภูมิที่ 4.6 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการกั้นเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับเกณฑ์หรือ มาตรฐาน และวัสดุประกอบอาคารอื่น ๆ	65
แผนภูมิที่ 4.7 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน กับวัสดุ ประกอบอาคาร	66
แผนภูมิที่ 4.8 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับเกณฑ์ หรือมาตรฐาน และวัสดุประกอบอาคารอื่น ๆ	67



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality : IEQ) คือปัจจัยที่กล่าวถึงสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่ส่งผลต่อผู้ใช้งานอาคารไม่ว่าจะทางร่างกาย ความรู้สึก หรือสภาพจิตใจ IEQ ประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก คือ สภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ (Thermal comfort) คุณภาพของการมองเห็น (Visual quality) คุณภาพอากาศ (Indoor air quality : IAQ) และ คุณภาพของเสียง (Acoustical quality)

มีองค์กรและหน่วยงานต่าง ๆ ที่เล็งเห็นความสำคัญของการออกแบบและจัดการคุณภาพเสียงภายในอาคาร และได้มีการจัดทำมาตรฐานหรือเกณฑ์ควบคุมเกี่ยวกับคุณภาพเสียงภายในอาคารขึ้น เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ออกแบบหรือผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลไปใช้ออกแบบและจัดการคุณภาพเสียงภายในอาคารที่ตนเองมีส่วนรับผิดชอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น เกณฑ์สำหรับประเมินอาคารเขียว Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)¹ ในฉบับที่ 4 ซึ่งออกโดย U.S Green Building Council (USGBC) ได้มีการปรับปรุงเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวของตัวเองจากฉบับก่อนหน้าในหัวข้อคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality : IEQ) โดยมีการเพิ่มเติมรายละเอียดในส่วนของการประเมินประสิทธิภาพทางเสียง (Acoustical Performance) มากขึ้น หรือมาตรฐาน ANSI Standard S12.60-2010, Part 1² ที่ออกโดย American National Standard Institute (ANSI) ได้มีการระบุถึงลักษณะของคุณภาพเสียงที่เหมาะสมสำหรับห้องเรียนในขนาดที่แตกต่างกัน

ในประเทศไทยเองก็มีการจัดทำมาตรฐานหรือเกณฑ์ควบคุมเกี่ยวกับคุณภาพเสียง เช่น ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 15³ ได้กำหนดค่ามาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป

¹ United State Green Building Council, Leadership in Energy & Environmental Design (Leed), ed. 4th (2014).

² American National Standard, Acoustical Performance Criteria, Design Requirements and Guidelines for School, Part 1: Permanent Schools (Melville, NY: Acoustical Society of America, 2010).

³ พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2535, กำหนดมาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป, ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 15 (12 มีนาคม 2540).

และ ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 17⁴ ได้กำหนดค่ามาตรฐานระดับเสียงรบกวน รวมไปถึง ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม⁵ ที่มีการระบุระดับเสียงเฉลี่ยที่ยอมรับได้กับเวลาการทำงานในแต่ละวัน การให้ความสำคัญในการควบคุมคุณภาพเสียงจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบอาคาร เพื่อให้อาคารสามารถตอบสนองการใช้งานพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งลักษณะการใช้งานพื้นที่ภายในอาคารที่แตกต่างกัน จึงทำให้ความต้องการในลักษณะของเสียงมีความแตกต่างกันออกไปอีกด้วย

การควบคุมคุณภาพเสียงภายในอาคารให้เหมาะสมต่อการใช้งานพื้นที่อาคาร ความรู้ความเข้าใจในเรื่องคุณสมบัติและพฤติกรรมของเสียงจึงมีความสำคัญ ซึ่งรวมไปถึงคุณสมบัติทางเสียงของวัสดุประกอบอาคารต่าง ๆ ในงานสถาปัตยกรรมด้วยเช่นกัน คุณสมบัติทางเสียงของวัสดุที่นำมาคำนึงถึงในการออกแบบและควบคุมคุณภาพเสียงภายในอาคาร ประกอบไปด้วย

- ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound Transmission Loss, STL)
- ชั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound Transmission Class, STC)
- ค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient, α)
- ค่าการดูดซับเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC)

ปัจจุบันมีการผลิตวัสดุสังเคราะห์เพื่อใช้เป็นวัสดุกันเสียงและดูดซับเสียงเป็นจำนวนมาก ซึ่งวัสดุสังเคราะห์เหล่านี้ มีบางส่วนส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น โยหีน, โยแก้ว หรือฉนวนประเภทโฟมพลาสติก การนำวัสดุทางธรรมชาติมาใช้ในการออกแบบและควบคุมเสียงภายในอาคารนั้น ส่งผลในทางที่ดีต่อสภาพแวดล้อมมากกว่าการใช้วัสดุสังเคราะห์ และยังเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดีในการกันเสียงและดูดซับเสียงอีกด้วย

มีงานวิจัยและการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้สรุปผลการวิจัยไว้ว่า วัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้นใยนั้นมีคุณสมบัติในการป้องกันการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง เมื่อคลื่นเสียงเดินทางมาสัมผัสกับเส้นใย พลังงานของคลื่นเสียงจะถูกลดทอนลง เนื่องจากวัสดุจำพวกเส้นใยและช่องว่างอากาศภายในวัสดุสามารถยืดหยุ่นต่อการสั่นสะเทือนได้ในหลายช่วงความถี่ของเสียง ทำให้พลังงานของเสียงสูญเสียไปกับการทำให้วัตถุสั่นสะเทือน และกลายเป็นพลังงานความร้อนตามลำดับ⁶ และจากการศึกษาวัสดุทาง

⁴ ค่าระดับเสียงรบกวน, ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 17 (16 มิถุนายน 2543).

⁵ พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535, มาตรฐานการคุ้มครองความปลอดภัยการประกอบกิจการโรงงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน, ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (6 พฤศจิกายน 2546).

⁶ C. J. Hemond, Engineering Acoustic and Noise Control (Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1983).

ธรรมชาติของ Asdrubali, F.⁷ ยังสนับสนุนการใช้วัสดุที่เป็นเส้นใยจากธรรมชาติเนื่องจากเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับวัสดุจำพวกใยแก้วและวัสดุสังเคราะห์อื่น ๆ พบว่ามีต้นทุนต่ำ และมีน้ำหนักเบา เส้นใยจากธรรมชาติมีด้วยกันอยู่หลายประเภท หนึ่งในเส้นใยธรรมชาติที่มีลักษณะเด่นและพบได้มากที่สุดคือ เส้นใยเซลลูโลส (Cellulose Fibers) เป็นกลุ่มเส้นใยที่ได้จากพืช มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยกลุ่ม แอนไฮโดรกลูโคสเกาะกันเป็นสายโมเลกุลใหญ่รวมกันจนกลายเป็นเส้นใย

เปลือกทุเรียนเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่พบปริมาณมากในฤดูกาลเก็บเกี่ยว โดยองค์ประกอบของเปลือกทุเรียนพบว่ามีปริมาณเส้นใยเซลลูโลสสูงถึง 60.45%⁸ และรายงานจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร⁹ ได้รายงานไว้ว่าผลผลิตของทุเรียนรวมทั้งประเทศในปี 2558 มีปริมาณถึง 600,078 ตัน รวมไปถึงการศึกษาของ ธีรวรรณ บุญวงศ์, สุจินดา วรรณสุด และ ธีรภัทร ศรีนรคุตร¹⁰ มีส่วนหนึ่งของงานวิจัยได้ระบุไว้ว่าน้ำหนักโดยประมาณของเปลือกทุเรียนคือ 67.4% ของน้ำหนักทุเรียนทั้งลูก เมื่อนำมาคำนวณกับผลผลิตทุเรียนทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าในปี 2558 จะมีเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งประมาณ 404,452 ตัน

ดังนั้นจึงมีความสนใจในการนำเปลือกทุเรียนมาพัฒนาเป็นวัสดุทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเป็นวัสดุกันเสียงและดูดซับเสียงที่สามารถนำมาใช้ประกอบในงานสถาปัตยกรรมได้ พร้อมทั้งเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกลับมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาวัสดุเส้นใยทางธรรมชาติที่มีความเหมาะสมในการเป็นวัสดุกันเสียงและดูดซับเสียง

1.2.2 เพื่อพัฒนาวัสดุกันเสียงและดูดซับเสียงที่มีส่วนผสมของเส้นใยเปลือกทุเรียน

1.2.3 เพื่อทดสอบและตรวจวัดคุณสมบัติในการเป็นวัสดุกันเสียงและดูดซับเสียงของวัสดุผสมเส้นใยเปลือกทุเรียน

⁷ F. Asdrubali, Green and Sustainable Material for Noise Control in Building (paper presented at the 19th International Congress on Acoustics, United Kingdom, 2007).

⁸ Technical Association of Pulp and Paper Industry, Tappi T203 Cm-99 (1988).

⁹ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, สถานการณ์การผลิตทุเรียน (ข้อมูลพยากรณ์ กรกฎาคม 2558), {2558}.

¹⁰ สุจินดา วรรณสุด และ ธีรภัทร ศรีนรคุตร ธีรวรรณ บุญวงศ์, การพัฒนากระบวนการไฮโดรซีลและการหมักเอทานอลจากของเสียทางการเกษตร, วารสารวิจัย มช. 19 (2557).

1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกันเสียงและดูดซับเสียงของวัสดุผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุที่มีอยู่ตามท้องตลาด

1.2.5 เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการนำวัสดุผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนมาใช้งาน โดยเปรียบเทียบกับวัสดุที่มีอยู่ตามท้องตลาด

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ทำการศึกษาเส้นใยจากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองผสมกับซีลีเยอไมในอัตราส่วน 70:30 และใช้วัสดุประสานในปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของวัสดุ โดยกำหนดให้ 2 ตัวแปรนี้เป็นตัวแปรควบคุม

1.3.2 ทำการศึกษาเฉพาะคุณสมบัติในการกันเสียงและดูดซับเสียงของวัสดุผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนเท่านั้น

1.3.3 กำหนดตัวแปรในการศึกษาเฉพาะด้าน ความหนาของวัสดุ และความหนาแน่นวัสดุ

1.3.4 วัสดุตัวอย่างที่นำไปทดสอบคุณสมบัติในการกันเสียงและดูดซับเสียง จะมีการจัดทำเพียงเพื่อใช้ในการตรวจสอบเพื่อให้ได้ค่าการกันเสียงและดูดซับเสียงเพียงเท่านั้น

1.3.5 ทำการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการนำวัสดุผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนมาใช้งาน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกันเสียงและดูดซับเสียงกับวัสดุที่มีอยู่ตามท้องตลาด โดยกำหนดให้ห้องประชุม 101 ของคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นกรณีศึกษาที่ใช้อ้างอิงในเปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับเสียง เนื่องจากมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเสียงภายในอาคารส่วนใหญ่ครอบคลุม

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

1.4.1 ทบทวนวรรณกรรม ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎี คุณสมบัติ เกณฑ์ มาตรฐาน กฎหมาย ข้อบังคับ หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเสียงและวัสดุทางธรรมชาติ

1.4.2 กำหนดสมมติฐานและตัวแปรต่าง ๆ ในงานวิจัย

- ความหนาของชิ้นงานวัสดุที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้วัสดุสามารถกันเสียงได้ดีขึ้น
- ความหนาแน่นวัสดุที่มากขึ้นจะส่งผลให้วัสดุสามารถกันเสียงได้ดีขึ้น
- ความหนาของชิ้นงานวัสดุที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้วัสดุสามารถดูดซับเสียงได้ดีขึ้น
- ความหนาแน่นวัสดุที่มากขึ้นจะส่งผลให้วัสดุสามารถดูดซับเสียงได้ดีขึ้น

1.4.3 วางแผน, ออกแบบ และผลิตชิ้นงานทั้งสิ้น 6 ตัวอย่าง โดยอ้างอิงส่วนผสมระหว่างซีลีเยอไมกับใยทุเรียนจากการทบทวนวรรณกรรม โดยแบ่งชิ้นงานทั้ง 6 ตัวอย่างออกเป็น 12 ชิ้น ตามข้อกำหนดในการตรวจสอบ

1.4.4 ทดสอบชิ้นงานทั้ง 12 ชิ้น ในห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธี Impedance Tube Method เพื่อหาประสิทธิภาพในการกันเสียงและการดูดซับเสียงตามมาตรฐานของ American Society for Testing Materials (ASTM) C384¹¹ และ E1050¹² ในช่วงความถี่ของเสียงต่าง ๆ

1.4.5 จัดทำต้นทุนในการผลิตวัสดุใยทุเรียนเพื่อเปรียบเทียบราคาต่อหน่วยกับวัสดุประกอบอาคารต่าง ๆ พร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางเสียงของวัสดุใยทุเรียนกับวัสดุประกอบอาคารต่าง ๆ ด้วยเช่นกัน

1.4.6 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลในการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของวัสดุที่ส่งผลต่อคุณสมบัติในการกันเสียงและดูดซับเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน

1.5.2 ทราบถึงประสิทธิภาพในการกันเสียงและดูดซับเสียงของวัสดุผสมเส้นใยเปลือกทุเรียน

1.5.3 ทราบถึงความเป็นไปได้ในการนำวัสดุผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนมาใช้เป็นวัสดุทดแทน

¹¹ ASTM International, [Astm C384 Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by Impedance Tube Method](#) (West Conshohocken, PA, 2016).

¹² [Astm E1050 Standard Test Method for Impedance and Absorption Os Acoustical Materials Using Tube, Two Microphones and Digital Frequency Analysis System](#) (West Conshohocken, PA, 2009).

บทที่ 2

ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเสียง

2.1.1 นิยามของเสียง

เสียง (Sound) เป็นคลื่นพลังงานชนิดหนึ่งเกิดจากการสั่นสะเทือนของสสารหรือวัตถุทำให้เกิดการอัดและขยายตัวของคลื่นเสียงจนเกิดเป็นพลังงานเชิงกล สามารถส่งผ่านไปสู่อวัยวะหรือวัตถุอื่นในรูปแบบของคลื่นการสั่นสะเทือนไม่ว่าสสารหรือวัตถุนั้นมีสถานะเป็นก๊าซ ของเหลว หรือของแข็งก็ตาม แต่คลื่นเสียงไม่สามารถเดินทางผ่านพื้นที่ที่เป็นสุญญากาศได้ ในกระบวนการได้ยินของมนุษย์พลังงานเสียงเดินทางสู่หูมนุษย์โดยอาศัยอากาศเป็นตัวกลางในการเดินทาง จึงทำให้มนุษย์สามารถรับรู้เสียงต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวได้

2.1.2 ชนิดและส่วนประกอบของคลื่น

เมื่อพิจารณาจากลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคตัวกลางขณะคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน สามารถแบ่งลักษณะการสั่นของคลื่นออกเป็น 2 ชนิด คือ

(ก) การสั่นของคลื่นตามยาว (Longitudinal Vibration) คือ คลื่นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางใด ๆ อนุภาคของตัวกลางจะสั่นไปในทิศทางเดียวกันกับทิศทางที่คลื่นเคลื่อนที่ไป ตามภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ลักษณะการสั่นของคลื่นตามยาว

(ที่มา : www.wiley.com)

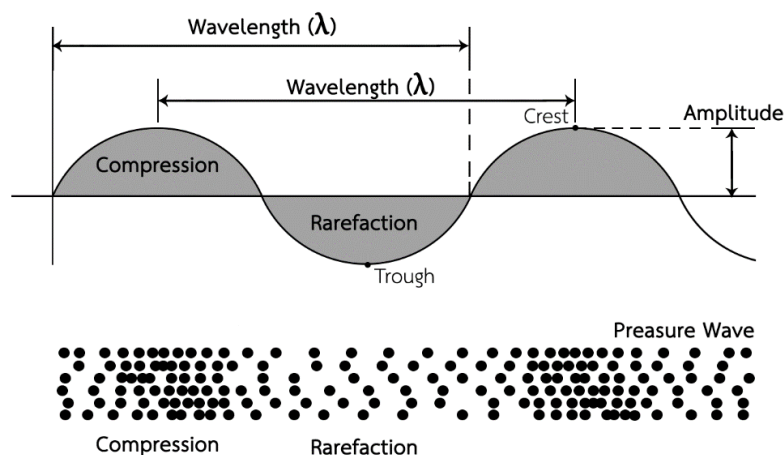
(ข) การสั่นของคลื่นตามขวาง (Transverse Vibration) คือ คลื่นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางใด ๆ อนุภาคของตัวกลางจะสั่นในแนวตั้งฉากกับทิศทางที่คลื่นเคลื่อนที่ไป ตามภาพที่

2.2



ภาพที่ 2.2 ลักษณะการสั้นของคลื่นตามขวาง

(ที่มา : www.wiley.com)



ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของคลื่น และลักษณะการอัดและขยายของคลื่น

(ที่มา : Egan, D. Architectural Acoustic Workbook)

คลื่นเสียงที่เดินทางในอากาศเกิดจากการส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนจากต้นกำเนิดเสียงสู่โมเลกุลในอากาศ ทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะคลื่น หรือที่เรียกว่า Wave Motion โดยในการเคลื่อนที่ของคลื่นจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ที่เคลื่อนที่สลับกันไปตามภาพที่ 2.3 คือ

(ค) **ช่วงบีบอัด (Compression)** เป็นช่วงที่อนุภาคของโมเลกุลในอากาศเคลื่อนที่มาใกล้กันตามความยาวของช่วงคลื่น

(ง) **ช่วงขยาย (Rarefaction)** เป็นช่วงที่อนุภาคของโมเลกุลในอากาศเคลื่อนที่ออกจากกันตามความยาวของช่วงคลื่น

นอกจากนี้คลื่นยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ อีก คือ

(จ) **สันคลื่น (Crest)** คือ ส่วนบนสุดของคลื่น

(ฉ) **ท้องคลื่น (Trough)** คือ ส่วนต่ำสุดของคลื่น

(ช) **ความถี่ของคลื่น (Frequency)** จำนวนคลื่นที่วิ่งผ่านจุด ๆ หนึ่งในเวลา 1 วินาที ใช้สัญลักษณ์ f มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือ เฮิร์ตซ์ (Hertz, Hz.)

(ซ) **คาบ (Period)** ช่วงเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งหนึ่ง ๆ ไปได้จนครบหนึ่งลูกคลื่น ใช้สัญลักษณ์ T แทน มีหน่วยเป็นวินาทีต่อรอบ

ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และคาบจึงอยู่ในรูปแบบของสมการดังนี้

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.1)$$

เมื่อ T คือ คาบ (วินาทีต่อรอบ)

f คือ ความถี่ของคลื่น (Hertz, Hz.)

(ฅ) **การกระจัด (Displacement)** ระยะที่อนุภาคตัวกลางของคลื่นเคลื่อนที่ได้ห่างจากแนวสมดุลเดิมก่อนที่จะเกิดคลื่นในแนวแกน y

(ญ) **แอมพลิจูด (Amplitude)** การกระจัดสูงสุด ที่อนุภาคตัวกลางเคลื่อนที่ได้ห่างจากแนวสมดุลเดิม

(ฎ) **ความยาวคลื่น (Wave length)** ระยะระหว่างตำแหน่งบนคลื่นที่มีค่ามุมเฟสต่างกันเป็น $\Delta\phi = 2\pi$ เรเดียน (หรือ 360 องศา) เป็นปริมาณสเกลาร์ ใช้สัญลักษณ์ λ แทน มีหน่วยเป็นเมตร (m.) หรือ ระยะระหว่างสันคลื่นที่อยู่ถัดกัน หรือตำแหน่งท้องคลื่นที่อยู่ถัดกัน เป็นระยะเท่ากับ 1 ความยาวคลื่น

(ฏ) **ความเร็วของคลื่น (Velocity of Wave)** คือการกระจัดที่คลื่นแผ่ผ่านตัวกลางไปได้ในหนึ่งหน่วยเวลาหรือระยะการแผ่พลังงานของคลื่นไปได้หนึ่งหน่วยเวลา เป็นปริมาณเวกเตอร์แทนที่ด้วยสัญลักษณ์ V มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

ในอุณหภูมิห้องปกติ เสียงสามารถเดินทางด้วยความเร็วสูงสุดเพียง 1,130 ฟุตต่อวินาที (344 เมตรต่อวินาที) เท่านั้น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความเร็วของเสียง โดยมีสมการที่แสดงวิธีคำนวณ อัตราความเร็วของเสียงในอากาศ คือ

$$V_t = 331 + 0.6 \cdot t \quad (2.2)$$

เมื่อ V_t คือ อัตราความเร็วของเสียงในอากาศ ขณะอุณหภูมิ t °C (m/s)

t คือ อุณหภูมิของอากาศในหน่วยเซลเซียส (°C)

จากสมการที่ (2.2) แสดงให้เห็นว่า อัตราความเร็วของเสียงจะเปลี่ยนแปลงไป 0.6 m/s เมื่ออุณหภูมิของอากาศเปลี่ยนแปลงไป 1°C

โดยที่ความเร็วของคลื่น, ความยาวคลื่น และความถี่ของคลื่นมีความสัมพันธ์ดังสมการ

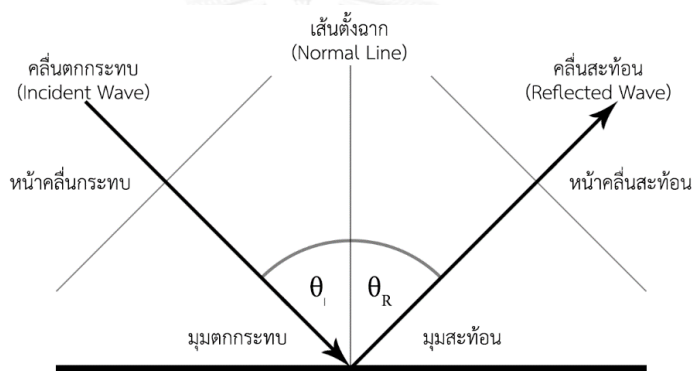
$$V = f\lambda \quad (2.3)$$

เมื่อ	V	คือ ความเร็วของคลื่น (m/s)
	f	คือ ความถี่ของคลื่น (Hz.)
	λ	คือ ความยาวคลื่น (m.)

2.1.3 คุณสมบัติของคลื่น

(ก) **การสะท้อน (Reflection)** เกิดจากการที่คลื่นไม่สามารถแผ่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง จึงเกิดปรากฏการณ์ที่คลื่นเดินทางไปยังทิศทางอื่นที่ไม่ใช่ในทิศทางเดิม เช่นการสะท้อนของคลื่นน้ำกับริมตลิ่ง หรือการสะท้อนของคลื่นแสง โดยมีกฎการสะท้อนอยู่ 2 ข้อตามภาพที่ 2.4 ดังต่อไปนี้

- มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน
- รังสีตกกระทบ เส้นตั้งฉากและรังสีสะท้อน ต้องอยู่บนระนาบเดียวกัน



ภาพที่ 2.4 การสะท้อนของคลื่นเสียง
(ที่มา : Egan, D. Architectural Acoustic Workbook)

(ข) **การหักเห (Refraction)** เกิดจากการที่คลื่นเคลื่อนที่เปลี่ยนไปยังตัวกลางอื่นที่มีคุณสมบัติของตัวกลางบางประการไม่เหมือนกัน ส่งผลให้คลื่นเปลี่ยนแปลงความเร็ว โดยเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ แต่ความถี่ยังคงเท่าเดิม

(ค) **การแทรกสอด (Interference)** เกิดขึ้นเมื่อคลื่น 2 คลื่นเดินทางมาเจอกัน แล้วเกิดการรวมตัวกันของคลื่นใน 2 ลักษณะ คือ การรวมตัวแบบเสริมกัน และการรวมตัวแบบหักล้างกัน

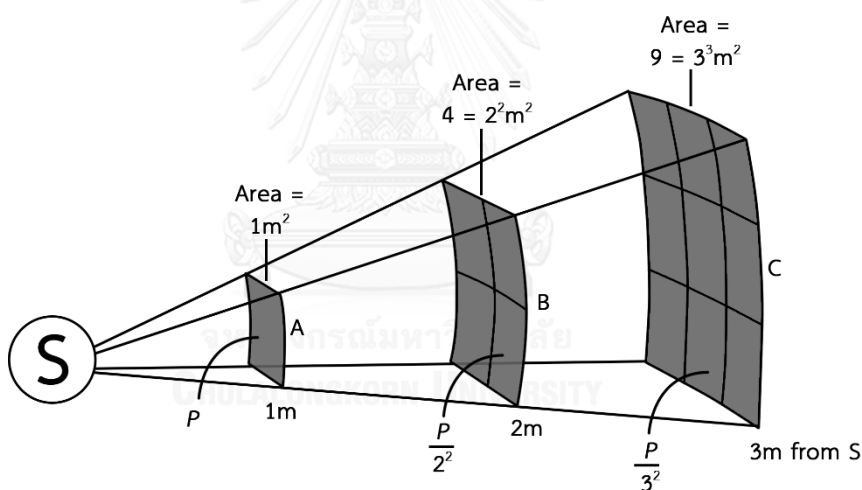
(ง) **การเลี้ยวเบน (Diffraction)** เกิดขึ้นเมื่อมีสิ่งกีดขวางเส้นทางที่คลื่นเดินทางผ่าน และคลื่นสามารถเดินทางอ้อมผ่านสิ่งกีดขวางนั้นไปได้ การเลี้ยวเบนของคลื่นจะมีความถี่และความยาวคลื่นคงที่ แต่ความเร็วและความกว้างของคลื่นเปลี่ยนแปลงไป

2.1.4 การเปลี่ยนแปลงพลังงานของเสียง

เมื่อเกิดเสียงขึ้น เสียงจะมีการกระจายตัวออกไปทุกทิศทุกทางรอบแหล่งกำเนิดเสียงในลักษณะคล้ายทรงกลมที่ขยายตัวออกไปเรื่อย ๆ พลังงานเสียงที่เกิดขึ้นจะครอบคลุมพื้นที่ที่เป็น 4 เท่าของพื้นที่เดิมเมื่อเสียงเดินทางห่างออกไปเป็นระยะ 2 เท่าจากตำแหน่งเดิมตามภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงพลังงานของเสียงในลักษณะนี้เรียกว่า Inverse Square Law of Sound และปริมาณของพลังงานเสียงที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ใด ๆ เรียกว่า ความเข้มเสียง (Sound Intensity, I) โดยมีสมการในการคำนวณดังต่อไปนี้

$$I \equiv \frac{W}{4\pi r^2} \quad (2.4)$$

เมื่อ W คือ พลังงานเสียง (Watt)
 r คือ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด (m)
 I คือ ความเข้มเสียง (Watt/m²)



ภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงพลังงานของเสียงตามระยะทาง
 (ที่มา : Egan, D. Architectural Acoustic Workbook)

2.1.5 หน่วยวัดความดังของเสียง

มาตราสากลที่ใช้ในการบอกความดังของเสียงมีหน่วยเป็นเดซิเบล (Decibel, dB) หน่วยวัดในอัตราส่วนลอการิทึม (Logarithm Scale) ของระดับพลังงานเสียง ระดับความเข้มเสียง และระดับความดันเสียง ต่อระดับขีดเริ่มต้นของการได้ยิน (Threshold of hearing) โดยความดังของเสียงมีความสัมพันธ์ต่อระดับของเสียงทั้งสามหัวข้อที่กล่าวมาดังต่อไปนี้

(ก) **ระดับความเข้มเสียง (Sound Intensity)** เป็นระดับความดังของเสียงที่คำนวณจากพลังงานเสียงที่กระทบลงบนพื้นที่ โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

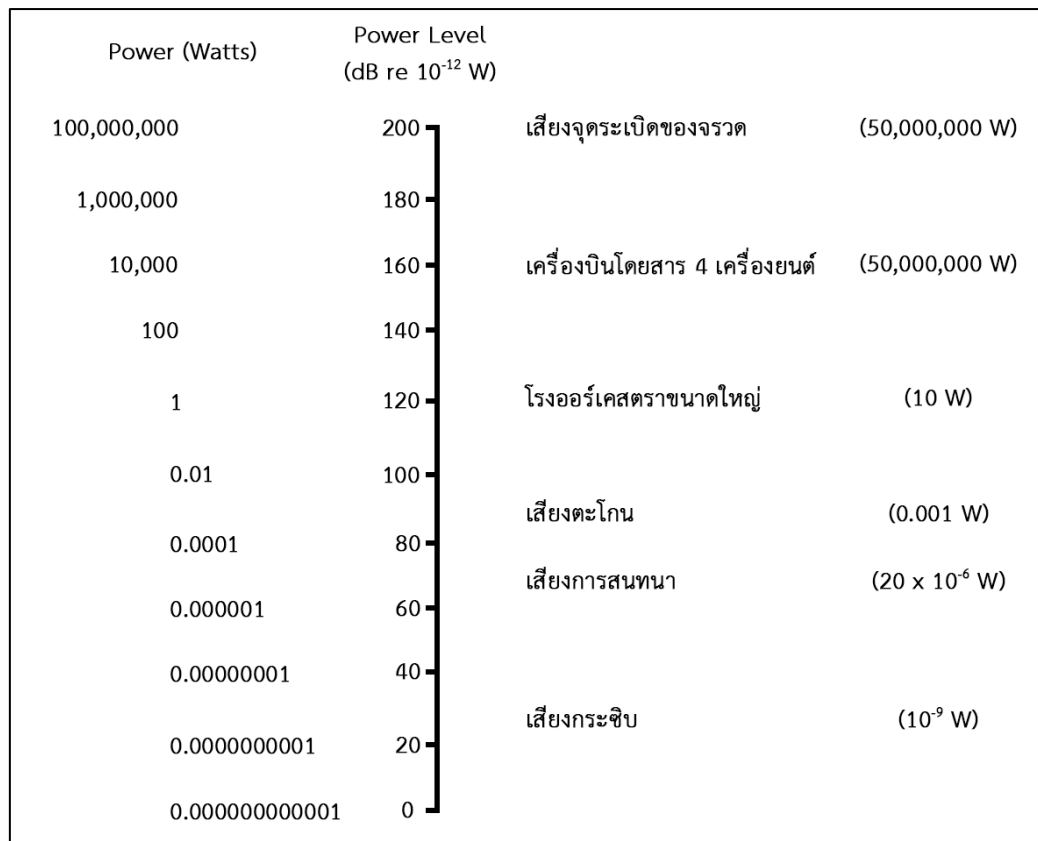
$$L_i \equiv 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (2.6)$$

เมื่อ I	คือ ความเข้มเสียงที่ต้องการวัด (W/m^2)
I_0	คือ ความเข้มเสียงที่น้อยที่สุดที่มนุษย์ได้ยิน มีค่าเท่ากับ $10^{-12} W/m^2$
L_i	คือ ระดับความเข้มเสียง (dB)

(ข) **ระดับพลังงานเสียง (Sound Power Level)** เป็นระดับความดังของเสียงที่คำนวณจากพลังงานเสียงที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดเสียงต่อหนึ่งหน่วยของเวลา มีหน่วยเป็น J/s หรือ Watt ในหน่วยฐานเอสไอ (SI-Unit) โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$L_w \equiv 10 \log \left(\frac{N}{N_0} \right) \quad (2.5)$$

เมื่อ N	คือ พลังงานเสียง (Watt, W)
N_0	คือ พลังงานเสียงที่น้อยที่สุดที่มนุษย์ได้ยิน มีค่าเท่ากับ 10^{-12} Watt
L_w	คือ ระดับพลังงานเสียง (dB)

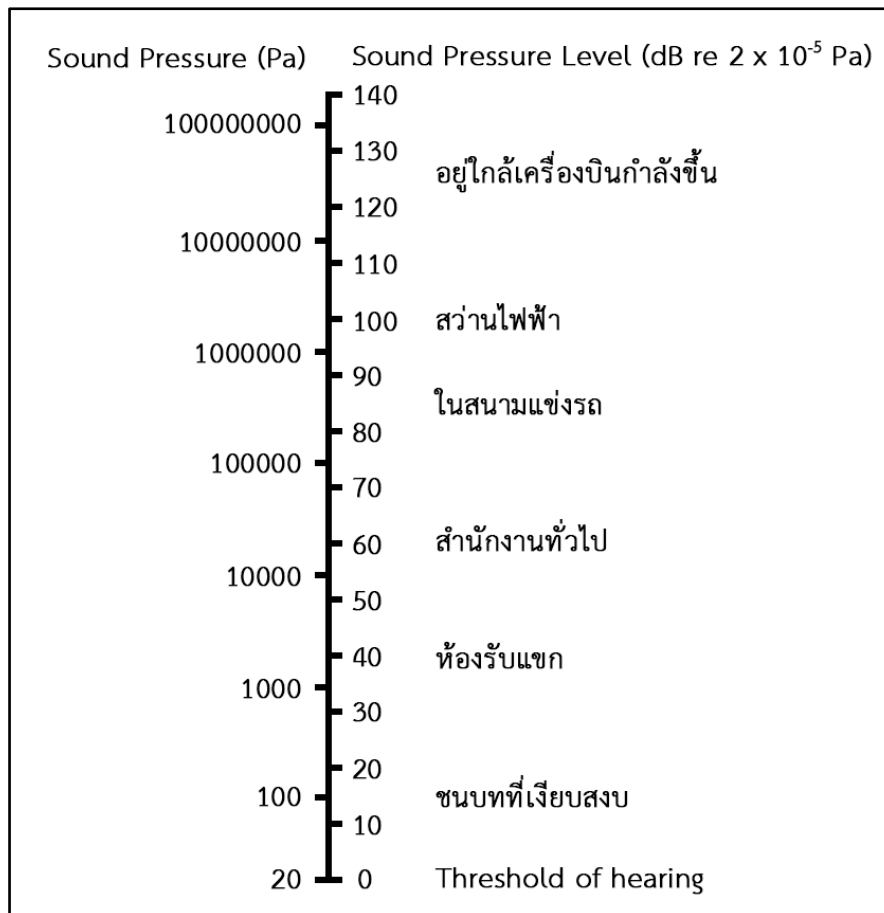


ภาพที่ 2.6 เปรียบเทียบพลังงานเสียงกับระดับความดังของเสียง
(ที่มา : Brüel & Kjær, Architectural Acoustics)

(ค) **ระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level)** เป็นระดับความดังของเสียงที่คำนวณจากแรงดันเสียงที่กระทำบนพื้นผิวใดๆ ในหน่วยฐานเอสไอ N/m² หรือ Pa โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$L_p \equiv 10 \log \left(\frac{P^2}{P_0^2} \right) \equiv 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \equiv 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (2.7)$$

- เมื่อ P คือ ความดันเสียงที่ต้องการวัด (Pa)
 P_0 คือ ความดันเสียงที่น้อยที่สุดที่ความถี่ 1,000 Hz ที่หูมนุษย์เริ่มได้ยิน มีค่าเท่ากับ 2×10^{-5} Pa หรือ 20 μ Pa (ไมโครปาสคาล)
 L_p คือ ระดับความดันเสียง (dB)



ภาพที่ 2.7 เปรียบเทียบความดันเสียงกับระดับความดังของเสียง
(ที่มา : Brüel & Kjær, Architectural Acoustics)

2.1.6 ระดับเสียงเวจท์ (Weighted sound level)

ด้วยความที่หูของมนุษย์มีการรับรู้ต่อระดับความดังของเสียงในแต่ละช่วงคลื่นแตกต่างกัน และการรับรู้ต่อเสียงของมนุษย์ไม่ได้ได้แปรผันตามแบบเส้นตรง (linear scale) ต่อระดับความดังของเสียง จึงมีการแบ่งการประเมินระดับของเสียงจากการวัดด้วยอุปกรณ์ แยกไปตามคุณลักษณะการตอบสนองในการได้ยินของมนุษย์ โดยมีการลดระดับความเข้มของเสียงในย่านความถี่บางช่วงออกไปได้แก่ (ตารางที่ 2.1)

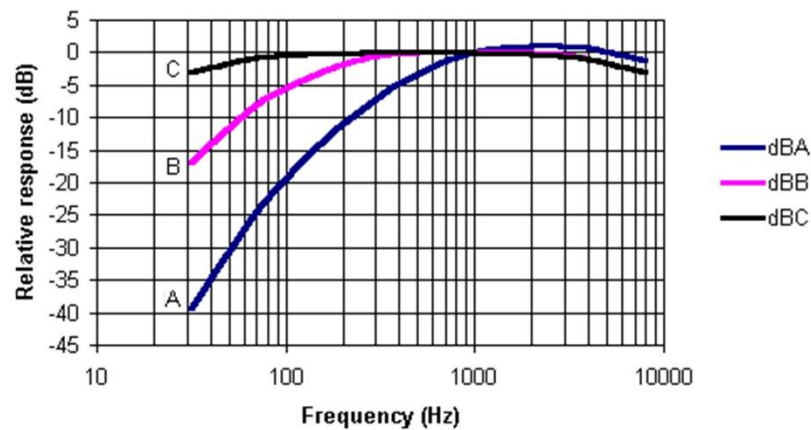
(ก) **A-weighted** หรือ **Scale A (dBA)** เป็นการวัดความเข้มของเสียงโดยจำลองการได้ยินของหูมนุษย์ มีการตอบสนองในการวัดเสียงได้ดีว่า scale B และ C

(ข) **B-weighted** หรือ **Scale B (dBB)** เป็นการวัดในลักษณะเดียวกับ scale A มักใช้กับระดับเสียงความเข้มปานกลางและตอบสนองได้ดีในช่วงความถี่ระหว่าง 400 Hz – 3,000 Hz ปัจจุบันไม่ค่อยมีการใช้ scale B ในการวัด

(ค) **C-weighted** หรือ **Scale C (dBC)** เป็นระดับการวัดที่ไม่มีการถ่วงน้ำหนักเสียงมากนัก ซึ่งใกล้เคียงกับระดับความเข้มเสียงที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติ นิยมใช้ในการวัดระดับความเข้มเสียงช่วงความถี่ต่ำเนื่องจาก scale A มีการถ่วงน้ำหนักความถี่ต่ำมากเกินไป

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบระดับเสียงเวจท์

Relative Response (dB)	Frequency (Hz)								
	31.25	62.5	125	250	500	1k	2k	4k	8k
dBA	-39.4	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0	1.2	1	-1.1
dBb	-17	-9	-4	-1	0	0	0	-1	-3
dBC	-3	-0.8	-0.2	0	0	0	-0.2	-0.8	-3

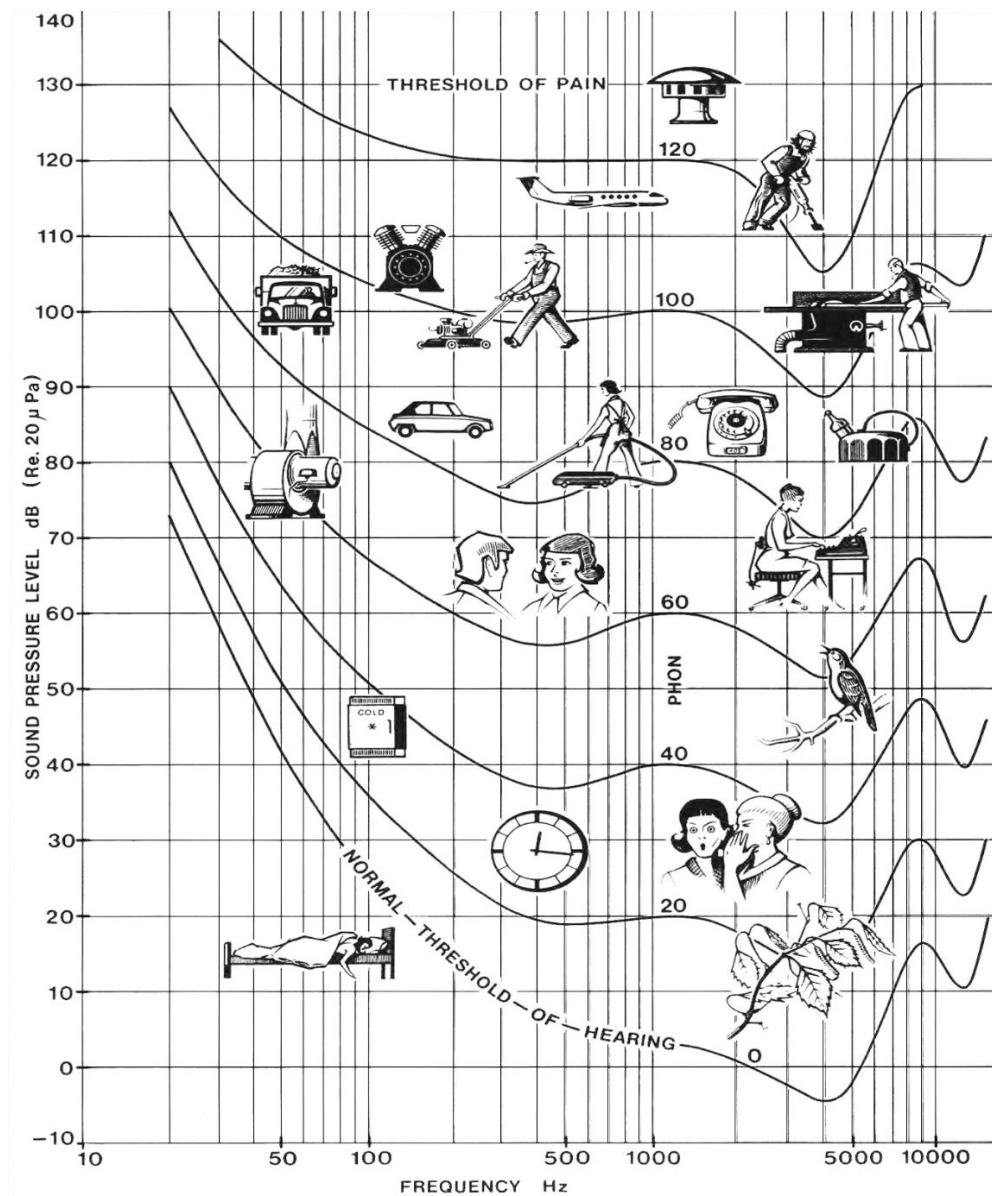


แผนภูมิที่ 2.1 เปรียบเทียบระดับเสียงเวจท์

(ที่มา : www.engineeringtoolbox.com)

2.1.7 ขอบเขตการได้ยินของมนุษย์

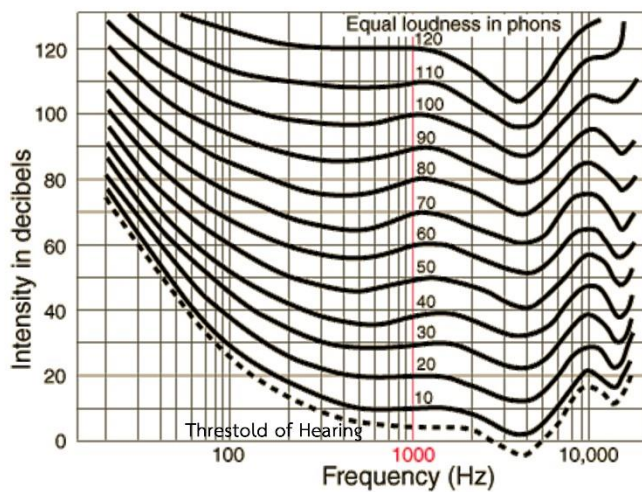
หู (Ears) คืออวัยวะในการรับเสียงของมนุษย์ สามารถรับรู้โดยการได้ยินเสียงจากการเปลี่ยนแปลงความดันของอากาศ มนุษย์สามารถได้ยินเสียงในช่วงความถี่ประมาณ 20- 20,000 Hz และเสียงที่ค่อยที่สุดที่มนุษย์สามารถได้ยิน คือ 0 dB (Threshold of hearing) ตามที่แสดงในภาพที่ 2.8 ในระดับความดังที่ 0 dB ไม่ได้หมายถึงการที่เสียงมีพลังงานเท่ากับ 0 แต่หมายถึงพลังงานเสียงยังคงหลงเหลืออยู่ เพียงแต่มนุษย์ไม่สามารถรับรู้ได้เท่านั้น และเสียงดังที่สุดที่มนุษย์สามารถทนฟังได้และอาจเป็นอันตรายต่อหูมีค่าเท่ากับ 130 dB (Threshold of pain) แต่ในสภาพแวดล้อมจริง ความดังของเสียงที่วัดได้อาจมากกว่า 130 dB เพียงแต่มนุษย์ไม่สามารถรับรู้ได้



ภาพที่ 2.8 ขอบเขตการได้ยินของมนุษย์
(ที่มา : Brüel & Kjær, Architectural Acoustics)

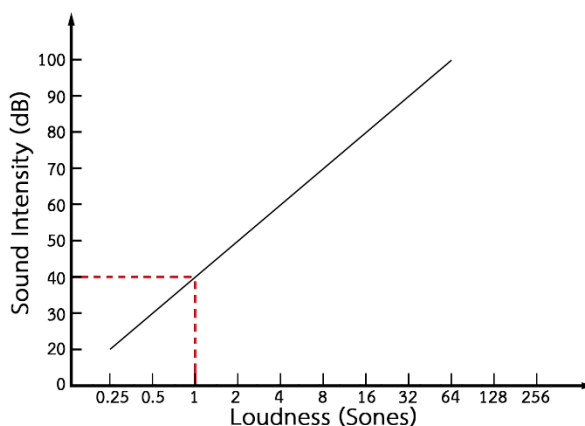
หน่วยที่ใช้บ่งบอกถึงลักษณะความดังของเสียงนั้นมีหน่วยเป็นเดซิเบล (Decibel, dB) แต่หน่วยที่ใช้ระบุถึงการรับรู้ความดัง (Loudness) ของมนุษย์นั้นเรียกว่า ฟอน (Phon) หรือในบางมาตรก็มีหน่วยเป็น โซน (Sone) ทั้งฟอนและโซนเป็นหน่วยความดังตามความรู้สึกของมนุษย์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- **ฟอน (Phon)** เป็นหน่วยวัดความดังของเสียงที่มนุษย์รู้สึก ต่อระดับความดังของเสียง (dB) ณ ความถี่อ้างอิงที่ 1,000 Hz ตามแผนภูมิที่ 2.2



แผนภูมิที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟอนต่อระดับความดังของเสียง
ตามมาตรฐาน ISO 226:2003 (ที่มา : www.iso.org)

- โชน (Sone) เป็นหน่วยวัดความดังของเสียงที่มนุษย์รู้สึก โดยอ้างอิงเสียงที่มีความถี่ 1,000 Hz และที่ระดับความดังของเสียงที่ 40 dB มีค่าเท่ากับ 1 โชน และสามารถกล่าวได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบเสียงใด ๆ และการรับรู้ต่อเสียงนั้น ๆ มีค่าแตกต่างกันเท่ากับ n โชน หมายความว่าเสียงนั้นมีความดัง n เท่าต่ออีกเสียงหนึ่งต่อการรับรู้ของมนุษย์ ตามความสัมพันธ์ที่แสดงในแผนภูมิที่ 2.3

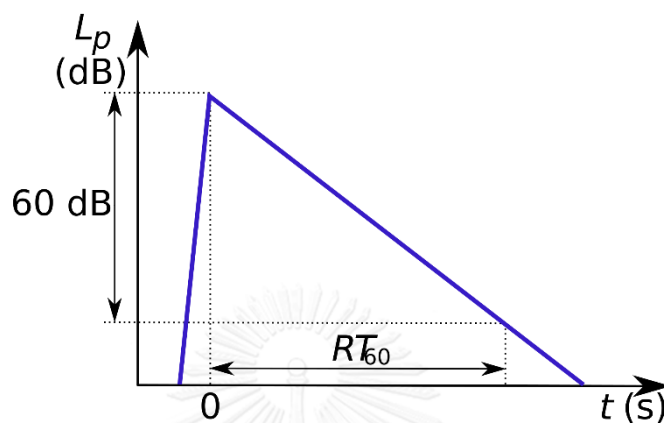


แผนภูมิที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโชนต่อระดับความดังของเสียง
(ที่มา : hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)

2.1.8 เวลาการสะท้อนกลับของเสียง (Reverberation Time, RT)

เวลาการสะท้อนกลับของเสียง คือ ช่วงเวลาที่เสียงเกิดขึ้นภายในพื้นที่ใด ๆ และก้องสะท้อนกลับไปกลับมาอยู่ภายในบริเวณจนกระทั่งระดับเสียงลดลง 60 dB (RT60) ตามแผนภูมิที่ 2.4 ในทางสถาปัตยกรรม การออกแบบพื้นที่ภายในอาคารย่อมมีการคำนึงถึงการใช้วัสดุสะท้อนเสียง

กระจายเสียง ดูดซับเสียง และรวมไปถึงการออกแบบลักษณะรูปร่างของพื้นที่ เนื่องจากลักษณะพื้นที่ใช้สอยในแต่ละประเภทมีการใช้งานที่แตกต่างกัน ความต้องการในลักษณะของเสียงจึงมีความแตกต่างกันไปด้วย เพราะฉะนั้นในลักษณะการใช้งานอาคารหรือพื้นที่แต่ละประเภทรูปร่างการออกแบบและควบคุมให้มีค่าเวลาการสะท้อนกลับของเสียง หรือ RT60 ที่เหมาะสม



แผนภูมิที่ 2.4 แสดงลักษณะของของค่า RT

(ที่มา : www.wikipedia.org)

ในช่วงระหว่างศตวรรษที่ 18-19 นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน Wallace Clement Sabine ได้ทำการศึกษาเรื่องเสียงภายในโรงละคร และค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของที่ว่างภายในโรงละครและวัสดุตกแต่งภายในต่าง ๆ ส่งผลต่อคุณภาพเสียงภายในโรงละครอย่างไร ปรากฏการณ์ทางเสียงนี้ Sabine เรียกว่า “เวลาการสะท้อนกลับของเสียง” โดยความสัมพันธ์ทางเสียงของ Sabine นี้มีสมการดังต่อไปนี้

$$RT \equiv \frac{0.161 \cdot V}{\sum A} \quad (2.8)$$

เมื่อ	RT	คือ เวลาการสะท้อนกลับของเสียง (วินาที, s)
	V	คือ ปริมาตรของพื้นที่ภายในนั้น ๆ (m^3)
	$\sum A$	คือ ค่าดูดซับเสียงรวมภายในห้อง (Sabine, m^2)
	$A = S\alpha$	โดย S คือพื้นที่ผิวของวัสดุ (m^2)
	α	คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ

2.1.9 การดูดซับเสียง (Sound Absorption)

การดูดซับเสียง คือ การเปลี่ยนแปลงผลรวมของพลังงานเสียงที่ลดลงเมื่อเสียงกระทบหรือผ่านตัวกลางใด ๆ โดยวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับคลื่นเสียงได้ดีเป็นวัสดุจำพวกเส้นใย

(Fibrous) และวัสดุพรุน (Porous) เมื่อคลื่นเสียงเดินทางมาสัมผัสกับวัสดุ พลังงานของคลื่นเสียงจะถูกลดทอนลง เนื่องจากวัสดุจำพวกเส้นใยและช่องว่างอากาศภายในวัสดุ สามารถยึดหยุ่นต่อการสั่นสะเทือนได้ในหลายช่วงความถี่ของเสียง ทำให้พลังงานของเสียงสูญเสียไปกับการทำให้วัสดุสั่นสะเทือน และกลายเป็นพลังงานความร้อนตามลำดับ¹³

ค่าที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุคือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient, α) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 โดยที่ 0 คือค่าที่ระบุว่าวัสดุไม่สามารถดูดซับเสียงไว้ได้เลย เสียงที่ตกกระทบจะสะท้อนออกไปทั้งหมด และ 1 คือค่าที่ระบุว่าวัสดุมีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงเอาไว้ได้ทั้งหมด ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสามารถหาได้จากการคำนวณหรือตรวจสอบตามมาตรฐาน ASTM C423¹⁴

เนื่องจากในวัสดุใด ๆ จะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในแต่ละช่วงความถี่ของคลื่นเสียงแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อที่จะทำการประเมินคุณสมบัติการดูดซับเสียงเบื้องต้นได้อย่างรวดเร็ว จึงมีการใช้ค่ากลางที่เรียกว่า Noise Reduction Coefficient (NRC) โดยค่า NRC นี้ได้จากการนำค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในช่วงความถี่ 250, 500, 1000 และ 2000 Hz ซึ่งเป็นค่าความถี่ตัวแทนใน 1 แถบความถี่ (Octave Band) มาหาค่าเฉลี่ยดังสมการต่อไปนี้

$$NRC \equiv \frac{(\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000})}{4} \quad (2.9)$$

จากมาตรฐาน ASTM C423-09A เพื่อเพิ่มความละเอียดในการประเมินคุณสมบัติในการดูดซับเสียงเบื้องต้น จึงมีการกำหนดวิธีการคำนวณค่ากลางใหม่ เพื่อแทนที่ค่า NRC เรียกว่า Sound Absorption Average (SAA) โดยมีการแจกแจงความถี่ตัวแทนที่ 250, 500, 1000 และ 2000 Hz ทั้ง 4 แถบความถี่ออกเป็น 1/3 แถบความถี่ โดยมีความถี่เริ่มต้นในการคำนวณคือ ความถี่ที่ 200 Hz จนไปถึงความถี่ที่ 2500 Hz ทั้งสิ้น 12 ค่าของ 1/3 แถบความถี่ด้วยกัน และมีสมการในการคำนวณหาค่า SAA ดังต่อไปนี้

$$SAA \equiv \frac{(\alpha_{200} + \alpha_{250} + \alpha_{500} + \dots + \alpha_{2000} + \alpha_{2500})}{12} \quad (2.10)$$

¹³ Hemond, Engineering Acoustic and Noise Control.

¹⁴ ASTM International, Astm C423 Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by Reverberation Room Method (West Conshohocken, PA, 2012).

ตารางที่ 2.2 การแบ่งแถบความถี่ของคลื่นเสียง

Octave Band			1/3 Octave Band		
Lower Frequency f_1 (Hz)	Center Frequency f_0 (Hz)	Upper Frequency f_2 (Hz)	Lower Frequency f_1 (Hz)	Center Frequency f_0 (Hz)	Upper Frequency f_2 (Hz)
22	31.5	44	22.4	25	28.2
			28.2	31.5	35.5
			35.5	40	44.7
44	63	88	44.7	50	56.2
			56.2	63	70.8
			70.8	80	89.1
88	125	177	89.1	100	112
			112	125	141
			141	160	178
177	250	355	178	200	224
			224	250	282
			282	315	355
355	500	710	355	400	447
			447	500	562
			562	630	708
710	1000	1420	708	800	891
			891	1000	1122
			1122	1250	1413
1420	2000	2840	1413	1600	1778
			1778	2000	2239
			2239	2500	2818
2840	4000	5680	2818	3150	3548
			3548	4000	4467
			4467	5000	5623

(ที่มา : www.engineeringtoolbox.com)

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับเสียงของวัสดุ

รายละเอียดวัสดุ	Sound Absorption Coefficient (α)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Brick (natural)	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
Brick (painted)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Concrete block (coarse)	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25
Concrete block (painted)	0.1	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
Concrete (unpainted, Rough finish)	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
Doors (solid wood panels)	0.1	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04
Plasterboard (12mm on studs)	0.29	0.1	0.06	0.05	0.04	0.04
Plywood paneling 3/8" thick	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11
Wood parquet on asphalt conc.	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
Vinyl tile or linoleum on conc.	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Fiberglass board 1" thick	0.06	0.2	0.65	0.9	0.95	0.98
Fiberglass board 4" thick	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.97
Carpet	0.01	0.02	0.06	0.15	0.25	0.45
Marble or glazed tile	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02

(ที่มา : www.soundproofyourhome.com)

ปัจจัยทางกายภาพของวัสดุที่ส่งผลต่อการดูดซับเสียง ได้แก่ ความหนา ความหนาแน่น ความพรุน ความต้านทานการไหล ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (Coefficient of Elasticity) และค่าความต้านทานเสียง (Acoustic Impedance) โดยสามารถจำแนกประเภทของวัสดุดูดซับเสียงออกเป็น 3 ประเภทตามกลไกการดูดซับเสียงดังต่อไปนี้

(ก) **วัสดุซับเสียงประเภทเมมเบรน (Membrane Absorber)** เช่น แผ่นโลหะบาง ไม้อัด พลาสติก กระดาษ หรือ ยิปซัมบอร์ด เป็นต้น โดยวัสดุเหล่านี้ไม่สามารถยืดหยุ่นได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีการการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากคลื่นเสียงไปเป็นพลังงานความร้อนได้เพียงบางส่วนในช่วงคลื่นความถี่ต่ำเท่านั้น ในขณะที่ช่วงความถี่สูงจะถูกสะท้อนออกจากเมมเบรน

(ข) **วัสดุซับเสียงประเภทโพรงหรือช่อง (Resonator of Cavity Absorber)** เป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นโพรงหรือช่อง ในแต่ละช่องเรียกว่า Sound box ถ้าโพรงอากาศมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับความยาวของคลื่นเสียงที่มาตกกระทบบนชิ้นวัสดุ มวลของอากาศจะเกิดการสั่นให้พ้องจำเพาะเข้ากับความถี่ของเสียงนั้น ๆ ประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง

ของวัสดุประเภทนี้จะอยู่ในช่วงคลื่นความถี่ตั้งแต่ 1000 Hz ลงมา สามารถดูดซับเสียงได้ดีที่สุดในช่วงคลื่นความถี่ 100-300 Hz และประสิทธิภาพจะลดลงตามช่วงความถี่ของเสียงที่เพิ่มขึ้น¹⁵

(ค) **วัสดุซับเสียงประเภทเส้นใยหรือมีรูพรุน (Fibrous or Porous Absorber)**
โดยวัสดุเหล่านี้จะมีช่องว่างอยู่ภายใน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ซึ่งน้อยกว่าขนาดตามความยาวของคลื่นเสียงมาก จึงทำให้วัสดุเหล่านี้สามารถดูดซับเสียงได้ดี เมื่อเสียงตกกระทบบนวัสดุเหล่านี้ โมเลกุลของวัสดุและอากาศจะเกิดการสั่นตัวทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานจากการเสียดทานและความหนืด (Friction and Viscous Loss)

2.1.10 การส่งผ่านเสียง (Sound Transmission)

เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบกับวัสดุที่ขวางทางเดินของเสียง พลังงานของเสียงในโมเลกุลของอากาศจะส่งผ่านสู่วัสดุ ทำให้วัสดุชิ้นนั้นเกิดการสั่นในความถี่จำเพาะที่ตรงกับความถี่ของคลื่นเสียง แล้วจึงส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนสู่โมเลกุลอากาศในฝั่งตรงข้ามกับที่คลื่นเสียงตกกระทบ คลื่นเสียงที่เดินทางผ่านวัสดุจะมีพลังงานลดลง เนื่องจากพลังงานของเสียงส่วนหนึ่งสูญเสียไปกับการทำให้ตัวกลางสั่นสะเทือน โดยสามารถบ่งบอกคุณสมบัติในการกั้นเสียงของวัสดุได้จาก ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound Transmission Loss, STL) ซึ่งเป็นผลต่างของพลังงานเสียงทั้งหมดจากทั้งสองฝากของวัสดุที่ใช้กั้นเสียง ตามการตรวจวัดด้วยมาตรฐาน ASTM E90¹⁶ ภายในห้องทดสอบทางเสียง โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$TL \equiv 10 \log \left(\frac{W_1}{W_2} \right) \quad (2.11)$$

เมื่อ TL คือ ค่าสูญเสียจากการส่งผ่านเสียง (dB)

W_1 คือ พลังงานเสียงที่ตกกระทบบนวัสดุกั้นเสียง (W/m^2)

W_2 คือ พลังงานเสียงที่ทะลุผ่านวัสดุกั้นเสียง (W/m^2)

¹⁵ L. L. Doelle, Environmental Acoustic (NY: McGraw-Hill, 1972).

¹⁶ ASTM International, Astm E90 Standrad Test Method for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions and Element (West Conshohocken, PA, 2009).

$$TL \equiv L_1 - L_2 + \log\left(\frac{S}{A}\right) \quad (2.12)$$

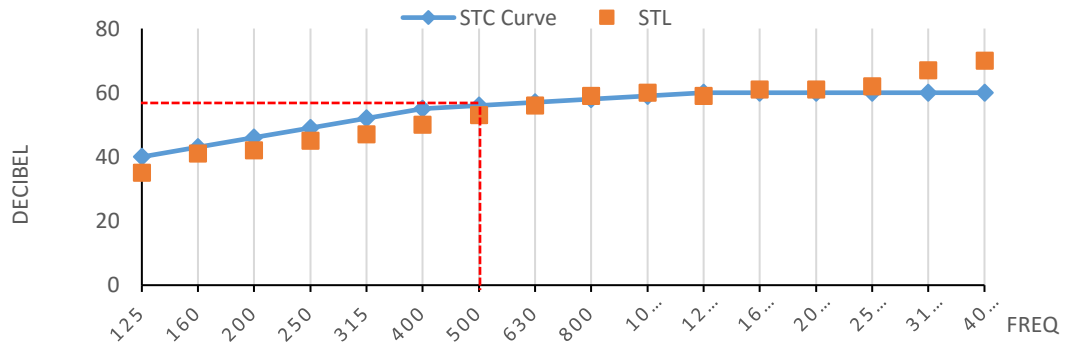
- เมื่อ TL คือ ค่าสูญเสียจากการส่งผ่านเสียง (dB)
 L_1 คือ ระดับความเข้มเสียงที่ตกกระทบบนวัสดุกั้นเสียง (dB)
 L_2 คือ ระดับความเข้มเสียงที่ทะลุผ่านวัสดุกั้นเสียง (dB)
 S คือ ขนาดพื้นที่ผิวของวัสดุที่เสียงตกกระทบ (m^2)
 A คือ ค่าการดูดซับเสียงรวมโดยรอบบริเวณของต้นกำเนิดเสียง

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดตัวอย่างค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของวัสดุ

รายละเอียดวัสดุ	Sound Transmission Loss (dB)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
1 mm aluminium sheet	11	10	10	18	23	25
125 mm thick plastered brick	36	36	40	46	54	57
360 mm thick plastered brick	44	43	49	57	66	70
150 mm hollow concrete (painted)	36	36	42	50	55	60
75 mm solid concrete	35	40	44	52	59	60
6 mm monolithic glass	24	26	31	34	30	37
12 mm monolithic glass	27	32	36	33	40	49
Hardwood panels (~50 mm)	19	23	25	30	37	42
Plasterboard (10 mm) on wood frame	15	20	24	29	32	35
Plywood (5 mm) on wood frame	9	13	16	21	27	29
1 mm galvanized steel sheet	8	14	20	26	32	38
1.6 mm galvanized steel sheet	14	21	27	32	37	43

(ที่มา : Norton, M. P. and Karczub, D. G. Fundamental of Noise and Vibration Analysis for Engineer)

เนื่องจากค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง เป็นค่าที่ระบุถึงคุณสมบัติในกั้นเสียงของวัสดุในแต่ละช่วงของคลื่นความถี่เสียง วัสดุที่ต่างประเภทกันจึงมีคุณสมบัติในการกั้นเสียงในแต่ละช่วงคลื่นความถี่เสียงแตกต่างกัน เพื่อที่จะประเมินคุณสมบัติการกั้นเสียงเบื้องต้นได้อย่างรวดเร็ว จึงมีการกำหนดค่ากลางที่ใช้ระบุถึงคุณสมบัติในการกั้นเสียงของวัสดุเรียกว่า ชั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound Transmission Class, STC) ค่า STC ของวัสดุเป็นการนำค่า STL มากำหนดจุดดลงบนแผนภูมิเส้นแสดงรูปร่าง (Contour graph) ของ STC ดังตัวอย่างในแผนภูมิที่ 2.5



แผนภูมิที่ 2.5 ลักษณะของ STC Curve

เส้น STC curve ที่แสดงในแผนภูมิที่ 2.5 เป็นเส้นที่ปรับตัวไปตามค่าของชุดข้อมูล STL ที่นำมากำหนดจุดลงในแผนภูมิ เส้น STC curve จึงเป็นข้อมูลที่ไม่ได้มีค่าตายตัว แต่มีความชันคงที่ตลอดทั้งเส้น สามารถหาค่า STC ของวัสดุได้โดยการนำค่า STL ของวัสดุที่ได้จากการคำนวณหรือทดสอบในห้องทดลอง มากำหนดจุดลง STC contour graph แล้วจึงกำหนดตำแหน่งเส้น STC curve ตามลำดับ โดยมีข้อกำหนดในการวางตำแหน่งของเส้น STC curve สองข้อคือ

- ข้อมูลของค่า STL ในตำแหน่งความถี่ใด ๆ ต้องไม่น้อยกว่าข้อมูลบน STC curve เกิน 8 dB
- ผลต่างระหว่างค่า STL และค่าบนเส้นอ้างอิง STC curve ในตำแหน่งความถี่ที่ชุดข้อมูล STL อยู่ต่ำกว่าเส้นอ้างอิง STC curve รวมกันต้องไม่เกิน 32 dB

เมื่อกำหนดตำแหน่งเส้น STC curve ได้ตามข้อกำหนดข้างต้น ค่าสูงสุดบนเส้น STC curve ในแนวแกน y ที่ตำแหน่งความถี่ของเสียงที่ 500 Hz คือค่า STC ของวัสดุนั้นอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E413-16 สำหรับวัสดุประเภทติดตั้งเป็นฝ้าเพดาน จะเรียกค่าชั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียงนี้ว่า Ceiling Attenuation Class (CAC) โดยอ้างอิงกระบวนการตรวจสอบวัสดุตามมาตรฐาน ASTM E1414¹⁷

¹⁷ Astm E1414 Standard Test Method for Airborne Sound Attenuation between Rooms Sharing a Common Ceiling Plenum (West Conshohocken, 2016).

ตารางที่ 2.5 ประสิทธิภาพในการได้ยินของผนังตามค่าของ STC

Sound Transmission Class (STC)	ประสิทธิภาพในการได้ยินผ่านผนัง
25	สามารถได้ยินและทำความเข้าใจได้อย่างชัดเจน
30	สามารถได้ยิน แต่ทำความเข้าใจได้ค่อนข้างลำบาก
35	สามารถได้ยิน แต่ไม่สามารถทำความเข้าใจได้
40	ระดับความเป็นส่วนตัว
45	ไม่สามารถได้ยินในระดับเสียงพูดที่ดังกว่าปกติได้
50	แทบจะไม่ได้ยินเสียงที่มีระดับความดังมาก ๆ เช่น เครื่องดนตรี หรือวิทยุสเตอริโอ

(ที่มา : www.wikipedia.org)

2.2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวัสดุ

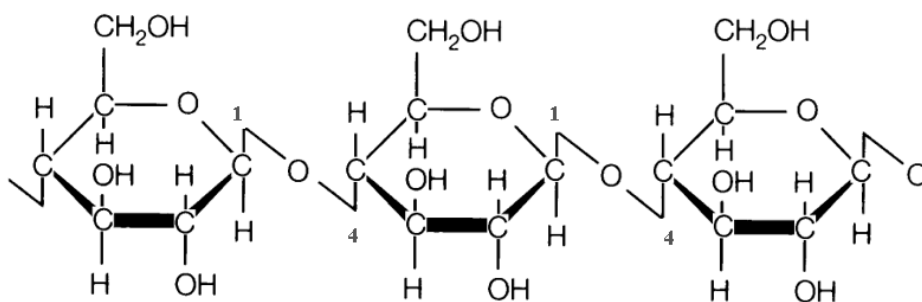
2.2.1 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural waste)

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรส่วนใหญ่คือวัสดุประเภท ลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) เป็นชีวมวลอินทรีย์ที่ประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ซึ่งเรียกรวมกันว่า โฮโลเซลลูโลส (Holocellulose) และลิกนิน (Lignin) พบมากในผนังเซลล์ของพืชได้แก่ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากไม้เนื้อแข็งไม้เนื้ออ่อน เศษวัสดุจากการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด เส้นใยข้าวโพด ขานอ้อย แกลบฟางข้าว เปลือกทุเรียน เป็นต้น¹⁸

(ก) **เซลลูโลส (Cellulose)** เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทโพลีแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ในผนังเซลล์ของพืชซึ่งเป็นสารโพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างของโมเลกุลประกอบด้วย กลุ่ม แอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose) เกาะเกี่ยวกันเป็นสายยาว เมื่อรวมกันเป็นจำนวนมากจะเกิดเป็นเส้นใยเซลลูโลส โซโมเลกุลจะยาวมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุลของกลูโคส (Glucose) เซลลูโลสจัดเป็นเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) ที่ไม่ละลายน้ำ มีการประเมินกันว่าทั่วโลกพืชสามารถผลิตเซลลูโลสได้มากถึง 100 พันล้านตันในแต่ละปี¹⁹

¹⁸ J. S. Lee et al., Recent Developments of Key Technologies on Cellulosic Ethanol Production, *Journal of Scientific & Industrial Research* 67 (2008).

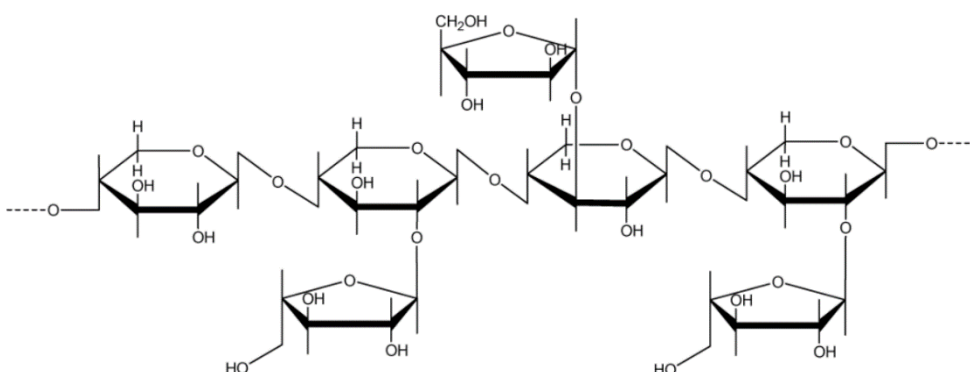
¹⁹ N. A. Campbell and J. B. Reece, *Biology*, vol. 6th ed (San Francisco, California: Benjamin Cummings, 2001).



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

(ที่มา : <https://myorganicchemistry.wikispaces.com>)

(ข) **เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)** เป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งในผนังเซลล์พืช เช่นเดียวกับเซลลูโลส เป็นสารโพลีเมอร์ประเภทเฮเทอโรโพลีแซ็กคาไรด์ (Heteropolysaccharide) ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลหลายชนิด กลูโคส แมนโนส (Mannose) ไซโลส (Xylose) และอะราบิโนส (Arabinose) มีสายโมเลกุลสั้นกว่าเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสจัดเป็นเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) ที่ไม่ละลายน้ำ²⁰



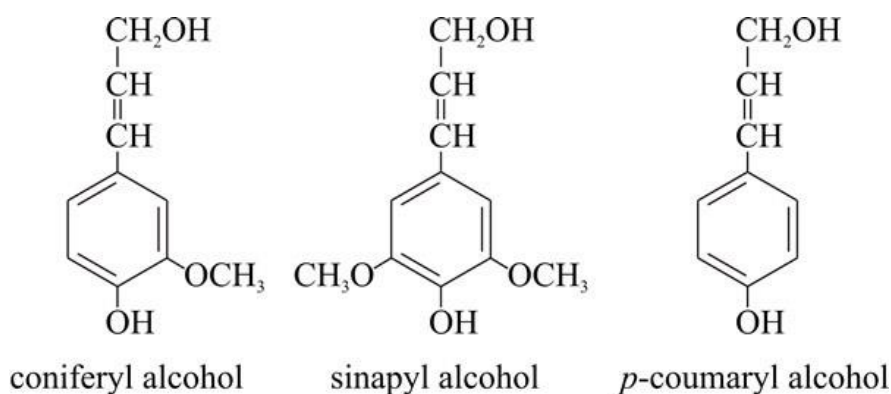
ภาพที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลสประเภทไซแลน

(ที่มา : www.scientificpsychic.com)

(ค) **ลิกนิน (Lignin)** เป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกที่พบในส่วนของผนังเซลล์พืช เป็นสารโพลีเมอร์ประเภทโพลีแซ็กคาไรด์โมเลกุลใหญ่ โซโมเลกุลประกอบไปด้วย ออกซิเจนเตตฟีนิลโพรเพน (Oxygenated phenyl propanes) ลิกนินจัดเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ให้พลังงาน ใน

²⁰ K. B. Bastawde, Xylan Structure, Microbial Xylanases, and Their Mode of Action, *Journal of Microbiology and Biotechnology* 8 (1992).

ธรรมชาติลิกนินเป็นส่วนป้องกันเซลลูโลสไม่ให้ถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ และยัง เป็นเฮเทอโรโพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบ 3 มิติ ไม่ตกผลึก²¹ ประกอบด้วยสารประกอบอะโรมาติก 3 ชนิดได้แก่ trans-p-coumaryl, trans-coniferyl alcohol และ trans-p-sinapyl alcohol²²



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของลิกนินประเภทต่าง ๆ

(ที่มา : www.davidmoore.org.uk)

ในงานวิจัยของ Asdrubali, F. ได้ทำการศึกษาและวิจัยวัสดุเพื่อการควบคุมเสียงใน อาคารอย่างยั่งยืนหรือวัสดุสีเขียว โดยทำการสำรวจวัสดุสีเขียวในหลาย ๆ ประเภทเพื่อทดสอบและ เก็บผลทดลองคุณสมบัติในเรื่องเสียง พบว่าวัสดุจำพวกเส้นใยเซลลูโลสส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ค่อนข้างต่ำ²³ ตามที่แสดงในตารางที่ 2.6 อีกทั้งยังมีคุณสมบัติทางเสียงที่ดีตามตารางที่ 2.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

²¹ K. K. Cheng et al., Sugarcane Bagasse Mild Alkaline/Oxidative Pretreatment for Ethanol Production by Alkaline Recycle Process, *Appl Biochem Biotechnol* 151, no. 1 (2008).

²² K. E. L. Eriksson, Biotechnology in Pulp and Paper Industry, *Wood Science and Technology* 24 (1990).

²³ V. Desarnaulds, E. Costanzo, and A. Carvalho, Sustainability of Acoustic Characterization of Sustainable Materials (paper presented at the 12th International Conference of Vibration and Sound, Lisbon, 2005).

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของวัสดุจากธรรมชาติ

	Density (kg/m ³)	Non Renewable Energy (Mj/kg)	Global Warming Potential (Kg CO ² eq.)	Acidification Potential (Kg SO ² eq.)
Natural Cautchuc	6.4	40	2.4	0.0086
Coconut fibres	50	42	0	0.0250
Flax fibres	25	4.4	0	0
Sheep wool	30	12.3	-0.3	0.0046
Cellulose flocks	35-70	4.2	0.2	0.0025
EPS	30	95	2.3	0.0201
Foamglass	130	67	3.7	0.0229
Glass fiber	34	43	2.1	0.0155
Mineral wool	50-60	17	1.2	0.0052

ตารางที่ 2.7 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเสียงระหว่างวัสดุเส้นใยธรรมชาติกับวัสดุสังเคราะห์

	Thickness (mm)	Density (kg/m ³)	Absorption coefficient (α)				NRC
			250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	
Glass wool	50	50.0	0.45	0.65	0.75	0.80	0.663
Rock wool	50	80.0	0.29	0.52	0.83	0.91	0.638
Polystyrene	50	28.0	0.22	0.42	0.78	0.65	0.518
Polyurethane	50	30.0	0.30	0.68	0.89	0.79	0.665
Polyethylene	50	32.0	0.25	1.00	0.40	0.70	0.588
Cellulose	50	25.0	0.60	0.90	0.75	0.53	0.695
Sheep wool	60	25.0	0.24	0.38	0.62	0.84	0.520
Coconut fiber	35	70.0	0.28	0.40	0.64	0.74	0.515

2.2.2 ข้อมูลจำเพาะของเปลือกทุเรียน

ทุเรียน (*Durio zibethimus Murray*) เป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญมากของประเทศไทย ในปี 2558 ประเทศไทยทั้งประเทศสามารถเก็บเกี่ยวทุเรียนได้ถึง 600,078 ตัน จากการศึกษาศักยภาพในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ของ ธีรวรรณ บุญวงศ์ และ

คณะ พบว่าน้ำหนักเปลือกของทุเรียนหนึ่งผลมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 67.4% ของน้ำหนักทุเรียนทั้งผล แสดงว่าในปี 2558 มีเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งประมาณ 404,452 ตัน

ตารางที่ 2.8 ส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียน

Chemical composition	Result (%)
Ash content	5.5
Alcohol-benzene solubility	13.4
Hot-water solubility	39.5
1% NaOH solubility	54.5
Lignin (ash corrected)	10.9
Hemicellulose	9.6
Alpha-cellulose	31.6
Beta-cellulose	6.8
Gamma cellulose	8.7

ตารางที่ 2.9 เปรียบเทียบปริมาณของเส้นใยในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

Lignocellulosic material	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignin (%)
Corn cobs	45	35	15
Grasses	25-40	35-50	10-30
Wheat straw	30	50	15
Nut shells	25-30	25-30	30-40
Pineapple peel	21.16	9.50	42.11
Coconut coir	43.44	0.25	45.84
Durian peel	47.1	9.6	10.9

จากตารางที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนว่ามี ส่วนประกอบของเซลลูโลสถึง 47.1% เฮมิเซลลูโลส 9.6% ลิกนิน 10.9% และซีไธอีก 5.5%²⁴ รวมไปถึงข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณเส้นใยกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่นในตารางที่ 2.9 สามารถสรุปได้ว่าเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุเส้นใยเหลือทิ้งทางการเกษตรที่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส ซึ่ง

²⁴ Sarocha Chareonvai et al., Development of Durian Fiber-Based Composite Material (paper presented at the 2nd TSME international conference on Mechanical Engineering, Krabi, 2011).

เป็นพันธะโพลีเมอร์ของโมเลกุลกลูโคสที่มีความยืดหยุ่นสูง สามารถพบได้ในองค์ประกอบเส้นใยในคอมโพสิตที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ

2.2.3 การตรวจสอบคุณสมบัติในการกันเสียงและดูดซับเสียงของวัสดุ

ในการทดลองหรือตรวจสอบคุณสมบัติทางเสียงของวัสดุนั้น สามารถทำได้ 2 ด้วยกันคือ

(ก) การตรวจสอบภายในห้องปฏิบัติการ

- การตรวจสอบประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง โดยการนำวัสดุมาติดตั้งภายในห้องที่เตรียมไว้ ติดตั้งลำโพงและไมโครโฟนแล้วจึงทำการปรับแก้สัญญาณ (Calibration) ระหว่างลำโพง ไมโครโฟน และห้องที่ใช้ในการตรวจสอบ (ภาพที่ 2.12) อ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 354 โดยมีช่วงคลื่นความถี่ในการตรวจสอบอยู่ในช่วง 125 Hz ถึง 4000 Hz



ภาพที่ 2.12 การตรวจสอบเพื่อหาค่าการดูดซับเสียงของวัสดุภายในห้องปฏิบัติการ

(ที่มา : <http://www.akustikforschung.de/>)

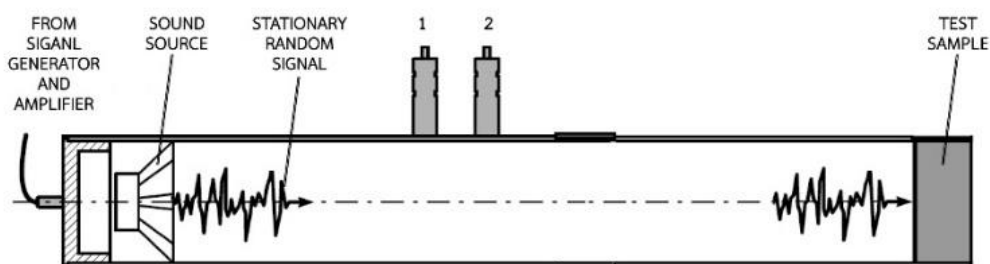
- การตรวจสอบประสิทธิภาพในการกันเสียง โดยการก่อกำแพงด้วยอิฐมวลเบาที่มีความหนา 20 เซนติเมตร จนเต็มผนังโดยเว้นช่องเปิดบนผนังไว้สำหรับติดตั้งวัสดุที่จะใช้ในการตรวจสอบ ผนังผืนนี้จะเป็นจุดแบ่งระหว่างห้องกำเนิดเสียงและห้องรับเสียง ติดตั้งลำโพงและไมโครโฟนแยกกันในแต่ละห้อง แล้วจึงทำการปรับแก้สัญญาณ (Calibration) ระหว่างลำโพงและไมโครโฟน (ภาพที่ 2.13) อ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 10140 ช่วงคลื่นความถี่ในการตรวจสอบอยู่ในช่วง 125 Hz ถึง 4000 Hz



ภาพที่ 2.13 การตรวจสอบเพื่อหาค่าการกั้นเสียงของวัสดุภายในห้องปฏิบัติการ
(ที่มา : Façade Testing Institute [FTI]. 2015)

(ข) การตรวจสอบโดยวิธีท่อความต้านทาน (Impedance Tube Method)

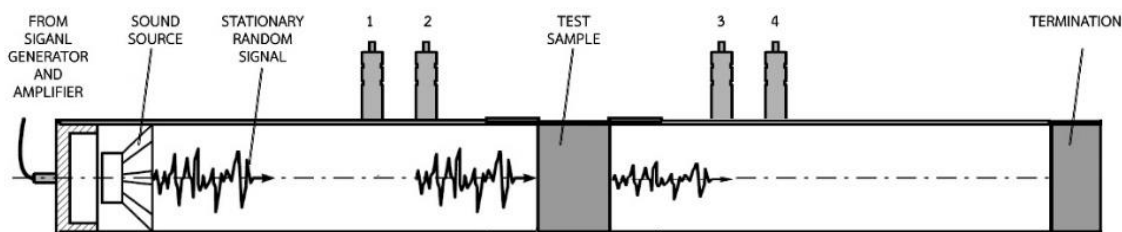
- การตรวจสอบประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง โดยการเตรียมวัสดุที่จะใช้ในการตรวจสอบ ให้มีขนาดและรูปร่างเป็นทรงกระบอกขนาด 29 mm. เพื่อใช้ในการตรวจสอบในช่วงคลื่นความถี่สูง (500 Hz ถึง 6,300 Hz) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 99 mm. สำหรับตรวจสอบในช่วงคลื่นความถี่ต่ำ (100 Hz ถึง 1,600 Hz) นำชิ้นงานที่เตรียมไว้บรรจุในท่อความต้านทาน ทำการปล่อยสัญญาณเสียงในช่วงคลื่นความถี่ต่าง ๆ เข้ากระทบชิ้นวัสดุแล้วจึงบันทึกเสียงเสียงสะท้อนกลับด้วยไมโครโฟนในตำแหน่งที่ 1 และ 2 ตามภาพที่ 2.14 โดยอ้างอิงการตรวจสอบตามมาตรฐาน ASTM C423



ภาพที่ 2.14 การตรวจสอบเพื่อหาค่าการดูดซับเสียงของวัสดุด้วยวิธี
ท่อความต้านทาน (ที่มา : <http://www.bksv.com/>)

- การตรวจสอบประสิทธิภาพในการกั้นเสียง โดยการเตรียมวัสดุที่จะใช้ในการตรวจสอบ ให้มีขนาดและรูปร่างเป็นทรงกระบอกขนาด 29 mm. เพื่อใช้ในการตรวจสอบในช่วงคลื่นความถี่สูง (500 Hz ถึง 6,300 Hz) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 99 mm. สำหรับตรวจสอบในช่วงคลื่นความถี่ต่ำ (100 Hz ถึง 1,600 Hz) นำชิ้นงานที่เตรียมไว้บรรจุในท่อความต้านทาน ทำการปล่อยสัญญาณเสียงในช่วงคลื่นความถี่ต่าง ๆ เข้ากระทบชิ้นวัสดุ มีไมโครโฟนในตำแหน่งที่ 1 และ 2 บันทึก

ระดับเสียงในช่วงก่อนเสียงกระทบชิ้นงาน ไมโครโฟนในตำแหน่ง 3 และ 4 บันทึกระดับเสียงที่ผ่านชิ้นงานออกมา ตามภาพที่ 2.15 อ้างอิงการตรวจสอบตามมาตรฐาน ASTM E423



ภาพที่ 2.15 การตรวจสอบเพื่อหาค่าการกั้นเสียงของวัสดุด้วยวิธี
ท่อความต้านทาน (ที่มา : <http://www.bksv.com/>)



ภาพที่ 2.16 ลักษณะของท่อความต้านทาน
(ที่มา : <http://www.bksv.com/>)

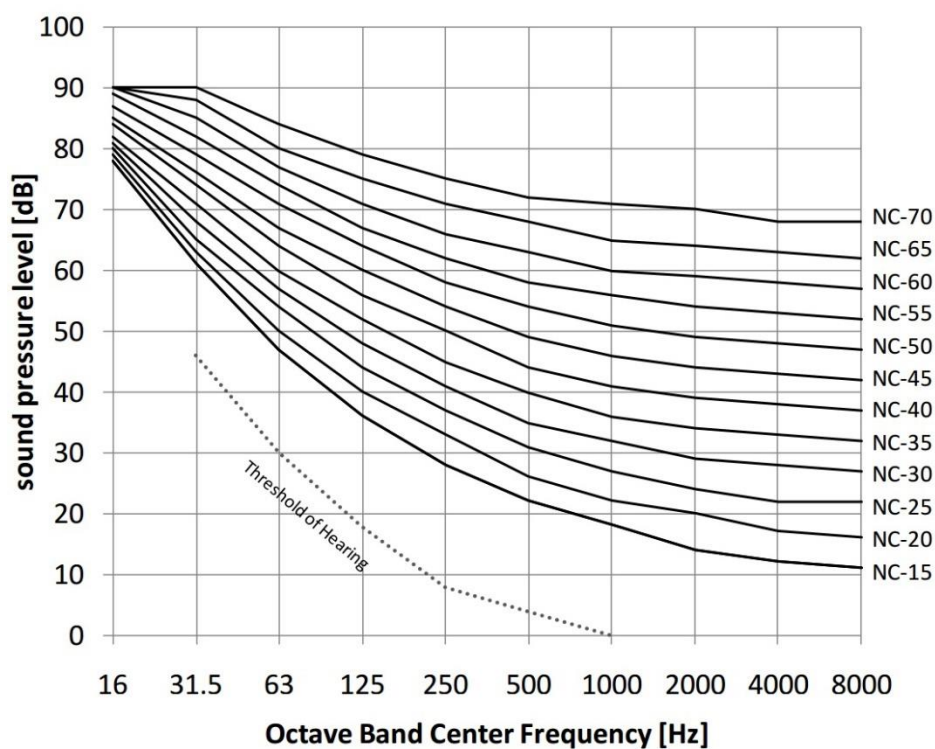
2.3 เกณฑ์และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเสียงภายในอาคาร

2.3.1 เกณฑ์ของเสียงรบกวน (Noise Criteria)

ระดับเสียงในสภาพแวดล้อม (Ambient sound level) เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลถึงคุณภาพเสียงในพื้นที่บริเวณนั้น ๆ จากการใช้งานพื้นที่อาคารที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ความต้องการ หรือระดับการยอมรับต่อระดับเสียงในสภาพแวดล้อมแตกต่างกันอีกด้วย จึงมีการกำหนดมาตรฐานที่อธิบายความสัมพันธ์ของระดับความดังเสียงรบกวนต่อย่านความถี่ของเสียงตามทีแสดงในตารางที่ 2.10 และแผนภูมิที่ 2.6

ตารางที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดังเสียงเสียงต่อย่านความถี่ของเสียง

Noise Criteria	Sound Pressure Levels (dB) in Octave Band Center Frequency (Hz)							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
NC-15	47	36	29	22	17	14	12	11
NC-20	51	40	33	26	22	19	17	16
NC-25	54	44	37	31	27	24	22	21
NC-30	57	48	41	35	31	29	28	27
NC-35	60	52	45	40	36	34	33	32
NC-40	64	56	50	45	41	39	38	37
NC-45	67	60	54	49	46	44	43	42
NC-50	71	64	58	54	51	49	48	47
NC-55	74	67	62	58	56	54	53	52
NC-60	77	71	67	63	61	59	58	57
NC-65	80	75	71	68	66	64	63	62
NC-70	83	79	75	72	71	70	69	68



แผนภูมิที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดังเสียงต่อย่านความถี่ของเสียง

(ที่มา : www.wikipedia.org)

2.3.2 มาตรฐาน Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)

มาตรฐานอาคารเขียว LEED หรือชื่อเต็มที่เรียกว่ามาตรฐาน Leadership in Energy and Environmental Design ซึ่งออกโดยองค์กร USGBC แห่งสหรัฐอเมริกา LEED คือระบบการประเมินความยั่งยืนของอาคารโดยกำหนดขอบเขตงานเพื่อการประเมินผลประสิทธิภาพอาคารในการออกแบบ การก่อสร้าง การใช้งาน และทางเลือกในการดูแลรักษาอาคาร เพื่อให้ช่วยในการนำพาสภาพแวดล้อมในอาคารสู่ความยั่งยืน

ในปี 2013 USGBC ได้ออกมาตรฐานฉบับปรับปรุงหรือ LEED ในฉบับที่ 4 ในหมวดของ คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (IEQ) ได้เพิ่มเครดิตให้กับการประเมินประสิทธิภาพทางเสียง (Acoustical Performance) โดยเน้นไปที่อาคารประเภทสถานศึกษาและโรงเรียน ได้แก่

(ก) เสียงรบกวนจากเครื่องปรับอากาศ (HVAC background noise) โดยกำหนดให้เสียงรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์ทำความร้อน อุปกรณ์ระบายอากาศ และอุปกรณ์ปรับอากาศมีความดังไม่เกิน 40 dBA เป็นการนำมาตรฐานของ ANSI และ ASHRAE มาพิจารณารวมกัน

(ข) เสียงรบกวนจากภายนอก (Exterior noise) สำหรับที่ตั้งโครงการที่มีระดับเสียงรบกวนสูง (ระดับความดังเฉลี่ยเกิน 60 dBA ในช่วงเวลาเรียน) ให้มีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอก และเพื่อควบคุมการส่งผ่านเสียงถึงกันระหว่างห้องเรียนหรือพื้นที่ทำการเรียนการสอน โครงการต้องตั้งอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน เช่น สนามบิน ทางด่วนพิเศษ ทางรถไฟ หรือโรงงานอุตสาหกรรม อย่างน้อย 800 เมตร

(ค) เวลาการสะท้อนกลับของเสียง (Reverberation Time)

สำหรับห้องเรียนหรือพื้นที่ทำการเรียนการสอนที่มีปริมาตรห้องน้อยกว่า 566 ลูกบาศก์เมตร กำหนดให้ใช้มาตรฐาน ANSI Standard S12.60-2010, Part 1, Acoustical Performance Criteria อ้างอิงในการออกแบบห้องให้ได้ประสิทธิภาพของเสียงที่เหมาะสมต่อการเรียนการสอน

- มีปริมาณพื้นผิวของวัสดุซับเสียงทั้งหมดภายในห้อง เท่ากับหรือมากกว่า ปริมาณพื้นผิวของฝ้าเพดานในห้องนั้น ๆ และวัสดุต้องมีค่า NRC เท่ากับ 0.70 หรือมากกว่าในการคำนวณสำหรับห้องเรียนหรือพื้นที่ทำการเรียนการสอนที่มีปริมาตรห้องมากกว่าหรือเท่ากับ 566 ลูกบาศก์เมตร

- ค่าคำนวณค่าการสะท้อนกลับของเสียงภายในห้องได้ตามที่มาตรฐาน ANSI Standard S12.60-2010 ระบุไว้

สำหรับห้องเรียนหรือพื้นที่ทำการเรียนการสอนที่มีปริมาตรห้องมากกว่า 566 ลูกบาศก์เมตร กำหนดให้ออกแบบห้องให้ได้ค่าการสะท้อนกลับของเสียงอ้างอิงตาม NRC-CNRC Construction Technology Update No 51. Acoustical of Room for Speech (2002)

2.3.3 มาตรฐาน American National Standards Institute (ANSI)

สถาบันมาตรฐานแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา เป็นองค์กรที่สนับสนุนการพัฒนามาตรฐานทางเทคโนโลยีของสหรัฐ ทำหน้าที่พัฒนามาตรฐานต่าง ๆ ให้เหมาะสมและรับรองขึ้นเป็นมาตรฐานสากล

มาตรฐาน ANSI ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเสียงภายในอาคารคือ ANSI Standard S12.60-2010, Part 1 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1 : Permanent Schools โดยมีรายละเอียดกล่าวถึงการกำหนดค่าสูงสุดของ ระดับความดังเฉลี่ยของเสียงรบกวนจากภายนอก ระดับความดังเฉลี่ยของเสียงรบกวนภายใน และเวลาการสะท้อนกลับของเสียงในห้องที่ยังไม่มีการติดตั้งเพอร์ริเจอร์ตามที่แสดงในตารางที่ 2.11 และยังรวมไปถึงการกำหนดค่าการกั้นเสียงต่ำสุดของวัสดุ สำหรับพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ ที่ตั้งอยู่ติดกันหรือมีผนังห้องร่วมกัน ตามตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.11 ข้อกำหนดสูงสุดของระดับความดังเสียงและเวลาการสะท้อนกลับของเสียงตามมาตรฐาน ANSI Standard S12.60-2010, Part 1

Learning space	Sound level of exterior-source background noise (dB)	Sound level of interior-source background noise (dB)	Maximum permitted reverberation (s)
Enclosed volume \leq 283 m ³	35	35	0.6
Enclosed volume $>$ 283 m ³ and \leq 566 m ³	35	35	0.7
Enclosed volume $>$ 566 m ³	40	40	No requirement

ตารางที่ 2.12 ค่าต่ำสุดในการกันเสียงของวัสดุ (STC) ที่ใช้กันพื้นที่ภายในตามมาตรฐาน ANSI Standard S12.60-2010, Part 1

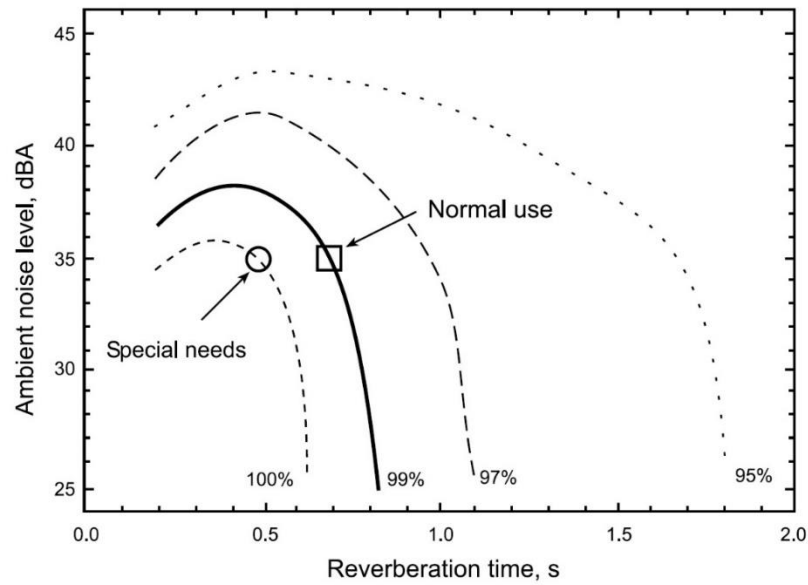
Adjacent space	STC (dB)
Other enclosed or open plan core learning space, therapy room, health care room and space requiring a high degree of acoustical privacy	50
Common-use and public-use toilet room and bathing room	53
Corridor, staircase office, or conference room	45
Music room, music performance space, auditorium, mechanical equipment room, cafeteria, gymnasium, or indoor swimming pool	60

2.3.4 มาตรฐาน National Research Council (NRC)²⁵

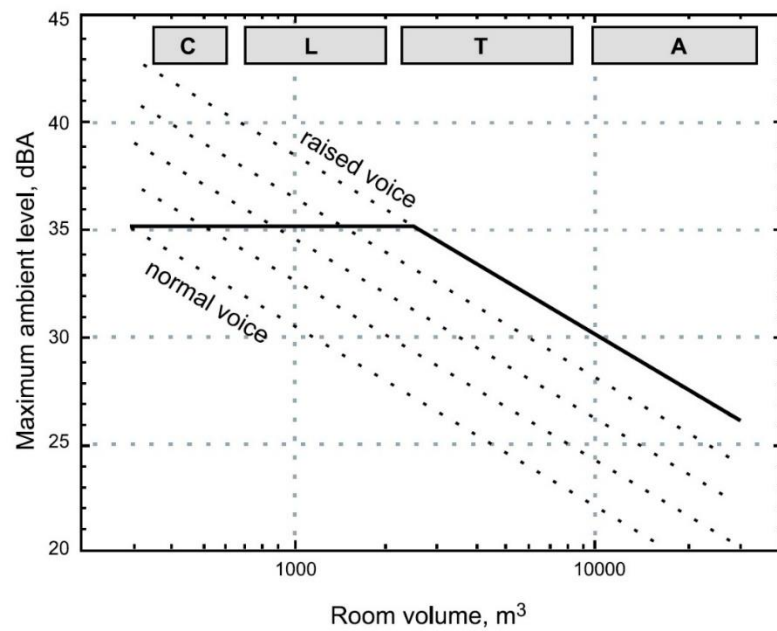
สภาวิจัยแห่งชาติแคนาดาเป็นองค์กรเพื่อทำการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีระดับชาติที่ขึ้นตรงต่อรัฐบาลของประเทศแคนาดา โดย NRC ได้ร่วมมือกับสถาบันวิจัยเพื่อการก่อสร้าง (Institute for Research in Construction) ตีพิมพ์มาตรฐานเรื่องคุณภาพเสียงภายในอาคาร Acoustical Design of Room for Speech โดยมีรายละเอียดกล่าวถึงการกำหนดค่าสูงสุดของระดับความดังของเสียงรบกวนและเวลาการสะท้อนกลับของเสียงสำหรับพื้นที่ใช้งานขนาดต่าง ๆ ตามตารางที่ 2.13 ตารางที่ 2.13 ข้อกำหนดสูงสุดของระดับความดังเสียงและเวลาการสะท้อนกลับของเสียงตามมาตรฐาน NRC-CNRC Construction Technology Update No 51. Acoustical of Room for Speech

Example Situation	Maximum noise		RT
	dBA	NC	
Primary school classroom, Boardroom for elderly adults	30	23	0.5
Law court	30	23	0.2
High school classroom, General meeting room	35	28	0.7
Large lecture hall theatre	30	23	0.7

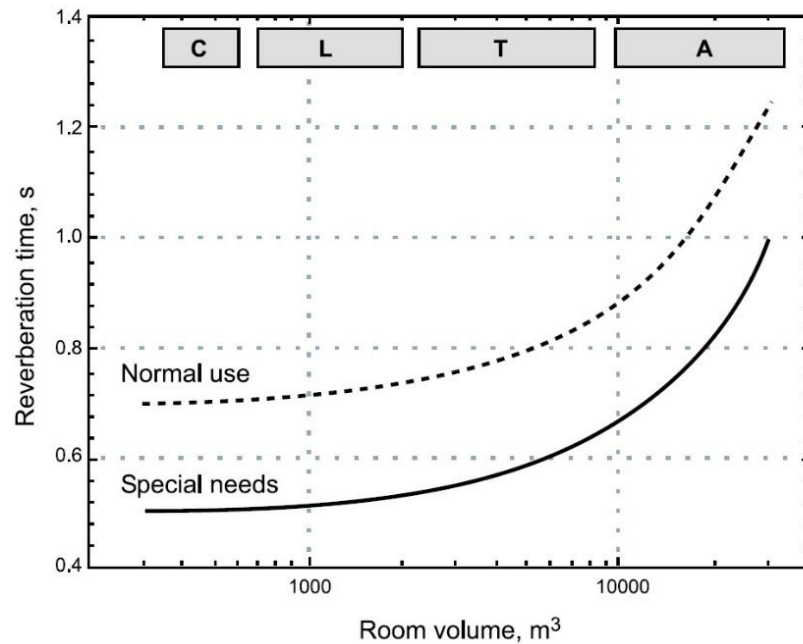
²⁵ Nation Research Council, Acoustical Design of Rooms for Speech (Construction Technology Update No. 51, Canada, 2002).



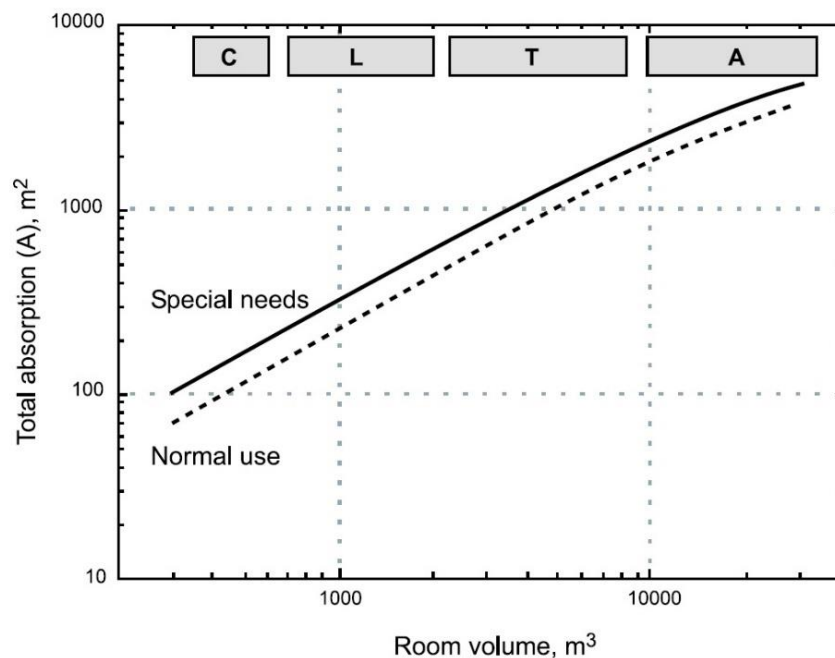
แผนภูมิที่ 2.7 ค่ากำหนดของ RT ในการใช้งานห้องที่มีขนาด 300 m³ (ขนาดห้องเรียน) ตามมาตรฐาน NRC (ที่มา : NRC, Acoustical Design of Rooms for Speech)



แผนภูมิที่ 2.8 ค่ากำหนดสูงสุดของระดับความดังเสียงรบกวนในขนาดห้องต่าง ๆ ตามมาตรฐาน NRC (C=ห้องเรียน, L=ห้องโถงสำหรับเล็กเซอร์, T=ห้องชมภาพยนตร์, A=ออดิทอเรียมขนาดใหญ่) (ที่มา : NRC, Acoustical Design of Rooms for Speech)



แผนภูมิที่ 2.9 ค่ากำหนดของ RT ในช่วงความถี่ย่านกลาง (500 Hz ถึง 2000 Hz) ตามมาตรฐาน NRC (C=ห้องเรียน, L=ห้องโถงสำหรับเล็กเซอร์, T=ห้องชมภาพยนตร์, A=ออดิทอเรียมขนาดใหญ่) (ที่มา : NRC, Acoustical Design of Rooms for Speech)



แผนภูมิที่ 2.10 ข้อกำหนดของค่าการดูดซับเสียงรวม (นับรวมผู้ใช้งานพื้นที่) ตามมาตรฐาน NRC (C=ห้องเรียน, L=ห้องโถงสำหรับเล็กเซอร์, T=ห้องชมภาพยนตร์, A=ออดิทอเรียมขนาดใหญ่) (ที่มา : NRC, Acoustical Design of Rooms for Speech)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การพัฒนาแผ่นวัสดุคอมโพสิตเส้นใยเปลือกทุเรียน

Sarocho Charoenvai และคณะ²⁶ ได้ทำการศึกษาและพัฒนาวัสดุจากเส้นใยเปลือกทุเรียน โดยการนำเถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) มาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และยังมีการวิเคราะห์ค่าออกไซด์ การวิเคราะห์โครงสร้าง ลักษณะพื้นผิว และขนาดอนุภาคของเถ้าแกลบอีกด้วย โดยมีตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความหนาแน่นของแผ่นวัสดุ คุณสมบัติในการต้านทานแรงอัด และการนำความร้อน ในหลากหลายสถานการณ์ จากการศึกษาพบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าแกลบในประมาณ 10-30% สามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงอัดของวัสดุคอมโพสิตเส้นใยเปลือกทุเรียนได้

2.4.2 แผ่นวัสดุป้องกันความร้อนต้นทุนต่ำจากใยทุเรียนและใยมะพร้าว

Joseph Khedari และคณะ²⁷ ได้ทำการศึกษาแผ่นวัสดุนำความร้อนต่ำ โดยการนำใยเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าวมาผสมกัน โดยตัวแปรหลักที่ทำการศึกษาคือ ความหนาแน่นของแผ่นวัสดุ และอัตราส่วนระหว่างใยทุเรียนกับใยมะพร้าว ส่งผลต่อคุณสมบัติในการนำความร้อนของแผ่นวัสดุอย่างไร โดยการศึกษาพบว่า แผ่นวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดคือ แผ่นวัสดุที่มีอัตราส่วนระหว่างใยทุเรียนต่อใยมะพร้าวคิดเป็น 10 : 90 โดยน้ำหนัก ที่ความหนาแน่นของแผ่นวัสดุ 856 kg/m^3 และมีค่าในการนำความร้อนเท่ากับ 0.1342 W/mK , ค่าโมดูลัสของความแตกร้า (Modulus of rupture) 440.46 kgf/cm^2 , โมดูลัสสภาพยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) $21,867 \text{ kgf/cm}^2$, ค่าแรงต้านภายใน (Internal Bond) 37.25 kgf/cm^2 , มีการพองตัวตามความหนา (Thickness swelling) ที่ 10.49% และค่าความชื้นที่ 6.22% โดยเปรียบเทียบกับแผ่นวัสดุที่มีส่วนผสมของใยทุเรียนหรือใยมะพร้าวอย่างเดียว พบว่าแผ่นวัสดุที่ผสมระหว่างใยทุเรียนและใยมะพร้าวมีคุณสมบัติที่ดีกว่า ยกเว้นค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นที่มีค่าน้อยกว่า

2.4.3 แผ่นไม้อัดซีลียพลาสติก

งานวิจัยของ เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี, ประชุม คำพุ่ม และ อโณทัย ผลสุวรรณ²⁸ ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลในด้านการต้านทานแรงดึง การทนต่อแรงกระแทก การต้านทานการโก่งงอ และความแข็งแรงของผิววัสดุผสมโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานกับผงซีลียไม้

²⁶ Chareonvai et al., Development of Durian Fiber-Based Composite Material.

²⁷ J. Khedari et al., New Low-Cost Insulation Particleboards from Mixture of Durian Peel and Coconut Coir, *Building and Environment* 39 (2004).

²⁸ ประชุม คำพุ่ม และ อโณทัย ผลสุวรรณ เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี, แผ่นไม้ซีลียอัดพลาสติก (ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2551).

ยางพาราที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงความละเอียด 18 และ 40 ช่องต่อตารางนิ้ว ที่สัดส่วน 70:30, 60:40, 50:50 โดยเปรียบเทียบระหว่างการผสมที่ไม่ใช้สารประสานและใช้สารประสานในอัตราส่วนร้อยละ 1 ถึง 2 พบว่าอัตราส่วนผสมของโพลีเอทธิลีนความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 40 และใช้สารประสานในอัตราส่วนร้อยละ 2 ในอัตราส่วนผสม 70:30 มีแนวโน้มที่จะทำให้วัสดุผสมนี้มีสมบัติเชิงกลที่สูงที่สุดในด้านการทนต่อแรงดึง การทนต่อแรงกระแทกและด้านการโค้งงอ และในอัตราส่วนผสมที่ 50:50 จะให้ค่าความแข็งแรงที่ผิวของวัสดุผสม สูงที่สุด

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นที่ได้กล่าวมา มีจุดมุ่งหมายในการนำเสนอข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับเสียง พฤติกรรมของเสียง ลักษณะของเสียง ทฤษฎีและสมการคำนวณของเสียง กลไกการได้ยินและการรับรู้ต่อเสียงของมนุษย์ เพื่อสร้างความเข้าใจเบื้องต้นต่อพลังงานที่ไม่มีสสารที่เรียกว่า “เสียง”

รวมไปถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวัสดุ รายละเอียดของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาพัฒนาต่อยอด และยังมีกระบวนการตรวจสอบทางเสียงเพื่อหาประสิทธิภาพของวัสดุในการกันเสียงและดูดซับเสียง

ข้อมูลเรื่องเกณฑ์และมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเสียงภายในอาคาร แสดงถึงข้อกำหนดของคุณภาพเสียงที่เหมาะสมใช้งานพื้นที่อาคารที่แตกต่างกัน โดยประเภทอาคารที่มีการเน้นเรื่องคุณภาพเสียงเป็นสิ่งสำคัญ คือ อาคารประเภทสถานศึกษา และโรงเรียน ซึ่งคุณภาพของเสียงในอาคารประเภทนี้มีความสำคัญต่อการทำความเข้าใจในเนื้อความที่ทำการเรียนการสอนเป็นอย่างมาก

พร้อมทั้งมีการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวัสดุที่มีส่วนผสมจากเส้นใยธรรมชาติ เช่น เปลือกทุเรียน หรือซีลี้อยไม้ โดยงานวิจัยที่ได้ทบทวนมานั้นเป็นการทดสอบชิ้นงานวัสดุในเรื่องคุณสมบัติเชิงกลและความทนทานของวัสดุ งานวิจัยนี้จึงได้มีการอ้างอิงข้อมูลในบางส่วนเพื่อใช้กำหนดตัวแปรควบคุมในการวิจัย และทำการกำหนดขอบเขตในการวิจัยเฉพาะคุณสมบัติทางเสียงของวัสดุผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนเพียงเท่านั้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการสกัดเส้นใยจากเปลือกทุเรียน

3.1.1 เก็บรวบรวมเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากตลาดผลไม้ โดยการรับบริจาคจากผู้ค้าผลไม้โดยรอบอำเภอเกาะสมุย

3.1.2 ทำความสะอาดเปลือกทุเรียนโดยการล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วตากไว้จนแห้งสนิท

3.1.3 นำเปลือกทุเรียนที่แห้งสนิทมาหั่นให้เป็นชิ้นเล็กขนาดประมาณ 2 cm (ภาพที่ 3.1)



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมเปลือกทุเรียน

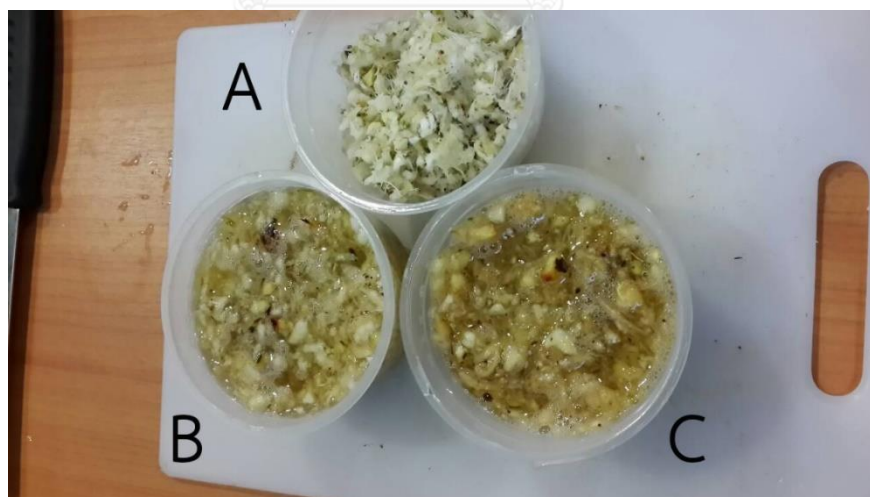
3.1.4 นำเปลือกทุเรียนที่หั่นเสร็จเรียบร้อยแล้วเข้าเครื่องปั่นน้ำผลไม้ยี่ห้อ OTTO รุ่น Super blender 350 Watt (ภาพที่ 3.2 ซ้าย)

3.1.5 นำเปลือกทุเรียนที่บดละเอียดเรียบร้อยแล้วได้ลักษณะเป็นเยื่อ เข้าเตาอบไมโครเวฟยี่ห้อ LG รุ่น MS2343DAR อบที่ความร้อนประมาณ 800 Watt หรือประมาณ 60 ± 5 °C จนแห้งสนิท ขั้นตอนนี้ทำเพื่อกำจัดน้ำที่อยู่ในเปลือกทุเรียน



ภาพที่ 3.2 เครื่องปั่นน้ำผลไม้ยี่ห้อ OTTO และของเปลือกทุเรียนที่หั่นจนได้ขนาด 2 cm ก่อนและหลังเข้าเครื่องปั่นน้ำผลไม้

3.1.6 นำเยื่อเปลือกทุเรียนที่แห้งสนิทมาต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 18% โดยน้ำหนักเยื่อแห้ง เป็นเวลา 30 นาที²⁹ ในกระบวนการนี้จะเป็นกำจัดยางไม้และสลายพันธะระหว่างเซลลูโลสกับลิกนิน (ภาพที่ 3.3)



ภาพที่ 3.3 เยื่อทุเรียนในสารละลาย NaOH
(A=เปลือกทุเรียนที่ผ่านการปั่น B และ C เปลือกทุเรียนในสารละลาย NaOH)

²⁹ วริศชนม์ นิลนนท์ และ ประมวล ศรีกาหลง, การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเปลือกทุเรียน, วารสารวิจัยรำไพพรรณี (2558).

3.1.7 นำเยื่อเปลือกทุเรียนมาล้างเอาสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกด้วยน้ำเปล่า แล้วนำเยื่อเปลือกทุเรียนเข้าเตาอบไมโครเวฟ ไปด้วยความร้อนประมาณ 800 Watt หรือประมาณ 60 ± 5 °C จนเยื่อเริ่มแห้ง จะได้เยื่อแห้งที่มีสีน้ำตาล (ภาพที่ 3.4)



ภาพที่ 3.4 เยื่อทุเรียนหลังผ่านการต้มด้วยสารละลาย NaOH

3.1.8 นำเยื่อแห้งต้มด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่ความเข้มข้น 15% โดยน้ำหนักเยื่อแห้ง เป็นเวลา 30 นาที³⁰ เพื่อกำจัดลิกนินออกจากเยื่อเปลือกทุเรียน โยเซลลูโลสที่ได้จะขาวขึ้น จากนั้นจึงนำไปอบด้วยเตาไมโครเวฟที่ความร้อนประมาณ 800 Watt หรือประมาณ 60 ± 5 °C จนได้โยเซลลูโลสที่แห้งสนิท (ภาพที่ 3.5)



ภาพที่ 3.5 เยื่อทุเรียนหลังผ่านการต้มด้วยสารละลาย H_2O_2 (ซ้าย)

เยื่อทุเรียนที่ผ่านการอบแห้ง (ขวา)

³⁰ การพัฒนาผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์อาหารย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเปลือกทุเรียน.

3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานวัสดุ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวัสดุจากเส้นใยเปลือกทุเรียน จึงมีการคัดแยกเส้นใยเซลลูโลสออกจากเปลือกทุเรียน ในขั้นตอนการคัดแยกเส้นใยเซลลูโลสนั้น มีการกำจัดลิกนินด้วยสารละลายทางเคมี เพื่อให้ได้เฉพาะเส้นใยเซลลูโลสมาใช้ในการศึกษา จึงทำให้เส้นใยทุเรียนที่ได้ขาดส่วนผสมของลิกนินที่เป็นส่วนประกอบหลักในผนังเซลล์ของพืชที่มีคุณสมบัติทำให้พืชมีความแข็งแรงและทนทาน (ลิกนินพบได้มากในไม้เนื้อแข็ง)

เพื่อให้ชิ้นงานวัสดุมีความแข็งแรงพอที่จะนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางเสียงได้ จึงมีการผสมซีลี้อยู่ร่วมกับเส้นใยเปลือกทุเรียนในอัตราส่วน ซีลี้อยู่ 30 ต่อเส้นใยเซลลูโลสอยู่ 70 โดยน้ำหนัก (weight by weight) เนื่องด้วยเวลาที่ทำการวิจัยนั้นเป็นช่วงนอกฤดูเก็บเกี่ยวทุเรียน จึงทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องปริมาณของเปลือกทุเรียนที่สามารถนำมาทำการวิจัยได้ รวมไปถึงข้อจำกัดทางด้านงบประมาณในการนำชิ้นงานเข้าตรวจสอบคุณสมบัติทางเสียง จึงกำหนดให้ส่วนผสมระหว่างเส้นใยเปลือกทุเรียนกับซีลี้อยู่ในอัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนัก เป็นตัวแปรควบคุมในการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางเสียงของวัสดุด้วยวิธี ท่อความต้านทาน (Impedance Tube Method) การเตรียมวัสดุจึงอ้างอิงจากขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบในการตรวจสอบ โดยมีขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานดังต่อไปนี้

3.2.1 นำท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.25 นิ้ว (30 มม.) และ 4 นิ้ว (100 มม.) มาตัดแบ่งเตรียมเป็นแม่แบบในการบรรจุวัสดุ โดยความหนาในการตัดท่อ PVC แบ่งตามตัวแปรความหนาของชิ้นงานวัสดุที่จะทำการศึกษา คือที่ความหนา 25 mm, 50 mm และ 75 mm โดยเตรียมไว้ทั้งหมด 2 ชุด (ภาพที่ 3.6) แบ่งไปตามตัวแปรความหนาแน่นของวัสดุ อ้างอิงเทียบเคียงจากวัสดุประกอบอาคารตามท้องตลาดทั่วไปและงานวิจัยของ Khedari, J. และคณะ³¹

³¹ Khedari et al., New Low-Cost Insulation Particleboards from Mixture of Durian Peel and Coconut Coir.



ภาพที่ 3.6 ท่อ PVC ที่ใช้เป็นแม่แบบในการบรรจุวัสดุ

3.2.2 ผสมใยเปลือกทุเรียนกับขี้เลื่อยในอัตราส่วน 70:30 โดยวัดตวงปริมาณในการผสมด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลยี่ห้อ TANITA รุ่น KC996 ใช้กาวผง (Plastic Resin Glue) ยี่ห้อ Weldwood เป็นสารประสานในปริมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักวัสดุ³² และกำหนดให้ปริมาณของสารประสานที่ใช้ในการทำวิจัยเป็นตัวแปรควบคุม (ภาพที่ 3.7) ทำการกวนส่วนผสมและสารประสานให้เข้ากันพร้อมทั้งพรมน้ำด้วยอุปกรณ์กระบอกฉีดน้ำฟอกก็จันส่วนผสมเริ่มอยู่ตัว



ภาพที่ 3.7 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลยี่ห้อ TANITA (ซ้าย), เส้นใยทุเรียนที่ผสมกับขี้เลื่อยไม้ก่อนใส่สารประสาน (กลาง), กาวผงยี่ห้อ Westwood ที่ใช้เป็นสารประสาน (ขวา)

³² เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี, แผ่นไม้ขี้เลื่อยอัดพลาสติก.

3.2.3 บรรจุวัสดุลงในแม่แบบ PVC ที่เตรียมไว้ทั้ง 2 ชุด ตามปริมาณที่คำนวณไว้เพื่อให้ได้ความหนาแน่นของวัสดุที่ต้องการศึกษา คือ 300 kg/m^3 และ 600 kg/m^3 โดยใช้ที่หนีบ C-clamp กับแผ่นไม้อัด 2 แผ่น ประกบด้านบนและด้านล่างของแม่แบบ PVC แล้วจึงทำการบีบอัดวัสดุจนได้ความหนาตามแม่แบบที่บรรจุ หลังจากนั้นจึงตั้งแม่แบบและวัสดุบรรจุทิ้งไว้เป็นเวลา 6 ชม. แล้วจึงถอดแม่แบบออก หลังจากนั้นจึงนำชิ้นงานที่ได้มาทำการชั่งน้ำหนักและวัดขนาดเพื่อคำนวณหาความหนาแน่นของชิ้นงานทั้งสองชุดเนื่องจากตัวอย่างชิ้นงานมีการหดตัวในระดับที่แตกต่างกันออกไป โดยชุดที่ 1 มีความหนาแน่นประมาณ $320 \pm 18 \text{ kg/m}^3$ ชุดที่ 2 มีความหนาแน่นประมาณ $620 \pm 15 \text{ kg/m}^3$ (ภาพที่ 3.8) และชิ้นงานทั้งสองชุดมีความหนาอยู่ที่ $25 \pm 2 \text{ mm}$, $50 \pm 2 \text{ mm}$ และ $75 \pm 2 \text{ mm}$



ภาพที่ 3.8 วัสดุเมื่อทำการบรรจุลงในแม่แบบและทำการบีบอัดแล้ว (ซ้าย)
ตัวอย่างชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์หลังจากถอดแม่แบบออก (ขวา)

ชิ้นงานวัสดุทั้ง 12 ตัวอย่าง มีปริมาณส่วนผสมตามที่คำนวณไว้ของเส้นใยเปลือกทุเรียน และซีลี้อยไม้สัก ตามตารางที่ 3.1 และ 3.2 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของชิ้นงานวัสดุที่ได้จากการคำนวณ ที่ความหนาแน่นของวัสดุ 300 kg/m^3 ทั้ง 6 ตัวอย่าง

ความหนา (mm)	อัตราส่วนของใยทุเรียนกับซีลี้อย 70:30 (w/w)	
	เส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm.	เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm.
25	3.71 g / 1.59 g	41.23 g / 17.67 g
50	7.42 g / 3.18 g	82.46 g / 35.34 g
75	11.13 g / 4.77 g	123.69 g / 53.01 g

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของชิ้นงานวัสดุที่ได้จากการคำนวณ ที่ความหนาแน่น 600 kg/m^3 ทั้ง 6 ตัวอย่าง

ความหนา (mm)	อัตราส่วนของใยทุเทียนกับซีลีส 70:30 (w/w)	
	เส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm.	เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm.
25	7.42 g / 3.18 g	82.46 g / 35.34 g
50	14.84 g / 6.36 g	164.93 g / 70.68 g
75	22.27 g / 9.54 g	247.39 g / 106.02 g

3.3 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณสมบัติทางเสียงของวัสดุ

ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางเสียงของวัสดุด้วยวิธี Impedance Tube Method ที่สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Electrical and Electronic Institute : EEI) ซึ่งเป็นองค์กรภายใต้การดูแลของกระทรวงอุตสาหกรรม และมีอุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิเป็นหน่วยงานรองรับ โดยห้องปฏิบัติการที่ทำการตรวจสอบเสียงตั้งอยู่ที่ ศูนย์ปฏิบัติการมาตรฐาน สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เลขที่ 975 หมู่ 4 นิคมอุตสาหกรรมบางปู ซอย 8 ถนนสุขุมวิท กม.37 ต.แพรงษา อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 10280

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติทางเสียงของ EEI นั้นอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 10534-2, ASTM E1050-10, ASTM E1050-90 และ ASTM E2611-09 ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังนี้

- เครื่อง Multi-ch. Analyzer ยี่ห้อ Brüel & Kjaer รุ่น 3560C จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่อง Power Amplifier ยี่ห้อ Brüel & Kjaer รุ่น 2716 จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่อง Sound Calibrator ยี่ห้อ Brüel & Kjaer รุ่น 4231 จำนวน 1 เครื่อง
- ไมโครโฟนยี่ห้อ Brüel & Kjaer รุ่น 4187 จำนวน 4 เครื่อง
- อุปกรณ์ Impedance Tube ยี่ห้อ Brüel & Kjaer รุ่น 4206 จำนวน 2 ชิ้น
- อุปกรณ์ Transmission Loss Tube ยี่ห้อ Brüel & Kjaer รุ่น UA-1630 จำนวน 1 ชิ้น
- เครื่องวัดความอึดอากาศ ความชื้น และอุณหภูมิห้อง ยี่ห้อ Vaisala รุ่น PTU301 จำนวน 1 เครื่อง
- อุปกรณ์ Digital Vernier caliper ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น CD-6" CSX จำนวน 1 ชิ้น
- ตราชั่งไฟฟ้า ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP225D จำนวน 1 เครื่อง



ภาพที่ 3.9 ลักษณะของ Impedance Tube B&K 4206
สำหรับตรวจวัดชิ้นงานขนาด 100 mm
(ที่มา : <http://www.bksv.com/>)



ภาพที่ 3.10 ลักษณะของ Impedance Tube B&K 4206
สำหรับตรวจวัดชิ้นงานขนาด 30 mm
(ที่มา : <http://www.bksv.com/>)



ภาพที่ 3.11 ลักษณะของ Impedance Tube B&K 4206 และ
Transmission Loss Tube UA-1630 สำหรับตรวจวัดชิ้นงานขนาด 100 mm
(ที่มา : <http://www.bksv.com/>)



ภาพที่ 3.12 ลักษณะของ Impedance Tube B&K 4206 และ
Transmission Loss Tube UA-1630 สำหรับตรวจวัดชิ้นงานขนาด 30 mm
(ที่มา : <http://www.bksv.com/>)



B&K 3560C



B&K 2716

ภาพที่ 3.13 แสดงลักษณะของ Multi-ch Analyzer B&K 3560C (ซ้าย)
และ Power Amplifier B&K 2716 (ขวา)
(ที่มา : <http://www.bksv.com/>)



B&K 4231

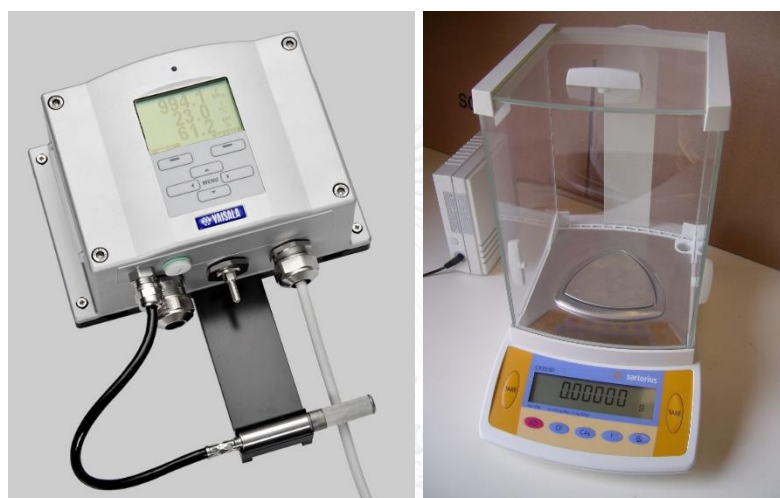


B&K 4187

ภาพที่ 3.14 แสดงลักษณะของ Sound Calibrator B&K 4231 (ซ้าย)
และไมโครโฟน B&K 4187 (ขวา)
(ที่มา : <http://www.bksv.com/>)



ภาพที่ 3.15 แสดงลักษณะของ Vernier caliper ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น CD-6” CSX
(ที่มา : <http://www.mitutoyo.co.jp/>)



ภาพที่ 3.16 แสดงลักษณะของเครื่องวัดอากาศยี่ห้อ Vaisala PTU301 (ซ้าย)
และตราชั่งไฟฟ้ายี่ห้อ Sartorius CP225D (ขวา)

ในการตรวจสอบคุณสมบัติในการกันเสียงและดูดซับเสียงด้วยวิธี Impedance Tube Method จำเป็นที่จะต้องเตรียมชิ้นงานที่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนกันไว้ทั้งสิ้น 2 ขนาด คือ ขนาดชิ้นงานที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 29 mm และชิ้นงานที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 99 mm เนื่องจากชิ้นงานที่มีขนาดเล็กสามารถตอบสนองต่อในย่านความถี่สูง (500 Hz – 6,300 Hz) ได้ดีกว่าชิ้นงานขนาดใหญ่ที่ใช้สำหรับตรวจสอบในย่านความถี่ต่ำ (100 Hz – 1,600 Hz) ด้วยวิธีการตรวจสอบชิ้นงานทั้งสองขนาดนี้ จึงทำให้การตรวจสอบคุณสมบัติทางเสียงด้วยวิธี Impedance Tube Method ครอบคลุมย่านความถี่ตั้งแต่ 100 Hz จนถึง 6,300 Hz การตรวจสอบทำภายในห้องปฏิบัติการภายใต้สภาพแวดล้อมห้องที่อุณหภูมิ 22 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 45 ± 5 % RH และความกดอากาศ 991 ± 5 hPa โดยมีกระบวนการและขั้นตอนในการตรวจสอบดังต่อไปนี้

3.3.1 นำตัวอย่างชิ้นงานทั้ง 12 ตัวอย่าง มาทำการปรับแต่งด้วยกระดาษทราย เพื่อให้ชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เหมาะสมในการนำมาบรรจุลงใน Impedance tube และ Transmission

loss tube ได้ ทำการปรับแต่งชิ้นงานจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm เป็น 29 mm และชิ้นงานที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm เป็น 99 mm ทำการวัดและตรวจสอบความขนาดของวัสดุด้วย Vernier caliper ของ Mitutoyo รุ่น CD-6” CSX (ภาพที่ 3.15)

3.3.2 บรรจุชิ้นงานลงใน Impedance tube B&K 4206 สำหรับตรวจสอบชิ้นงานทั้งสองขนาดตามภาพที่ 3.9 และ 3.10 ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุตามที่เคยได้รายงานไว้ในหัวข้อ 2.2.3 หมวด (ข)

3.3.3 หลังจากตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุเสร็จสิ้น จึงนำชิ้นงานทั้ง 12 ตัวอย่างในข้างต้นมาบรรจุลงใน Transmission loss tube B&K UC-1630 สำหรับตรวจสอบคุณสมบัติในการกั้นเสียงของวัสดุ ตามภาพที่ 3.11 และ 3.12

3.3.4 ข้อมูลคุณสมบัติในการกั้นเสียงและดูดซับเสียงที่ได้จากการตรวจสอบวัสดุทั้ง 12 ตัวอย่าง ถูกบันทึกผ่านทางไมโครโฟน B&K 4187 ทั้ง 4 เครื่อง (ภาพที่ 3.14) โดยสัญญาณที่ไมโครโฟนได้รับจะถูกส่งต่อไปยังเครื่อง Multi-ch analyzer B&K 2716 ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ที่ทำการประมวลผลสัญญาณเสียงที่ตรวจได้ทั้งหมดให้ออกมาเป็นข้อมูล Sound Absorption Coefficient และ Sound Transmission Loss ในช่วงคลื่นความถี่ 100 Hz – 6,300 Hz (ภาพที่ 3.17)

3.3.5 ข้อมูลคุณสมบัติในการกั้นเสียงและดูดซับเสียงที่ได้จากการตรวจสอบวัสดุจะถูกประมวลผลออกมาเป็นข้อมูลทั้งหมด 6 ชุด โดยแบ่งออกไปตามตัวแปรที่ศึกษาในการทำวิจัย (ตารางที่ 3.3)

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของชุดข้อมูล

	Sound data set					
	T25_D3	T25_D6	T50_D3	T50_D6	T75_D3	T75_D6
Thickness (mm)	25±2		50±2		75±2	
Density (kg/m ³)	320±18	620±15	320±18	620±15	350±20	620±15



ภาพที่ 3.17 ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติทางเสียง
(ที่มา : <http://www.bksv.com/>)

3.4 ขั้นตอนการแปลงผลข้อมูล

ข้อมูลคุณสมบัติทางเสียงของวัสดุที่ได้จากการตรวจสอบด้วยวิธี Impedance Tube Method คือค่าการสูญเสียจากการส่งผ่านเสียง หรือ STL และค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับเสียง หรือ SAC (α) ข้อมูลทั้งสองค่านี้ เป็นข้อมูลที่แจกแจงรายละเอียดในแต่ละช่วงความถี่ของคลื่นเสียง ข้อมูลที่ได้จึงอยู่ในรูปแบบของชุดข้อมูลทั้งหมด 19 ข้อมูล ต่อหนึ่งตัวอย่างชิ้นงาน เพื่อที่จะประเมินคุณสมบัติทางเสียงเบื้องต้นได้อย่างรวดเร็ว จึงมีการกำหนดค่ากลางที่ใช้ระบุถึงคุณสมบัติทางเสียงของวัสดุ โดยมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

3.4.1 การคำนวณหา ค่าการดูดซับเสียง (Noise Reduction Coefficient : NRC)

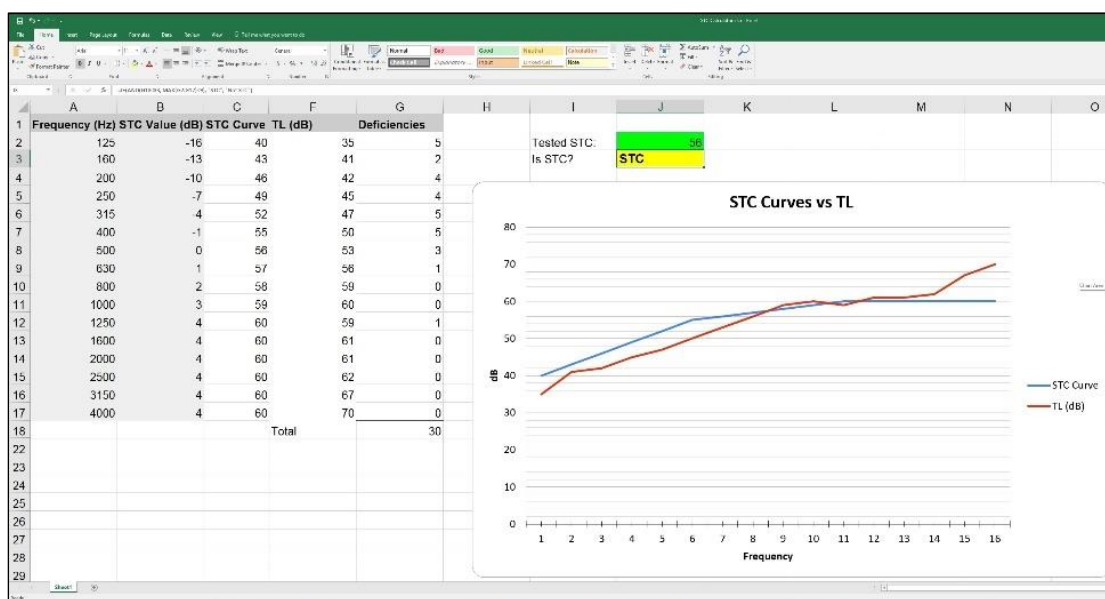
- นำค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดซับเสียงของชิ้นงานในตำแหน่งของข้อมูลที่ 250 Hz, 500 Hz, 1,000 Hz และ 2,000 Hz มาหาค่าเฉลี่ยตามสมการที่ (2.9)
- ทำซ้ำตามข้างต้นในตัวอย่างชิ้นงานที่เหลือ

3.4.2 การคำนวณหา ชั้นการส่งผ่านเสียง (Sound Transmission Class: STC)

- ใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2016 ในการเขียนชุดวิธีการคำนวณการหาค่า STC โดยอ้างอิงค่าของ STC Value ที่ใช้กำหนดตำแหน่งของ STC Curve จากข้อกำหนดตามมาตรฐานของ ASTM E413 ในการเขียนชุดวิธีการคำนวณ (ภาพที่ 3.18)
- นำค่า STL ของชิ้นงานตั้งแต่ตำแหน่งของข้อมูลที่ 125 Hz – 4,000 Hz มาใส่ลงบนตารางในโปรแกรม Microsoft Excel 2016 ในช่อง TL (dB) (ภาพที่ 3.18)
- กำหนดค่า STC ลงในช่อง Test STC ช่องสีเขียว เป็นเลขจำนวนเต็มไม่มีทศนิยม โดยเขียน code สำหรับกำหนดเงื่อนไขในการคำนวณลงในช่องสีเหลืองดังนี้ “=IF(AND(G18<33, MAX(G2:G17)<9), “STC”, “Not STC”)” หากค่า STC ที่กำหนดถูกต้องตามเงื่อนไข ช่องสีเหลือง

จะแสดงคำว่า “STC” หากค่า STC ที่กำหนดไม่ถูกต้องตามเงื่อนไข ช่องสี่เหลี่ยมจะแสดงคำว่า “Not STC” โดยเงื่อนไขที่กำหนดคือ ผลรวมของผลต่างระหว่าง STC Curve กับ TL ในช่อง Deficiencies รวมกันต้องไม่เกิน 32 หน่วย และผลต่างระหว่าง STC Curve กับ TL ในตำแหน่งความถี่ใดอันหนึ่ง ต้องไม่เกิน 8 หน่วย ซึ่งค่า STC Curve ที่ปรากฏขึ้นในแผนภูมิเกิดจากการนำค่า STC ที่กำหนดขึ้น (ช่องสี่เหลี่ยม) มาคำนวณร่วมกับค่า STC Value ในแต่ละช่องความถี่ จึงได้ออกมาเป็น STC Curve ดังที่เห็นในภาพที่ 3.18

- ทำตามวิธีข้างต้นจนครบทั้ง 6 ชุดข้อมูล



ภาพที่ 3.18 การใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2016 ในการทำชุดวิธีการคำนวณหาค่า STC

3.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุประกอบอาคารตามห้องตลาด

หลังจากทำการคำนวณคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุจนได้ค่า STC และคำนวณคุณสมบัติการดูดซับเสียงของวัสดุจนได้ค่า NRC จึงนำชุดข้อมูลทั้ง 6 มาทำการเปรียบเทียบกับเกณฑ์หรือมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงและดูดซับเสียงกับวัสดุประกอบอาคารทั่วไป เพื่อให้ทราบถึงศักยภาพและความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนไปใช้งาน โดยมีขั้นตอนในการเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

3.5.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียง

- ทำแผนภูมิเปรียบเทียบค่า STL ระหว่างชุดข้อมูลทั้ง 6 เพื่อแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดความแตกต่างในการกันเสียงแต่ละช่วงค่าความถี่ของแต่ละชิ้นงาน

- ทำแผนภูมิเปรียบเทียบค่า STC ระหว่างชุดข้อมูลทั้ง 6 เพื่อสรุปหาชิ้นงานที่มีคุณสมบัติในการกันเสียงที่ดีที่สุด
- ทำแผนภูมิเปรียบเทียบค่า STL ระหว่างวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุประกอบอาคารทั่วไป โดยอ้างอิงข้อมูลของวัสดุอื่นจากการทบทวนวรรณกรรม
- ทำแผนภูมิเปรียบเทียบค่า STC ของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับเกณฑ์หรือมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง และวัสดุประกอบอาคารทั่วไป โดยอ้างอิงข้อมูลของวัสดุอื่นจากการทบทวนวรรณกรรม

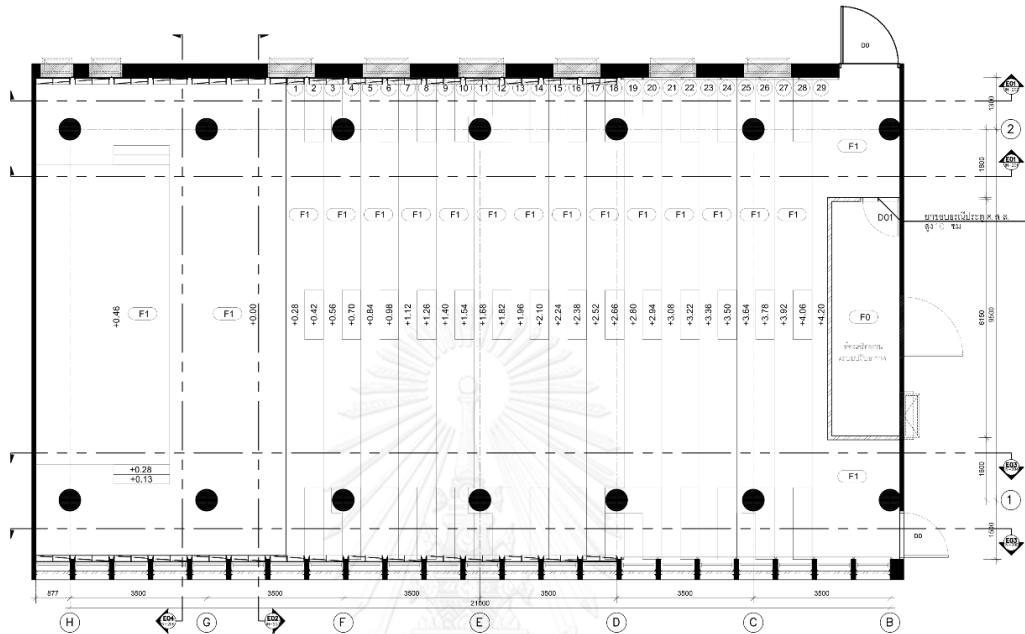
3.5.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับเสียง

- ทำแผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAC ระหว่างชุดข้อมูลทั้ง 6 เพื่อแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดความแตกต่างในการดูดซับเสียงแต่ละช่วงค่าความถี่ของแต่ละชิ้นงาน
- ทำแผนภูมิเปรียบเทียบค่า NRC ระหว่างชุดข้อมูลทั้ง 6 เพื่อเพื่อสรุปหาชิ้นงานที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงที่ดีที่สุด
- ทำแผนภูมิเปรียบเทียบค่า SAC ระหว่างวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุประกอบอาคารทั่วไป โดยอ้างอิงข้อมูลของวัสดุอื่นจากการทบทวนวรรณกรรม
- ทำแผนภูมิเปรียบเทียบค่า NRC ของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับเกณฑ์หรือมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง และวัสดุประกอบอาคารทั่วไป โดยอ้างอิงข้อมูลของวัสดุอื่นจากการทบทวนวรรณกรรม

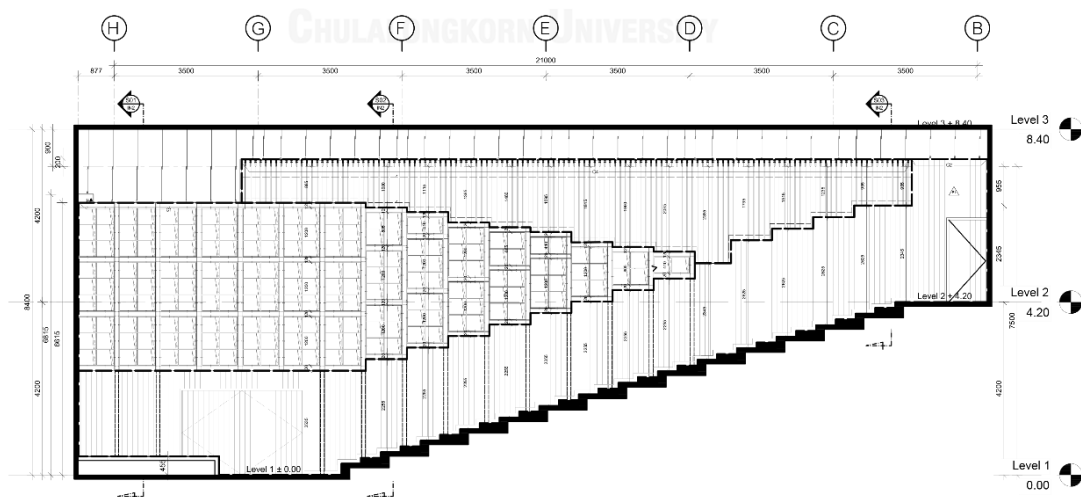
3.6 การประเมินประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงกรณีศึกษา ห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องด้วยรายละเอียดในการประเมินคุณสมบัติในการดูดซับเสียงตามมาตรฐานต่าง ๆ นอกจากจะกำหนดค่าการดูดซับเสียง (NRC) ของวัสดุไว้แล้ว ยังมีทางเลือกในการประเมินโดยการใช้ค่าเวลาในการสะท้อนกลับของเสียง (RT) เป็นเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพทางเสียงของห้องหรือสถานที่นั้น ๆ และจากการทบทวนวรรณกรรม เกณฑ์และมาตรฐานต่าง ๆ ในเรื่องสภาวะความน่าสบายทางเสียง (Acoustical Comfort) และประสิทธิภาพทางเสียง (Acoustical Performance) ภายในอาคารประเภทอาคารที่มีการกำหนดและเน้นย้ำในการออกแบบอาคารให้ได้ประสิทธิภาพเสียงอย่างเหมาะสมคือ อาคารประเภท สถานศึกษา โรงเรียน วิทยาลัย และพื้นที่ที่ใช้สำหรับจัดประชุม ด้วยเหตุนี้จึงมีการกำหนดห้องตัวอย่างกรณีศึกษา เป็นห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงด้วยการคำนวณหาค่า RT ของห้องระหว่างการไว้วัสดุดูดซับเสียงประเภทเส้นใยสังเคราะห์ กับวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน เนื่องจากห้องประชุม 101 เป็นห้องที่ใช้ทำการเรียนการสอนที่มีขนาดใหญ่ มีปริมาตรประมาณ 1,650 ลูกบาศก์

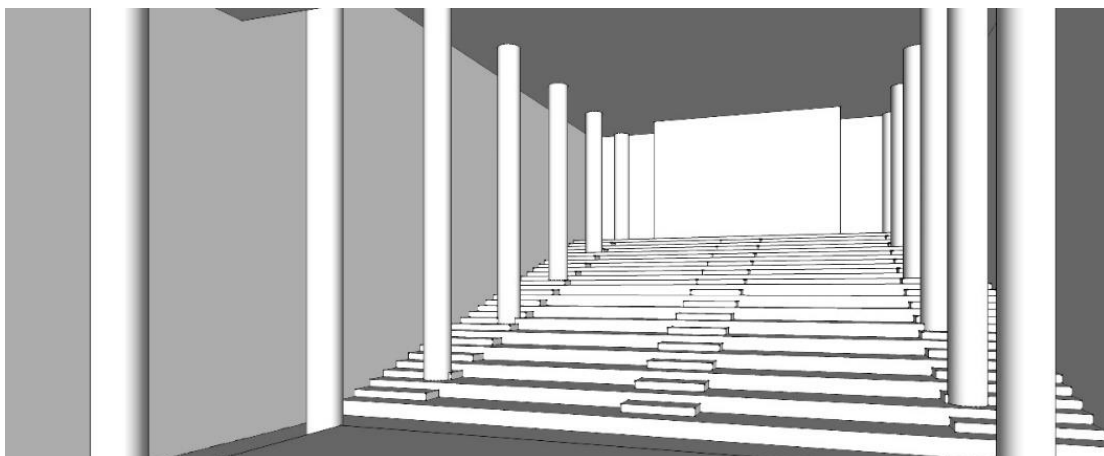
เมตร จึงมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดปัญหาเรื่องเสียงในการทำการเรียนการสอน รวมไปถึงทางคณะ
 วิทยาศาสตร์ได้มีนโยบายในการปรับปรุงห้องประชุม 101 จึงทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสทราบถึง
 รายละเอียดของวัสดุตกแต่งภายใน และนำไปใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงของ
 ห้องได้



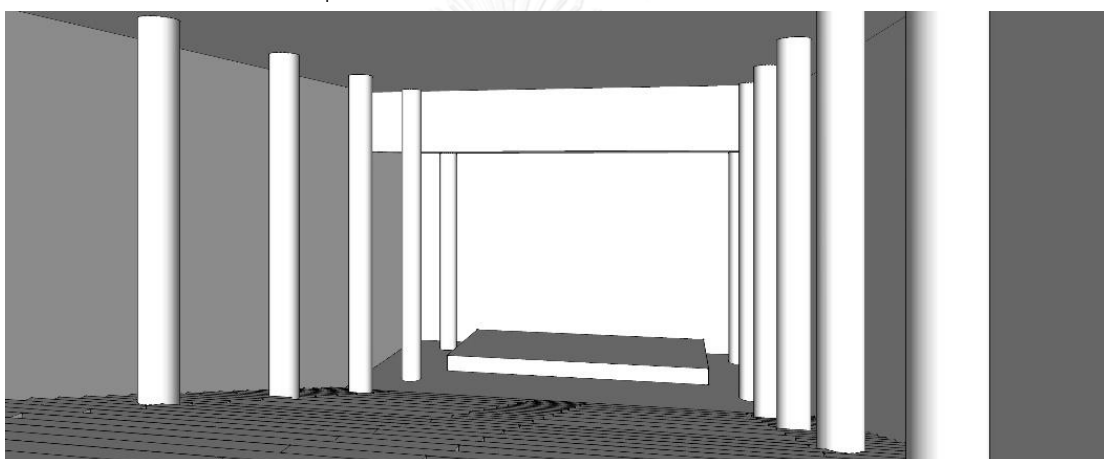
ภาพที่ 3.19 ผังพื้นของห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.20 รูปตัดตามยาวของห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.21 ภาพจำลองทัศนียภาพภายในของห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (มองจาก ล่าง-บน)



ภาพที่ 3.22 ภาพจำลองทัศนียภาพภายในของห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (มองจาก บน-ล่าง)

ห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีความกว้าง 12.30 เมตร ยาว 21.00 เมตร ในบริเวณส่วนหน้าของห้อง มีความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 6.60 เมตร บริเวณบันไดขั้นแรก มีความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 8.40 เมตร บริเวณส่วนหลังของห้อง มีความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 3.30 เมตร และมีปริมาตรของห้องโดยประมาณเท่ากับ 1,650 ลูกบาศก์เมตร สามารถรองรับผู้ใช้งานได้ประมาณ 168 คน มีการออกแบบสถาปัตยกรรมภายในโดยสถาปนิก และเลือกใช้วัสดุประกอบอาคารต่าง ๆ รวมไปถึงการเลือกใช้วัสดุดูดซับเสียงประเภทเส้นใยสังเคราะห์ ได้แก่ ฉนวน Polyethylene และฉนวน Fiber glass โดยมีรายละเอียดปริมาณของวัสดุตกแต่งภายในตามตารางที่ 3.4 พร้อมค่าการดูดซับเสียงตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 ปริมาณของวัสดุที่ใช้ตกแต่งภายในห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตำแหน่งติดตั้ง	รายละเอียดวัสดุ	ปริมาณของวัสดุ (m ²)
พื้น	- กระเบื้องยาง	323.68
ผนัง	- ไม้อัดπίช	207.13
	- คอนกรีตฉาบเรียบทาสี	138.28
	- ฉนวน Polyethylene หนา 1 นิ้ว	120.31
	- เหล็ก C Channel	21.79
	- ฉนวน Fiber Glass หนา 1 นิ้ว	51.56
ฝ้า	- ฉนวน Polyethylene	208.00
	- ไม้อัดπίช	44.82
	- แผ่นยิปซัมบอร์ด	35.06

ตารางที่ 3.5 SAC และ NRC ของวัสดุที่ใช้ตกแต่งภายในห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัสดุ	Sound Absorption Coefficient (α)						NRC
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	
กระเบื้องยาง	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3
ไม้อัดπίช	0.28	0.22	0.17	0.09	0.1	0.11	0.145
คอนกรีตฉาบเรียบ	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.015
ฉนวน PE	0.04	0.08	0.29	0.69	0.74	0.72	0.45
เหล็ก C Channel	-	-	-	-	-	-	0.1
ฉนวน Fiber Glass	0.06	0.2	0.65	0.9	0.95	0.98	0.675
แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.29	0.1	0.05	0.04	0.07	0.09	0.065

จากตารางที่ 3.4 และ 3.5 เมื่อกำหนดหาค่า RT ของห้องประชุม 101 ด้วยสมการของ Sabine

$$RT \equiv \frac{0.161 \cdot V}{\sum A}$$

เมื่อ V = ปริมาตรของห้องประชุม 101

V = $1,650 \text{ m}^3$

$\sum A$ = ผลรวมของผลคูณระหว่างพื้นที่วัสดุกับค่าการดูดซับเสียงของวัสดุนั้น ๆ ทั้งหมดภายในพื้นที่

$$\begin{aligned}
 \Sigma A &= (NRC_1 \times Area_1) + (NRC_2 \times Area_2) + \dots + (NRC_n \times Area_n) \\
 &= 319.71 \text{ Sabine, m}^2 \\
 RT &= \frac{0.161 \cdot 1,650}{319.71} \\
 &= 0.826 \text{ s (วินาที)}
 \end{aligned}$$

ทำการประเมินค่าเวลาการสะท้อนกลับของเสียงภายในห้องประชุม 101

- กรณีที่วัสดุซับเสียงเดิมกับวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนต้องมีพื้นที่ติดตั้งเท่ากัน แทนที่ฉนวน Polyethylene และฉนวน Fiber glass ด้วยวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงดีที่สุด

- กรณีที่วัสดุซับเสียงเดิมกับเส้นใยเปลือกทุเรียนต้องมีความหนาของวัสดุและพื้นที่ติดตั้งเท่ากัน ซึ่งวัสดุเดิมมีความหนา 1 นิ้ว จึงทำการประเมินโดยนำค่า NRC ที่ดีที่สุดของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนในชุดข้อมูลที่มีความหนาของชิ้นงานวัสดุเท่ากับ 1 นิ้ว มาใช้ในการคำนวณหาเวลาการสะท้อนกลับของเสียง

- กรณีที่วัสดุซับเสียงเดิมกับเส้นใยเปลือกทุเรียนต้องมีความหนาของวัสดุและค่าเวลาในการสะท้อนกลับของเสียงภายในห้องเท่ากัน เพื่อเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ติดตั้งของวัสดุเดิม (ฉนวน Polyethylene และฉนวน Fiber glass) กับวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนที่มีความหนาของวัสดุ 1 นิ้ว

3.7 การคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

การตรวจสอบคุณสมบัติทางเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนในงานวิจัยนี้ เป็นการเตรียมตัวอย่างชิ้นงานเพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติทางเสียงด้วยวิธี Impedance Tube Method เพียงเท่านั้น จึงไม่มีการผลิตหรือจัดทำชิ้นงานในขนาดตามมาตรฐานของวัสดุประกอบอาคารทั่วไป การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จึงดำเนินการโดยเปรียบเทียบอัตราส่วนวัสดุจาก ตารางที่ 3.1 และ 3.2 ในหน่วยราคาต่อตารางเมตรของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนทั้ง 6 ชิ้นงาน เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการนำวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนมาใช้งาน โดยอ้างอิงพื้นที่ในการติดตั้งตามกรณีศึกษา ห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีรายละเอียดของวัสดุที่ใช้ในการจัดทำชิ้นงานเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางเสียงตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดต้นทุนอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดทำชิ้นงานวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนในงานวิจัยนี้

รายละเอียดวัสดุ	ราคา
เปลือกทุเรียน	-
ซีลื้อย	-
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 Kg	39 บาท
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H ₂ O ₂) เข้มข้น 50% 1 Kg	26 บาท
กาวผง Weldwood 1 lbs.	350 บาท



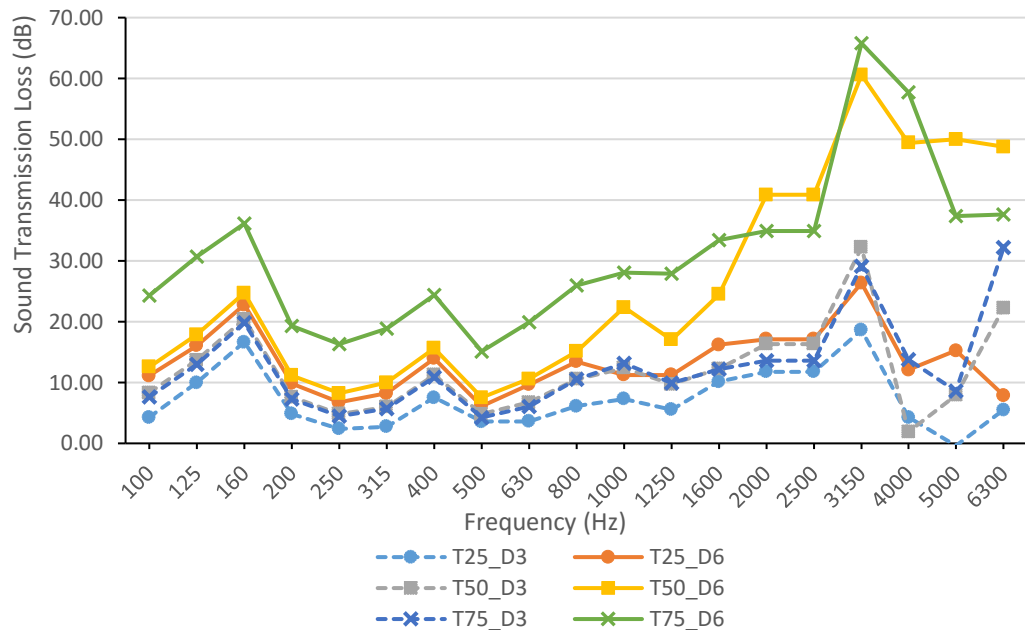
บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน

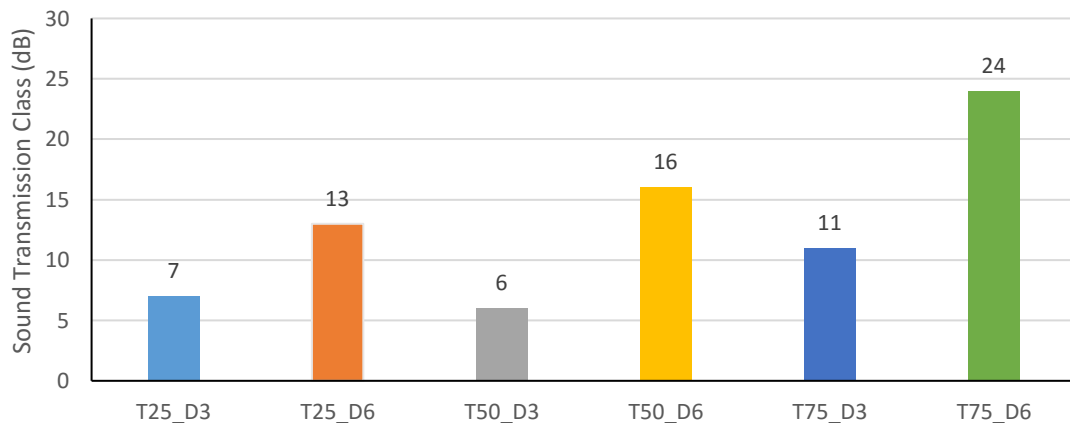
จากการตรวจสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของชิ้นงานวัสดุทั้ง 12 ตัวอย่าง ด้วยวิธี Impedance Tube Method ผ่านการประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จนได้มาเป็นข้อมูลทั้ง 6 ชุดตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุ (STL)

Frequency (Hz)	Sound Transmission Loss (dB)					
	T25_D3	T25_D6	T50_D3	T50_D6	T75_D3	T75_D6
100	4.27	11.14	8.30	12.56	7.60	24.29
125	9.99	16.06	13.68	17.87	13.00	30.70
160	16.64	22.81	20.41	24.70	19.79	36.12
200	4.85	9.84	7.63	11.16	7.26	19.32
250	2.39	6.73	4.85	8.21	4.45	16.28
315	2.75	8.25	5.98	9.99	5.66	18.83
400	7.51	13.97	11.25	15.64	10.88	24.41
500	3.59	6.11	4.79	7.54	4.25	15.13
630	3.62	9.66	6.72	10.60	6.06	19.91
800	6.10	13.44	10.57	15.12	10.53	25.96
1000	7.31	11.27	12.39	22.35	13.15	28.03
1250	5.54	11.27	9.73	17.04	9.95	27.91
1600	10.15	16.23	12.25	24.48	12.23	33.38
2000	11.78	17.13	16.35	40.86	13.57	34.89
2500	11.78	17.13	16.35	40.86	13.57	34.89
3150	18.64	26.36	32.21	60.57	29.13	65.77
4000	4.29	12.10	1.89	49.40	13.77	57.71
5000	-0.39	15.26	7.93	49.96	8.62	37.41
6300	5.52	7.87	22.26	48.76	32.20	37.59



แผนภูมิที่ 4.1 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุ (STL)



แผนภูมิที่ 4.2 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุ (STC)

จากผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการกันเสียงในตารางที่ 4.1 และแผนภูมิที่ 4.1 พบว่าชุดข้อมูลของชิ้นงานวัสดุที่มีความหนาแน่น $320 \pm 18 \text{ kg/m}^3$ (T25_D3, T50_D3 และ T75_D3) มีค่า STL ในทุกช่วงคลื่นใกล้เคียงกันทั้งสามชุดข้อมูล สำหรับชุดข้อมูลของชิ้นงานวัสดุที่มีความหนาแน่น $620 \pm 15 \text{ kg/m}^3$ ชุดข้อมูลที่ T25_D6 มีคุณสมบัติในการกันเสียงเทียบเคียงกับชิ้นงานวัสดุที่มีความหนาแน่น $320 \pm 18 \text{ kg/m}^3$ ทั้งสามชุดข้อมูล แต่สำหรับชุดข้อมูล T50_D6 ค่า STL มีค่าสูงขึ้นในช่วงคลื่นความถี่ของเสียงตั้งแต่ 1,000 Hz ถึง 6,300 Hz และชุดข้อมูลที่ T75_D6 ค่า STL มีค่าเพิ่มมากขึ้นจากชิ้นงาน T50_D6 ในช่วงคลื่นเสียงความถี่ 100 Hz ถึง 1,600 Hz

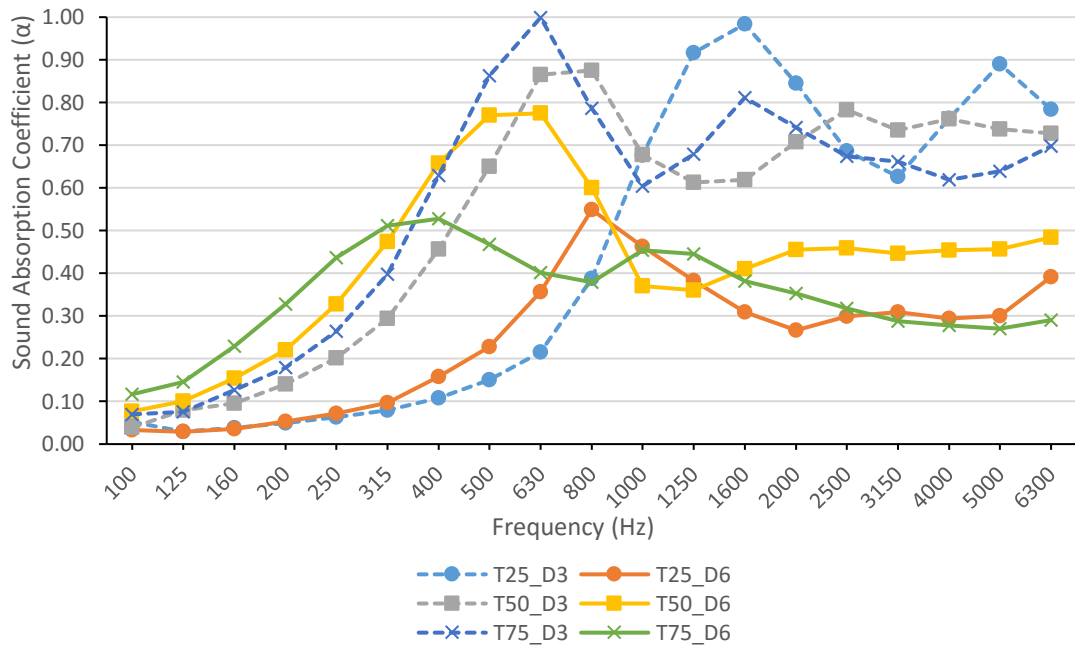
เมื่อนำค่า STL ทั้ง 6 ชุดข้อมูลมาคำนวณหาค่า STC (แผนภูมิที่ 4.2) พบว่าชุดข้อมูลที่ T75_D6 มีคุณสมบัติในการกันเสียงดีที่สุด โดยมีค่า STC เท่ากับ 24 dB รองลงมาคือชุดข้อมูลที่ T50_D6 มีค่า STC เท่ากับ 16 dB และชุดข้อมูลที่ T25_D6 มีค่า STC เท่ากับ 13 dB ตามลำดับ

4.2 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน

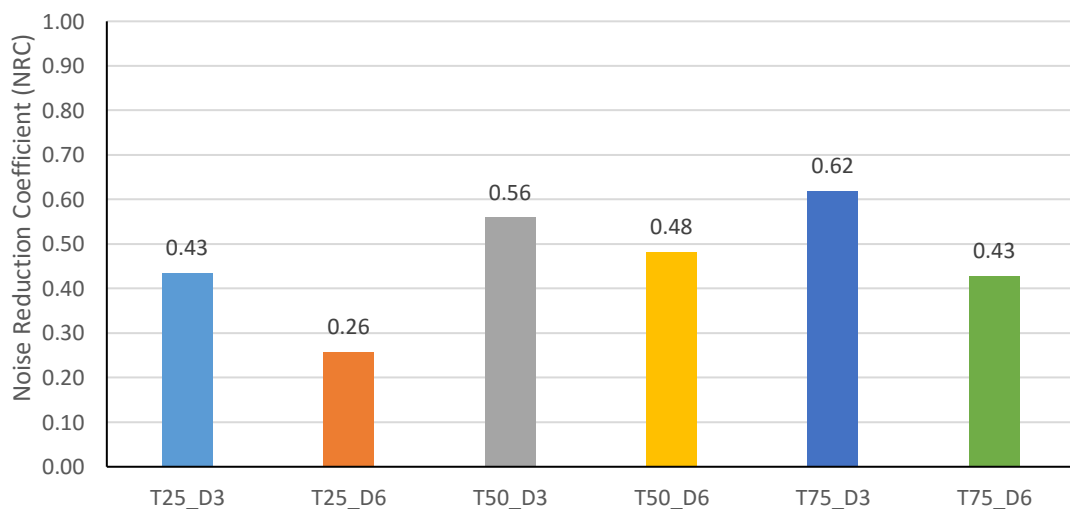
จากการตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของชิ้นงานวัสดุทั้ง 12 ตัวอย่าง ด้วยวิธี Impedance Tube Method ผ่านการประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จนได้มาเป็นข้อมูลทั้ง 6 ชุดตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุ (SAC)

Frequency (Hz)	Sound Absorption Coefficient (α)					
	T25_D3	T25_D6	T50_D3	T50_D6	T75_D3	T75_D6
100	0.05	0.03	0.04	0.08	0.07	0.12
125	0.03	0.03	0.08	0.10	0.08	0.15
160	0.04	0.04	0.10	0.15	0.13	0.23
200	0.05	0.05	0.14	0.22	0.18	0.33
250	0.06	0.07	0.20	0.33	0.26	0.44
315	0.08	0.10	0.29	0.47	0.40	0.51
400	0.11	0.16	0.46	0.66	0.63	0.53
500	0.15	0.23	0.65	0.77	0.86	0.47
630	0.22	0.36	0.87	0.77	1.00	0.40
800	0.39	0.55	0.88	0.60	0.79	0.38
1000	0.68	0.46	0.68	0.37	0.60	0.45
1250	0.92	0.38	0.61	0.36	0.68	0.45
1600	0.98	0.31	0.62	0.41	0.81	0.38
2000	0.85	0.27	0.71	0.46	0.74	0.35
2500	0.69	0.30	0.78	0.46	0.67	0.32
3150	0.63	0.31	0.74	0.45	0.66	0.29
4000	0.76	0.29	0.76	0.45	0.62	0.28
5000	0.89	0.30	0.74	0.46	0.64	0.27
6300	0.78	0.39	0.73	0.48	0.70	0.29



แผนภูมิที่ 4.3 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุ (SAC)



แผนภูมิที่ 4.4 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุ (NRC)

จากผลการตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงในตารางที่ 4.2 และแผนภูมิที่ 4.3 พบว่าชุดข้อมูลของชิ้นงานวัสดุที่มีความหนาแน่น $320 \pm 18 \text{ kg/m}^3$ (T25_D3, T50_D3 และ T75_D3) มีค่า SAC สูงกว่าชุดข้อมูลของชิ้นงานวัสดุที่มีความหนาแน่น $620 \pm 20 \text{ kg/m}^3$ (T25_D6, T50_D6 และ T75_D6) ในช่วงคลื่นความถี่ของเสียงตั้งแต่ 1,000 Hz ถึง 6,300 Hz ส่วนในช่วงคลื่นความถี่ของเสียง 100 Hz ถึง 630 Hz ชุดข้อมูลที่ T25_D3 และ T25_D6 มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงได้น้อยกว่าชุดข้อมูลอื่นทั้งหมด

เมื่อเปรียบเทียบค่า NRC ของทั้ง 6 ชุดข้อมูล (แผนภูมิที่ 4.4) พบว่าชุดข้อมูลที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงดีที่สุดคือ ชุดข้อมูล T75_D3 โดยมีค่า NRC เท่ากับ 0.62 รองลงมาคือชุดข้อมูล T50_D3 มีค่า NRC เท่ากับ 0.56 และชุดข้อมูล T50_D6 มีค่า NRC เท่ากับ 0.48 ตามลำดับ

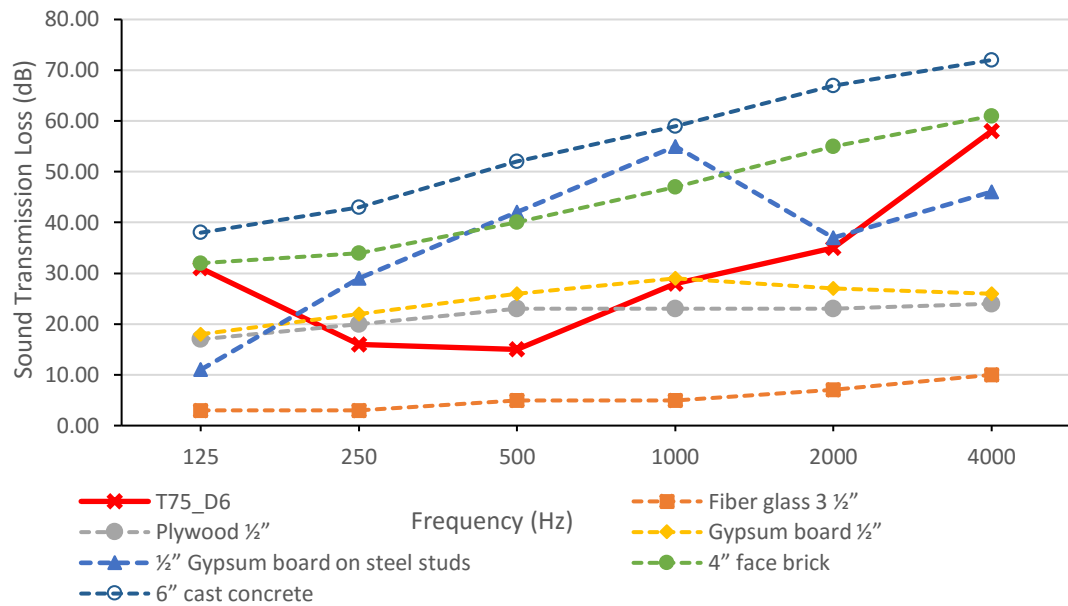
4.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน

จากการตรวจสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุใยทุเรียนพบว่า ชุดข้อมูล T75_D6 มีค่า STC สูงที่สุดจากชุดข้อมูลทั้งหมด จึงได้นำข้อมูล STL ของชุดข้อมูล T75_D6 มาเปรียบเทียบกับวัสดุประกอบอาคารทั่วไปตามตารางที่ 4.3 เพื่อแสดงการเปรียบเทียบรายละเอียดของการกันเสียงในแต่ละช่วงคลื่นความถี่ของวัสดุ

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุประกอบอาคาร

รายละเอียดวัสดุ	Sound Transmission Loss (dB)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Durian fiberboard (T75_D6)	31	16	15	28	35	58
Fiber glass 3 ½"	3	3	5	5	7	10
Plywood ½"	17	20	23	23	23	24
Gypsum board ½"	18	22	26	29	27	26
½" Gypsum board on steel studs	11	29	42	55	37	46
4" face brick	32	34	40	47	55	61
6" cast concrete	38	43	52	59	67	72

จากการเปรียบเทียบค่า STL ของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุประกอบอาคารในตารางที่ 4.3 และแผนภูมิที่ 4.5 พบว่า ชุดข้อมูล T75_D6 มีคุณสมบัติในการกันเสียงในช่วงคลื่นความถี่ของเสียงที่ 250 Hz และ 500 Hz ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ ที่ความถี่ 1,000 Hz สามารถกันเสียงได้เทียบเท่าแผ่น Gypsum board หนา ½" และความถี่ที่ 2,000 Hz กันเสียงได้เทียบเท่ากับผนังเบาโครงสร้างเหล็กบุด้วย Gypsum board ในช่วงคลื่นความถี่ย่านต่ำที่ 125 Hz และคลื่นความถี่ย่านสูงที่ 4,000 Hz สามารถกันเสียงได้ใกล้เคียงกับผนังก่ออิฐหนา 4 นิ้ว

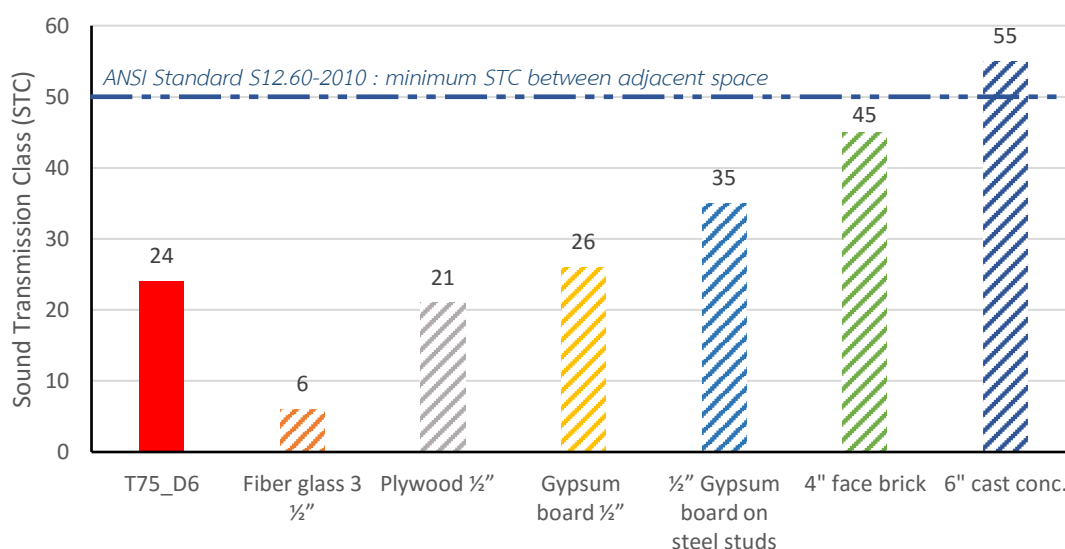


แผนภูมิที่ 4.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน
กับวัสดุประกอบอาคาร

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุประกอบอาคารอื่น ๆ

Sketch	รายละเอียด	STC
	3" thickness with durian fiber 600 kg/m ³	24
	1. 3 1/2" Fiber glass	6
	1. 1/2" plywood	21
	1. 1/2" gypsum board	26
	1. 65 mm steel studs, 16" o.c. 2. 1/2" gypsum board screwed to stud	35
	1. 4" face brick, mortared together	45
	1. 6" cast concrete wall (71 psf)	55

ในการประเมินคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุตามเกณฑ์หรือมาตรฐาน มักนิยมใช้ค่า STC ของวัสดุในการประเมินประสิทธิภาพในการป้องกันเสียงโดยรวมของวัสดุนั้น ๆ ตารางที่ 4.4 และแผนภูมิที่ 4.6 จึงเป็นการเปรียบเทียบค่า STC ของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนในชุดข้อมูล T75_D6 กับมาตรฐาน ANSI Standard S12.60-2010 ที่กำหนดค่า STC ต่ำสุดระหว่างพื้นที่ที่ใช้ทำการเรียนการสอน รวมไปถึงการเปรียบเทียบกับวัสดุประกอบอาคารอื่น ๆ พบว่าเมื่อประเมินด้วยค่า STC วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนที่มีความหนา 3” มีคุณสมบัติในการกันเสียงเทียบเท่ากับแผ่นยิปซัมบอร์ดหนา ½” สามารถกันเสียงได้ดีกว่าวัสดุ Fiber glass ที่ความหนา 3½” แต่ไม่สามารถกันเสียงได้เทียบเท่ากับผนังโครงเหล็ก บุกด้วยแผ่นยิปซัมบอร์ด ผนังก่ออิฐและผนังคอนกรีตสำเร็จ รวมไปถึงไม่สามารถกันเสียงได้ตามค่า กำหนด STC ของมาตรฐาน ANSI Standard S12.60-2010 อีกด้วย



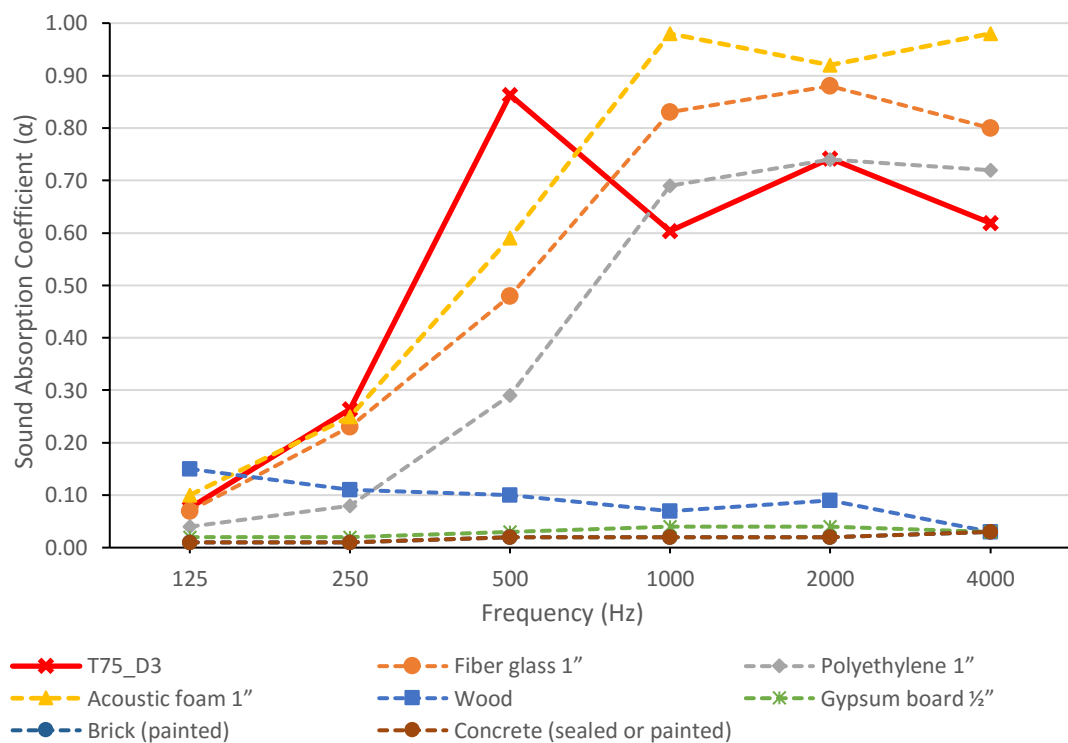
แผนภูมิที่ 4.6 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับเกณฑ์หรือมาตรฐาน และวัสดุประกอบอาคารอื่น ๆ

4.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน

จากการตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดซับของวัสดุใยทุเรียนพบว่า ชุดข้อมูลที่ T75_D3 มีค่า NRC สูงที่สุดจากชุดข้อมูลทั้งหมด จึงได้นำข้อมูล Sound Absorption Coefficient ของชุดข้อมูล T75_D3 มาเปรียบเทียบกับวัสดุประกอบอาคารทั่วไปตามตารางที่ 4.5 เพื่อแสดงการเปรียบเทียบรายละเอียดของการดูดซับเสียงในแต่ละช่วงคลื่นความถี่ของวัสดุ

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุประกอบอาคาร

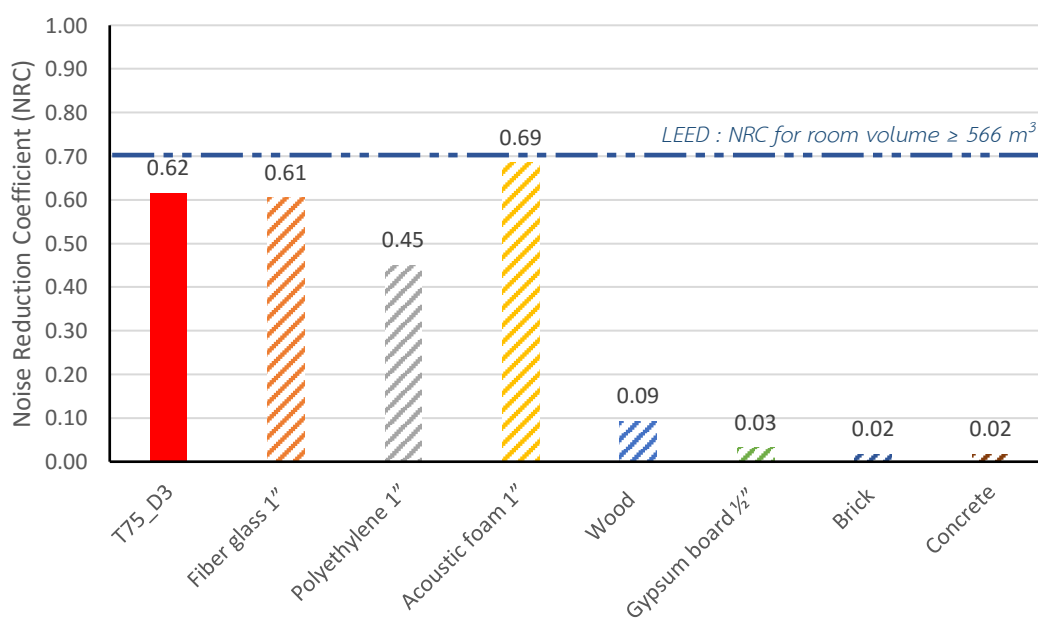
รายละเอียดวัสดุ	Sound Absorption Coefficient (α)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Durian fiberboard (T75_D3)	0.08	0.26	0.86	0.60	0.74	0.62
Fiber glass 1”	0.07	0.23	0.48	0.83	0.88	0.8
Polyethylene 1”	0.04	0.08	0.29	0.69	0.74	0.72
Acoustic foam 1”	0.1	0.25	0.59	0.98	0.92	0.98
Wood	0.15	0.11	0.1	0.07	0.09	0.03
Gypsum board ½”	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03
Brick (painted)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Concrete (sealed or painted)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02



แผนภูมิที่ 4.7 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุประกอบอาคาร

จากการเปรียบเทียบค่า SAC ของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุประกอบอาคารในตารางที่ 4.5 และแผนภูมิที่ 4.7 พบว่า ชุดข้อมูล T75_D3 มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงในช่วงคลื่นความถี่ของเสียงที่ 125 Hz และ 250 Hz ใกล้เคียงกับ ฉนวน Acoustic foam หนา 1” และฉนวน Fiber glass หนา 1” ที่ตำแหน่งความถี่ 500 Hz วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนสามารถดูดซับเสียงได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น และในช่วงความถี่ที่ 1,000 Hz จนถึง 4,000 Hz วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนสามารถดูดซับเสียงได้ด้อยกว่าฉนวน Acoustic foam, Fiber glass และ Polyethylene ประมาณ 10-20% แต่สามารถดูดซับเสียงได้ดีกว่า ผนังก่ออิฐและผนังคอนกรีตสำเร็จในทุกช่วงความถี่

ในการประเมินคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุตามเกณฑ์หรือมาตรฐาน มักนิยมใช้ค่า NRC ของวัสดุในการประเมินประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงโดยรวมของวัสดุนั้น ๆ แผนภูมิที่ 4.8 จึงเป็นการเปรียบเทียบค่า NRC ของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนในชุดข้อมูล T75_D3 กับมาตรฐาน LEED และ ANSI Standard S12.60-2010 ที่กำหนดค่า NRC ที่เหมาะสมตามปริมาณของห้อง รวมไปถึงการเปรียบเทียบกับวัสดุประกอบอาคารอื่น ๆ พบว่าเมื่อประเมินด้วยค่า NRC วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงเทียบเท่ากับฉนวน Fiber glass ความหนา 1” มากกว่าฉนวน Polyethylene 17% ด้อยกว่าฉนวน Acoustic foam ความหนา 1” อยู่ 7% และสามารถดูดซับเสียงได้ดีกว่ามาตรฐาน LEED 8% ในหัวข้อค่าการดูดซับเสียงสำหรับห้องที่มีปริมาตรมากกว่าหรือเท่ากับ 566 m³



แผนภูมิที่ 4.8 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับเกณฑ์หรือมาตรฐาน และวัสดุประกอบอาคารอื่น ๆ

4.5 ผลการประเมินประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงและการสะท้อนกลับของเสียงกรณีศึกษา ห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Basecase : ผลการประเมินประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงของตัวอย่างกรณีศึกษา ห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยอ้างอิงการใช้วัสดุประกอบอาคารรวมไปถึงการใช้วัสดุฉนวนดูดซับเสียงตามแบบสถาปัตยกรรม พบว่าค่าเวลาในการสะท้อนกลับของเสียงภายในห้องประชุม 101 มีค่าเท่ากับ

$$RT_{basecase} = \frac{0.161 \cdot 1,650}{(0.3 \cdot 324) + (0.145 \cdot 252) + (0.015 \cdot 138) + (0.1 \cdot 22) + (0.065 \cdot 35) + (0.45 \cdot 328) + (0.675 \cdot 52)}$$

$$= 0.826 \text{ s (วินาที)}$$

กรณีที่ 1 : วัสดุซับเสียงเดิมกับวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนต้องมีพื้นที่ติดตั้งเท่ากัน แทนที่ฉนวน Polyethylene และฉนวน Fiber glass ด้วยวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนความหนาแน่น $320 \pm 18 \text{ kg/m}^3$ ความหนา $75 \pm 2 \text{ mm}$ (T75_D3) ซึ่งมีค่า NRC เท่ากับ 0.62 (ตารางที่ 4.6) ดังนั้นค่าเวลาการสะท้อนกลับของเสียง (RT) ภายในห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีค่าเท่ากับ

$$RT_{T75_D3} = \frac{0.161 \cdot 1,650}{(0.3 \cdot 324) + (0.145 \cdot 252) + (0.015 \cdot 138) + (0.1 \cdot 22) + (0.065 \cdot 35) + (0.62 \cdot 380)}$$

$$= 0.714 \text{ s (วินาที)}$$

ตารางที่ 4.6 ละเอียดวัสดุที่ใช้ตกแต่งภายในพร้อมค่า NRC ห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแทนที่ฉนวนเดิมด้วยวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T75_D3

ตำแหน่งติดตั้ง	รายละเอียดวัสดุ	ปริมาณของวัสดุ (m ²)	NRC
พื้น	- กระเบื้องยาง	323.68	0.3
ผนัง	- ไม้อัดบีช	207.13	0.145
	- คอนกรีตฉาบเรียบทาสี	138.28	0.015
	- วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T75_D3	171.87	0.62
	- เหล็ก C Channel	21.79	0.01
ฝ้า	- วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T75_D3	208.00	0.62
	- ไม้อัดบีช	44.82	0.145
	- แผ่นยิปซัมบอร์ด	35.06	0.065

กรณีที่ 2 : วัสดุซับเสียงเดิมกับเส้นใยเปลือกทุเรียนต้องมีความหนาของวัสดุและพื้นที่ติดตั้งเท่ากัน ซึ่งวัสดุเดิมมีความหนา 1 นิ้ว จึงทำการประเมินโดยนำค่า NRC ของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนในชุดข้อมูล ที่ T25_D3 ที่ความหนาของชิ้นงานวัสดุเท่ากับ 1 นิ้ว ซึ่งมีค่า NRC เท่ากับ 0.43 (ตารางที่ 4.7) มาทำการคำนวณหาค่าเวลาการสะท้อนกลับของเสียง (RT) ภายในห้องประชุม 101 มีค่าเท่ากับ

$$RT_{T25_D3} = \frac{0.161 \cdot 1,650}{(0.3 \cdot 324) + (0.145 \cdot 252) + (0.015 \cdot 138) + (0.1 \cdot 22) + (0.065 \cdot 35) + (0.43 \cdot 380)}$$

$$= 0.88 \text{ s (วินาที)}$$

ตารางที่ 4.7 แสดงรายละเอียดวัสดุที่ใช้ตกแต่งภายในพร้อมค่า NRC ห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแทนที่ฉนวนเดิมด้วยวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T25_D3

ตำแหน่งติดตั้ง	รายละเอียดวัสดุ	ปริมาณของวัสดุ (m ²)	NRC
พื้น	- กระเบื้องยาง	323.68	0.3
ผนัง	- ไม้อัดบีช	207.13	0.145
	- คอนกรีตฉาบเรียบทาสี	138.28	0.015
	- วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T25_D3	171.87	0.43
	- เหล็ก C Channel	21.79	0.01
ฝ้า	- วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T25_D3	208.00	0.43
	- ไม้อัดบีช	44.82	0.145
	- แผ่นยิปซัมบอร์ด	35.06	0.065

กรณีที่ 3 : จากกรณีที่ 2 เพื่อให้ห้องประชุม 101 มีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงเทียบเท่ากับการใช้วัสดุฉนวนดูดซับเสียงเดิม ($RT_{\text{basecase}} = 0.826 \text{ s}$) ดังนั้นจึงทำการปรับเพิ่มพื้นที่ติดตั้งวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T25_D3 โดยมีรายละเอียดขนาดพื้นที่ของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนและวัสดุอื่นตามตารางที่ 4.8

วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T25_D3 ที่นำมาแทนที่ฉนวนเดิมของห้องประชุม 101 ตามตารางที่ 4.8 มีขนาดพื้นที่ของวัสดุเท่ากับ 428.6 m² โดยพื้นที่ส่วนเพิ่มเติมของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน คือ การติดตั้งวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนในบริเวณผนังคอนกรีตฉาบเรียบทาสี (พื้นที่คอนกรีตฉาบเรียบทาสี ลดลง 48.73 m²) ทำให้ค่าเวลาในการสะท้อนกลับของเสียงภายในห้องประชุม 101 มีค่าเท่ากับ 0.826 วินาที หรือเทียบเท่ากับประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงของประชุม 101 เดิมที่ติดตั้งฉนวน Polyethylene 328.31 m² และฉนวน Fiber glass 51.56 m²

ตารางที่ 4.8 ปริมาณของวัสดุที่ใช้ตกแต่งภายในพร้อมค่า NRC ห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแทนที่ฉนวนเดิมด้วยวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T25_D3

ตำแหน่งติดตั้ง	รายละเอียดวัสดุ	ปริมาณของวัสดุ (m ²)	NRC
พื้น	- กระเบื้องยาง	323.68	0.3
ผนัง	- ไม้อัดบีช	207.13	0.145
	- คอนกรีตฉาบเรียบทาสี	89.55	0.015
	- วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T25_D3	220.6	0.43
	- เหล็ก C Channel	21.79	0.1
ฝ้า	- วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T25_D3	208.00	0.43
	- ไม้อัดบีช	44.82	0.145
	- แผ่นยิปซัมบอร์ด	35.06	0.065

4.6 ผลการคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากรายละเอียดการเตรียมชิ้นงานวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนทั้ง 12 ตัวอย่าง (6 ชุดข้อมูล) สรุปเป็นต้นทุนการผลิตชิ้นงานต่อตารางเมตรตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ต้นทุนการผลิตชิ้นงานวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนต่อตารางเมตรของทั้ง 6 ชุดข้อมูล โดยประมาณ

รายละเอียดวัสดุ	ราคาต่อตารางเมตร (บาท)					
	T25_D3	T25_D6	T50_D3	T50_D6	T75_D3	T75_D6
เปลือกทุเรียน	-	-	-	-	-	-
ซีลี้อย	-	-	-	-	-	-
โซเดียมไฮดรอกไซด์	37	74	74	147	113	225
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	42	84	84	168	129	368
กาวผง Weldwood	77	154	154	308	236	472
Total	156	312	312	623	478	1,065

เนื่องด้วยเปลือกทุเรียนและซีลี้อยเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ได้รับมาโดยไม่มีค่าใช้จ่ายใด ๆ จึงไม่ได้นับรวมอยู่ในต้นทุนการผลิตชิ้นงานวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน แต่ขั้นตอนในการสกัดเส้นใย มีการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 18% และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 15% โดยคิดเป็นสัดส่วนตามน้ำหนักของเส้นใยเปลือกทุเรียน รวมไปถึงกาวผงที่ใช้เป็นสาร

ประสานระหว่างเส้นใยเปลือกทุเรียนกับซีล้อยในปริมาณ 2% ของน้ำหนักวัสดุ ดังนั้นราคาต้นทุนต่อตารางเมตรของชิ้นงานวัสดุจึงเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนน้ำหนักของเส้นใยเปลือกทุเรียน

เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการนำวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนมาใช้งาน โดยอ้างอิงพื้นที่ในการติดตั้งตามกรณีศึกษา ห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เปรียบเทียบกับการใช้วัสดุฉนวนดูดซับเสียงตามหัวข้อที่ 4.5 กรณีที่ 1, 2 และ 3 โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 4.10 ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ตามกรณีศึกษาห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	วัสดุดูดซับเสียง	NRC	พื้นที่ (ตร.ม)	ราคาต่อหน่วย (บาท/ตร.ม)	ราคารวม (บาท)	RT (วินาที)
Basecase	PE หนา 1”	0.45	328.31	687.5	234,065	0.826
	Fiber glass หนา 1”	0.61	51.56	162		
กรณีที่ 1	T75_D3 หนา 3”	0.62	379.87	478*	181,578	0.714
กรณีที่ 2	T25_D3 หนา 1”	0.43	379.87	156*	59,260	0.88
กรณีที่ 3	T25_D3 หนา 1”	0.43	428.6	156*	66,862	0.826

*ราคาต่อหน่วยของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนเฉพาะราคาต้นทุนการผลิตเท่านั้น

จากตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียง โดยกรณีที่ 1 มีการติดตั้งวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T75_D3 ความหนา 3 นิ้ว แทนที่วัสดุดูดซับเสียงเดิม ส่งผลให้ค่าเวลาในการสะท้อนกลับของเสียง (RT) ลดลงจาก 0.826 วินาที เป็น 0.714 วินาที โดยสามารถประหยัดค่าวัสดุในการดูดซับเสียงลงได้ 22.42 %

กรณีที่ 2 กำหนดให้วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนที่นำมาแทนที่ (T25_D3) มีความหนาของวัสดุและปริมาณพื้นที่ในการติดตั้งเท่าวัสดุเดิม มีค่าเวลาในการสะท้อนกลับของเสียง (RT) เท่ากับ 0.88 วินาที ซึ่งมากกว่า Basecase อยู่ 0.054 วินาที และสามารถประหยัดค่าวัสดุในการดูดซับเสียงได้ 74.68 %

กรณีที่ 3 กำหนดวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนที่นำมาแทนที่ตามกรณีที่ 2 คือมีความหนาของวัสดุ 1 นิ้ว แต่เพิ่มพื้นที่ติดตั้งวัสดุทุเรียนเพื่อให้ได้ค่าเวลาในการสะท้อนกลับของเสียงเทียบเท่ากับ Basecase พบว่า สามารถประหยัดค่าวัสดุลงได้ 71.43 %

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการวิจัยในการพัฒนาวัสดุกันเสียงและดูดซับเสียงจากเส้นใยเปลือกทุเรียน

5.1.1. สรุปผลการวิจัยคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน

จากการตรวจสอบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน พบว่าปัจจัยด้านความหนาของวัสดุส่งผลต่อคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุ น้อยกว่าปัจจัยทางด้านความหนาแน่นของวัสดุ โดยชุดข้อมูลของชิ้นงานวัสดุที่มีความหนาแน่น $320 \pm 18 \text{ kg/m}^3$ ที่ความหนา $75 \pm 2 \text{ mm}$ นั้น มีค่า STC มากกว่าชิ้นงานที่มีความหนา $25 \pm 2 \text{ mm}$ เพียง 4 dB ยกเว้นชิ้นงานที่มีความหนา $50 \pm 2 \text{ mm}$ มีค่า STC น้อยกว่าชิ้นงาน $25 \pm 2 \text{ mm}$ อันเนื่องมาจากการประเมินเพื่อกำหนดค่า STC ของวัสดุตามมาตรฐานของ ASTM เป็นเพียงการกำหนดค่ากลางเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบอย่างรวดเร็วเท่านั้น หากประเมินที่ค่า STL ชุดข้อมูลของชิ้นงานวัสดุความหนา $50 \pm 2 \text{ mm}$ มีแนวโน้มที่จะป้องกันเสียงได้ดีกว่าชุดข้อมูลของชิ้นงานวัสดุความหนา $25 \pm 2 \text{ mm}$ ในเกือบทุกช่วงความถี่ถึงแม้จะมีค่า STC ที่น้อยกว่าก็ตาม สำหรับชุดข้อมูลของชิ้นงานวัสดุที่มีความหนาแน่น $620 \pm 20 \text{ kg/m}^3$ ค่า STC เพิ่มขึ้นเมื่อชิ้นงานมีความหนาเพิ่มขึ้น โดยที่ชิ้นงานที่มีความหนา $75 \pm 2 \text{ mm}$ มีค่า STC มากกว่าชิ้นงาน $25 \pm 2 \text{ mm}$ ถึง 11 dB และเมื่อเปรียบเทียบชุดข้อมูลของชิ้นงานวัสดุที่มีความหนาแน่น $620 \pm 20 \text{ kg/m}^3$ ที่ความหนา $25 \pm 2 \text{ mm}$ (T25_D6) กับชุดข้อมูลของชิ้นงานวัสดุที่มีความหนาแน่น $320 \pm 18 \text{ kg/m}^3$ ที่ความหนา $75 \pm 2 \text{ mm}$ (T75_D3) พบว่าชุดข้อมูล T25_D6 มีค่า STC มากกว่าชุดข้อมูล T75_D3 อยู่ 2 dB จึงสรุปได้ว่าความหนาแน่นของวัสดุ ส่งผลต่อคุณสมบัติในการกันเสียงมากกว่าปัจจัยด้านความหนาของวัสดุ โดยที่ความหนาของวัสดุจะเริ่มส่งผลต่อการกันเสียงเมื่อความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มขึ้น โดยชุดข้อมูลของชิ้นงานวัสดุที่มีความหนาแน่น $620 \pm 20 \text{ kg/m}^3$ ที่ความหนาของชิ้นงาน $75 \pm 2 \text{ mm}$ (T75_D6) มีคุณสมบัติในการกันเสียงดีที่สุดที่ค่า STC เท่ากับ 24 dB

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุประกอบอาคารทั่วไปพบว่า เมื่อประเมินคุณสมบัติในการกันเสียงของวัสดุด้วยค่า STC วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T75_D6 มีคุณสมบัติในการกันเสียงเทียบเท่ากับแผ่นยิปซัมบอร์ดที่มีความหนา $\frac{1}{2}$ นิ้ว และเมื่อประเมินคุณสมบัติในการกันเสียงด้วยค่า STL วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T75_D6 มีคุณสมบัติในการกันเสียงในช่วงคลื่นความถี่ต่ำที่ 125 Hz และช่วงคลื่นความถี่สูงที่ 4,000 Hz ใกล้เคียงกับผนังก่ออิฐความหนา 4 นิ้ว แต่จากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T75_D6 มีราคาต้นทุนในการผลิตสูงถึง 1,065 บาทต่อตารางเมตร ในขณะที่แผ่นยิปซัมบอร์ดหนา $\frac{1}{2}$ นิ้ว มี

ราคาต้นทุนการผลิตประมาณ 40-90 บาทต่อตารางเมตร จึงสรุปได้ว่าวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุในการกันเสียงแบบเดียว

5.1.2. สรุปผลการวิจัยคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน

จากการตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุผสมใยทุเรียน พบว่าชุดข้อมูลของชิ้นงานวัสดุที่มีความหนาแน่น $320 \pm 18 \text{ kg/m}^3$ (T25_D3, T50_D3 และ T75_D3) มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงสูงกว่าชุดข้อมูลของชิ้นงานวัสดุที่มีความหนาแน่น $620 \pm 20 \text{ kg/m}^3$ (T25_D6, T50_D6 และ T75_D6) ในช่วงคลื่นความถี่ของเสียงตั้งแต่ 1,000 Hz ถึง 6,300 Hz แสดงว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับเสียงในช่วงคลื่นย่านความถี่กลางจนถึงย่านความถี่สูง ชิ้นงานวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าสามารถดูดซับเสียงได้ดีกว่า ส่วนในช่วงคลื่นความถี่ของเสียง 100 Hz ถึง 630 Hz ชุดข้อมูลของชิ้นงานที่มีความหนาแน่น 1 นิ้ว T25_D3 และ T25_D6 มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงได้น้อยกว่าชุดข้อมูลอื่นทั้งหมด แสดงว่าในช่วงย่านความถี่ต่ำจนถึงย่านความถี่กลาง ปัจจัยทางด้านความหนาของชิ้นงานวัสดุส่งผลต่อการดูดซับเสียงสูงกว่าปัจจัยทางด้านความหนาแน่นของวัสดุ แต่เมื่อพิจารณาค่า NRC ของทั้ง 6 ชุดข้อมูล แสดงให้เห็นว่าในภาพรวมของทั้ง 6 ชุดข้อมูล ปัจจัยด้านความหนาแน่นวัสดุ ส่งผลต่อคุณสมบัติในการดูดซับเสียงมากกว่าปัจจัยด้านความหนาของวัสดุ โดยสรุปได้ว่าชุดข้อมูลของชิ้นงาน T75_D3 ที่มีความหนาแน่นของวัสดุเท่ากับ $320 \pm 18 \text{ kg/m}^3$ และมีความหนาของชิ้นงานเท่ากับ 75 mm เป็นชิ้นงานที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงดีที่สุดซึ่งมีค่า NRC เท่ากับ 0.62 หรือสามารถดูดซับเสียงได้ 62% นั้นเอง

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนกับวัสดุประกอบอาคารทั่วไปพบว่า เมื่อประเมินวัสดุด้วยค่า NRC วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T75_D3 มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงใกล้เคียงกับฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว ซึ่งมีค่า NRC เท่ากับ 0.61 และ Acoustic foam 1 นิ้ว ที่มีค่า NRC เท่ากับ 0.69 แต่หากพิจารณาคุณสมบัติในการดูดซับเสียงที่ค่า SAC ในช่วงคลื่นความถี่ตั้งแต่ 1,000 Hz – 4,000 Hz วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนมีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงต่ำกว่าฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว และ Acoustic Foam หนา 1 นิ้ว อยู่ประมาณ 20-30% แต่ในช่วงคลื่นความถี่ย่านกลางที่ 500 Hz วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนสามารถดูดซับเสียงได้ดีกว่าประมาณ 30-35% และจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนโดยเลือกใช้สมการของ Sabine การคำนวณหาเวลาในการสะท้อนกลับของเสียง (RT) ภายในห้องตัวอย่างกรณีศึกษา ห้องประชุม 101 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าเมื่อคำนวณหาค่า RT ของห้องโดยแทนที่วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T75_D3 กับวัสดุดูดซับเสียงเดิมของห้องคือฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว และ Polyethylene หนา 1 นิ้ว ค่า RT ที่คำนวณได้ลดลง 0.112 วินาทีจากสภาพห้องตามแบบเดิม และสามารถประหยัดค่าวัสดุในการดูดซับเสียงลงได้

22.42% และเมื่อทำการประเมินประสิทธิภาพห้องประชุม 101 ด้วยวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียน T25_D3 ซึ่งมีค่า NRC เท่ากับ 0.43 ค่า RT ของห้องประชุม 101 ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าสภาพห้องเดิมอยู่ 0.054 วินาที แต่สามารถประหยัดค่าวัสดุดูดซับเสียงได้ถึง 74.68% และหากติดตั้งเส้นใยเปลือกทุเรียน T25_D3 โดยเพิ่มพื้นที่ติดตั้งในบริเวณอื่น เพื่อให้ห้องประชุม 101 มีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงเทียบเท่าตามแบบเดิม ค่าต้นทุนของวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนจะเพิ่มขึ้น 3.25%

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า วัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนมีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงได้ดี แต่กันเสียงได้ไม่ค่อยดี และการพัฒนาวัสดุทางเสียงโดยการนำเปลือกทุเรียนซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาสกัดเพื่อเอาเส้นใยเซลลูโลสมาใช้ในการผลิตวัสดุนั้น มีความเป็นไปได้ทั้งในทางเศรษฐศาสตร์และอุตสาหกรรม

5.2. ข้อเสนอแนะในการพัฒนาการวิจัยต่อไปในอนาคต

5.2.1. เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านปัจจัยต่างๆ งานวิจัยชิ้นนี้จึงกำหนดตัวแปรเพียง 2 ตัวแปร คือ ตัวแปรด้านความหนาและตัวแปรด้านความหนาแน่นของชิ้นงาน หากมีผู้ที่สนใจจะนำไปศึกษาต่อแนะนำให้เพิ่มความหลากหลายของตัวแปรในการทำวิจัย เช่น ความหลากหลายของความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้สกัดเส้นใยออกจากเปลือกทุเรียน

5.2.2. จากข้อจำกัดในเรื่องงบประมาณในการนำวัสดุเข้าตรวจสอบคุณสมบัติในการกันเสียงและดูดซับเสียง จึงทำให้มีการผลิตชิ้นงานเพื่อใช้ในการศึกษาเพียง 12 ตัวอย่างเท่านั้น แบ่งไปตามตัวแปรความหนาแน่นของวัสดุ และความหนาของวัสดุ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรงมากขึ้น ควรมีการจัดทำตัวอย่างชิ้นงานตามแต่ละตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาในปริมาณที่มากขึ้นเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเฉลี่ย

5.2.3. ในขั้นตอนการสกัดเส้นใยเซลลูโลสออกจากเปลือกทุเรียน ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้อ้างอิงมาจากการทบทวนวรรณกรรม จึงแนะนำให้มีการศึกษาตัวแปรในด้านความเข้มข้นของสารละลายจะส่งผลต่อสภาพของเส้นใยเซลลูโลสเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนทางสถาปัตยกรรม

5.2.4. ในขั้นตอนการจัดทำชิ้นงานวัสดุถึงแม้จะมีการใช้ตราชั่งอิเล็กทรอนิกส์ในการวัดตวงปริมาณวัสดุก็ตาม ขั้นตอนในกระบวนการจัดทำชิ้นงานยังถือว่าเป็นการทำด้วยมือ โดยไม่ได้ใช้ระบบทางอุตสาหกรรมในการผลิต จึงมีความเป็นไปได้ที่ข้อมูลตั้งต้นก่อนนำไปทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางเสียงจะมีความคลาดเคลื่อน ควรมีการใช้เครื่องมือที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดของมนุษย์ (Human Error)

5.2.5. ในขั้นตอนการประเมินประสิทธิผลทางเสียงภายในห้องตัวอย่างกรณีศึกษา เป็นการใช้สมการทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์มาคำนวณหาค่าเวลาในการสะท้อนกลับของเสียง ดังนั้นค่าที่ได้จากการคำนวณอาจมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดในสถานที่จริง

5.2.6. งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบเพียงเฉพาะคุณสมบัติทางเสียงของวัสดุเพียงเท่านั้น หากมีความต้องการที่จะนำแผ่นวัสดุไปติดตั้งใช้งานจริง ควรมีศึกษาข้อมูลในด้านอื่นๆ เพิ่มเติมเพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนในการนำไปใช้งานจริง เช่น คุณสมบัติเชิงกลของแผ่นวัสดุ คุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุ และวิธีการติดตั้งร่วมกับวัสดุประกอบอาคารอื่น ๆ

5.2.7. การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในงานวิจัยนี้ เป็นเพียงการคำนวณราคาของวัสดุจากต้นทุนการผลิตเพียงเท่านั้น หากมีการผลิตวัสดุเส้นใยเปลือกทุเรียนในระดับอุตสาหกรรม ราคาของวัสดุอาจมีแนวโน้มสูงขึ้นอันเนื่องมาจากค่าแรง ค่าขนส่ง ค่ากำไรดำเนินการ ฯลฯ แต่การผลิตในระดับอุตสาหกรรม จะมีต้นทุนของวัสดุที่ต่ำลงเพราะสามารถผลิตได้ในปริมาณมาก



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี, ประชุม คำพูด และ อโณทัย ผลสุวรรณ. แผ่นไม้ซีลียอดพลาสติก.
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี,
2551.
- ถิรวรรณ บุญวงศ์, สุจินดา กรรณสุด และ ธีรภัทน์ ศรีนรคุตร. การพัฒนากระบวนการไฮโดรซีสและ
การหมักเอทานอลจากของเสียทางการเกษตร. วารสารวิจัย มข. 19 (2557): 361-69.
- พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535. มาตรฐานการคุ้มครองความปลอดภัยการประกอบกิจการโรงงาน
เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (6 พฤศจิกายน
2546).
- พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2535. กำหนดมาตรฐานระดับเสียง
โดยทั่วไป. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 15 (12 มีนาคม 2540): 254-55.
- . ค่าระดับเสียงรบกวน. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ 17 (16 มิถุนายน 2543):
261-62.
- วิเศษนัม นิลนนท์ และ ประมวล ศรีกาหลง. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารย่อยสลายได้ทาง
ชีวภาพจากเปลือกทุเรียน. วารสารวิจัยรำไพพรรณี (2558).
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถานการณ์การผลิตทุเรียน (ข้อมูลพยากรณ์ กรกฎาคม 2558)
[Online]. 2558. แหล่งที่มา: www.oae.go.th/download/prcai/farmcrop/durian.pdf
[27 พฤศจิกายน พ.ศ.2558]

ภาษาอังกฤษ

- American National Standard. Acoustical Performance Criteria, Design Requirements
and Guidelines for School, Part 1: Permanent Schools. Melville, NY:
Acoustical Society of America, 2010.
- Asdrubali, F. Green and Sustainable Material for Noise Control in Building. in 19th
International Congress on Acoustics, United Kingdom, 2007.
- ASTM International. Astm C384 Test Method for Impedance and Absorption of
Acoustical Materials by Impedance Tube Method. West Conshohocken, PA,
2016.

- . Astm C423 Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by Reverberation Room Method. West Conshohocken, PA, 2012.
- . Astm E90 Standard Test Method for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions and Element. West Conshohocken, PA, 2009.
- . Astm E1050 Standard Test Method for Impedance and Absorption Os Acoustical Materials Using Tube, Two Microphones and Digital Frequency Analysis System. West Conshohocken, PA, 2009.
- . Astm E1414 Standard Test Method for Airborne Sound Attenuation between Rooms Sharing a Common Ceiling Pltnum. West Conshohocken, 2016.
- Bastawde, K. B. Xylan Structure, Microbial Xylanases, and Their Mode of Action. Journal of Microbiology and Biotechnology 8 (1992): 355-68.
- Campbell, N. A., and J. B. Reece. Biology. Vol. 6th ed, San Francisco, California: Benjamin Cummings, 2001.
- Chareonvai, Sarocha, Joseph Khedari, Jongkit Hirunlabh, and Chanakan Asasutjarit. Development of Durian Fiber-Based Composite Material. in 2nd TSME international conference on Mechanical Engineering, Krabi, 2011.
- Cheng, K. K., J. A. Zhang, W. X. Ping, J. P. Ge, Y. J. Zhou, H. Z. Ling, and J. M. Xu. Sugarcane Bagasse Mild Alkaline/Oxidative Pretreatment for Ethanol Production by Alkaline Recycle Process. Appl Biochem Biotechnol 151, no. 1 (Oct 2008): 43-50.
- Desarnaulds, V., E. Costanzo, and A. Carvalho. Sustainability of Acoustic Characterization of Sustainable Materials. in 12th International Conference of Vibration and Sound, Lisbon, 2005.
- Doelle, L. L. Environmental Acoustic. NY: McGraw-Hill, 1972.
- Eriksson, K. E. L. Biotechnology in Pulp and Paper Industry. Wood Science and Technology 24 (1990): 79-101.
- Hemond, C. J. Engineering Acoustic and Noise Control. Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1983.

- Khedari, J., Noppanun Nankongnab, Jongjit Hirunlabh, and Sonbat Teekasap. New Low-Cost Insulation Particleboards from Mixture of Durian Peel and Coconut Coir. Building and Environment 39 (2004): 56-65.
- Lee, J. S., B. Parameswaran, J. P. Lee, and S. C. Park. Recent Developments of Key Technologies on Cellulosic Ethanol Production. Journal of Scientific & Industrial Research 67 (2008): 865-73.
- Nation Research Council. Acoustical Design of Rooms for Speech. Constuction Technology Update No. 51, Canada, 2002.
- Technical Association of Pulp and Paper Industry. Tappi T203 Cm-99. 1988.
- United State Green Building Council. Leadership in Energy & Environmental Design (Leed). Edited by 4th2014.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายหาญพารณ สามัคคีธรรม เกิดวันอังคารที่ 15 กันยายน พ.ศ.2530 จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสารสิทธิ์พิทยาลัย จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ภาควิชาสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2554 และได้เข้ารับการศึกษต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในสาขาสถาปัตยกรรม ในปีการศึกษา 2557

