

แผนดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา
Water Hyacinth Acoustic Board

พีชพรฤกษ์ ผาโพธิ์
พุทธิพงษ์ วงษ์บัณฑิตย์
วัชร นอยมาลา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

แผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา

Water Hyacinth Acoustic Board

| | |
|-----------|--------------|
| พัชรพฤกษ์ | ผาโพธิ์ |
| พุทธิพงษ์ | วงศ์บัณฑิตย์ |
| วัชร | น้อยมาลา |

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

Water Hycacinth Acoustic Board

Phatcharaphuek Phapho

Puttipong Wondbadith

Watchara Noimala

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAS 2017

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ แผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา
Water Hycacinth Acoustic Board

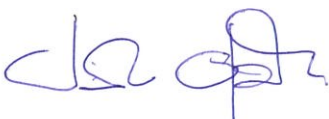
นักศึกษาผู้จัดทำ นายพัชรพลฤกษ์ ผาโพธิ์ รหัสนักศึกษา 57010867
 นายพุทธิพงษ์ วงษ์บัณฑิต รหัสนักศึกษา 57010932
 นายวัชร น้อยมาลา รหัสนักศึกษา 57011146

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

ปีการศึกษา 2560

| อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
|-------------------------------|--|
| ผศ.ดร. ประสันต์ ชุ่มใจหาญ |  |

| | | |
|--------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| หัวข้อปริญญานิพนธ์ | แผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากฝักตบชวา | |
| นักศึกษาผู้จัดทำ | นายพัชรพฤกษ์ ผาโพธิ์ | รหัสนักศึกษา 57010867 |
| | นายพุทธิพงษ์ วงษ์บัณฑิตย์ | รหัสนักศึกษา 57010932 |
| | นายวัชร น้อยมาลา | รหัสนักศึกษา 57011146 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร. ประสันต์ ชุ่มใจหาญ | |
| ปีการศึกษา | 2560 | |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากฝักตบชวาที่มีคุณภาพการดูดซับเสียงที่ใกล้เคียงกับวัสดุดูดซับเสียงมาตรฐาน เพื่อเป็นการนำฝักตบชวาที่ก่อปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมมาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ แผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากฝักตบชวาที่สร้างขึ้น ได้ผ่านการทดสอบค่าการสะท้อนและความแข็งแรง การทดลองทำโดยใช้คุณสมบัติการสะท้อนของเสียง มุมตบกระทบ เท่ากับ มุมสะท้อน โดยมีกล่องทดสอบ 2 กล่องทามุมเท่ากันกับแนวระนาบที่มุม 30 45 และ 60 องศา บริเวณภายในกึ่งกลางของกล่องทดสอบที่ 1 ทำการติดตั้งลำโพงสำหรับปล่อยสัญญาณเสียงที่มีความถี่ 200-6800 Hz ให้ตกกระทบกับแผ่นวัสดุและภายในกึ่งกลางของกล่องทดสอบที่ 2 ทำการติดตั้งไมโครโฟนสำหรับรับค่าสัญญาณเสียงที่ผ่านการสะท้อนจากแผ่นวัสดุ สำหรับวัสดุที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วย โฟมดูดซับเสียงมาตรฐาน แผงไข่ กระเจก โลหะ ไม้อัดผิวเรียบ และแผ่นดูดซับเสียงจากฝักตบชวาที่ความหนา 4 ขนาด คือ 0.25 0.5 1.0 และ 1.5 cm ผลการทดลองพบว่าแผ่นดูดซับเสียงจากฝักตบชวหากวัสดุมีความหนาที่เพิ่มขึ้นคุณภาพของการดูดซับเสียงของวัสดุยิ่งมีค่าเพิ่มขึ้น แต่วัสดุที่มีความหนา 1.5 cm จะมีปัญหาเกี่ยวกับการขึ้นรูป คือ วัสดุมีความโค้งงอและสูญเสียรูปร่าง ดังนั้นแผ่นดูดซับเสียงจากฝักตบชวาที่ความหนา 1.0 cm จึงเหมาะสมกับการใช้งาน โดยแผ่นดูดซับเสียงจากฝักตบชวามีคุณภาพใกล้เคียงกับโฟมดูดซับเสียงมาตรฐาน

คำสำคัญ: แผ่นดูดซับเสียง, ฝักตบชวา, การดูดซับเสียง, กระเจิงของเสียง

| | | | |
|----------------|------------------------------------|----------------------|--|
| Thesis Title | Water Hyacinth Acoustic Board | | |
| Authors | Phatchaphuek Phapho | Student NO. 57010867 | |
| | Puttipong Wondbadith | Student NO. 57010932 | |
| | Watchara Noimala | Student NO. 57011146 | |
| Thesis Advisor | Asst. Prof. Dr. Prasan Choomjaihan | | |
| Academic Year | 2017 | | |

Abstract

The aim of this study was to build the sound absorption and scattering board from water hyacinth which its efficiency was able to compare with the sound absorption made from foam. Water hyacinth (WH) was used as the raw material of the acoustic board for reducing the amount of water pollution plant and increasing the economical purposes. The acoustic board was tested its capability of reflection and of its strength. The hypothesis of this study was using that the angle of incident ray equals the angle of reflected ray. Two test tunnels were built which the angle between them was adjustable. The sound generator and the sound receiver were installed at the end of each tunnel. The absorption materials, used for testing, were absorption foam (AF), glass (G), metal plate (M), wooded board (W), egg tray (ET) and WH with 4 different thicknesses (0.25, 0.50, 1.0 and 1.5 cm). The result showed that increasing the thickness of WH increasing of the sound absorption quality which the WH at 1.5cm thickness gave the best result. However, at 1.5cm of thickness of WH was hard to build because the bending during the drying process. Therefore, the WH at 1.0cm was selected and its results gave the same quality of sound absorption as the acoustic foam.

Keywords: Acoustic board, water hyacinth, sound absorption, sound scattering

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยวิศวกรรมเกษตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำปรึกษาและการสนับสนุนอย่างสูงในทุกๆด้านจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสันต์ ชุ่มใจหาญ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยที่กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้นในงานวิจัยด้วยความทุ่มเทเป็นอย่างมาก คณะผู้จัดทำตระหนักถึงข้อนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ภัทรชัย วิชัยยะ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เสียสละเวลาในการอบรมสั่งสอนและให้ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในงานวิจัย ทำให้ผลงานวิจัยที่ออกมามีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ปานมนัส ศิริสมบุญ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือจนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อนึ่งคณะผู้จัดทำหวังว่าโครงการวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้โครงการฉบับนี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณาจารย์ บุคลากร ภายในภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านอย่างสุดซึ้ง

นายพัชรพฤกษ์ ผาโพธิ์

นายพุทธิพงษ์ วงษ์บัณฑิตย์

นายวัชร น้อยมาลา

สารบัญ

หน้า

| | |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | i |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ii |
| กิตติกรรมประกาศ..... | iii |
| สารบัญ..... | iv |
| สารบัญตาราง..... | vii |
| สารบัญรูป..... | viii |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความสำคัญและที่มา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตการศึกษา..... | 2 |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 มลภาวะที่เกิดจากผักตบชวา..... | 4 |
| 2.1.1 ปัญหาในแหล่งน้ำ..... | 4 |
| 2.2.2 ปัญหาการสาธารณสุข..... | 4 |
| 2.2 ผักตบชวาและการนำมาใช้ประโยชน์..... | 4 |
| 2.2.1 การทำสิ่งประดิษฐ์..... | 4 |
| 2.2.2 ด้านปศุสัตว์..... | 4 |
| 2.2.3 ด้านการเกษตร..... | 5 |
| 2.2.4 ด้านอาหาร..... | 5 |
| 2.2.5 ด้านสมุนไพร..... | 5 |
| 2.2.6 ด้านการบำบัดน้ำเสีย..... | 5 |
| 2.2.7 ด้านพลังงาน..... | 5 |
| 2.3 เสียงและมลภาวะทางเสียง..... | 5 |

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

| | |
|---|----|
| 2.3.1 เสียง..... | 5 |
| 2.3.2 มลภาวะทางเสียง..... | 5 |
| 2.4 ปฏิกิริยาการเกิดเสียงภายในพื้นที่ปิด..... | 6 |
| 2.4.1 การสะท้อนของเสียง..... | 6 |
| 2.4.2 การส่งผ่านเสียง..... | 7 |
| 2.4.3 เสียงสะท้อน..... | 8 |
| 2.4.4 เสียงก้อง..... | 8 |
| 2.5 การลดการเกิดเสียงสะท้อนและเสียงก้อง..... | 8 |
| 2.5.1 การดูดซับเสียง..... | 8 |
| 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 10 |
| บทที่ 3 การออกแบบและสร้าง..... | 12 |
| 3.1 การออกแบบและสร้างแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียง..... | 12 |
| 3.2 การออกแบบและสร้างกล่องทดสอบการสะท้อนกลับของเสียง..... | 14 |
| 3.3 โปรแกรม..... | 14 |
| 3.3.1 โปรแกรม Daqarta..... | 15 |
| 3.3.2 โปรแกรม Smaart..... | 15 |
| 3.4 การคำนวณหาค่าความสามารถการดูดซับของเสียง..... | 15 |
| 3.5 การทดสอบความแข็งแรงของแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา..... | 16 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง..... | 17 |
| 4.1 ผลการทดสอบความสามารถการดูดซับของเสียง..... | 17 |
| 4.1.1 ความสามารถในการดูดซับของเสียงจากแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา..... | 17 |
| 4.1.2 ความสามารถในการดูดซับของเสียงจากวัสดุต่างๆ..... | 19 |
| 4.1.3 ผลการทดสอบแรงดึงเพื่อดูความแข็งแรงของแผ่นวัสดุ..... | 21 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... | 23 |
| 5.1 ผลการทดลอง..... | 23 |
| 5.2 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ..... | 24 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--------------------|------|
| เอกสารอ้างอิง..... | 25 |
| ภาคผนวก..... | 27 |
| ภาคผนวก ก..... | 28 |
| ภาคผนวก ข..... | 35 |
| ภาคผนวก ค..... | 42 |
| ภาคผนวก ง..... | 67 |

สารบัญตาราง

หน้า

| | |
|---|---|
| ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน..... | 3 |
|---|---|

สารบัญรูป

หน้า

| | |
|---|----|
| รูปที่ 2.1 ลักษณะการสะท้อนของเสียง..... | 7 |
| รูปที่ 2.2 ลักษณะการดูดซับของเสียง..... | 8 |
| รูปที่ 3.1 แผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา..... | 13 |
| รูปที่ 3.2 แบบจำลองของกล่องทดสอบการสะท้อนกลับของเสียง..... | 14 |
| รูปที่ 3.3 กล่องทดสอบการสะท้อนกลับของเสียง..... | 14 |
| รูปที่ 3.4 โปรแกรม Daqarta แสดงค่าสัญญาณเสียงที่ความถี่ต่างๆ..... | 15 |
| รูปที่ 3.5 โปรแกรม Smaart แสดงค่าการวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่ความถี่ต่างๆ..... | 15 |
| รูปที่ 3.6 การทดสอบแรงดึงเพื่อหาความแข็งแรงของวัสดุดูดซับกับเครื่อง Texture Analyzer..... | 16 |
| รูปที่ 4.1 ความสามารถในการดูดซับของเสียงจากแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา..... | 18 |
| รูปที่ 4.2 ค่าความสามารถการดูดซับของเสียงจากวัสดุต่างๆ..... | 19 |
| รูปที่ 4.3 ค่าความสามารถในการต้านทานแรงดึงของแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา..... | 21 |
| รูปที่ 4.4 ค่าความเค้น (Stress) ของแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา..... | 21 |
| รูปที่ 4.5 ค่า Modulus of elasticity ของแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา..... | 22 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันผักตบชวาถือได้ว่าเป็นวัชพืชที่สร้างปัญหาอย่างมากในแหล่งน้ำสาธารณะต่างๆ ด้วยการแพร่ระบาดอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหาและส่งผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม เช่น การขนส่งและการสัญจรทางน้ำ น้ำเน่าเสีย ทางเดินน้ำหรือแหล่งกักเก็บน้ำตื้นเขิน กีดขวางการไหลระบายของแม่น้ำลำคลองในฤดูน้ำหลาก ก่อให้เกิดปัญหาน้ำล้นตลิ่งสร้างความเดือดร้อนให้แก่ประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่

ผักตบชวา (water hyacinth) เป็นวัชพืชที่มีถิ่นกำเนิดในแถบลุ่มน้ำเมซอนประเทศบราซิลในทวีปอเมริกาใต้ เนื่องจากมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ทนทานต่อสภาพแวดล้อม เป็นพืชที่มีท่อนลอยอยู่ได้ทั้งในน้ำนิ่งและน้ำไหล มีการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วทั้งทางเมล็ดและการแตกหน่อ ดังนั้นจึงทำให้มีการแพร่ระบาดอย่างรุนแรง ก่อให้เกิดปัญหาต่อแหล่งน้ำต่างๆทั่วประเทศและก่อผลเสียต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ผักตบชวามีอัตราการเจริญเติบโตสูงมาก มีการสะสมมวลชีวภาพได้สูงถึง 20 กรัม น้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรต่อวัน โดยมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 1.50% ต่อวัน ถ้าปล่อยให้ผักตบชวาเติบโตในแหล่งน้ำโดยเริ่มต้นจาก 500 กรัม น้ำหนักสดต่อตารางเมตร ในระยะเวลาเพียง 3 เดือนครึ่ง ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ให้มวลชีวภาพสูงถึง 40,580 กรัม น้ำหนักสดต่อตารางเมตร ในระยะเวลา 1 ปี ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตให้มวลชีวภาพสูงอยู่ในช่วง 717 ตัน น้ำหนักแห้งต่อไร่ ผักตบชวาจะเจริญเติบโตสูงสุดในช่วงเดือนเมษายนและมีการเจริญเติบโตต่ำสุดในช่วงเดือนมกราคม จากปัญหาดังกล่าวทางคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะนำผักตบชวามาสร้างแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา เพื่อเป็นการนำวัสดุที่ไม่มีมูลค่าและเปล่าประโยชน์ นำมาพัฒนาและแปรรูปให้เกิดประโยชน์ เพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ เป็นการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์และยั่งยืน โดยสถานที่สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของวัสดุจากผักตบชวา คือ CCA-301 ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นห้องเรียนขนาด 9.10*14.40*3.25 เมตร (กว้าง*ยาว*สูง) มีแผ่นผนังเป็นไม้อัดผิวราบเรียบ ส่งผลให้เกิดเสียงสะท้อนภายในห้องเรียน คุณภาพเสียงที่ได้รับจึงไม่มีความคมชัด ส่งผลให้ผู้เรียนได้ยินเสียงไม่ชัดเจน ทำให้การสื่อสารระหว่างผู้ส่งสารและผู้รับสารเกิดความผิดพลาด

ด้วยปัญหาที่กล่าวมาทั้งหมดทางคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการแก้ปัญหาในการเกิดเสียงก้องภายในห้องเรียน โดยใช้หลักการการลดเสียงสะท้อนจากวัสดุซับเสียงที่ทำมาจากวัสดุทางการเกษตรที่สังคมไม่ต้องการมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ช่วยลดปัญหาผักตบชวาขวางทางของเดินน้ำ และเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหา ปรับปรุง ห้องเรียนให้มีคุณภาพ ประสิทธิภาพ ในการการเรียนการสอนยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ทดสอบความสามารถของแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา โดยวิธีการวัดค่าการสะท้อนกลับของเสียงในแต่ละวัสดุ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

แผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงที่ผลิตจากผักตบชวา มีความสามารถในการดูดซับและกระเจิงเสียงใกล้เคียงกับโฟมดูดซับเสียงมาตรฐานและมีราคาที่ถูกกว่า

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | ปี/เดือน | | | | | | | |
|---|----------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 2550 | | | | | 2561 | | |
| | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. |
| 1. ค้นคว้าหาข้อมูลและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | ■ | ■ | | | | | | |
| 2. ทดลองวิธีต่างๆ สำหรับการขึ้นรูปและหาส่วนผสมที่เหมาะสม | | ■ | ■ | ■ | | | | |
| 3. ออกแบบแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียง | | | ■ | ■ | | | | |
| 4. สร้างแม่พิมพ์แผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา | | | ■ | ■ | | | | |
| 5. กำหนดสัดส่วนผสมของแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| 6. สร้างแผ่นดูดซับเสียงและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 7. สร้างอุปกรณ์ทดสอบแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียง | | | | ■ | ■ | | | |
| 8. ทดสอบแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียง | | | | | ■ | ■ | ■ | |
| 9. วิเคราะห์ข้อมูลและปรับปรุง | | | | | ■ | ■ | ■ | |
| 10. สรุปผลและเขียนรายงาน | | | | | | ■ | ■ | ■ |

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มลภาวะทางน้ำที่เกิดจากผักตบชวา

2.1.1 ปัญหาในแหล่งน้ำ

ผักตบชวาได้เข้ามาแพร่ระบาดในแหล่งน้ำจนก่อให้เกิดความเสียหายต่อแม่น้ำ คูคลองและระบบนิเวศในประเทศไทย ผักตบชวามีการแพร่ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วใน 1 เดือน ผักตบชวา 1 ต้นอาจขยายพันธุ์ได้มากถึง 1,000 ต้น ถึงแม่น้ำจะแห้งจนต้นตาย แต่เมล็ดของผักตบชวาก็ยังมีชีวิตต่อไปได้นานถึง 15 ปี และทันทีที่เมล็ดได้รับน้ำที่เพียงพอ มันก็จะแตกหน่อเป็นต้นใหม่ต่อไป จนกลายเป็นปัญหาทางน้ำ เป็นปัญหาต่อการสัญจรทางน้ำและต่อสภาวะแวดล้อม ซึ่งทวีความรุนแรงจนเป็นปัญหาระดับประเทศ ทำให้รัฐบาลต้องเสี่ยงบในการกำจัดผักตบชวา ซึ่งหน่วยงานและส่วนราชการต่างต้องใช้เวลาและงบประมาณในการกำจัดจำนวนมากในการกำจัดผักตบชวาตามแหล่งน้ำต่างๆ แต่ก็ยังไม่สามารถกำจัดให้หมดสิ้นไปได้

2.2.2 ปัญหาการสาธารณสุข

เป็นที่อาศัยของสัตว์น้ำซึ่งบางชนิดเป็นพาหะนำโรค เช่น หอยโข่งที่เป็นพาหะนำโรคพยาธิใบไม้ในตับ เป็นที่อาศัยของลูกน้ำของยุงนำโรคเท้าช้าง เป็นที่อาศัยวางไข่ของยุงอื่นๆ ทำให้การใช้จ่ายกำจัดในการกำจัดหอย เป็นไปได้โดยยากและสิ้นเปลืองมากและยังเป็นที่ยาอาศัยสัตว์ร้าย เช่น งูพิษ ซึ่งเป็นอันตรายต่อราษฎร

2.2 ผักตบชวาและการนำมาใช้ประโยชน์

2.2.1 การทำสิ่งประดิษฐ์

ใช้ทำเป็นของใช้ต่างๆ เช่น กระจเป้าถือ เปลญวน เครื่องจักสาน นำมาเป็นวัสดุสำหรับงานหัตถกรรม เช่น รองเท้าแตะ ตะกร้าใส่เสื้อผ้า ถาดรอง ผลไม้ ถาดรองแก้วน้ำ ถาดรองใส่กระดาษทิชชู ฯลฯ

2.2.2 ด้านปศุสัตว์

ใช้เป็นอาหารสัตว์ ใบผักตบชวาใช้นำมาเลี้ยงสุกร เลี้ยงไก่ เนื่องจากมีคุณค่าทางสารอาหารพบว่าใบผักตบชวาเมื่อนำมาตากแห้งมีโปรตีนประมาณร้อยละ 14-20 ไขมันร้อยละ 1-2.5 คากหรือเยื่อใยประมาณร้อยละ 17-19 คุณค่าทาง สารอาหารจะผันแปรตามความอ่อนแก่ของใบผักตบชวาใบอ่อนจะมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าใบแก่และขึ้นอยู่กับสัดส่วนของก้านและใบ โดยทั่วไปส่วนของใบจะมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าก้านใบ

2.2.3 ด้านการเกษตร

นำมาทำเป็นปุ๋ยหมักสำหรับการปลูกพวกพืชผักอื่นๆ คลุมต้นไม้ที่ปลูกเอาไว้ให้เกิดความชุ่มชื้นได้เป็นอย่างดี เนื่องจากผักตบชวามีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี ทำเป็นวัสดุปรับปรุงดินใช้ในการเพาะเห็ดโดยนำผักตบชวาชั้นมาจากน้ำปล่อยทิ้งเอาไว้ประมาณชั่วโมงเศษๆ ใช้มีดสับเป็นท่อนๆยาวประมาณ 5-10 ซม. ทั้งส่วนราก ลำต้นและใบ แล้วจึงนำไปเพาะเห็ดฟางได้เหมือนกับการเพาะโดยใช้ฟางข้าว

2.2.4 ด้านอาหาร ดอกอ่อนและก้าน ใบอ่อน กินเป็นผักลวกจิ้มน้ำพริกหรือทำแกงส้ม

2.2.5 ด้านสมุนไพร ใช้แก้พิษภายในร่างกาย และขับลม ใช้ทาหรือพอกแก้แผลอักเสบ

2.2.6 ด้านการบำบัดน้ำเสีย

ใช้ผักตบชวากรองน้ำเสีย เพราะผักตบชวามีคุณสมบัติทำหน้าที่เป็นตัวกรอง ซึ่งเรียกว่า เครื่องกรองน้ำธรรมชาติ คือ การนำผักตบชวาซึ่งเป็นวัชพืชที่มีอยู่มากมาทำหน้าที่ดูดซับความสกปรกและสารพิษจากแหล่งน้ำเน่าเสียและในขณะเดียวกันก็ต้องหมั่นนำผักตบชวาออกจากบึงทุกๆ 10 สัปดาห์เพื่อไม่ให้ผักตบชวามี การเจริญพันธุ์จนบดบังแสงแดดที่จะส่องลงไปใบบึง สถานที่แรกในประเทศไทยที่ใช้การบำบัดด้วยวิธีนี้คือ "บึงมกกะสัน" ซึ่งเป็นโครงการบึงมกกะสันอันเนื่องมาจากพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 9 โดยใช้หลักการบำบัดน้ำเสียตามแนวทฤษฎีการพัฒนาโดยการกรองน้ำเสียด้วยผักตบชวา

2.2.7 ด้านพลังงาน

โดยใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยใช้ผักตบชวาเป็นตัวเชื่อมประสานในการทำแท่งเชื้อเพลิงจากฟางข้าวและแกลบ

2.3 เสียงและมลภาวะทางเสียง

2.3.1 เสียง

เสียง (Sound) เป็นคลื่นกลที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุสั่นสะเทือนก็จะทำให้เกิดการอัดตัวและการขยายตัวของคลื่นเสียงและถูกส่งผ่านตัวกลาง อาจจะเป็นอากาศ น้ำ หรือของแข็ง เช่น โลหะ ไม้ พลาสติก อิฐ และคอนกรีต เป็นต้น ไปยังหู แต่สามารถเดินทางผ่านสสารในสถานะก๊าซของเหลว และของแข็งก็ได้ แต่ไม่สามารถเดินทางผ่านสุญญากาศได้ เมื่อการสั่นสะเทือนนั้นมาถึงหูมันจะถูกแปลงพัลส์ประสาท ซึ่งจะถูกส่งไปยังสมอง ทำให้เรารับรู้และจำแนกเสียงต่างๆได้

2.3.2 มลภาวะทางเสียง

เป็นสภาวะที่ก่อให้เกิดเสียงที่มีการรบกวน อาจมาจากแหล่งกำเนิดเสียงต่างๆทั้งจากมนุษย์ สัตว์ หรือเครื่องจักรต่างๆ โดยหากเกิน 85 เดซิเบล จะเป็นอันตรายต่อหู ยิ่งถ้าเกิน 90 เดซิเบล จะเป็นอันตรายต่อหูอย่างมาก ดังนั้นไม่ควรเข้าไปใกล้บริเวณที่มีเสียงดังเกินจะรับได้ โดยมลภาวะทางเสียงส่งผล

กระทบต่อกิจกรรมต่างๆมากมาย เช่น รบกวนการนอนหลับ สร้างความรำคาญ (Annoyance) รบกวนการทำงานและลดประสิทธิภาพของการทำงาน รบกวนการติดต่อสื่อสารและอื่นๆ ดังรายงานผลของเสียงรบกวนที่มีต่อการทำงาน ดังนี้ (Harmelink, M.D, 1970)

1. เสียงที่มีระดับตั้งแต่ 90 dB ขึ้นไปจะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน
2. ระดับเสียงที่เปลี่ยนค่าอย่างรวดเร็วจะรบกวนการทำงานตามลักษณะของการเปลี่ยนแปลง
3. เสียงรบกวนจะไม่ทำให้อัตราเร็วในการทำงานลดลง แต่จะทำให้ขาดความถูกต้องแม่นยำ
4. การอ่านหนังสือจะอ่านจำนวนหน้าได้มากขึ้น แต่ความเข้าใจและการจับใจความจะน้อยลง

ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำวัสดุต่างๆ มาใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียง โดยสาเหตุที่วัสดุสามารถดูดซับเสียงได้ต่อเนื่อง เนื่องจากเมื่อเสียงตกกระทบวัตถุใดๆก็ตาม เสียงส่วนหนึ่งจะเกิดการสะท้อน อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและส่งผ่านเข้าไปในวัตถุทำให้พลังงานลดลง เนื่องจากถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและลักษณะของวัตถุนั้น (ทวีสุขพันธุ์เพ็ง, 2529)

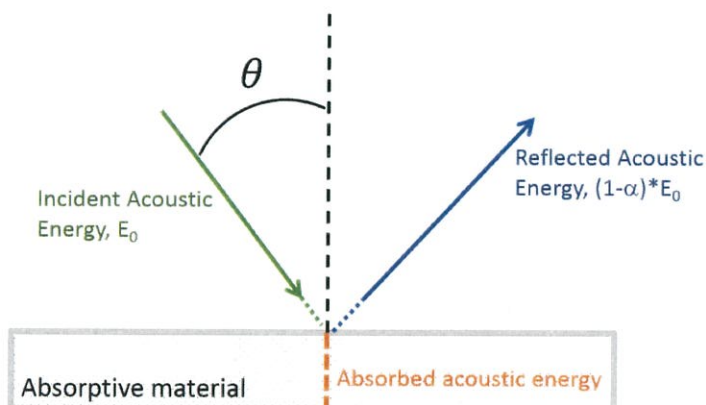
วัสดุที่ผลิตขึ้นเพื่อประโยชน์ในการนี้เรียกว่า วัสดุดูดซับเสียง (Acoustical Materials) ซึ่งอาจจะเป็นจำพวกไม้อัดหรือวัสดุอย่างอื่นก็ได้ โดยเฉพาะที่มีผิวนิ่มหรือรูพรุน ถ้าใช้วัสดุเหล่านี้และวางในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้วทุกๆ คนในโรงภาพยนตร์หรือโรงละครย่อมจะได้ยินเสียงชัดเจนและไพเราะทั่วถึงกันหมด ไม่ว่าจะนั่งอยู่ที่จุดใดของห้องก็ตาม ตัวอย่าง เช่น มุมของที่อาจจะเป็นมุมอับของเสียงสถาปนิกอาจติดตั้งวัสดุดูดซับหรือเพดานที่มีการสะท้อนเสียงจากมุมอื่นมาช่วยเสริมเสียงตรงมุมอับก็ได้ หรือในส่วนที่มีเสียงสะท้อนมากๆ จนฟังไม่รู้เรื่อง อาจแก้ไขโดยการบุวัสดุดูดซับเสียงหรือวัสดุดูดซับเสียงในบริเวณนั้นๆ เพราะฉะนั้นการออกแบบห้องและการบุวัสดุในแต่ละส่วนของห้องไม่จำเป็นจะต้องบุวัสดุดูดซับเสียงทั่วทั้งห้อง

2.4 ปรากฏการณ์ของเสียงภายในพื้นที่ปิด

2.4.1 การสะท้อนของเสียง (Reflection of sound)

เมื่อคลื่นเสียงแผ่กระจายจากแหล่งกำเนิดมากกระทบกับสิ่งกีดขวางหรือบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติอย่างรวดเร็วของตัวกลางจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การสะท้อน ขึ้นที่ผิวของตัวกลางหรือสิ่งกีดขวางที่คลื่นเสียงตกกระทบเหมือนลูกบอลที่ตกกระทบกำแพงแล้วสะท้อนกลับออกมา (Merken M., 1989) นอกจากกรณีนี้วัสดุซึ่งเสียงตกกระทบเป็นวัสดุดูดซับเสียงตามที่ได้ผลิตมาให้เหมาะกับงานหนึ่งๆ โดยเฉพาะจึงมีการสะท้อนเสียงได้น้อย แม้ว่าผู้สังเกตต้องการรับเสียงตรง แต่ก็อาจมีเสียงสะท้อนออกมาบ้าง สำหรับในชีวิตประจำวันนั้น ถ้าเสียงสะท้อนเคลื่อนที่กลับมาถึงผู้สังเกตโดยมีช่วงเวลาห่างจากเสียงตรงน้อยกว่า 0.1 วินาที ผู้สังเกตจะได้ยินเสียงตรงและเสียงสะท้อนรวมกัน

เป็นเสียงเดียว แต่ถ้าเสียงสะท้อนเคลื่อนที่กลับมาถึงผู้สังเกตใช้เวลามากกว่า 0.1 วินาที ผู้สังเกตจะได้ยินเสียงสะท้อนแยกกับเสียงตรงในลักษณะที่ซ้ำกัน ซึ่งเรียกว่า เสียงสะท้อน (สมพงษ์ ใจดี, 2523)



รูปที่ 2.1 ลักษณะการสะท้อนของเสียง

2.4.2 การส่งผ่านเสียง (Sound Transmission)

เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบวัสดุกันเสียง วัสดุนั้นจะเกิดการสั่นตัว เช่น กำแพงหรือผนัง ซึ่งการสั่นตัวในลักษณะนี้เป็นสาเหตุให้อากาศที่อยู่ใกล้เคียงวัสดุดังกล่าวทั้งสองด้านมีการสั่นตัวตามไปด้วย ส่งผลให้วัสดุที่คลื่นเสียงตกกระทบนั้นประพุดิตัวเหมือนแหล่งกำเนิดเสียงอันใหม่ ซึ่งสนามเสียงใหม่อันเกิดจากวัสดุนี้จะมีพลังงานน้อยกว่าพลังงานเสียงตอนแรก ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานของคลื่นเสียงที่ตกกระทบวัสดุกันเสียงถูกใช้ไปสำหรับทำให้วัสดุนั้นเกิดการสั่นตัว โดยลักษณะสมบัติของวัสดุกันเสียงนั้น สามารถบ่งบอกได้ด้วยการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss, TL) ซึ่งค่านี้เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุแต่ละชนิด (Thumann A and Miller RM, 1986) โดยค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss, TL) สามารถคำนวณได้จาก

$$TL = L_1 - L_2 + 10 \log S/A_2 \quad (2.1)$$

เมื่อ TL คือ ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน, dB

L_1 คือ ค่าเฉลี่ยระดับความดังเสียงในห้องกำเนิดเสียง, dB

L_2 คือ ค่าเฉลี่ยระดับความดังเสียงในห้องรับเสียง, dB

S คือ พื้นที่แผ่นวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ, m^2

A_2 คือ ค่าความสามารถในการดูดซับเสียงของห้องรับเสียง หลังจากติดตั้งแผ่นวัสดุ, m^2

2.4.3 เสียงสะท้อน (Echo)

เมื่อเสียงใช้เวลาในเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดถึงหูผู้ฟังใช้เวลามากกว่า 0.1 วินาที (โดยมนุษย์มีประสาทรับรู้การได้ยินที่ความเร็วของเสียงมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 วินาที) จะทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงมากกว่าหนึ่งครั้ง ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า เสียงสะท้อน หรือ Echo

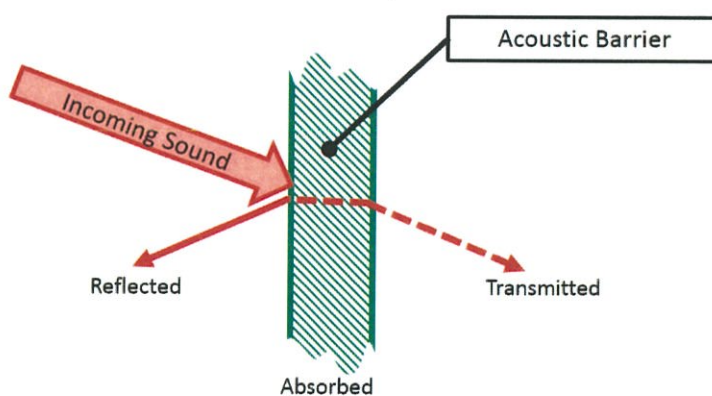
2.4.4 เสียงก้อง (Reverberation)

เมื่อเสียงเดินทางจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงหูผู้รับใช้เวลาน้อยกว่า 0.1 วินาที (โดยมนุษย์มีประสาทรับรู้การได้ยินที่ความเร็วของเสียงมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 วินาที) ในพื้นที่หรือในระยะทางสั้นๆ จะทำให้เสียงสะท้อนไปมาหลายครั้ง แล้วจึงเดินทางมายังหูผู้ฟังหลายครั้งเช่นกัน ทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงหลายครั้งแต่ไม่สามารถแยกเสียงนั้นๆ ได้ทำให้ได้ยินเป็นเสียงเดียวแต่ไม่ชัดเจน ปรากฏการณ์นี้เราเรียกว่า เสียงก้อง หรือ Reverberation sound

2.5 การลดการเกิดเสียงสะท้อนและเสียงก้อง

2.5.1 การดูดซับเสียง (Sound Absorption)

การดูดซับเสียง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงผลรวมของพลังงานเสียงที่ลดน้อยลงเมื่อผ่านตัวกลางใดๆ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า การดูดกลืนเสียง คือ ความสามารถของวัสดุในการดูดกลืนพลังงานเสียงและเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน (Olivo CT and Olivo TP, 1978) โดยวัสดุที่สามารถดูดซับคลื่นเสียงได้ดีจะเป็นวัสดุจำพวกเส้นใย (Fibrous) และ วัสดุพรุน (Porous) เมื่อเสียงกระทบวัสดุใดๆ เสียงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและส่งผ่านเข้าไปในวัสดุนั้น ทั้งนี้จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและคุณลักษณะของวัสดุนั้นเป็นสำคัญ (ทวิสุข พันธุ์เพ็ง, 2529)



รูปที่ 2.2 ลักษณะการดูดซับของเสียง

โดยดัชนีที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงของวัสดุแต่ละชนิด คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficients) คลื่นเสียงที่ผ่านเข้าไปในวัสดุที่เสียงนั้นตกกระทบจะมีพลังงานลดลง เนื่องจากพลังงานส่วนหนึ่งถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานความร้อน โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficients, α) สามารถคำนวณได้จาก (ASTM C423, 1998)

$$\alpha = (A_2 - A_1) / S \quad (2.2)$$

เมื่อ A_2 คือ ค่าความสามารถในการดูดซับเสียงของห้องหลังจากนำวัสดุเข้าไปติดตั้งภายใน, m^2

A_1 คือ ค่าความสามารถในการดูดซับเสียงของห้องทดลองก่อนนำแผ่นวัสดุเข้าไปติดตั้ง, m^2

S คือ ขนาดของแผ่นวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ, m^2

โดยค่าความสามารถในการดูดซับเสียง (Sound Absorption) สามารถคำนวณได้จาก สมการ ที่ 2.3. (ASTM C423, 1998)

$$A_n = 0.9210V d / C \quad (2.3)$$

เมื่อ A_n คือ ค่าความสามารถในการดูดซับเสียง, m^2

V คือ ปริมาตรของห้องที่ใช้ในการทดลอง, m^3

d คือ อัตราการสลายตัวของพลังงานเสียง (rate of decay), dB/sec

C คือ ความเร็วเสียง, m/s คำนวณได้จากสมการที่ 2.4.

$$C = 20.047\sqrt{273.15 + t} \quad (2.4)$$

เมื่อ t คือ อุณหภูมิ, $^{\circ}C$

และสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) ได้ โดยการนำค่าประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของวัสดุที่ความถี่ 250 500 1000 และ 2000 Hz มาทำการเฉลี่ย ดังสมการที่ 2.5

$$NCR = \frac{(\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000})}{4} \quad (2.5)$$

โดยสามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) เป็นตัวเลขที่จะระบุได้ถึงความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุ โดยที่ NRC คือค่าเฉลี่ยของ SAC ที่ถูกวัดที่ 250, 500, 1,000, 2,000 Hz และปิดเศษให้อยู่ที่ 0.05 โดยทั่วไปค่า NRC จะต้องมีค่ามากกว่า 0.40 ถึงจะถือว่าเป็นวัสดุดูดซับเสียง (Acoustic) วัสดุที่มีรูพรุน ผนังจะยอมให้คลื่นเสียงทะลุผ่านไปได้น้อยมาก ซึ่งจะเป็นที่ที่พลังงานเสียงจะเปลี่ยนเป็นความร้อนเนื่องจาก ความเสียดทานระหว่างช่องอากาศกับเส้นใยวัสดุประเภทนี้สามารถมีค่า NRC ได้มากถึง 0.95 – 1.00 ขึ้นอยู่กับความหนาของฉนวน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

AL-Raman, LA. et.al (2012) ได้ทำการศึกษาผลของความหนาขึ้นงานวัสดุดูดซับเสียงที่มีต่อผลการดูดซับเสียง พบว่า ความหนาที่เพิ่มมากขึ้นของชั้นงานเส้นใยอินทผลาล์มที่ถูกอัดเป็นแผ่นด้วยยางลาเท็กซ์ และทำการควบคุมน้ำหนักของเส้นใยให้คงที่ มีผลทำให้สมบัติการดูดซับมีแนวโน้มมากขึ้น และการมีอยู่ของยางลาเท็กซ์ช่วยให้การกระจายตัวของเสียงเกิดได้ดียิ่งขึ้น

ปริญญาานิพนธ์ของ นายรัฐวุฒิ ยอดแก้ว และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำกลับมาพัฒนาเป็นเพดานอาคารที่ดูดซับเสียง โดยการทดลองได้นำกลับมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฝ้าเพดานขนาด 50x50 cm. หนา 1 cm. ด้วยการนำไปผสมกับวัสดุประสาน คือ กาวผง(กาวแดง) กาวลาเท็กซ์ และยางพารา แล้วนำไปทดสอบคุณภาพของการดูดซับเสียง แล้วนำไปเปรียบเทียบกับวัสดุฝ้าเพดานและฉนวนกันเสียงที่มีอยู่ในท้องตลาด ผลการทดลองพบว่าแผ่นฝ้าเพดานจากกลบในอัตราส่วนผสมกับวัสดุประสานโดยปริมาตร 5:1(กลบ:กาวผง) มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงที่ดีกว่าแผ่นยิปซัมบอร์ดและแผ่นอคูสติคบอร์ด

ปริญญาานิพนธ์ของ ดร.กัลทิมา เขาว์ชาญชัยกุล และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยในธรรมชาติและผลของชนิด และปริมาณของเส้นใยธรรมชาติต่อการพัฒนาวัสดุซับเสียงจากวัสดุยางพาราธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.15%โดยน้ำหนัก ใช้เวลา 30 นาที ในการปรับผิวของเส้นใย และเส้นใยธรรมชาติที่ถูกใช้ คือ เส้นใยของชานอ้อยและเส้นใยของปาล์มน้ำมัน โดยทำการประเมินหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวจากอัตราส่วนระหว่างความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(L/D) ของเส้นใยธรรมชาติ ผลการทดลองพบว่า ค่า L/D มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH สูงขึ้น

ปริญญาานิพนธ์ของ ดร.นิตยา พัดเกาะ (2559) ได้ทำการผลิตและศึกษาคุณสมบัติฉนวนผนังเบาจากเส้นใยชานอ้อย โดยใช้กาวสังเคราะห์ไฮโซยานเตเรซิน (pMDI) 10% และกาวพอลิแลคติกแอซิด (PLA) 10% ทำหน้าที่เป็นตัวประสานยึดติด โดยอัดความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ด้วย

แรงดันในการอัด 150 kg/ m^2 มีความหนาแน่น $400\text{-}600 \text{ kg/ m}^3$ และความหนาแผ่น 15 mm. และ 20 mm. ผลการทดสอบได้ข้อสรุปว่า สมบัติความร้อนแผ่นฉนวนจากเส้นชานอ้อยจัดเป็นฉนวนความร้อนที่ดีประเภทหนึ่ง

บทที่ 3

การออกแบบและสร้าง

แนวคิดในการออกแบบและสร้างแผ่นดูดซับเสียงและกระเจิงเสียงจากผักตบชวาในโครงการวิศวกรรมเกษตรนี้ โดยพิจารณาจากปัญหาและผลกระทบของผักตบชวาที่มีการระบาดอย่างรุนแรงตามแหล่งน้ำต่างๆพบว่า ปริมาณเส้นใยของผักตบชวามีค่อนข้างมากและยาวเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชีวมวลชนิดอื่นๆ เมื่อนำไปผ่านกระบวนการปรับโครงสร้างโดยการผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แล้วนำไปต้ม จะได้เส้นใยที่มีปริมาณยาวจึงก่อให้เกิดปัญหาในการขึ้นรูป เพราะฉะนั้นในการขึ้นรูปแผ่นดูดซับเสียงและกระเจิงเสียงควรพิจารณาดังต่อไปนี้

1. อัตราส่วนของส่วนผสมระหว่าง ปริมาณของผักตบชวากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่เหมาะสมต่อการนำไปต้มเพื่อให้ผักตบชวาปรับโครงสร้างเป็นเส้นใย
2. การยึดเกาะ ความละเอียด และความเป็นรูพรุนของเส้นใยจากผักตบชวา
3. ความสามารถและประสิทธิภาพในการดูดซับและกระเจิงเสียงของแผ่นวัสดุ
4. ความแข็งแรง ขนาด และน้ำหนักของแผ่นวัสดุ

จากที่กล่าวมาข้างต้นในการออกแบบและสร้างแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียง สามารถกำหนดข้อกำหนดหรือเรียกอีกอย่างว่า ขอบเขตในการออกแบบและสร้างแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียง มีความสามารถและประสิทธิภาพตรงตามความต้องการและวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบ จึงมีข้อกำหนดดังนี้

1. ลำต้นของผักตบชวาหั่นให้มีขนาด 1 นิ้ว (2.54 เซนติเมตร)
2. อัตราส่วนผสมระหว่าง ปริมาณของผักตบชวา 1 กิโลกรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 6 ซ่อนโต๊ะ น้ำ 2 ลิตร
3. หม้อหุงต้มอลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 เซนติเมตร ความสูง 20.6 เซนติเมตร และมีความจุ 22.6 ลิตร
4. เวลาที่ใช้ในการต้มคือ 2 ชั่วโมง
5. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบคือ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.1. การออกแบบและสร้างแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียง

3.1.1. กระบวนการสร้างแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา มีกระบวนการดังนี้

1. เก็บผักตบชวาจากแหล่งน้ำบริเวณรอบๆ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเลือกใช้เฉพาะส่วนลำต้น เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยมากกว่าส่วนอื่นๆ

2. หั่นผักตบชวาให้มีขนาด 1 นิ้ว (2.54 เซนติเมตร) เนื่องจากการทดลองพบว่าหากนำต้นผักตบชวาไปต้มทันทีพบว่า ความละเอียดของเส้นใยน้อย การยืดเกาะของเส้นใยน้อย และความเป็นรูปทรงของวัสดุมาก เมื่อหั่นผักตบชวาให้มีขนาด 1 นิ้ว แล้วนำไปต้มพบว่า ความละเอียดของเส้นใยค่อนข้างมาก การยืดเกาะของเส้นใยมาก และความเป็นรูปทรงของวัสดุปานกลาง ซึ่งการนำมาหั่นให้มีขนาด 1 นิ้ว มีคุณสมบัติที่ดีและเหมาะสมในการนำไปขึ้นรูปวัสดุมากกว่าการนำต้นผักตบชวาไปต้มทันที

3. นำผักตบชวาขนาด 1 นิ้ว ปริมาณ 1 กิโลกรัม ผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 6 ซ่อนโตะ และน้ำ 2 ลิตร

4. นำผักตบชวาที่ผ่านการผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และน้ำ ไปต้มในหม้อหุงต้มอลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 เซนติเมตร ความสูง 20.6 เซนติเมตร และมีความจุ 22.6 ลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าโครงสร้างของผักตบชวาถูกปรับสภาพเป็นเส้นใย

5. นำเส้นใยของผักตบชวาไปล้างน้ำสะอาด 3-4 ครั้ง หลังจากนั้นนำไปอัดลงในแม่พิมพ์ให้เต็มและกดด้วยวัสดุผิวเรียบบริเวณด้านบนของแม่พิมพ์

6. นำแม่พิมพ์ที่ผ่านการอัดเส้นใยไปอบด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

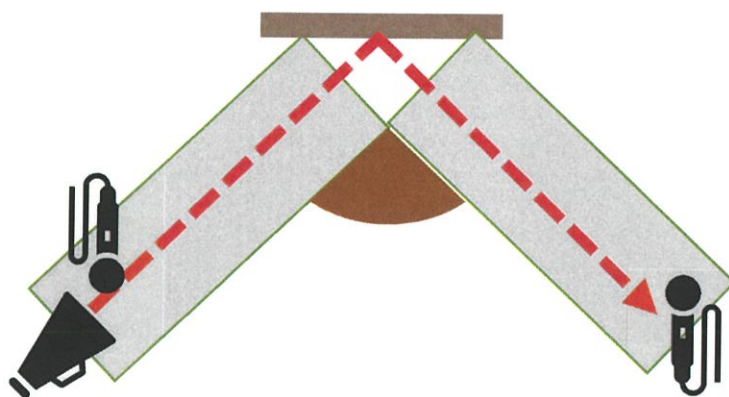
7. นำแผ่นวัสดุที่ได้ไปทดสอบหาค่าการสะท้อนกลับของเสียงเปรียบเทียบกับโฟมดูดซับเสียงมาตรฐาน ด้วยกล่องการทดสอบที่สร้างขึ้นมา



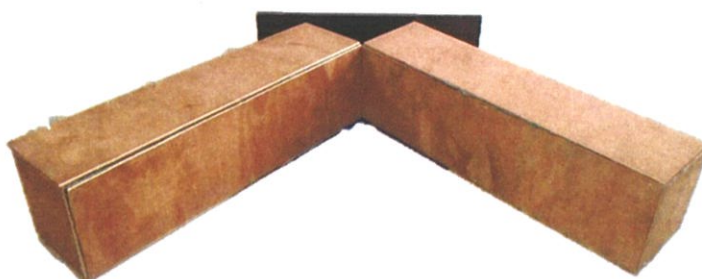
รูปที่ 3.1 แผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา

3.2 การออกแบบและสร้างกล่องทดสอบการสะท้อนกลับของเสียง

สำหรับการออกแบบและสร้างกล่องทดสอบการสะท้อนกลับของเสียงจะอาศัยคุณสมบัติการสะท้อนของเสียง เนื่องจากเสียงเป็นพลังงานชนิดหนึ่ง เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบสิ่งกีดขวางจะทำให้เกิดการสะท้อนของเสียงในมุมที่มีขนาดเท่ากับมุมที่ตกกระทบ (มุมของเสียงตกกระทบเท่ากับมุมของเสียงสะท้อน) โดยทำการสร้างกล่องทดลองสี่เหลี่ยม 2 กล่อง แต่ละกล่องมีขนาด 30x122x30 เซนติเมตร (กว้างxยาวxสูง) ทำยกกล่องปิดและปากกล่องเปิด ผนังภายในกล่องบุด้วยผ้าผวยทุกด้านและที่บริเวณด้านท้ายภายในกล่องทดลองที่ 1 ติดตั้งลำโพงเพื่อปล่อยสัญญาณเสียงให้ตกกระทบวัสดุทดสอบ และติดตั้งไมโครโฟนที่บริเวณด้านหน้าลำโพงและด้านท้ายภายในกล่องทดลองที่ 2 เพื่อวัดค่าผลต่างการสะท้อนกลับของเสียงก่อนตกกระทบและหลังสะท้อนกับแผ่นวัสดุ ดังรูปที่ 3.1. และรูปที่ 3.2.



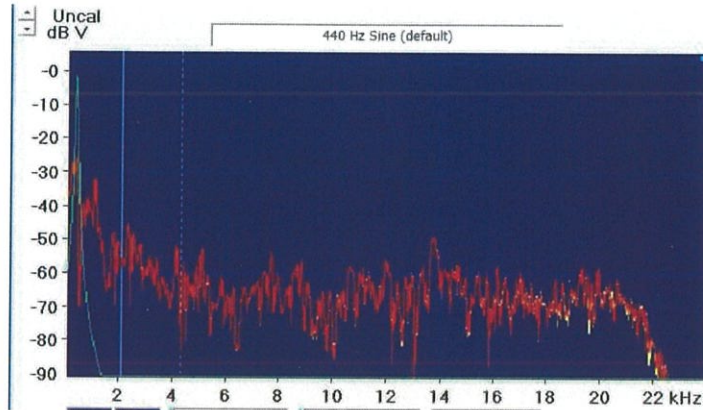
รูปที่ 3.2 แบบจำลองของกล่องทดสอบการสะท้อนกลับของเสียง



รูปที่ 3.3 กล่องทดสอบการสะท้อนกลับของเสียง

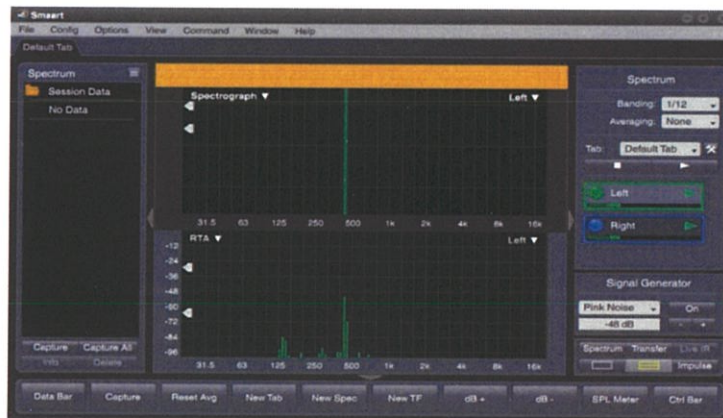
3.3 โปรแกรม

3.3.1 โปรแกรม Daqarta ในการปล่อยค่าสัญญาณของเสียงที่ความถี่ 200-6800 Hz



รูปที่ 3.4 โปรแกรม Daqarta แสดงค่าสัญญาณเสียงที่ความถี่ต่างๆ

3.3.2 โปรแกรม Smaart ในการวิเคราะห์ค่าสัญญาณของเสียงที่ความถี่ 200-6800 Hz



รูปที่ 3.5 โปรแกรม Smaart แสดงค่าการวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่ความถี่ต่างๆ

3.4 การคำนวณหาค่าความสามารถการดูดซับของเสียง โดยใช้ค่าผลต่างการสะท้อนกลับของเสียงเปรียบเทียบกับโพลดูดซับมาตรฐาน

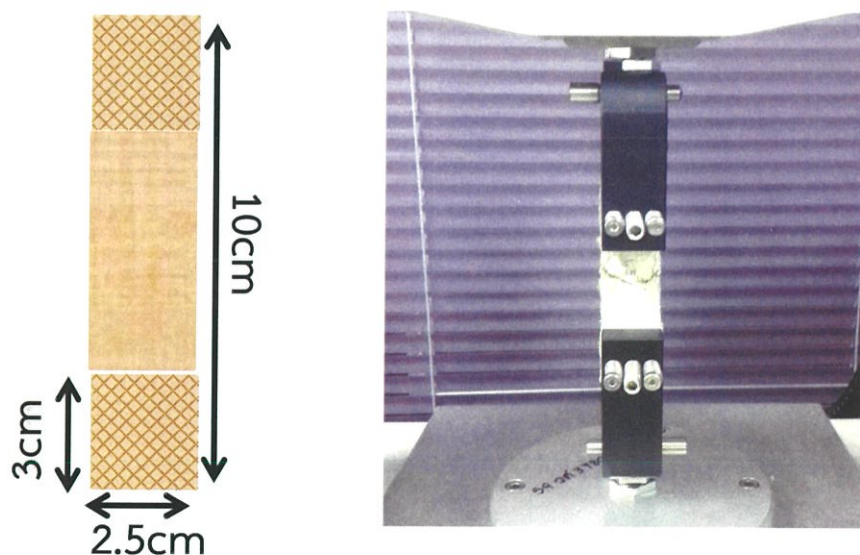
สำหรับการทดสอบความสามารถการดูดซับของแต่ละวัสดุ โดยการทดสอบการสะท้อนกลับของเสียงสามารถทำได้โดยการนำระดับพลังงานที่วัดได้จากปากลำโพงลบกับระดับพลังงานที่วัดได้จากท้ายกล่องทดสอบที่ 2 หลังจากสะท้อนกับวัสดุ ซึ่งค่าผลต่างที่ได้ คือ ความสามารถในการดูดซับของวัสดุ

แต่ละชนิด หลังจากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับค่าความสามารถในการดูดซับของโพรดักต์มาตรฐาน ค่าที่ได้ คือ อัตราส่วนการเปรียบเทียบกับโพรดักต์มาตรฐาน สำหรับอัตราส่วนการเปรียบเทียบระหว่างโพรดักต์มาตรฐานกับตัวโพรดักต์มาตรฐานเองจะมีค่าเท่ากับ 1

$$\text{อัตราส่วนความสามารถการดูดซับของวัสดุ} = \frac{\Delta dB \text{ ของโพรดักต์มาตรฐาน (dB)}}{\Delta dB \text{ ของวัสดุแต่ละชนิด (dB)}} \quad (3.1)$$

3.5 การทดสอบความแข็งแรงของแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา

นำแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงที่ผลิตขึ้นมาทดสอบแรงดึงเพื่อดูความแข็งแรงของวัสดุ โดยนำวัสดุดูดซับเสียงที่ผลิตขึ้นมาตัดให้ได้ขนาด 2.5x10 cm แล้วนำมาทดสอบด้วยเครื่อง Texture Analyzer บริเวณด้านปลายขนาด 3 cm ทั้งสองข้างของตัวอย่างวัสดุดูดซับเสียงมีไว้เพื่อใช้ในการติดตั้งกับเครื่อง Texture Analyzer โดยลักษณะตัวอย่างวัสดุดูดซับเสียงที่ใช้ในการทดสอบและลักษณะการติดตั้งกับเครื่อง Texture Analyzer แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.6 การทดสอบแรงดึงเพื่อหาความแข็งแรงของวัสดุดูดซับกับเครื่อง Texture Analyzer

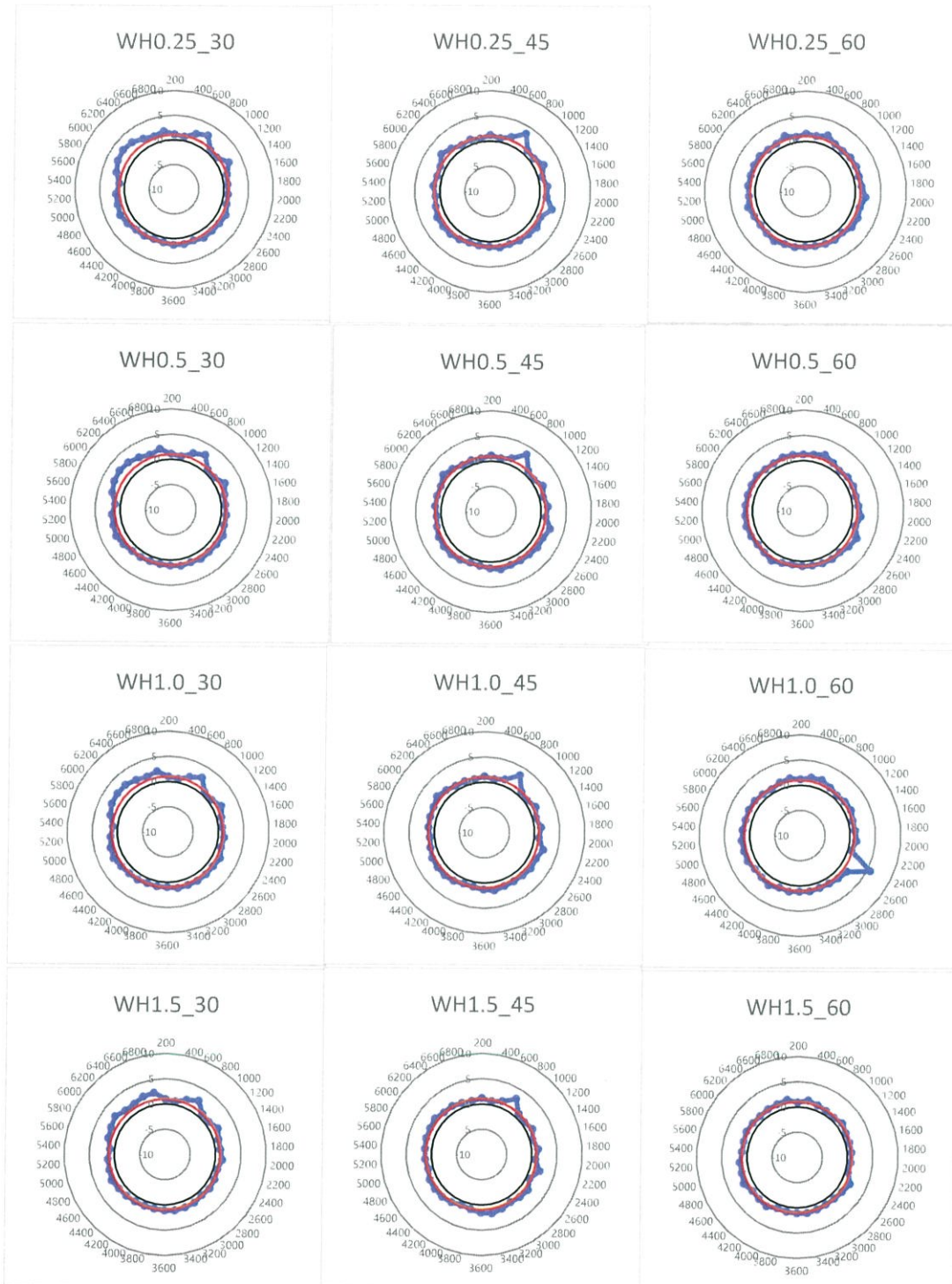
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบค่าความสามารถการดูดซับของเสียงจากแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจาก ผักตบชวาและวัสดุชนิดอื่นๆ

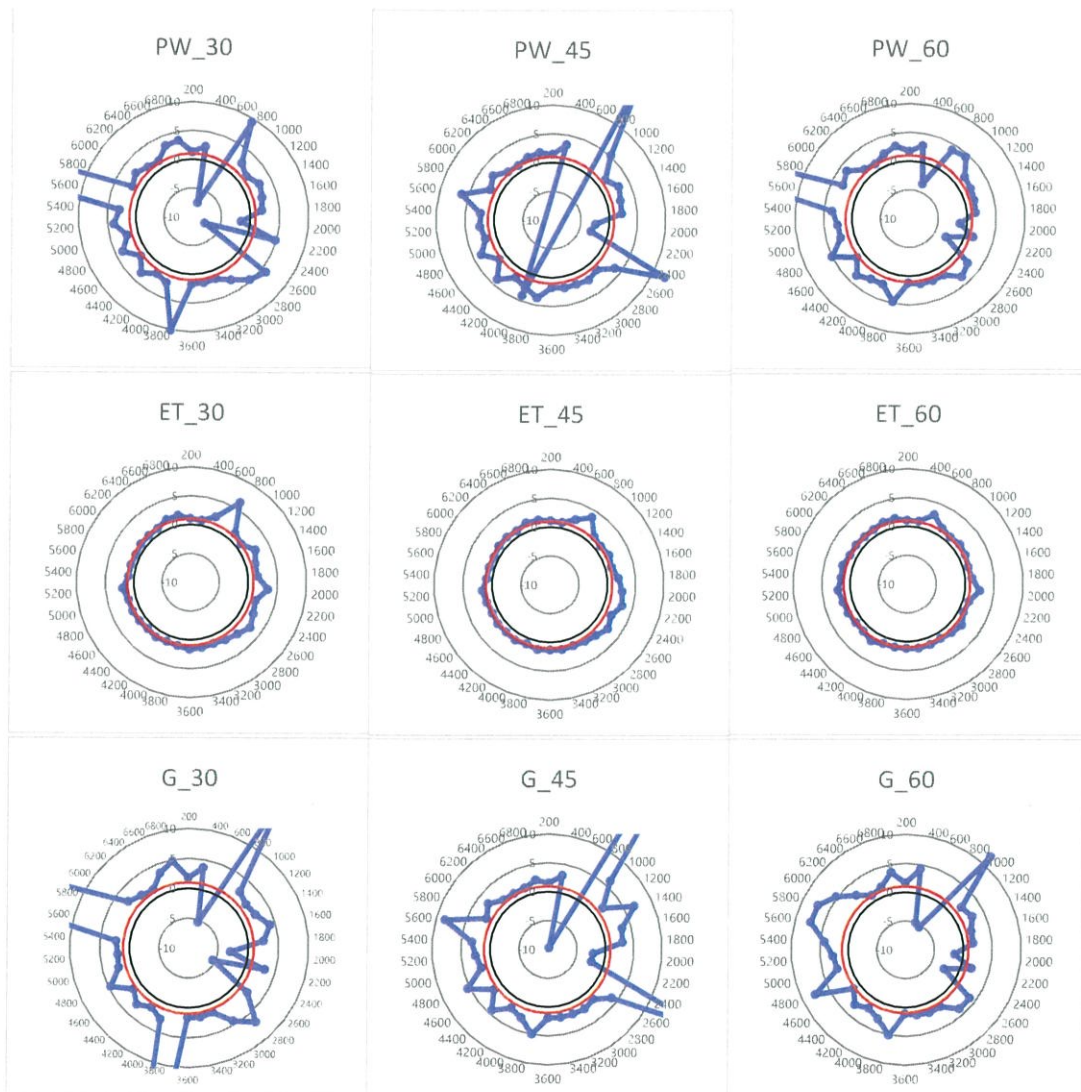
จากการทดสอบค่าการสะท้อนกลับของเสียงด้วยแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวากับ วัสดุชนิดต่างๆ โดยใช้โปรแกรม Daqarta ในการปล่อยค่าสัญญาณเสียงที่ความถี่ 200-6800 Hz และใช้ โปรแกรมSmaart ในการวิเคราะห์ค่าผลต่างการสะท้อนกลับของวัสดุ โดยให้กล่องทดสอบทำมุม 30, 45 และ 60 องศา วัสดุจากผักตบชวามีความหนา 0.25, 0.5, 1.0 และ 1.5 cm สำหรับค่าที่ได้หากเข้า ใกล้ 1 หรือ ต่ำกว่า 1 หมายความว่าวัสดุนั้นๆสามารถดูดซับได้ดีเท่ากับหรือดีกว่าแผ่นดูดซับเสียง มาตรฐาน ตัวอย่างผลการทดสอบค่าการดูดซับของเสียงมีดังต่อไปนี้

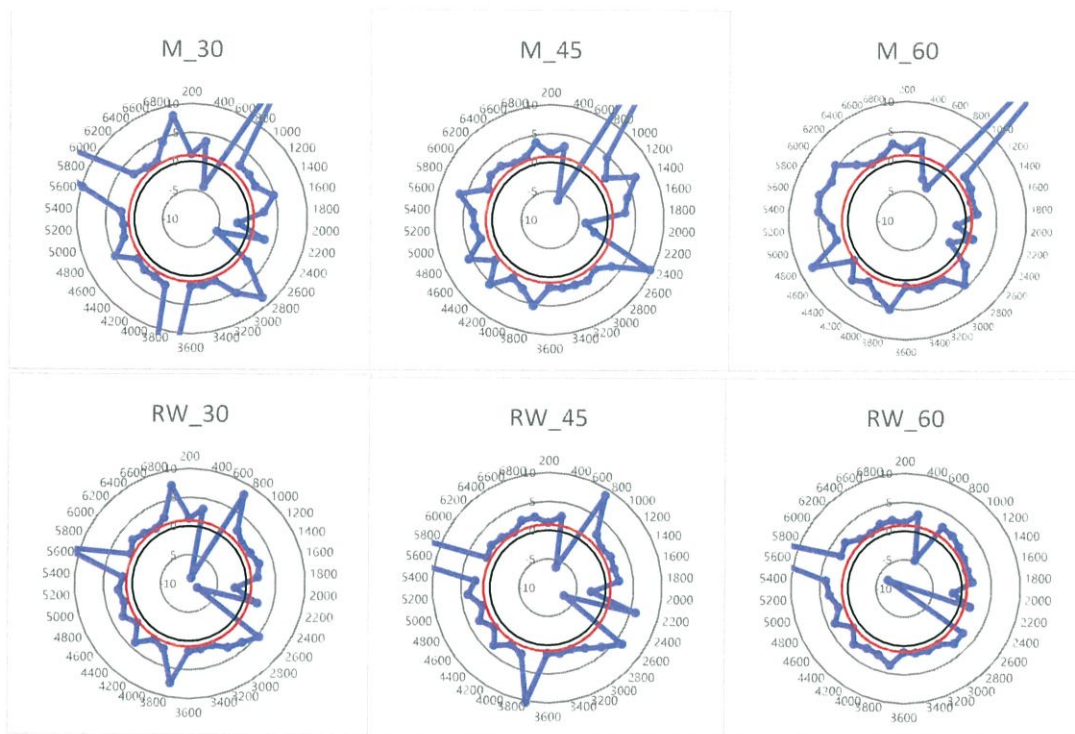
4.1.1 ผลการทดสอบค่าความสามารถการดูดซับของเสียงจากแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจาก ผักตบชวาที่มีความหนา 0.25, 0.5, 1.0 และ 1.5 cm โดยวิธีการสะท้อนกลับของเสียงและที่มุมการ สะท้อนของเสียงต่างกันคือที่ 30 45 และ 60 องศา แสดงดังรูปที่ 4.1. มีพฤติกรรมการสะท้อนกลับของ เสียงที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน กล่าวคือเมื่อความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นนั้นมีลักษณะการสะท้อนกลับ ของเสียงใกล้เคียงกับโฟมดูดซับมาตรฐาน (AF) มากขึ้น โดยสังเกตจากลักษณะการกระจายตัวของ การ สะท้อนกลับของเสียงที่ความหนาของวัสดุ และมุมการสะท้อนกลับต่างๆกัน เมื่อพิจารณาที่ความหนา ของวัสดุจากผักตบชวา(WH) พบว่าความหนาของวัสดุดูดซับเสียง WH มีค่าเข้าใกล้เคียงกับวัสดุดูดซับ เสียง AF มากขึ้น ยกเว้นที่ระดับความถี่ 800-6800 Hz จะมีประสิทธิภาพการสะท้อนของเสียงไม่ดีเท่า วัสดุดูดซับ AF เมื่อมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนของเสียงมีค่ามากขึ้นส่งผลให้ค่าการสะท้อนของเสียง ยิ่งเข้าใกล้วัสดุดูดซับเสียง AF มากขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 4.1 ค่าความสามารถการดูดซับของเสียงจากแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผัดกตบขวา
ที่ความหนา 0.25, 0.5, 1.0 และ 1.5 cm และมุม 30, 45 และ 60 องศา

4.1.2 ผลการทดสอบค่าความสามารถการดูดซับของเสียงจากวัสดุต่างๆ โดยวิธีการสะท้อนกลับของเสียง จากผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2. พบว่าการสะท้อนกลับของเสียงจากวัสดุดูดซับเสียง ET ที่มุมต่างๆ มีค่าการสะท้อนกลับของเสียงที่ใกล้เคียงกับวัสดุ AF ที่ช่วงความถี่ต่ำ 600-2800 Hz โดยเฉพาะที่ความถี่ 800 และ 2000 Hz จะเห็นค่าการสะท้อนกลับของเสียงสูงกว่าวัสดุ AF อย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงมุมตกกระทบที่เพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้เสียงมีการสะท้อนเข้าใกล้วัสดุ AF มากขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาถึงวัสดุอื่นๆ PW, G และ RW พบว่ามีการสะท้อนกลับของเสียงที่สูงกว่าวัสดุดูดซับเสียง AF มาก และผลการทดลองค่อนข้างสอดคล้องกับวัสดุดูดซับ ET

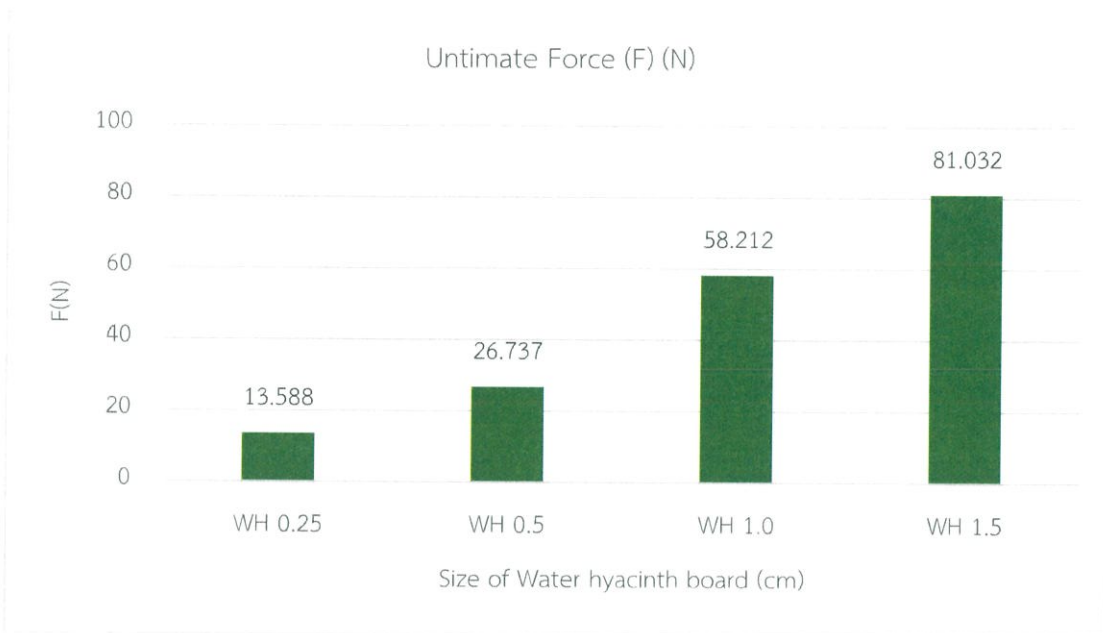




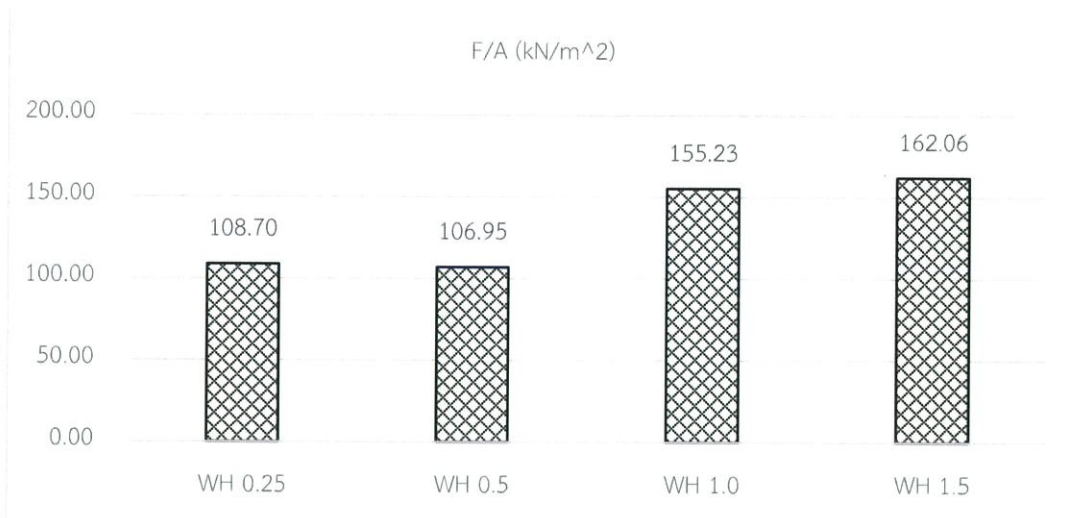
รูปที่ 4.2 ค่าความสามารถการดูดซับของเสียงจากวัสดุต่างๆ

ที่มุม 30, 45 และ 60 องศา

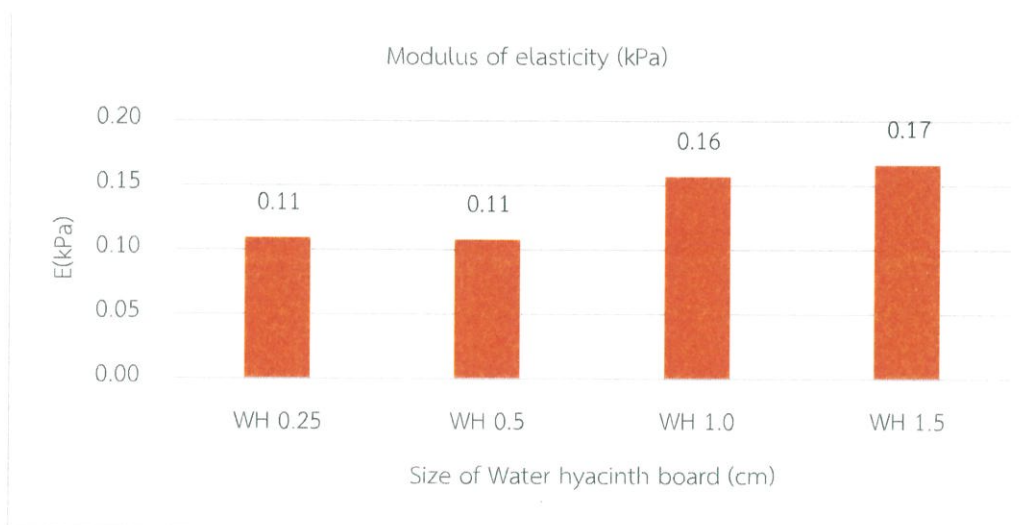
4.1.3 ผลการทดสอบแรงดึงเพื่อดูความแข็งแรงของแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา ที่ความหนา 0.25, 0.5, 1.0 และ 1.5 cm กับเครื่อง Texture Analyzer โดยผลการทดลองแสดงในรูป 4.3 ,4.4 และ4.5 เมื่อความหนาของวัสดุมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงมีค่าสูงขึ้น เช่นเดียวกัน โดยวัสดุดูดซับ WH0.25 ,WH0.50 ,WH1.00 ,WH1.50 มีความสามารถในการรับแรงดึง เท่ากับ 13.588 ,26.737 ,58.212 และ81.032



รูปที่ 4.3 ค่าความสามารถในการต้านทานแรงดึงของแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา ที่ความหนา 0.25, 0.5, 1.0 และ 1.5 cm



รูปที่ 4.4 ค่าความเค้น (Stress) ของแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา
ที่ความหนา 0.25, 0.5, 1.0 และ 1.5 cm



รูปที่ 4.5 ค่า Modulus of elasticity ของแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา
ที่ความหนา 0.25, 0.5, 1.0 และ 1.5 cm

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ผลการทดลอง

จากผลการทดลองแสดงในแผนภาพเรดาร์ โดยมุมต่างๆแสดงระดับความถี่ที่ใช้ในการทดลอง (200-6800) และแนวรัศมีคือค่าระดับการสะท้อนกลับของเสียงเมื่อเปรียบเทียบกับโพรบดูดซับเสียงมาตรฐาน(AF) โดยที่ในวงกลมรัศมีเท่ากับ 1 คือ ค่าระดับการสะท้อนกลับของ AF หากค่าการสะท้อนกลับของเสียงของวัสดุใดๆ มีค่าเข้าใกล้ 1 ในทางบวก แสดงว่าวัสดุนั้นๆมีแนวโน้มการสะท้อนกลับของเสียงได้ดีกว่าวัสดุที่มีการสะท้อนกลับของเสียงห่างจาก 1 ออกไปในทางบวก อย่างไรก็ตาม หากค่าการสะท้อนกลับของวัสดุมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าวัสดุดูดซับนั้นๆ มีค่าการสะท้อนกลับของเสียงในความถี่นั้นๆดีกว่าวัสดุดูดซับเสียง AF แต่ถ้าหากการค่าการสะท้อนกลับของเสียงมีค่าต่ำกว่า 0 แสดงว่าวัสดุดูดซับเสียง มีพฤติกรรมการสั่นกระเพื่อมของวัสดุที่การดูดซับเสียงที่ความถี่นั้นๆ หากพิจารณาอย่างละเอียดพบว่า การสะท้อนกลับของเสียงจากแผงไข่(ET) ที่มุมต่างๆกัน มีค่าการสะท้อนกลับของเสียงใกล้เคียงกับวัสดุ AF แต่ยังคงมีการสะท้อนกลับของเสียงที่สูงกว่าวัสดุดูดซับเสียง AF ที่ช่วงความถี่ 600-2800 Hz แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงมุมตกกระทบที่เพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้เสียงมีการสะท้อนเข้าใกล้วัสดุ AF มากขึ้น เมื่อพิจารณาถึงวัสดุที่ทำผนังห้องแผ่นไม้อัด(PW) พบว่า PW มีการสะท้อนกลับของเสียงที่สูงกว่าวัสดุดูดซับเสียง AF มาก และผลการทดสอบค่อนข้างสอดคล้องกับวัสดุดูดซับเสียง ET กล่าวคือเมื่อมุมตกกระทบของเสียงที่เพิ่มมากขึ้นมีแนวโน้มในการสะท้อนกลับของเสียงที่ดีกว่ามุมตกกระทบของเสียงที่น้อยกว่า นอกจากนี้มีบางความถี่ที่ให้ผลการทดลองที่ไม่คาดคิดกล่าวคือที่ความถี่ดังกล่าวมีค่าการสะท้อนกลับของเสียงที่เป็นลบ ทั้งนี้จากการอธิบายเบื้องต้นแล้วว่า หากค่าการสะท้อนกลับเป็นลบแสดงถึงวัสดุดูดซับเสียงที่ใช้ตอบสนองต่อความถี่นั้นๆ ด้วยการสั่นสะท้อนซึ่งอาจทำให้เกิดการแทรกสอดของเสียงที่ความถี่อื่นๆเพิ่มเติมขึ้นมา สำหรับวัสดุดูดซับและกระเจิงเสียงจากผับตบขวา(WH) มีความหนาแน่นเฉลี่ยต่อแผ่นประมาณ 0.29 g/cm ที่ทุกระดับความหนา ส่วนผลการทดลองการสะท้อนกลับของเสียงของวัสดุดูดซับ WH ที่มีระดับความหนา 0.25 0.5 1.0 และ 1.5 cm และที่มุมการสะท้อนของเสียงต่างกันคือที่ 30 45 และ 60 องศา มีพฤติกรรมการสะท้อนกลับของเสียงแตกต่างกันอย่างชัดเจน กล่าวคือเมื่อความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นนั้นมีลักษณะการสะท้อนกลับของเสียงที่ใกล้เคียงกับวัสดุดูดซับเสียง AF มากขึ้น โดยสังเกตจากลักษณะการกระจายตัวของการสะท้อนกลับของเสียงที่ความหนาของวัสดุ และมุมของการสะท้อนต่างๆกัน หลังจากนั้นนำวัสดุดูดซับเสียง WH ที่ระดับความหนาต่างๆกันได้ถูกนำมาทดสอบความสามารถในการรับแรงดึง พบว่าเมื่อความหนาแน่นของวัสดุมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงมีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกัน จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถบอกได้ว่าวัสดุดูดซับเสียง WH ที่มีความหนา 1.5 cm เหมาะสมกับการนำมาใช้ทดแทนวัสดุดูดซับเสียง AF แต่อย่างไร

ก็ตามวัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนา 1.5 cm จะยากลำบากในการขึ้นรูป กล่าวคือระหว่างกระบวนการทำแท่งนั้น วัสดุจะเกิดการงอตัวจนผิดรูปบริเวณขอบของแม่พิมพ์ ดังนั้นวัสดุดูดซับ WH1.5 ที่อยู่บริเวณตรงกลางเท่านั้นที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ทำให้กระบวนการผลิตยากลำบาก ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านพลังงานและวัสดุในการผลิต ดังนั้นจึงแนะนำความหนาที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวานั้นควรมีความหนาเท่ากับ 1.0 cm

วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบค่าความสามารถการดูดซับของแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวา โดยวิธีการสะท้อนกลับของเสียง พบว่าแผ่นดูดซับและกระเจิงเสียงจากผักตบชวามีความสามารถการดูดซับใกล้เคียงกับโฟมดูดซับเสียงมาตรฐานมากที่สุด ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของความสามารถของวัสดุจะอยู่ที่เสียงรบกวนรอบข้างถ้าหากรอบข้างมีเสียงที่เบาจะทำให้การทดสอบความสามารถการดูดซับขอวัสดุมีความแม่นยำ และอีกปัจจัยคือลักษณะรูปร่าง พื้นผิว และความพรุนของวัสดุ หากวัสดุมีลักษณะรูปร่างพื้นผิวที่ขรุขระและวัสดุมีความพรุน ค่าความสามารถในการทดสอบของวัสดุนั้นๆก็จะมีค่าที่ใกล้เคียงกับโฟมดูดซับมาตรฐานมากกว่าวัสดุที่มีลักษณะผิวเรียบและไม่มีความพรุน

เอกสารอ้างอิง

- (1) ชีระพงษ์ ต้อยเครือ (2555) ,การเจริญเติบโตของผักตบชวาในกว๊านพะเยา ,สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ,คณะวิศวกรรมศาสตร์ ,มหาวิทยาลัยพะเยา
- (2) บุรฉัตร วิริยะ (2544) ,การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของวัสดุพีชแห้งและเส้นใยแก้ว , สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ,คณะวิศวกรรมศาสตร์ ,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- (3) ปิยวรรณ แสงฤทธิ์ (2555) ,การศึกษาและพัฒนาแบบกระเป่าถักจากผักตบชวาสำหรับนักท่องเที่ยวต่างชาติ ,สาขาวิชานวัตกรรมการออกแบบ ,คณะศิลปกรรมศาสตร์ ,มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- (4) ประสันต์ ชุ่มใจหาญ (2558) ,แอปพลิเคชันสำหรับการตรวจสอบความถี่ของแอมป์ด้วยระบบเสียงสมาร์ตโฟน ,สาขาวิศวกรรมเกษตร ,คณะวิศวกรรมศาสตร์ ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- (5) รัชพล พวงศรีรัตน์ (2558) ,กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส ,สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ,คณะวิทยาศาสตร์ ,มหาวิทยาลัยศิลปากร
- (6) Japanese Standards Association Particleboard (2003), JIS A 5908-2003 Japanese industrial Standard Tokyo. Hohbunsha.Co.Ltd. 23 p
- (7) American Society for Testing and Materials, 1990,ASTM D 256-06a “Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials , In 1990 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 08.01, Philadelphia, ASTM. pp. 57-73.
- (8) American Society for Testing and Materials, 1999, ASTM D 1037-99 Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials, In Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.10, Philadelphia ,ASTM.pp.137-166.
- (9) American Society for Testing and Materials. 2010, ASTM C177-10 Standard Test Method for SteadyState Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Host- Plate Apparatus. In Annual Book of ASTM Standards, MD,U.S.A., Vol. 04.06. pp. 21-32.
- (10) Eriksson, K.E.L.1990. Biotechnology in the pulp and paper industry. Wood Science and Technology 24 : 79-101

(11) Hamelinck, C. N., van Hooijdonk, G., & Faaij, A. P. 2005. Ethanol from lignocellulosic biomass: Techno-economic performance in short, middle, and long term. *Biomass and Bioenergy* 28(4):384-410.

(12) Mishima, D., M. Tateda., M. Ike and M, Fujita. 2006 Comparative study on chemical pretreatments to accelerate enzymatic hydrolysis of aquatic macrophyte biomass used in water purification processes. *Bioresour. Technol.* 97(16): 2166-2172.

ภาคผนวก

ผนวก ก

| f (Hz) | ความหนา 0.25 cm | ความหนา 0.5 cm | ความหนา 1.0 cm | ความหนา 1.5 cm |
|--------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| 200 | -52.89 | -53.01 | -53.87 | -54.71 |
| 400 | -80.07 | -80.48 | -81.36 | -83.34 |
| 600 | -55.66 | -55.68 | -56.79 | -57.44 |
| 800 | -64.68 | -64.71 | -64.99 | -65.63 |
| 1000 | -82.17 | -81.29 | -82.42 | -78.63 |
| 1200 | -86.41 | -86.32 | -86.11 | -82.54 |
| 1400 | -72.11 | -73.77 | -74.88 | -75.45 |
| 1600 | -80.32 | -80.29 | -81.32 | -81.32 |
| 1800 | -86.71 | -86.71 | -87.04 | -80.53 |
| 2000 | -78.78 | -77.54 | -76.74 | -75.79 |
| 2200 | -80.21 | -80.37 | -81.17 | -83.71 |
| 2400 | -83.94 | -84.97 | -85.01 | -93.84 |
| 2600 | -78.52 | -79.32 | -82.34 | -84.53 |
| 2800 | -73.53 | -74.79 | -75.22 | -86.32 |
| 3000 | -75.98 | -76.89 | -79.74 | -82.22 |
| 3200 | -80.17 | -78.55 | -76.39 | -77.18 |
| 3400 | -79.89 | -79.98 | -80.5 | -81.3 |
| 3600 | -82.04 | -86.51 | -93.77 | -87.04 |
| 3800 | -80.14 | -80.17 | -80.29 | -81.05 |
| 4000 | -83.66 | -80.45 | -82.99 | -82.41 |
| 4200 | -77.72 | -78.12 | -78.28 | -81.72 |
| 4400 | -75.01 | -75.01 | -75.14 | -75.75 |
| 4600 | -73.54 | -74.49 | -76.54 | -78.81 |
| 4800 | -72.48 | -72.91 | -73.42 | -74.95 |
| 5000 | -72.43 | -72.54 | -72.61 | -76.12 |
| 5200 | -70.48 | -70.56 | -73.19 | -73.64 |
| 5400 | -76.23 | -77.03 | -79.14 | -79.65 |
| 5600 | -70.06 | -70.12 | -70.99 | -71.81 |
| 5800 | -65.88 | -66.39 | -66.66 | -68.76 |
| 6000 | -68.73 | -69.47 | -70.13 | -70.61 |
| 6200 | -67.5 | -68.03 | -68.19 | -73.69 |

| | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 6400 | -71.01 | -70.22 | -70.45 | -72.27 |
| 6600 | -78.29 | -76.39 | -75.75 | -73.17 |
| 6800 | -78.55 | -76.91 | -77.02 | -76.27 |
| \bar{X} | -75.17 | -75.29 | -76.19 | -77.12 |

| f (Hz) | ความหนา 0.25 cm | ความหนา 0.5 cm | ความหนา 1.0 cm | ความหนา 1.5 cm |
|--------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| 200 | -52.04 | -52.54 | -52.61 | -52.74 |
| 400 | -81.67 | -81.92 | -82.44 | -83.64 |
| 600 | -56.16 | -57.34 | -57.81 | -57.98 |
| 800 | -62.44 | -62.71 | -62.79 | -63.76 |
| 1000 | -75.01 | -75.24 | -75.74 | -77.92 |
| 1200 | -80.01 | -93.76 | -94.11 | -96.39 |
| 1400 | -70.83 | -72.67 | -73.34 | -74.69 |
| 1600 | -81.07 | -80.32 | -83.71 | -91.14 |
| 1800 | -75.44 | -76.54 | -76.88 | -77.79 |
| 2000 | -78.95 | -81.96 | -82.13 | -85.08 |
| 2200 | -73.23 | -74.49 | -74.62 | -75.26 |
| 2400 | -86.04 | -82.85 | -83.14 | -100.14 |
| 2600 | -74.91 | -75.92 | -76.05 | -76.72 |
| 2800 | -68.34 | -68.92 | -69.09 | -69.28 |
| 3000 | -73.21 | -74.46 | -74.4 | -78.69 |
| 3200 | -76.87 | -73.63 | -73.04 | -70.03 |
| 3400 | -80.34 | -74.16 | -73.79 | -70.68 |
| 3600 | -84.57 | -78.32 | -77.03 | -72.45 |
| 3800 | -81.92 | -81.99 | -81.72 | -78.41 |
| 4000 | -84.23 | -85.19 | -85.21 | -89.84 |
| 4200 | -76.57 | -75.68 | -76.13 | -77.84 |
| 4400 | -72.44 | -72.11 | -72.18 | -72.72 |
| 4600 | -75.16 | -75.41 | -76.63 | -76.68 |
| 4800 | -74.41 | -76.23 | -76.78 | -77.41 |
| 5000 | -78.55 | -79.61 | -81.22 | -83.54 |
| 5200 | -80.14 | -82.01 | -81.98 | -74.67 |
| 5400 | -71.57 | -73.84 | -73.79 | -72.11 |
| 5600 | -77.04 | -74.63 | -74.37 | -72.38 |
| 5800 | -76.12 | -74.77 | -73.32 | -71.79 |
| 6000 | -72.77 | -74.23 | -75.35 | -77.32 |
| 6200 | -77.15 | -78.04 | -80.12 | -83.22 |

| | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 6400 | -84.66 | -82.68 | -81.53 | -75.91 |
| 6600 | -79.12 | -81.53 | -82.12 | -82.33 |
| 6800 | -89.44 | -87.41 | -87.58 | -87.96 |
| \bar{x} | -75.95 | -76.27 | -76.55 | -77.31 |

| f (Hz) | ความหนา 0.25 cm | ความหนา 0.5 cm | ความหนา 1.0 cm | ความหนา 1.5 cm |
|--------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| 200 | -50.55 | -52.53 | -53.07 | -57.21 |
| 400 | -77.07 | -75.09 | -72.04 | -73.89 |
| 600 | -54.74 | -54.78 | -55.12 | -59.39 |
| 800 | -63.83 | -62.47 | -62.62 | -66.05 |
| 1000 | -75.17 | -77.38 | -77.49 | -81.62 |
| 1200 | -77.32 | -78.42 | -78.26 | -77.82 |
| 1400 | -71.47 | -71.53 | -70.41 | -76.28 |
| 1600 | -70.1 | -71.04 | -72.07 | -73.61 |
| 1800 | -70.77 | -71.86 | -73.81 | -76.54 |
| 2000 | -73.44 | -74.14 | -74.94 | -77.82 |
| 2200 | -74.23 | -77.29 | -79.55 | -81.37 |
| 2400 | -75.78 | -74.28 | -73.57 | -75.18 |
| 2600 | -67.04 | -67.39 | -66.41 | -70.88 |
| 2800 | -68.86 | -67.84 | -63.97 | -69.41 |
| 3000 | -68.57 | -68.92 | -70.12 | -74.18 |
| 3200 | -77.61 | -78.45 | -79.17 | -79.98 |
| 3400 | -84.37 | -84.32 | -78.34 | -78.71 |
| 3600 | -79.14 | -80.13 | -76.54 | -77.42 |
| 3800 | -74.05 | -82.54 | -73.52 | -79.24 |
| 4000 | -77.14 | -79.17 | -80.07 | -89.54 |
| 4200 | -75.97 | -76.17 | -76.49 | -80.12 |
| 4400 | -77.45 | -79.48 | -79.72 | -79.81 |
| 4600 | -83.93 | -84.95 | -85.64 | -85.71 |
| 4800 | -87.07 | -85.39 | -82.23 | -78.54 |
| 5000 | -73.29 | -75.75 | -77.26 | -77.87 |
| 5200 | -74.47 | -72.83 | -71.43 | -72.65 |
| 5400 | -79.65 | -80.48 | -80.62 | -87.11 |
| 5600 | -83.14 | -83.22 | -85.01 | -87.72 |
| 5800 | -81.21 | -82.77 | -83.27 | -83.64 |
| 6000 | -80.76 | -81.04 | -84.12 | -87.11 |
| 6200 | -83.32 | -83.57 | -85.64 | -86.32 |

| | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 6400 | -79.47 | -80.01 | -87.17 | -78.32 |
| 6600 | -72.32 | -74.81 | -75.41 | -75.48 |
| 6800 | -83.5 | -79.86 | -78.15 | -77.77 |
| \bar{X} | -74.91 | -75.59 | -75.39 | -77.48 |

ผนวก ข

| f (Hz) | OP (dB) | PW (dB) | WH1.0 (dB) | ET (dB) | AF (dB) | G (dB) | M (dB) | RW (dB) |
|--------|---------|---------|---------------|---------|---------|--------|--------|---------|
| 200 | -41.08 | -50.92 | -53.87 | -53.21 | -53.76 | -48.34 | -51.46 | -50.92 |
| 400 | -60.47 | -66.48 | -81.36 | -76.42 | -75.14 | -64.51 | -64.55 | -65.16 |
| 600 | -49.34 | -47.61 | -56.79 | -55.34 | -62.14 | -46.98 | -46.23 | -47.92 |
| 800 | -55.59 | -58.31 | -64.99 | -59.65 | -80.98 | -56.87 | -56.72 | -58.72 |
| 1000 | -58.71 | -65.38 | -82.42 | -70.87 | -76.01 | -65.11 | -65.8 | -65.67 |
| 1200 | -48.07 | -63.27 | -86.11 | -74.06 | -73.67 | -60.48 | -57.81 | -64.24 |
| 1400 | -62.96 | -70.01 | -74.88 | -70.97 | -83.38 | -71.23 | -71.11 | -73.51 |
| 1600 | -56.2 | -66.05 | -81.32 | -71.14 | -80.39 | -62.11 | -61.24 | -65.32 |
| 1800 | -56.13 | -67.98 | -87.04 | -70.79 | -80.14 | -65.46 | -65.17 | -67.98 |
| 2000 | -70.72 | -66.14 | -76.74 | -72.76 | -77.71 | -68.34 | -66.93 | -67.02 |
| 2200 | -67.96 | -70.47 | -81.17 | -75.33 | -80.15 | -71.75 | -71.71 | -73.06 |
| 2400 | -68.41 | -65.01 | -85.01 | -80.04 | -94.11 | -63.61 | -63.23 | -65.32 |
| 2600 | -55.23 | -60.95 | -82.34 | -66.39 | -89.06 | -69.43 | -69.16 | -61.56 |
| 2800 | -50.42 | -57.23 | -75.22 | -65.31 | -82.88 | -55.21 | -54.23 | -58.85 |
| 3000 | -49.78 | -63.82 | -79.74 | -73.26 | -90.31 | -59.04 | -57.53 | -63.06 |
| 3200 | -46.17 | -71.32 | -76.39 | -73.51 | -84.77 | -70.95 | -70.56 | -72.45 |
| 3400 | -49.18 | -74.36 | -80.5 | -76.01 | -90.59 | -72.32 | -72.12 | -75.01 |
| 3600 | -50.7 | -74.67 | -93.77 | -75.18 | -91.72 | -74.35 | -74.04 | -73.23 |
| 3800 | -57.19 | -59.47 | -80.29 | -76.03 | -80.17 | -57.58 | -57.62 | -60.21 |
| 4000 | -52.23 | -64.56 | -82.99 | -79.31 | -80.62 | -62.28 | -63.74 | -65.16 |
| 4200 | -50.8 | -70.18 | -78.28 | -76.59 | -82.54 | -69.59 | -67.38 | -72.01 |
| 4400 | -51.7 | -60.45 | -75.14 | -80.5 | -79.91 | -61.62 | -64.92 | -58.92 |
| 4600 | -53.48 | -79.35 | -76.54 | -83.21 | -86.52 | -74.98 | -72.99 | -78.74 |
| 4800 | -58.31 | -66.36 | -73.42 | -81.39 | -87.17 | -64.61 | -64.31 | -68.25 |
| 5000 | -58.09 | -71.57 | -72.61 | -78.47 | -83.14 | -69.53 | -69.01 | -71.79 |
| 5200 | -59.63 | -64.5 | -73.19 | -69.44 | -78.31 | -69.24 | -69.16 | -67.18 |
| 5400 | -59.94 | -66.12 | -79.14 | -80.15 | -77.42 | -67.69 | -67.27 | -70.48 |
| 5600 | -63.03 | -63.11 | -70.99 | -80.52 | -77.58 | -63.32 | -64.53 | -64.18 |
| 5800 | -58.41 | -70.02 | -66.66 | -88.99 | -78.47 | -59.95 | -59.08 | -72.06 |
| 6000 | -60.13 | -70.21 | -70.13 | -87.71 | -85.49 | -69.31 | -69.54 | -70.41 |

| | | | | | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6200 | -57.61 | -74.23 | -68.19 | -88.68 | -84.32 | -72.24 | -71.83 | -73.23 |
| 6400 | -61.65 | -75.38 | -70.45 | -81.38 | -79.83 | -74.76 | -73.16 | -77.18 |
| 6600 | -64.73 | -70.57 | -75.75 | -76.41 | -83.41 | -70.31 | -69.23 | -73.28 |
| 6800 | -67.88 | -73.68 | -77.02 | -79.14 | -87.92 | -72.12 | -70.35 | -70.64 |
| \bar{x} | -56.82 | -66.46 | -76.19 | -74.95 | -81.17 | -65.45 | -65.11 | -67.14 |

| F (Hz) | OP (dB) | PW (dB) | WH1.0 (dB) | ET (dB) | AF (dB) | G (dB) | M (dB) | RW (dB) |
|--------|---------|---------|---------------|---------|---------|--------|--------|---------|
| 200 | -41.08 | -50.16 | -52.61 | -53.21 | -54.05 | -49.87 | -49.63 | -50.92 |
| 400 | -60.47 | -65.24 | -82.44 | -76.78 | -76.21 | -65.68 | -65.81 | -66.48 |
| 600 | -49.34 | -48.89 | -57.81 | -54.48 | -60.17 | -48.23 | -47.66 | -47.61 |
| 800 | -55.59 | -56.74 | -62.79 | -62.03 | -79.64 | -55.83 | -56.13 | -58.31 |
| 1000 | -58.71 | -61.89 | -75.74 | -71.06 | -75.17 | -61.44 | -62.29 | -65.32 |
| 1200 | -48.07 | -66.12 | -94.11 | -75.55 | -77.32 | -63.82 | -62.2 | -67.56 |
| 1400 | -62.96 | -67.92 | -73.34 | -73.24 | -78.17 | -65.18 | -65.24 | -70.01 |
| 1600 | -56.2 | -64.16 | -83.71 | -73.21 | -75.72 | -61.91 | -61.08 | -66.05 |
| 1800 | -56.13 | -69.01 | -76.88 | -70.46 | -85.34 | -65.71 | -65.36 | -67.98 |
| 2000 | -70.72 | -66.04 | -82.13 | -74.86 | -81.93 | -65.44 | -67.77 | -66.14 |
| 2200 | -67.96 | -62.89 | -74.62 | -72.76 | -83.07 | -61.07 | -60.31 | -70.47 |
| 2400 | -68.41 | -70.32 | -83.14 | -80.37 | -91.79 | -69.56 | -70.84 | -65.01 |
| 2600 | -55.23 | -64.62 | -76.05 | -68.59 | -91.24 | -64.37 | -65.67 | -60.95 |
| 2800 | -50.42 | -66.86 | -69.09 | -64.52 | -77.29 | -66.14 | -67.53 | -57.23 |
| 3000 | -49.78 | -64.87 | -74.4 | -71.34 | -83.39 | -65.7 | -63.41 | -63.82 |
| 3200 | -46.17 | -65.22 | -73.04 | -73.65 | -82.74 | -64.13 | -63.14 | -71.32 |
| 3400 | -49.18 | -70.05 | -73.79 | -77.17 | -90.17 | -69.64 | -68.88 | -74.36 |
| 3600 | -50.7 | -71.12 | -77.03 | -76.87 | -85.59 | -69.11 | -70.17 | -74.76 |
| 3800 | -57.19 | -63.53 | -81.72 | -73.44 | -80.72 | -61.92 | -61.69 | -59.47 |
| 4000 | -52.23 | -63.87 | -85.21 | -80.07 | -81.55 | -62.94 | -62.36 | -64.56 |
| 4200 | -50.8 | -69.59 | -76.13 | -76.03 | -83.73 | -67.41 | -67.64 | -70.18 |
| 4400 | -51.7 | -59.73 | -72.18 | -78.87 | -83.15 | -58.89 | -57.71 | -60.45 |
| 4600 | -53.48 | -79.87 | -76.63 | -81.32 | -88.22 | -74.71 | -73.48 | -79.35 |
| 4800 | -58.31 | -65.84 | -76.78 | -82.76 | -85.01 | -63.23 | -63.21 | -67.36 |
| 5000 | -58.09 | -70.63 | -81.22 | -76.35 | -81.92 | -70.44 | -68.49 | -73.57 |
| 5200 | -59.63 | -66.85 | -81.98 | -70.05 | -77.49 | -66.63 | -65.61 | -64.5 |
| 5400 | -59.94 | -66.43 | -73.79 | -75.94 | -75.23 | -64.72 | -64.63 | -66.12 |
| 5600 | -63.03 | -65.16 | -74.37 | -77.56 | -76.18 | -64.58 | -65.18 | -63.11 |
| 5800 | -58.41 | -68.41 | -73.32 | -83.57 | -77.21 | -68.37 | -68.22 | -70.02 |
| 6000 | -60.13 | -70.25 | -75.35 | -85.6 | -88.07 | -69.41 | -70.16 | -73.21 |

| | | | | | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6200 | -57.61 | -79.42 | -80.12 | -83.27 | -86.31 | -76.59 | -68.89 | -74.23 |
| 6400 | -61.65 | -76.75 | -81.53 | -79.22 | -78.33 | -74.19 | -72.54 | -75.38 |
| 6600 | -64.73 | -73.28 | -82.12 | -74.58 | -79.27 | -75.48 | -73.48 | -70.57 |
| 6800 | -67.88 | -75.19 | -87.58 | -77.91 | -82.03 | -74.34 | -71.83 | -73.68 |
| \bar{x} | -56.82 | -66.67 | -76.55 | -74.31 | -80.39 | -65.49 | -64.95 | -66.77 |

| f (Hz) | OP (dB) | PW (dB) | WH1.0 (dB) | ET (dB) | AF (dB) | G (dB) | M (dB) | RW (dB) |
|--------|---------|---------|---------------|---------|---------|--------|--------|---------|
| 200 | -41.08 | -49.15 | -53.07 | -54.35 | -54.96 | -49.96 | -48.23 | -51.01 |
| 400 | -60.47 | -67.31 | -72.04 | -79.14 | -80.26 | -65.17 | -66.11 | -67.12 |
| 600 | -49.34 | -46.34 | -55.12 | -53.01 | -59.92 | -47.23 | -45.15 | -47.15 |
| 800 | -55.59 | -57.73 | -62.62 | -61.82 | -64.19 | -54.01 | -53.19 | -59.01 |
| 1000 | -58.71 | -62.11 | -77.49 | -73.78 | -74.05 | -60.02 | -59.04 | -65.2 |
| 1200 | -48.07 | -66.07 | -78.26 | -73.99 | -84.19 | -65.12 | -64.23 | -67.04 |
| 1400 | -62.96 | -68.73 | -70.41 | -71.48 | -73.42 | -66.61 | -68.19 | -69.85 |
| 1600 | -56.2 | -64.88 | -72.07 | -71.16 | -70.64 | -64.24 | -67.43 | -67.18 |
| 1800 | -56.13 | -68.07 | -73.81 | -70.77 | -74.25 | -66.55 | -65.92 | -65.93 |
| 2000 | -70.72 | -65.84 | -74.94 | -72.82 | -76.24 | -66.89 | -66.93 | -66.84 |
| 2200 | -67.96 | -73.34 | -79.55 | -75.21 | -76.13 | -72.31 | -73.2 | -72.43 |
| 2400 | -68.41 | -64.17 | -73.57 | -81.77 | -80.67 | -63.54 | -61.61 | -67.48 |
| 2600 | -55.23 | -62.43 | -66.41 | -65.94 | -75.21 | -60.27 | -63.29 | -62.24 |
| 2800 | -50.42 | -55.71 | -63.97 | -63.56 | -69.54 | -55.31 | -54.58 | -56.85 |
| 3000 | -49.78 | -65.32 | -70.12 | -70.72 | -73.08 | -63.99 | -64.96 | -66.41 |
| 3200 | -46.17 | -69.44 | -79.17 | -74.44 | -82.43 | -67.37 | -67.61 | -69.21 |
| 3400 | -49.18 | -72.73 | -78.34 | -75.65 | -84.98 | -72.57 | -70.34 | -74.17 |
| 3600 | -50.7 | -75.14 | -76.54 | -75.2 | -79.51 | -75.54 | -76.94 | -76.11 |
| 3800 | -57.19 | -61.78 | -73.52 | -75.88 | -78.63 | -61.41 | -61.31 | -63.14 |
| 4000 | -52.23 | -65.72 | -80.07 | -79.54 | -82.43 | -62.71 | -60.72 | -65.02 |
| 4200 | -50.8 | -68.34 | -76.49 | -75.88 | -92.36 | -71.79 | -70.17 | -69.06 |
| 4400 | -51.7 | -61.52 | -79.72 | -80.58 | -85.13 | -63.13 | -61.03 | -62.4 |
| 4600 | -53.48 | -81.38 | -85.64 | -84.89 | -88.24 | -81.75 | -83.32 | -81.19 |
| 4800 | -58.31 | -65.84 | -82.23 | -84.71 | -95.56 | -63.24 | -63.08 | -68.41 |
| 5000 | -58.09 | -70.17 | -77.26 | -75.98 | -86.42 | -70.41 | -70.14 | -71.52 |
| 5200 | -59.63 | -67.36 | -71.43 | -68.66 | -78.75 | -66.72 | -66.15 | -65.35 |
| 5400 | -59.94 | -68.44 | -80.62 | -78.74 | -89.07 | -66.9 | -65.66 | -67.29 |
| 5600 | -63.03 | -63.44 | -85.01 | -79.12 | -90.15 | -66.78 | -68.02 | -63.86 |
| 5800 | -58.41 | -70.17 | -83.27 | -88.79 | -92.06 | -63.15 | -66.17 | -71.44 |
| 6000 | -60.13 | -68.67 | -84.12 | -87.36 | -91.09 | -66.13 | -65.98 | -69.98 |

| | | | | | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6200 | -57.61 | -76.97 | -85.64 | -85.61 | -86.32 | -68.27 | -68.72 | -75.71 |
| 6400 | -61.65 | -78.62 | -87.17 | -79.67 | -81.07 | -80.14 | -78.76 | -77.74 |
| 6600 | -64.73 | -71.34 | -75.41 | -74.03 | -78.35 | -73.09 | -73.81 | -71.84 |
| 6800 | -67.88 | -73.37 | -78.15 | -78.06 | -83.52 | -72.22 | -72.98 | -75.63 |
| \bar{X} | -56.82 | -66.70 | -75.39 | -74.77 | -79.79 | -65.72 | -65.68 | -67.38 |

ผนวก ค

| f (Hz) | OP (dB) | PW (dB) | ET (dB) | AF (dB) | WH0.25 (dB) | WH0.5 (dB) | WH1.0 (dB) | WH1.5 (dB) | G (dB) | M (dB) | RW (dB) |
|--------|------------|------------|------------|------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------|-----------|------------|
| 200 | -41.1 | -50.9 | -53.2 | -53.8 | -52.9 | -53.0 | -53.9 | -54.7 | -48.3 | -51.5 | -50.9 |
| 400 | -60.5 | -66.5 | -76.4 | -75.1 | -80.1 | -80.5 | -81.4 | -83.3 | -64.5 | -64.6 | -65.2 |
| 600 | -49.3 | -47.6 | -55.3 | -62.1 | -55.7 | -55.7 | -56.8 | -57.4 | -47.0 | -46.2 | -47.9 |
| 800 | -55.6 | -58.3 | -59.7 | -81.0 | -64.7 | -64.7 | -65.0 | -65.6 | -56.9 | -56.7 | -58.7 |
| 1000 | -58.7 | -65.4 | -70.9 | -76.0 | -82.2 | -81.3 | -82.4 | -78.6 | -65.1 | -65.8 | -65.7 |
| 1200 | -48.1 | -63.3 | -74.1 | -73.7 | -86.4 | -86.3 | -86.1 | -82.5 | -60.5 | -57.8 | -64.2 |
| 1400 | -63.0 | -70.0 | -71.0 | -83.4 | -72.1 | -73.8 | -74.9 | -75.5 | -71.2 | -71.1 | -73.5 |
| 1600 | -56.2 | -66.1 | -71.1 | -80.4 | -80.3 | -80.3 | -81.3 | -81.3 | -62.1 | -61.2 | -65.3 |
| 1800 | -56.1 | -68.0 | -70.8 | -80.1 | -86.7 | -86.7 | -87.0 | -80.5 | -65.5 | -65.2 | -68.0 |
| 2000 | -70.7 | -66.1 | -72.8 | -77.7 | -78.8 | -77.5 | -76.7 | -75.8 | -68.3 | -66.9 | -67.0 |
| 2200 | -68.0 | -70.5 | -75.3 | -80.2 | -80.2 | -80.4 | -81.2 | -83.7 | -71.8 | -71.7 | -73.1 |
| 2400 | -68.4 | -65.0 | -80.0 | -94.1 | -83.9 | -85.0 | -85.0 | -93.8 | -63.6 | -63.2 | -65.3 |
| 2600 | -55.2 | -61.0 | -66.4 | -89.1 | -78.5 | -79.3 | -82.3 | -84.5 | -69.4 | -69.2 | -61.6 |
| 2800 | -50.4 | -57.2 | -65.3 | -82.9 | -73.5 | -74.8 | -75.2 | -86.3 | -55.2 | -54.2 | -58.9 |
| 3000 | -49.8 | -63.8 | -73.3 | -90.3 | -76.0 | -76.9 | -79.7 | -82.2 | -59.0 | -57.5 | -63.1 |
| 3200 | -46.2 | -71.3 | -73.5 | -84.8 | -80.2 | -78.6 | -76.4 | -77.2 | -71.0 | -70.6 | -72.5 |
| 3400 | -49.2 | -74.4 | -76.0 | -90.6 | -79.9 | -80.0 | -80.5 | -81.3 | -72.3 | -72.1 | -75.0 |
| 3600 | -50.7 | -74.7 | -75.2 | -91.7 | -82.0 | -86.5 | -93.8 | -87.0 | -74.4 | -74.0 | -73.2 |
| 3800 | -57.2 | -59.5 | -76.0 | -80.2 | -80.1 | -80.2 | -80.3 | -81.1 | -57.6 | -57.6 | -60.2 |
| 4000 | -52.2 | -64.6 | -79.3 | -80.6 | -83.7 | -80.5 | -83.0 | -82.4 | -62.3 | -63.7 | -65.2 |
| 4200 | -50.8 | -70.2 | -76.6 | -82.5 | -77.7 | -78.1 | -78.3 | -81.7 | -69.6 | -67.4 | -72.0 |
| 4400 | -51.7 | -60.5 | -80.5 | -79.9 | -75.0 | -75.0 | -75.1 | -75.8 | -61.6 | -64.9 | -58.9 |
| 4600 | -53.5 | -79.4 | -83.2 | -86.5 | -73.5 | -74.5 | -76.5 | -78.8 | -75.0 | -73.0 | -78.7 |
| 4800 | -58.3 | -66.4 | -81.4 | -87.2 | -72.5 | -72.9 | -73.4 | -75.0 | -64.6 | -64.3 | -68.3 |
| 5000 | -58.1 | -71.6 | -78.5 | -83.1 | -72.4 | -72.5 | -72.6 | -76.1 | -69.5 | -69.0 | -71.8 |
| 5200 | -59.6 | -64.5 | -69.4 | -78.3 | -70.5 | -70.6 | -73.2 | -73.6 | -69.2 | -69.2 | -67.2 |
| 5400 | -59.9 | -66.1 | -80.2 | -77.4 | -76.2 | -77.0 | -79.1 | -79.7 | -67.7 | -67.3 | -70.5 |
| 5600 | -63.0 | -63.1 | -80.5 | -77.6 | -70.1 | -70.1 | -71.0 | -71.8 | -63.3 | -64.5 | -64.2 |
| 5800 | -58.4 | -70.0 | -89.0 | -78.5 | -65.9 | -66.4 | -66.7 | -68.8 | -60.0 | -59.1 | -72.1 |
| 6000 | -60.1 | -70.2 | -87.7 | -85.5 | -68.7 | -69.5 | -70.1 | -70.6 | -69.3 | -69.5 | -70.4 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6200 | -57.6 | -74.2 | -88.7 | -84.3 | -67.5 | -68.0 | -68.2 | -73.7 | -72.2 | -71.8 | -73.2 |
| 6400 | -61.7 | -75.4 | -81.4 | -79.8 | -71.0 | -70.2 | -70.5 | -72.3 | -74.8 | -73.2 | -77.2 |
| 6600 | -64.7 | -70.6 | -76.4 | -83.4 | -78.3 | -76.4 | -75.8 | -73.2 | -70.3 | -69.2 | -73.3 |
| 6800 | -67.9 | -73.7 | -79.1 | -87.9 | -78.6 | -76.9 | -77.0 | -76.3 | -72.1 | -70.4 | -70.6 |
| \bar{X} | -56.8 | -66.5 | -74.9 | -81.2 | -75.2 | -75.3 | -76.2 | -77.1 | -65.4 | -65.1 | -67.1 |

| f (Hz) | PW | ET | AF | WH0.25 | WH0.5 | WH1.0 | WH1.5 | G | M | RW |
|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 200 | -9.8 | -12.1 | -12.7 | -11.8 | -11.9 | -12.8 | -13.6 | -7.3 | -10.4 | -9.8 |
| 400 | -6.0 | -16.0 | -14.7 | -19.6 | -20.0 | -20.9 | -22.9 | -4.0 | -4.1 | -4.7 |
| 600 | 1.7 | -6.0 | -12.8 | -6.3 | -6.3 | -7.5 | -8.1 | 2.4 | 3.1 | 1.4 |
| 800 | -2.7 | -4.1 | -25.4 | -9.1 | -9.1 | -9.4 | -10.0 | -1.3 | -1.1 | -3.1 |
| 1000 | -6.7 | -12.2 | -17.3 | -23.5 | -22.6 | -23.7 | -19.9 | -6.4 | -7.1 | -7.0 |
| 1200 | -15.2 | -26.0 | -25.6 | -38.3 | -38.3 | -38.0 | -34.5 | -12.4 | -9.7 | -16.2 |
| 1400 | -7.1 | -8.0 | -20.4 | -9.2 | -10.8 | -11.9 | -12.5 | -8.3 | -8.2 | -10.6 |
| 1600 | -9.8 | -14.9 | -24.2 | -24.1 | -24.1 | -25.1 | -25.1 | -5.9 | -5.0 | -9.1 |
| 1800 | -11.9 | -14.7 | -24.0 | -30.6 | -30.6 | -30.9 | -24.4 | -9.3 | -9.0 | -11.9 |
| 2000 | 4.6 | -2.0 | -7.0 | -8.1 | -6.8 | -6.0 | -5.1 | 2.4 | 3.8 | 3.7 |
| 2200 | -2.5 | -7.4 | -12.2 | -12.3 | -12.4 | -13.2 | -15.8 | -3.8 | -3.8 | -5.1 |
| 2400 | 3.4 | -11.6 | -25.7 | -15.5 | -16.6 | -16.6 | -25.4 | 4.8 | 5.2 | 3.1 |
| 2600 | -5.7 | -11.2 | -33.8 | -23.3 | -24.1 | -27.1 | -29.3 | -14.2 | -13.9 | -6.3 |
| 2800 | -6.8 | -14.9 | -32.5 | -23.1 | -24.4 | -24.8 | -35.9 | -4.8 | -3.8 | -8.4 |
| 3000 | -14.0 | -23.5 | -40.5 | -26.2 | -27.1 | -30.0 | -32.4 | -9.3 | -7.8 | -13.3 |
| 3200 | -25.2 | -27.3 | -38.6 | -34.0 | -32.4 | -30.2 | -31.0 | -24.8 | -24.4 | -26.3 |
| 3400 | -25.2 | -26.8 | -41.4 | -30.7 | -30.8 | -31.3 | -32.1 | -23.1 | -22.9 | -25.8 |
| 3600 | -24.0 | -24.5 | -41.0 | -31.3 | -35.8 | -43.1 | -36.3 | -23.7 | -23.3 | -22.5 |
| 3800 | -2.3 | -18.8 | -23.0 | -23.0 | -23.0 | -23.1 | -23.9 | -0.4 | -0.4 | -3.0 |
| 4000 | -12.3 | -27.1 | -28.4 | -31.4 | -28.2 | -30.8 | -30.2 | -10.1 | -11.5 | -12.9 |
| 4200 | -19.4 | -25.8 | -31.7 | -26.9 | -27.3 | -27.5 | -30.9 | -18.8 | -16.6 | -21.2 |
| 4400 | -8.8 | -28.8 | -28.2 | -23.3 | -23.3 | -23.4 | -24.1 | -9.9 | -13.2 | -7.2 |
| 4600 | -25.9 | -29.7 | -33.0 | -20.1 | -21.0 | -23.1 | -25.3 | -21.5 | -19.5 | -25.3 |
| 4800 | -8.1 | -23.1 | -28.9 | -14.2 | -14.6 | -15.1 | -16.6 | -6.3 | -6.0 | -9.9 |
| 5000 | -13.5 | -20.4 | -25.1 | -14.3 | -14.5 | -14.5 | -18.0 | -11.4 | -10.9 | -13.7 |
| 5200 | -4.9 | -9.8 | -18.7 | -10.9 | -10.9 | -13.6 | -14.0 | -9.6 | -9.5 | -7.6 |
| 5400 | -6.2 | -20.2 | -17.5 | -16.3 | -17.1 | -19.2 | -19.7 | -7.8 | -7.3 | -10.5 |
| 5600 | -0.1 | -17.5 | -14.6 | -7.0 | -7.1 | -8.0 | -8.8 | -0.3 | -1.5 | -1.2 |
| 5800 | -11.6 | -30.6 | -20.1 | -7.5 | -8.0 | -8.3 | -10.4 | -1.5 | -0.7 | -13.7 |
| 6000 | -10.1 | -27.6 | -25.4 | -8.6 | -9.3 | -10.0 | -10.5 | -9.2 | -9.4 | -10.3 |

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6200 | -16.6 | -31.1 | -26.7 | -9.9 | -10.4 | -10.6 | -16.1 | -14.6 | -14.2 | -15.6 |
| 6400 | -13.7 | -19.7 | -18.2 | -9.4 | -8.6 | -8.8 | -10.6 | -13.1 | -11.5 | -15.5 |
| 6600 | -5.8 | -11.7 | -18.7 | -13.6 | -11.7 | -11.0 | -8.4 | -5.6 | -4.5 | -8.6 |
| 6800 | -5.8 | -11.3 | -20.0 | -10.7 | -9.0 | -9.1 | -8.4 | -4.2 | -2.5 | -2.8 |

| f (Hz) | PW | ET | WH0.25 | WH0.5 | WH1.0 | WH1.5 | G | M | RW |
|--------|--------|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 200 | 1.29 | 1.05 | 1.07 | 1.06 | 0.99 | 0.93 | 1.75 | 1.22 | 1.29 |
| 400 | 2.44 | 0.92 | 0.75 | 0.73 | 0.70 | 0.64 | 3.63 | 3.60 | 3.13 |
| 600 | -7.40 | 2.13 | 2.03 | 2.02 | 1.72 | 1.58 | -5.42 | -4.12 | -9.01 |
| 800 | 9.33 | 6.25 | 2.79 | 2.78 | 2.70 | 2.53 | 19.84 | 22.47 | 8.11 |
| 1000 | 2.59 | 1.42 | 0.74 | 0.77 | 0.73 | 0.87 | 2.70 | 2.44 | 2.49 |
| 1200 | 1.68 | 0.98 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.74 | 2.06 | 2.63 | 1.58 |
| 1400 | 2.90 | 2.55 | 2.23 | 1.89 | 1.71 | 1.63 | 2.47 | 2.51 | 1.94 |
| 1600 | 2.46 | 1.62 | 1.00 | 1.00 | 0.96 | 0.96 | 4.09 | 4.80 | 2.65 |
| 1800 | 2.03 | 1.64 | 0.79 | 0.79 | 0.78 | 0.98 | 2.57 | 2.66 | 2.03 |
| 2000 | -1.53 | 3.43 | 0.87 | 1.02 | 1.16 | 1.38 | -2.94 | -1.84 | -1.89 |
| 2200 | 4.86 | 1.65 | 1.00 | 0.98 | 0.92 | 0.77 | 3.22 | 3.25 | 2.39 |
| 2400 | -7.56 | 2.21 | 1.65 | 1.55 | 1.55 | 1.01 | -5.35 | -4.96 | -8.32 |
| 2600 | 5.91 | 3.03 | 1.45 | 1.40 | 1.25 | 1.15 | 2.38 | 2.43 | 5.34 |
| 2800 | 4.77 | 2.18 | 1.40 | 1.33 | 1.31 | 0.90 | 6.78 | 8.52 | 3.85 |
| 3000 | 2.89 | 1.73 | 1.55 | 1.50 | 1.35 | 1.25 | 4.38 | 5.23 | 3.05 |
| 3200 | 1.53 | 1.41 | 1.14 | 1.19 | 1.28 | 1.24 | 1.56 | 1.58 | 1.47 |
| 3400 | 1.64 | 1.54 | 1.35 | 1.34 | 1.32 | 1.29 | 1.79 | 1.81 | 1.60 |
| 3600 | 1.71 | 1.68 | 1.31 | 1.15 | 0.95 | 1.13 | 1.73 | 1.76 | 1.82 |
| 3800 | 10.08 | 1.22 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.96 | 58.92 | 53.44 | 7.61 |
| 4000 | 2.30 | 1.05 | 0.90 | 1.01 | 0.92 | 0.94 | 2.82 | 2.47 | 2.20 |
| 4200 | 1.64 | 1.23 | 1.18 | 1.16 | 1.16 | 1.03 | 1.69 | 1.91 | 1.50 |
| 4400 | 3.22 | 0.98 | 1.21 | 1.21 | 1.20 | 1.17 | 2.84 | 2.13 | 3.91 |
| 4600 | 1.28 | 1.11 | 1.65 | 1.57 | 1.43 | 1.30 | 1.54 | 1.69 | 1.31 |
| 4800 | 3.59 | 1.25 | 2.04 | 1.98 | 1.91 | 1.73 | 4.58 | 4.81 | 2.90 |
| 5000 | 1.86 | 1.23 | 1.75 | 1.73 | 1.73 | 1.39 | 2.19 | 2.29 | 1.83 |
| 5200 | 3.84 | 1.90 | 1.72 | 1.71 | 1.38 | 1.33 | 1.94 | 1.96 | 2.47 |
| 5400 | 2.83 | 0.86 | 1.07 | 1.02 | 0.91 | 0.89 | 2.26 | 2.38 | 1.66 |
| 5600 | 181.88 | 0.83 | 2.07 | 2.05 | 1.83 | 1.66 | 50.17 | 9.70 | 12.65 |
| 5800 | 1.73 | 0.66 | 2.69 | 2.51 | 2.43 | 1.94 | 13.03 | 29.94 | 1.47 |
| 6000 | 2.52 | 0.92 | 2.95 | 2.72 | 2.54 | 2.42 | 2.76 | 2.70 | 2.47 |

| | | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6200 | 1.61 | 0.86 | 2.70 | 2.56 | 2.52 | 1.66 | 1.83 | 1.88 | 1.71 |
| 6400 | 1.32 | 0.92 | 1.94 | 2.12 | 2.07 | 1.71 | 1.39 | 1.58 | 1.17 |
| 6600 | 3.20 | 1.60 | 1.38 | 1.60 | 1.70 | 2.21 | 3.35 | 4.15 | 2.18 |
| 6800 | 3.46 | 1.78 | 1.88 | 2.22 | 2.19 | 2.39 | 4.73 | 8.11 | 7.26 |
| \bar{X} | 7.58 | 1.64 | 1.53 | 1.51 | 1.44 | 1.35 | 5.98 | 5.50 | 2.29 |

| WH0.25 | WH0.5 | WH1.0 | WH1.5 |
|--------|-------|-------|-------|
| 1.074 | 1.063 | 0.991 | 0.930 |
| 0.748 | 0.733 | 0.702 | 0.641 |
| 2.025 | 2.019 | 1.718 | 1.580 |
| 2.793 | 2.784 | 2.701 | 2.529 |
| 0.737 | 0.766 | 0.730 | 0.868 |
| 0.668 | 0.669 | 0.673 | 0.743 |
| 2.232 | 1.889 | 1.713 | 1.635 |
| 1.003 | 1.004 | 0.963 | 0.963 |
| 0.785 | 0.785 | 0.777 | 0.984 |
| 0.867 | 1.025 | 1.161 | 1.379 |
| 0.995 | 0.982 | 0.923 | 0.774 |
| 1.655 | 1.552 | 1.548 | 1.011 |
| 1.453 | 1.404 | 1.248 | 1.155 |
| 1.405 | 1.332 | 1.309 | 0.904 |
| 1.547 | 1.495 | 1.353 | 1.249 |
| 1.135 | 1.192 | 1.277 | 1.245 |
| 1.348 | 1.344 | 1.322 | 1.289 |
| 1.309 | 1.145 | 0.952 | 1.129 |
| 1.001 | 1.000 | 0.995 | 0.963 |
| 0.903 | 1.006 | 0.923 | 0.941 |
| 1.179 | 1.162 | 1.155 | 1.027 |
| 1.210 | 1.210 | 1.203 | 1.173 |
| 1.647 | 1.573 | 1.433 | 1.304 |
| 2.037 | 1.977 | 1.910 | 1.734 |
| 1.747 | 1.734 | 1.725 | 1.389 |
| 1.722 | 1.709 | 1.378 | 1.333 |
| 1.073 | 1.023 | 0.910 | 0.887 |
| 2.070 | 2.052 | 1.828 | 1.657 |
| 2.685 | 2.514 | 2.432 | 1.938 |
| 2.949 | 2.715 | 2.536 | 2.420 |

| | | | | |
|-----|----------|----------|----------|----------|
| | 2.701 | 2.563 | 2.525 | 1.661 |
| | 1.942 | 2.121 | 2.066 | 1.712 |
| | 1.378 | 1.602 | 1.695 | 2.213 |
| | 1.878 | 2.219 | 2.193 | 2.389 |
| AVG | 1.527 | 1.511 | 1.440 | 1.346 |
| STD | 0.631065 | 0.595775 | 0.568583 | 0.501521 |

| f (Hz) | output (dB) | PW (dB) | ET (dB) | AF (dB) | WH0.25 (dB) | WH0.5 (dB) | WH1.0 (dB) | WH1.5 (dB) | G (dB) | M (dB) | RW (dB) |
|--------|-------------|---------|---------|---------|-------------|------------|------------|------------|--------|--------|---------|
| 200 | -41.1 | -50.2 | -53.2 | -54.1 | -52.0 | -52.5 | -52.6 | -52.7 | -49.9 | -49.6 | -50.9 |
| 400 | -60.5 | -65.2 | -76.8 | -76.2 | -81.7 | -81.9 | -82.4 | -83.6 | -65.7 | -65.8 | -66.5 |
| 600 | -49.3 | -48.9 | -54.5 | -60.2 | -56.2 | -57.3 | -57.8 | -58.0 | -48.2 | -47.7 | -47.6 |
| 800 | -55.6 | -56.7 | -62.0 | -79.6 | -62.4 | -62.7 | -62.8 | -63.8 | -55.8 | -56.1 | -58.3 |
| 1000 | -58.7 | -61.9 | -71.1 | -75.2 | -75.0 | -75.2 | -75.7 | -77.9 | -61.4 | -62.3 | -65.3 |
| 1200 | -48.1 | -66.1 | -75.6 | -77.3 | -80.0 | -93.8 | -94.1 | -96.4 | -63.8 | -62.2 | -67.6 |
| 1400 | -63.0 | -67.9 | -73.2 | -78.2 | -70.8 | -72.7 | -73.3 | -74.7 | -65.2 | -65.2 | -70.0 |
| 1600 | -56.2 | -64.2 | -73.2 | -75.7 | -81.1 | -80.3 | -83.7 | -91.1 | -61.9 | -61.1 | -66.1 |
| 1800 | -56.1 | -69.0 | -70.5 | -85.3 | -75.4 | -76.5 | -76.9 | -77.8 | -65.7 | -65.4 | -68.0 |
| 2000 | -70.7 | -66.0 | -74.9 | -81.9 | -79.0 | -82.0 | -82.1 | -85.1 | -65.4 | -67.8 | -66.1 |
| 2200 | -68.0 | -62.9 | -72.8 | -83.1 | -73.2 | -74.5 | -74.6 | -75.3 | -61.1 | -60.3 | -70.5 |
| 2400 | -68.4 | -70.3 | -80.4 | -91.8 | -86.0 | -82.9 | -83.1 | -100.1 | -69.6 | -70.8 | -65.0 |
| 2600 | -55.2 | -64.6 | -68.6 | -91.2 | -74.9 | -75.9 | -76.1 | -76.7 | -64.4 | -65.7 | -61.0 |
| 2800 | -50.4 | -66.9 | -64.5 | -77.3 | -68.3 | -68.9 | -69.1 | -69.3 | -66.1 | -67.5 | -57.2 |
| 3000 | -49.8 | -64.9 | -71.3 | -83.4 | -73.2 | -74.5 | -74.4 | -78.7 | -65.7 | -63.4 | -63.8 |
| 3200 | -46.2 | -65.2 | -73.7 | -82.7 | -76.9 | -73.6 | -73.0 | -70.0 | -64.1 | -63.1 | -71.3 |
| 3400 | -49.2 | -70.1 | -77.2 | -90.2 | -80.3 | -74.2 | -73.8 | -70.7 | -69.6 | -68.9 | -74.4 |
| 3600 | -50.7 | -71.1 | -76.9 | -85.6 | -84.6 | -78.3 | -77.0 | -72.5 | -69.1 | -70.2 | -74.8 |
| 3800 | -57.2 | -63.5 | -73.4 | -80.7 | -81.9 | -82.0 | -81.7 | -78.4 | -61.9 | -61.7 | -59.5 |
| 4000 | -52.2 | -63.9 | -80.1 | -81.6 | -84.2 | -85.2 | -85.2 | -89.8 | -62.9 | -62.4 | -64.6 |
| 4200 | -50.8 | -69.6 | -76.0 | -83.7 | -76.6 | -75.7 | -76.1 | -77.8 | -67.4 | -67.6 | -70.2 |
| 4400 | -51.7 | -59.7 | -78.9 | -83.2 | -72.4 | -72.1 | -72.2 | -72.7 | -58.9 | -57.7 | -60.5 |
| 4600 | -53.5 | -79.9 | -81.3 | -88.2 | -75.2 | -75.4 | -76.6 | -76.7 | -74.7 | -73.5 | -79.4 |
| 4800 | -58.3 | -65.8 | -82.8 | -85.0 | -74.4 | -76.2 | -76.8 | -77.4 | -63.2 | -63.2 | -67.4 |
| 5000 | -58.1 | -70.6 | -76.4 | -81.9 | -78.6 | -79.6 | -81.2 | -83.5 | -70.4 | -68.5 | -73.6 |
| 5200 | -59.6 | -66.9 | -70.1 | -77.5 | -80.1 | -82.0 | -82.0 | -74.7 | -66.6 | -65.6 | -64.5 |
| 5400 | -59.9 | -66.4 | -75.9 | -75.2 | -71.6 | -73.8 | -73.8 | -72.1 | -64.7 | -64.6 | -66.1 |
| 5600 | -63.0 | -65.2 | -77.6 | -76.2 | -77.0 | -74.6 | -74.4 | -72.4 | -64.6 | -65.2 | -63.1 |
| 5800 | -58.4 | -68.4 | -83.6 | -77.2 | -76.1 | -74.8 | -73.3 | -71.8 | -68.4 | -68.2 | -70.0 |
| 6000 | -60.1 | -70.3 | -85.6 | -88.1 | -72.8 | -74.2 | -75.4 | -77.3 | -69.4 | -70.2 | -73.2 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6200 | -57.6 | -79.4 | -83.3 | -86.3 | -77.2 | -78.0 | -80.1 | -83.2 | -76.6 | -68.9 | -74.2 |
| 6400 | -61.7 | -76.8 | -79.2 | -78.3 | -84.7 | -82.7 | -81.5 | -75.9 | -74.2 | -72.5 | -75.4 |
| 6600 | -64.7 | -73.3 | -74.6 | -79.3 | -79.1 | -81.5 | -82.1 | -82.3 | -75.5 | -73.5 | -70.6 |
| 6800 | -67.9 | -75.2 | -77.9 | -82.0 | -89.4 | -87.4 | -87.6 | -88.0 | -74.3 | -71.8 | -73.7 |
| \bar{x} | -56.8 | -66.7 | -74.3 | -80.4 | -76.0 | -76.3 | -76.6 | -77.3 | -65.5 | -64.9 | -66.8 |

| f (Hz) | PW | ET | AF | WH0.25 | WH0.5 | WH1.0 | WH1.5 | G | M | RW |
|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 200 | -9.1 | -12.1 | -13.0 | -11.0 | -11.5 | -11.5 | -11.7 | -8.8 | -8.6 | -9.8 |
| 400 | -4.8 | -16.3 | -15.7 | -21.2 | -21.5 | -22.0 | -23.2 | -5.2 | -5.3 | -6.0 |
| 600 | 0.5 | -5.1 | -10.8 | -6.8 | -8.0 | -8.5 | -8.6 | 1.1 | 1.7 | 1.7 |
| 800 | -1.2 | -6.4 | -24.1 | -6.8 | -7.1 | -7.2 | -8.2 | -0.2 | -0.5 | -2.7 |
| 1000 | -3.2 | -12.4 | -16.5 | -16.3 | -16.5 | -17.0 | -19.2 | -2.7 | -3.6 | -6.6 |
| 1200 | -18.1 | -27.5 | -29.3 | -31.9 | -45.7 | -46.0 | -48.3 | -15.8 | -14.1 | -19.5 |
| 1400 | -5.0 | -10.3 | -15.2 | -7.9 | -9.7 | -10.4 | -11.7 | -2.2 | -2.3 | -7.1 |
| 1600 | -8.0 | -17.0 | -19.5 | -24.9 | -24.1 | -27.5 | -34.9 | -5.7 | -4.9 | -9.8 |
| 1800 | -12.9 | -14.3 | -29.2 | -19.3 | -20.4 | -20.8 | -21.7 | -9.6 | -9.2 | -11.9 |
| 2000 | 4.7 | -4.1 | -11.2 | -8.2 | -11.2 | -11.4 | -14.4 | 5.3 | 3.0 | 4.6 |
| 2200 | 5.1 | -4.8 | -15.1 | -5.3 | -6.5 | -6.7 | -7.3 | 6.9 | 7.6 | -2.5 |
| 2400 | -1.9 | -12.0 | -23.4 | -17.6 | -14.4 | -14.7 | -31.7 | -1.2 | -2.4 | 3.4 |
| 2600 | -9.4 | -13.4 | -36.0 | -19.7 | -20.7 | -20.8 | -21.5 | -9.1 | -10.4 | -5.7 |
| 2800 | -16.4 | -14.1 | -26.9 | -17.9 | -18.5 | -18.7 | -18.9 | -15.7 | -17.1 | -6.8 |
| 3000 | -15.1 | -21.6 | -33.6 | -23.4 | -24.7 | -24.6 | -28.9 | -15.9 | -13.6 | -14.0 |
| 3200 | -19.1 | -27.5 | -36.6 | -30.7 | -27.5 | -26.9 | -23.9 | -18.0 | -17.0 | -25.2 |
| 3400 | -20.9 | -28.0 | -41.0 | -31.2 | -25.0 | -24.6 | -21.5 | -20.5 | -19.7 | -25.2 |
| 3600 | -20.4 | -26.2 | -34.9 | -33.9 | -27.6 | -26.3 | -21.8 | -18.4 | -19.5 | -24.1 |
| 3800 | -6.3 | -16.3 | -23.5 | -24.7 | -24.8 | -24.5 | -21.2 | -4.7 | -4.5 | -2.3 |
| 4000 | -11.6 | -27.8 | -29.3 | -32.0 | -33.0 | -33.0 | -37.6 | -10.7 | -10.1 | -12.3 |
| 4200 | -18.8 | -25.2 | -32.9 | -25.8 | -24.9 | -25.3 | -27.0 | -16.6 | -16.8 | -19.4 |
| 4400 | -8.0 | -27.2 | -31.5 | -20.7 | -20.4 | -20.5 | -21.0 | -7.2 | -6.0 | -8.8 |
| 4600 | -26.4 | -27.8 | -34.7 | -21.7 | -21.9 | -23.2 | -23.2 | -21.2 | -20.0 | -25.9 |
| 4800 | -7.5 | -24.5 | -26.7 | -16.1 | -17.9 | -18.5 | -19.1 | -4.9 | -4.9 | -9.1 |
| 5000 | -12.5 | -18.3 | -23.8 | -20.5 | -21.5 | -23.1 | -25.5 | -12.4 | -10.4 | -15.5 |
| 5200 | -7.2 | -10.4 | -17.9 | -20.5 | -22.4 | -22.4 | -15.0 | -7.0 | -6.0 | -4.9 |
| 5400 | -6.5 | -16.0 | -15.3 | -11.6 | -13.9 | -13.9 | -12.2 | -4.8 | -4.7 | -6.2 |
| 5600 | -2.1 | -14.5 | -13.2 | -14.0 | -11.6 | -11.3 | -9.3 | -1.6 | -2.2 | -0.1 |
| 5800 | -10.0 | -25.2 | -18.8 | -17.7 | -16.4 | -14.9 | -13.4 | -10.0 | -9.8 | -11.6 |
| 6000 | -10.1 | -25.5 | -27.9 | -12.6 | -14.1 | -15.2 | -17.2 | -9.3 | -10.0 | -13.1 |
| 6200 | -21.8 | -25.7 | -28.7 | -19.5 | -20.4 | -22.5 | -25.6 | -19.0 | -11.3 | -16.6 |

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6400 | -15.1 | -17.6 | -16.7 | -23.0 | -21.0 | -19.9 | -14.3 | -12.5 | -10.9 | -13.7 |
| 6600 | -8.6 | -9.8 | -14.5 | -14.4 | -16.8 | -17.4 | -17.6 | -10.8 | -8.8 | -5.8 |
| 6800 | -7.3 | -10.0 | -14.2 | -21.6 | -19.5 | -19.7 | -20.1 | -6.5 | -4.0 | -5.8 |

| f (Hz) | PW | ET | WH0.25 | WH0.5 | WH1.0 | WH1.5 | G | M | RW |
|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 200 | 1.428 | 1.069 | 1.183 | 1.132 | 1.125 | 1.112 | 1.476 | 1.517 | 1.318 |
| 400 | 3.300 | 0.965 | 0.742 | 0.734 | 0.716 | 0.679 | 3.021 | 2.948 | 2.619 |
| 600 | -24.07 | 2.107 | 1.588 | 1.354 | 1.279 | 1.253 | -9.757 | -6.446 | -6.260 |
| 800 | 20.913 | 3.734 | 3.511 | 3.378 | 3.340 | 2.944 | 100.21 | 44.537 | 8.842 |
| 1000 | 5.176 | 1.333 | 1.010 | 0.996 | 0.967 | 0.857 | 6.029 | 4.598 | 2.490 |
| 1200 | 1.620 | 1.064 | 0.916 | 0.640 | 0.635 | 0.605 | 1.857 | 2.070 | 1.501 |
| 1400 | 3.067 | 1.480 | 1.933 | 1.566 | 1.465 | 1.297 | 6.851 | 6.671 | 2.157 |
| 1600 | 2.452 | 1.148 | 0.785 | 0.809 | 0.710 | 0.559 | 3.419 | 4.000 | 1.982 |
| 1800 | 2.268 | 2.038 | 1.513 | 1.431 | 1.408 | 1.349 | 3.049 | 3.165 | 2.465 |
| 2000 | -2.395 | 2.708 | 1.362 | 0.997 | 0.982 | 0.781 | -2.123 | -3.800 | -2.448 |
| 2200 | -2.980 | 3.148 | 2.867 | 2.314 | 2.269 | 2.070 | -2.193 | -1.975 | 6.020 |
| 2400 | 12.241 | 1.955 | 1.326 | 1.619 | 1.587 | 0.737 | 20.330 | 9.621 | -6.876 |
| 2600 | 3.835 | 2.695 | 1.830 | 1.740 | 1.730 | 1.676 | 3.940 | 3.449 | 6.295 |
| 2800 | 1.634 | 1.906 | 1.499 | 1.452 | 1.439 | 1.425 | 1.709 | 1.570 | 3.946 |
| 3000 | 2.227 | 1.559 | 1.434 | 1.362 | 1.365 | 1.163 | 2.111 | 2.466 | 2.394 |
| 3200 | 1.920 | 1.331 | 1.191 | 1.332 | 1.361 | 1.533 | 2.036 | 2.155 | 1.454 |
| 3400 | 1.964 | 1.464 | 1.315 | 1.641 | 1.666 | 1.907 | 2.003 | 2.081 | 1.628 |
| 3600 | 1.709 | 1.333 | 1.030 | 1.263 | 1.325 | 1.604 | 1.895 | 1.792 | 1.450 |
| 3800 | 3.711 | 1.448 | 0.951 | 0.949 | 0.959 | 1.109 | 4.975 | 5.229 | 10.320 |
| 4000 | 2.519 | 1.053 | 0.916 | 0.890 | 0.889 | 0.780 | 2.738 | 2.894 | 2.378 |
| 4200 | 1.753 | 1.305 | 1.278 | 1.324 | 1.300 | 1.218 | 1.983 | 1.955 | 1.699 |
| 4400 | 3.917 | 1.158 | 1.516 | 1.541 | 1.536 | 1.496 | 4.374 | 5.233 | 3.594 |
| 4600 | 1.316 | 1.248 | 1.602 | 1.584 | 1.501 | 1.497 | 1.636 | 1.737 | 1.343 |
| 4800 | 3.546 | 1.092 | 1.658 | 1.490 | 1.446 | 1.398 | 5.427 | 5.449 | 2.950 |
| 5000 | 1.900 | 1.305 | 1.165 | 1.107 | 1.030 | 0.936 | 1.930 | 2.291 | 1.539 |
| 5200 | 2.474 | 1.714 | 0.871 | 0.798 | 0.799 | 1.188 | 2.551 | 2.987 | 3.667 |
| 5400 | 2.356 | 0.956 | 1.315 | 1.100 | 1.104 | 1.256 | 3.199 | 3.260 | 2.474 |
| 5600 | 6.174 | 0.905 | 0.939 | 1.134 | 1.160 | 1.406 | 8.484 | 6.116 | 164.38 |
| 5800 | 1.880 | 0.747 | 1.062 | 1.149 | 1.261 | 1.405 | 1.888 | 1.916 | 1.619 |
| 6000 | 2.761 | 1.097 | 2.210 | 1.982 | 1.836 | 1.625 | 3.011 | 2.786 | 2.136 |

| | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6200 | 1.316 | 1.118 | 1.469 | 1.405 | 1.275 | 1.121 | 1.512 | 2.544 | 1.727 |
| 6400 | 1.105 | 0.949 | 0.725 | 0.793 | 0.839 | 1.170 | 1.330 | 1.532 | 1.215 |
| 6600 | 1.701 | 1.476 | 1.010 | 0.865 | 0.836 | 0.826 | 1.353 | 1.662 | 2.490 |
| 6800 | 1.936 | 1.411 | 0.656 | 0.725 | 0.718 | 0.705 | 2.190 | 3.582 | 2.440 |
| \bar{x} | 2.255 | 1.530 | 1.364 | 1.312 | 1.290 | 1.255 | 5.719 | 3.870 | 6.969 |

| WH0.25 | WH0.5 | WH1.0 | WH1.5 |
|--------|-------|-------|-------|
| 1.183 | 1.132 | 1.125 | 1.112 |
| 0.742 | 0.734 | 0.716 | 0.679 |
| 1.588 | 1.354 | 1.279 | 1.253 |
| 3.511 | 3.378 | 3.340 | 2.944 |
| 1.010 | 0.996 | 0.967 | 0.857 |
| 0.916 | 0.640 | 0.635 | 0.605 |
| 1.933 | 1.566 | 1.465 | 1.297 |
| 0.785 | 0.809 | 0.710 | 0.559 |
| 1.513 | 1.431 | 1.408 | 1.349 |
| 1.362 | 0.997 | 0.982 | 0.781 |
| 2.867 | 2.314 | 2.269 | 2.070 |
| 1.326 | 1.619 | 1.587 | 0.737 |
| 1.830 | 1.740 | 1.730 | 1.676 |
| 1.499 | 1.452 | 1.439 | 1.425 |
| 1.434 | 1.362 | 1.365 | 1.163 |
| 1.191 | 1.332 | 1.361 | 1.533 |
| 1.315 | 1.641 | 1.666 | 1.907 |
| 1.030 | 1.263 | 1.325 | 1.604 |
| 0.951 | 0.949 | 0.959 | 1.109 |
| 0.916 | 0.890 | 0.889 | 0.780 |
| 1.278 | 1.324 | 1.300 | 1.218 |
| 1.516 | 1.541 | 1.536 | 1.496 |
| 1.602 | 1.584 | 1.501 | 1.497 |
| 1.658 | 1.490 | 1.446 | 1.398 |
| 1.165 | 1.107 | 1.030 | 0.936 |
| 0.871 | 0.798 | 0.799 | 1.188 |
| 1.315 | 1.100 | 1.104 | 1.256 |
| 0.939 | 1.134 | 1.160 | 1.406 |
| 1.062 | 1.149 | 1.261 | 1.405 |
| 2.210 | 1.982 | 1.836 | 1.625 |

| | | | | |
|-----|----------|----------|----------|---------|
| | 1.469 | 1.405 | 1.275 | 1.121 |
| | 0.725 | 0.793 | 0.839 | 1.170 |
| | 1.010 | 0.865 | 0.836 | 0.826 |
| | 0.656 | 0.725 | 0.718 | 0.705 |
| AVG | 1.364 | 1.312 | 1.290 | 1.255 |
| STD | 0.592759 | 0.527477 | 0.515769 | 0.47551 |

| f (Hz) | output (dB) | PW (dB) | ET (dB) | AF (dB) | WH0.25 (dB) | WH0.5 (dB) | WH1.0 (dB) | WH1.5 (dB) | G (dB) | M (dB) | RW (dB) |
|--------|----------------|------------|------------|------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------|-----------|------------|
| 200 | -41.1 | -49.2 | -54.4 | -55.0 | -50.6 | -52.5 | -53.1 | -57.2 | -50.0 | -48.2 | -51.0 |
| 400 | -60.5 | -67.3 | -79.1 | -80.3 | -77.1 | -75.1 | -72.0 | -73.9 | -65.2 | -66.1 | -67.1 |
| 600 | -49.3 | -46.3 | -53.0 | -59.9 | -54.7 | -54.8 | -55.1 | -59.4 | -47.2 | -45.2 | -47.2 |
| 800 | -55.6 | -57.7 | -61.8 | -64.2 | -63.8 | -62.5 | -62.6 | -66.1 | -54.0 | -53.2 | -59.0 |
| 1000 | -58.7 | -62.1 | -73.8 | -74.1 | -75.2 | -77.4 | -77.5 | -81.6 | -60.0 | -59.0 | -65.2 |
| 1200 | -48.1 | -66.1 | -74.0 | -84.2 | -77.3 | -78.4 | -78.3 | -77.8 | -65.1 | -64.2 | -67.0 |
| 1400 | -63.0 | -68.7 | -71.5 | -73.4 | -71.5 | -71.5 | -70.4 | -76.3 | -66.6 | -68.2 | -69.9 |
| 1600 | -56.2 | -64.9 | -71.2 | -70.6 | -70.1 | -71.0 | -72.1 | -73.6 | -64.2 | -67.4 | -67.2 |
| 1800 | -56.1 | -68.1 | -70.8 | -74.3 | -70.8 | -71.9 | -73.8 | -76.5 | -66.6 | -65.9 | -65.9 |
| 2000 | -70.7 | -65.8 | -72.8 | -76.2 | -73.4 | -74.1 | -74.9 | -77.8 | -66.9 | -66.9 | -66.8 |
| 2200 | -68.0 | -73.3 | -75.2 | -76.1 | -74.2 | -77.3 | -79.6 | -81.4 | -72.3 | -73.2 | -72.4 |
| 2400 | -68.4 | -64.2 | -81.8 | -80.7 | -75.8 | -74.3 | -70.6 | -75.2 | -63.5 | -61.6 | -67.5 |
| 2600 | -55.2 | -62.4 | -65.9 | -75.2 | -67.0 | -67.4 | -66.4 | -70.9 | -60.3 | -63.3 | -62.2 |
| 2800 | -50.4 | -55.7 | -63.6 | -69.5 | -68.9 | -67.8 | -64.0 | -69.4 | -55.3 | -54.6 | -56.9 |
| 3000 | -49.8 | -65.3 | -70.7 | -73.1 | -68.6 | -68.9 | -70.1 | -74.2 | -64.0 | -65.0 | -66.4 |
| 3200 | -46.2 | -69.4 | -74.4 | -82.4 | -77.6 | -78.5 | -79.2 | -80.0 | -67.4 | -67.6 | -69.2 |
| 3400 | -49.2 | -72.7 | -75.7 | -85.0 | -84.4 | -84.3 | -78.3 | -78.7 | -72.6 | -70.3 | -74.2 |
| 3600 | -50.7 | -75.1 | -75.2 | -79.5 | -79.1 | -80.1 | -76.5 | -77.4 | -75.5 | -76.9 | -76.1 |
| 3800 | -57.2 | -61.8 | -75.9 | -78.6 | -74.1 | -82.5 | -73.5 | -79.2 | -61.4 | -61.3 | -63.1 |
| 4000 | -52.2 | -65.7 | -79.5 | -82.4 | -77.1 | -79.2 | -80.1 | -89.5 | -62.7 | -60.7 | -65.0 |
| 4200 | -50.8 | -68.3 | -75.9 | -92.4 | -76.0 | -76.2 | -76.5 | -80.1 | -71.8 | -70.2 | -69.1 |
| 4400 | -51.7 | -61.5 | -80.6 | -85.1 | -77.5 | -79.5 | -79.7 | -79.8 | -63.1 | -61.0 | -62.4 |
| 4600 | -53.5 | -81.4 | -84.9 | -88.2 | -83.9 | -85.0 | -85.6 | -85.7 | -81.8 | -83.3 | -81.2 |
| 4800 | -58.3 | -65.8 | -84.7 | -95.6 | -87.1 | -85.4 | -82.2 | -78.5 | -63.2 | -63.1 | -68.4 |
| 5000 | -58.1 | -70.2 | -76.0 | -86.4 | -73.3 | -75.8 | -77.3 | -77.9 | -70.4 | -70.1 | -71.5 |
| 5200 | -59.6 | -67.4 | -68.7 | -78.8 | -74.5 | -72.8 | -71.4 | -72.7 | -66.7 | -66.2 | -65.4 |
| 5400 | -59.9 | -68.4 | -78.7 | -89.1 | -79.7 | -80.5 | -80.6 | -87.1 | -66.9 | -65.7 | -67.3 |
| 5600 | -63.0 | -63.4 | -79.1 | -90.2 | -83.1 | -83.2 | -85.0 | -87.7 | -66.8 | -68.0 | -63.9 |
| 5800 | -58.4 | -70.2 | -88.8 | -92.1 | -81.2 | -82.8 | -83.3 | -83.6 | -63.2 | -66.2 | -71.4 |
| 6000 | -60.1 | -68.7 | -87.4 | -91.1 | -80.8 | -81.0 | -84.1 | -87.1 | -66.1 | -66.0 | -70.0 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6200 | -57.6 | -77.0 | -85.6 | -86.3 | -83.3 | -83.6 | -85.6 | -86.3 | -68.3 | -68.7 | -75.7 |
| 6400 | -61.7 | -78.6 | -79.7 | -81.1 | -79.5 | -80.0 | -87.2 | -78.3 | -80.1 | -78.8 | -77.7 |
| 6600 | -64.7 | -71.3 | -74.0 | -78.4 | -72.3 | -74.8 | -75.4 | -75.5 | -73.1 | -73.8 | -71.8 |
| 6800 | -67.9 | -73.4 | -78.1 | -83.5 | -83.5 | -79.9 | -78.2 | -77.8 | -72.2 | -73.0 | -75.6 |
| \bar{x} | -56.8 | -66.7 | -74.8 | -79.8 | -74.9 | -75.6 | -75.3 | -77.5 | -65.7 | -65.7 | -67.4 |

| F (Hz) | PW | ET | AF | WH0.25 | WH0.5 | WH1.0 | WH1.5 | G | M | RW |
|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 200 | -8.1 | -13.3 | -13.9 | -9.5 | -11.5 | -12.0 | -16.1 | -8.9 | -7.2 | -9.9 |
| 400 | -6.8 | -18.7 | -19.8 | -16.6 | -14.6 | -11.6 | -13.4 | -4.7 | -5.6 | -6.7 |
| 600 | 3.0 | -3.7 | -10.6 | -5.4 | -5.4 | -5.8 | -10.1 | 2.1 | 4.2 | 2.2 |
| 800 | -2.1 | -6.2 | -8.6 | -8.2 | -6.9 | -7.0 | -10.5 | 1.6 | 2.4 | -3.4 |
| 1000 | -3.4 | -15.1 | -15.3 | -16.5 | -18.7 | -18.8 | -22.9 | -1.3 | -0.3 | -6.5 |
| 1200 | -18.0 | -25.9 | -36.1 | -29.3 | -30.4 | -30.2 | -29.8 | -17.1 | -16.2 | -19.0 |
| 1400 | -5.8 | -8.5 | -10.5 | -8.5 | -8.6 | -7.5 | -13.3 | -3.7 | -5.2 | -6.9 |
| 1600 | -8.7 | -15.0 | -14.4 | -13.9 | -14.8 | -15.9 | -17.4 | -8.0 | -11.2 | -11.0 |
| 1800 | -11.9 | -14.6 | -18.1 | -14.6 | -15.7 | -17.7 | -20.4 | -10.4 | -9.8 | -9.8 |
| 2000 | 4.9 | -2.1 | -5.5 | -2.7 | -3.4 | -4.2 | -7.1 | 3.8 | 3.8 | 3.9 |
| 2200 | -5.4 | -7.3 | -8.2 | -6.3 | -9.3 | -11.6 | -13.4 | -4.4 | -5.2 | -4.5 |
| 2400 | 4.2 | -13.4 | -12.3 | -7.4 | -5.9 | -2.2 | -6.8 | 4.9 | 6.8 | 0.9 |
| 2600 | -7.2 | -10.7 | -20.0 | -11.8 | -12.2 | -11.2 | -15.7 | -5.0 | -8.1 | -7.0 |
| 2800 | -5.3 | -13.1 | -19.1 | -18.4 | -17.4 | -13.6 | -19.0 | -4.9 | -4.2 | -6.4 |
| 3000 | -15.5 | -20.9 | -23.3 | -18.8 | -19.1 | -20.3 | -24.4 | -14.2 | -15.2 | -16.6 |
| 3200 | -23.3 | -28.3 | -36.3 | -31.4 | -32.3 | -33.0 | -33.8 | -21.2 | -21.4 | -23.0 |
| 3400 | -23.6 | -26.5 | -35.8 | -35.2 | -35.1 | -29.2 | -29.5 | -23.4 | -21.2 | -25.0 |
| 3600 | -24.4 | -24.5 | -28.8 | -28.4 | -29.4 | -25.8 | -26.7 | -24.8 | -26.2 | -25.4 |
| 3800 | -4.6 | -18.7 | -21.4 | -16.9 | -25.4 | -16.3 | -22.1 | -4.2 | -4.1 | -6.0 |
| 4000 | -13.5 | -27.3 | -30.2 | -24.9 | -26.9 | -27.8 | -37.3 | -10.5 | -8.5 | -12.8 |
| 4200 | -17.5 | -25.1 | -41.6 | -25.2 | -25.4 | -25.7 | -29.3 | -21.0 | -19.4 | -18.3 |
| 4400 | -9.8 | -28.9 | -33.4 | -25.8 | -27.8 | -28.0 | -28.1 | -11.4 | -9.3 | -10.7 |
| 4600 | -27.9 | -31.4 | -34.8 | -30.5 | -31.5 | -32.2 | -32.2 | -28.3 | -29.8 | -27.7 |
| 4800 | -7.5 | -26.4 | -37.3 | -28.8 | -27.1 | -23.9 | -20.2 | -4.9 | -4.8 | -10.1 |
| 5000 | -12.1 | -17.9 | -28.3 | -15.2 | -17.7 | -19.2 | -19.8 | -12.3 | -12.1 | -13.4 |
| 5200 | -7.7 | -9.0 | -19.1 | -14.8 | -13.2 | -11.8 | -13.0 | -7.1 | -6.5 | -5.7 |
| 5400 | -8.5 | -18.8 | -29.1 | -19.7 | -20.5 | -20.7 | -27.2 | -7.0 | -5.7 | -7.4 |
| 5600 | -0.4 | -16.1 | -27.1 | -20.1 | -20.2 | -22.0 | -24.7 | -3.8 | -5.0 | -0.8 |
| 5800 | -11.8 | -30.4 | -33.7 | -22.8 | -24.4 | -24.9 | -25.2 | -4.7 | -7.8 | -13.0 |
| 6000 | -8.5 | -27.2 | -31.0 | -20.6 | -20.9 | -24.0 | -27.0 | -6.0 | -5.9 | -9.9 |

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6200 | -19.4 | -28.0 | -28.7 | -25.7 | -26.0 | -28.0 | -28.7 | -10.7 | -11.1 | -18.1 |
| 6400 | -17.0 | -18.0 | -19.4 | -17.8 | -18.4 | -25.5 | -16.7 | -18.5 | -17.1 | -16.1 |
| 6600 | -6.6 | -9.3 | -13.6 | -7.6 | -10.1 | -10.7 | -10.8 | -8.4 | -9.1 | -7.1 |
| 6800 | -5.5 | -10.2 | -15.6 | -15.6 | -12.0 | -10.3 | -9.9 | -4.3 | -5.1 | -7.8 |

| F (Hz) | PW | ET | WH0.25 | WH0.5 | WH1.0 | WH1.5 | G | M | RW |
|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 200 | 1.720 | 1.046 | 1.466 | 1.212 | 1.158 | 0.861 | 1.563 | 1.941 | 1.398 |
| 400 | 2.893 | 1.060 | 1.192 | 1.354 | 1.710 | 1.475 | 4.211 | 3.509 | 2.976 |
| 600 | -3.527 | 2.883 | 1.959 | 1.945 | 1.830 | 1.053 | -5.014 | -2.525 | -4.831 |
| 800 | 4.019 | 1.380 | 1.044 | 1.250 | 1.223 | 0.822 | -5.443 | -3.583 | 2.515 |
| 1000 | 4.512 | 1.018 | 0.932 | 0.822 | 0.817 | 0.670 | 11.710 | 46.485 | 2.364 |
| 1200 | 2.007 | 1.394 | 1.235 | 1.190 | 1.196 | 1.214 | 2.118 | 2.235 | 1.904 |
| 1400 | 1.813 | 1.228 | 1.229 | 1.221 | 1.404 | 0.785 | 2.866 | 2.000 | 1.518 |
| 1600 | 1.664 | 0.965 | 1.039 | 0.973 | 0.910 | 0.829 | 1.796 | 1.286 | 1.315 |
| 1800 | 1.518 | 1.238 | 1.238 | 1.152 | 1.025 | 0.888 | 1.739 | 1.851 | 1.849 |
| 2000 | -1.131 | 2.629 | 2.029 | 1.614 | 1.308 | 0.777 | -1.441 | -1.456 | -1.423 |
| 2200 | 1.519 | 1.127 | 1.303 | 0.876 | 0.705 | 0.609 | 1.878 | 1.559 | 1.828 |
| 2400 | -2.892 | 0.918 | 1.664 | 2.089 | 5.676 | 1.811 | -2.517 | -1.803 | -13.18 |
| 2600 | 2.775 | 1.866 | 1.692 | 1.643 | 1.787 | 1.277 | 3.964 | 2.479 | 2.850 |
| 2800 | 3.614 | 1.455 | 1.037 | 1.098 | 1.411 | 1.007 | 3.910 | 4.596 | 2.974 |
| 3000 | 1.499 | 1.113 | 1.240 | 1.217 | 1.146 | 0.955 | 1.640 | 1.535 | 1.401 |
| 3200 | 1.558 | 1.283 | 1.153 | 1.123 | 1.099 | 1.072 | 1.710 | 1.691 | 1.574 |
| 3400 | 1.520 | 1.352 | 1.017 | 1.019 | 1.228 | 1.212 | 1.531 | 1.692 | 1.433 |
| 3600 | 1.179 | 1.176 | 1.013 | 0.979 | 1.115 | 1.078 | 1.160 | 1.098 | 1.134 |
| 3800 | 4.671 | 1.147 | 1.272 | 0.846 | 1.313 | 0.972 | 5.081 | 5.204 | 3.603 |
| 4000 | 2.239 | 1.106 | 1.212 | 1.121 | 1.085 | 0.809 | 2.882 | 3.557 | 2.361 |
| 4200 | 2.369 | 1.657 | 1.651 | 1.638 | 1.618 | 1.417 | 1.980 | 2.146 | 2.276 |
| 4400 | 3.404 | 1.158 | 1.298 | 1.203 | 1.193 | 1.189 | 2.925 | 3.583 | 3.124 |
| 4600 | 1.246 | 1.107 | 1.142 | 1.105 | 1.081 | 1.078 | 1.230 | 1.165 | 1.254 |
| 4800 | 4.947 | 1.411 | 1.295 | 1.376 | 1.557 | 1.841 | 7.556 | 7.809 | 3.688 |
| 5000 | 2.345 | 1.584 | 1.864 | 1.604 | 1.478 | 1.432 | 2.300 | 2.351 | 2.109 |
| 5200 | 2.473 | 2.117 | 1.288 | 1.448 | 1.620 | 1.469 | 2.697 | 2.933 | 3.343 |
| 5400 | 3.427 | 1.549 | 1.478 | 1.418 | 1.409 | 1.072 | 4.185 | 5.093 | 3.963 |
| 5600 | 66.146 | 1.686 | 1.349 | 1.343 | 1.234 | 1.098 | 7.232 | 5.435 | 32.675 |
| 5800 | 2.861 | 1.108 | 1.476 | 1.381 | 1.354 | 1.334 | 7.099 | 4.336 | 2.583 |
| 6000 | 3.625 | 1.137 | 1.501 | 1.481 | 1.291 | 1.148 | 5.160 | 5.292 | 3.143 |

| | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6200 | 1.483 | 1.025 | 1.117 | 1.106 | 1.024 | 1.000 | 2.693 | 2.584 | 1.586 |
| 6400 | 1.144 | 1.078 | 1.090 | 1.058 | 0.761 | 1.165 | 1.050 | 1.135 | 1.207 |
| 6600 | 2.061 | 1.465 | 1.794 | 1.351 | 1.275 | 1.267 | 1.629 | 1.500 | 1.916 |
| 6800 | 2.849 | 1.536 | 1.001 | 1.306 | 1.523 | 1.581 | 3.604 | 3.067 | 2.018 |
| \bar{x} | 3.928 | 1.382 | 1.333 | 1.281 | 1.399 | 1.126 | 2.549 | 3.582 | 2.366 |

| WH0.25 | WH0.5 | WH1.0 | WH1.5 |
|--------|-------|-------|-------|
| 1.466 | 1.212 | 1.158 | 0.861 |
| 1.192 | 1.354 | 1.710 | 1.475 |
| 1.959 | 1.945 | 1.830 | 1.053 |
| 1.044 | 1.250 | 1.223 | 0.822 |
| 0.932 | 0.822 | 0.817 | 0.670 |
| 1.235 | 1.190 | 1.196 | 1.214 |
| 1.229 | 1.221 | 1.404 | 0.785 |
| 1.039 | 0.973 | 0.910 | 0.829 |
| 1.238 | 1.152 | 1.025 | 0.888 |
| 2.029 | 1.614 | 1.308 | 0.777 |
| 1.303 | 0.876 | 0.705 | 0.609 |
| 1.664 | 2.089 | 5.676 | 1.811 |
| 1.692 | 1.643 | 1.787 | 1.277 |
| 1.037 | 1.098 | 1.411 | 1.007 |
| 1.240 | 1.217 | 1.146 | 0.955 |
| 1.153 | 1.123 | 1.099 | 1.072 |
| 1.017 | 1.019 | 1.228 | 1.212 |
| 1.013 | 0.979 | 1.115 | 1.078 |
| 1.272 | 0.846 | 1.313 | 0.972 |
| 1.212 | 1.121 | 1.085 | 0.809 |
| 1.651 | 1.638 | 1.618 | 1.417 |
| 1.298 | 1.203 | 1.193 | 1.189 |
| 1.142 | 1.105 | 1.081 | 1.078 |
| 1.295 | 1.376 | 1.557 | 1.841 |
| 1.864 | 1.604 | 1.478 | 1.432 |
| 1.288 | 1.448 | 1.620 | 1.469 |
| 1.478 | 1.418 | 1.409 | 1.072 |
| 1.349 | 1.343 | 1.234 | 1.098 |
| 1.476 | 1.381 | 1.354 | 1.334 |
| 1.501 | 1.481 | 1.291 | 1.148 |

| | | | | |
|-----|---------|----------|-------------|-------------|
| | 1.117 | 1.106 | 1.024 | 1.000 |
| | 1.090 | 1.058 | 0.761 | 1.165 |
| | 1.794 | 1.351 | 1.275 | 1.267 |
| | 1.001 | 1.306 | 1.523 | 1.581 |
| AVG | 1.333 | 1.281 | 1.399 | 1.126 |
| Std | 0.29056 | 0.288518 | 0.803892006 | 0.298113878 |

ผนวก ง

| size (cm) | Ultimate Force (F) (N) | Rupture distance (m) | Delta length (m) | Surface Area (A) (m ²) | $\Delta L / L$ (m) | F/A (kN/m ²) | E (kPa) |
|-----------|------------------------|----------------------|------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------|---------|
| WH 0.25 | 13.588 | 0.000225 | 0.039775 | 0.000125 | 0.994375 | 108.70 | 0.11 |
| WH 0.5 | 26.737 | 0.000359 | 0.039641 | 0.000250 | 0.991025 | 106.95 | 0.11 |
| WH 1.0 | 58.212 | 0.000428 | 0.039572 | 0.000375 | 0.989300 | 155.23 | 0.16 |
| WH 1.5 | 81.032 | 0.001000 | 0.039000 | 0.000500 | 0.975000 | 162.06 | 0.17 |
| AVG | 44.892 | 0.000503 | 0.039497 | 0.000313 | 0.987425 | 133.24 | 0.14 |
| STD | 30.513 | 0.000342 | 0.000342 | 0.000161 | 0.008547 | 29.483 | 0.03 |