

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสังเคราะห์โฟมวัสดุประกอบจากน้ำยางและเศษผงหนัง
เพื่อประยุกต์ใช้เป็นฉนวนดูดซับเสียง

SYNTHESIS OF LATEX-LEATHER DIRT COMPOSITE FOAM
: APPLICATION FOR ACOUSTIC INSULATOR



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธพ.

๑๖๕๔๗

๒๕๔๘

พ.ศ. ๒๕๔๘

ISBN 974-15-1377-1

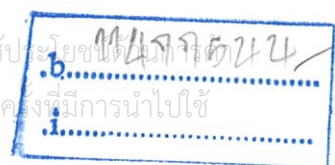
เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 58661

วันเดือนปี 31 ส.ค. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SYNTHESIS OF LATEX-LEATHER DIRT COMPOSITE FOAM
: APPLICATION FOR ACOUSTIC INSULATOR



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN PETROCHEMICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

ISBN 974-15-1377-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์เรื่อง	การสังเคราะห์โฟมวัสดุประกอบจากน้ำยางและเศษผงหนัง เพื่อประยุกต์ใช้เป็นฉนวนดูดซับเสียง
นักศึกษา	นางสาวจุไรรัตน์ ระวังพิคม์
รหัสประจำตัว	43061206
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมปิโตรเคมี
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์โฟมวัสดุประกอบจากน้ำยางข้นและเศษผงหนังเพื่อประยุกต์ใช้เป็นฉนวนดูดซับเสียง โดยทำการสังเคราะห์โฟมวัสดุประกอบด้วยเศษผงหนัง 3 ขนาด คือ มากกว่าหรือเท่ากับ 2.36 mm, น้อยกว่า 0.83 mm และเศษผงหนังคละขนาด ในอัตราส่วนของน้ำยางข้นต่อเศษผงหนัง (โดยน้ำหนัก) เท่ากับ 1:0.0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8, 1:1.0, 1:1.2, 1:1.4, 1:1.6 และ 1:1.8 ตามลำดับ ในแต่ละอัตราส่วนขึ้นรูปที่ความหนา 1 และ 2 cm ทำการศึกษาพื้นผิวของโฟมวัสดุประกอบด้วยกล้องสเตรียโอไมโครสโคป จากนั้นนำโฟมวัสดุประกอบที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm มาวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในช่วงความถี่ 250-4,000 Hz หาสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง ความหนาแน่นในแต่ละอัตราส่วน พบว่า โฟมวัสดุประกอบทุกอัตราส่วนการผสมของน้ำยางข้นและเศษผงหนังที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาด เป็นวัสดุพูนเซลเปิด มีความหนาแน่นในช่วง 73-128 kg/m³ มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงใกล้เคียงกันที่ความหนาเดียวกัน กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของปริมาณเศษผงหนังและขนาดของเศษผงหนังมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงไม่มากนัก แต่การผสมเศษผงหนังลงในยางพองน้ำจะช่วยลดต้นทุนการผลิต และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ คือ โฟมวัสดุประกอบจะมีขนาดของรูพูนกว้างขึ้น โฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นในงานวิจัยนี้มีคุณสมบัติใกล้เคียงและสามารถนำมาใช้แทนวัสดุดูดซับเสียงในเชิงพาณิชย์ได้ ควรเป็นโฟมวัสดุประกอบของเศษผงหนังคละขนาดที่มีอัตราส่วนการผสมของน้ำยางข้นต่อเศษผงหนังเท่ากับ 1:1.6 และมีความหนามากกว่า 2 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	SYNTHESIS OF LATEX-LEATHER DIRT COMPOSITE FOAM : APPLICATION FOR ACOUSTIC INSULATOR
Student	Miss Churairat Rakubpit
Student ID	43061206
Degree	Master of Engineering
Programme	Petrochemical Engineering
Year	2005
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Paisal Nakpipat

ABSTRACT

This research focused on the synthesis of composite foam sheets from latex and leather dirt to be used as acoustic insulator material. The composite foam sheets were synthesized from leather dirt with three different particle sizes; larger than or equal to 2.36 mm, less than 0.83 mm and with various size distributions. Latex was mixed with leather dirt at the following weight ratios 1:0.0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8, 1:1.0, 1:1.2, 1:1.4, 1:1.6 and 1:1.8, respectively. The composite foam was molded to produce a sheet which has thickness of 1 and 2 cm. Subsequently, the structures of composite foam sheets were studied using a stereo microscope. The composite foam sheets with thickness ranging from 1, 2, 4, 6 and 8 cm was studied for the sound absorption coefficient at the frequency range of 250-4,000 Hz, noise reduction coefficient, and density of the composite foam sheets. The experimental results revealed that the composite foam sheets synthesized from leather dirt with three different particle sizes consist of pores with open-cell structure, density ranging from 73-128 kg/m³. The composite foam sheets of identical thickness show no variation of sound absorption coefficient. The results suggest that increasing content of leather dirt and size of leather does not significantly affect sound absorption coefficient. Blending leather dirt with latex foam leads to an increase of porosity of the composite foam sheets. The composite foam sheets compounded from large particle size distribution at a weight ratio of 1:1.6 and thickness greater than 2 cm shows the highest potential to be used for acoustic insulator application. The cost reduction of raw materials in the compounding of the composite foam sheets is also an added-benefit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ด้วยคำแนะนำ คำปรึกษา และความอนุเคราะห์จากบุคคลและองค์กรหลายฝ่าย

ลำดับแรกผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งต่อความอนุเคราะห์จากท่านเป็นอย่างยิ่ง

ขอแสดงความขอบคุณ ห้องปฏิบัติการเสียงและการสั่นสะเทือนฝ่ายมาตรวิทยาเชิงกล สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ที่อนุเคราะห์เครื่อง Standing Wave Apparatus Type 4002

กราบขอบพระคุณ นายสมบัติและนางสมจิต ระวังพิศม์ (บิดา-มารดา) และญาติฯ ที่คอยให้กำลังใจ และเป็นพลังในยามที่ท้อถอย จนกระทั่งผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเพื่อนๆ ปริญญาโททุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือ คำแนะนำ พุดคุยและช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ ให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ใดๆ อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยไว้ ณ ที่นี้

จุไรรัตน์ ระวังพิศม์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 หนังสือสำเร็จ	3
2.1.1 กระบวนการผลิตหนังสือ.....	3
2.1.1.1 ขั้นตอนเตรียมหนังสือก่อนพอก.....	3
2.1.1.2 การพอกหนังสือ.....	4
2.1.1.3 การตกแต่ง.....	6
2.1.2 ขอบเสียและวิธีการลดของเสียจากกระบวนการพอกหนังสือ.....	6
2.2 โฟมพลาสติก	11
2.3 ยางธรรมชาติ	11
2.3.1 หลักการสำคัญของการผลิตยางพองน้ำ.....	12
2.3.2 สารเคมีของยางพองน้ำ.....	12
2.3.3 วิธีการผลิตยางพองน้ำ.....	13
2.4 วัสดุดูดซับเสียง.....	14
2.4.1 วัสดุดูดซับเสียงแบบวัสดุพูน.....	15
2.4.2 วัสดุดูดซับเสียงแบบเรโซเนเตอร์.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

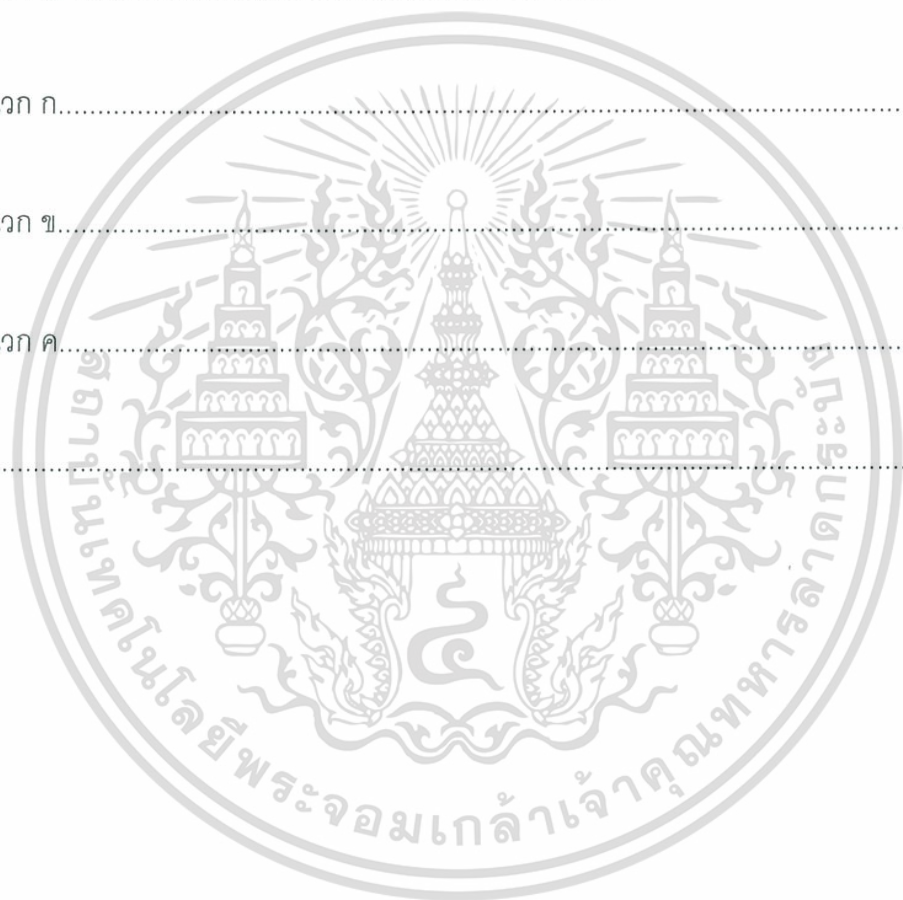
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 วัดดูดซับเสียงแบบเมมเบรน.....	18
2.5 ประสิทธิภาพของวัดดูดซับเสียง.....	18
2.5.1 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง.....	18
2.5.2 สัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง.....	19
2.6 วัดดูดซับเสียงในเชิงพาณิชย์.....	22
2.6.1 วัดดูดซับเสียงชนิดเป็นแผ่นกระเบื้อง.....	22
2.6.2 วัดดูดซับเสียงชนิดหน่วยชิ้นนำมาประกอบติด.....	23
2.6.3 วัดดูดซับเสียงชนิดฉีดยา.....	23
2.7 เครื่องตรวจสอบคลื่นนิ่ง.....	23
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	28
3.1 รูปแบบของการวิจัย.....	28
3.2 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	28
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	28
3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	29
3.3 วิธีการวิจัย.....	30
3.3.1 การเตรียมผงหนึ่ง.....	30
3.3.2 การสังเคราะห์โฟมวัสดุประกอบ.....	30
3.3.3 หาความหนาแน่น.....	31
3.3.4 วัดสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ.....	31
3.3.5 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง.....	32
3.3.6 สภาพพื้นผิวของโฟมวัสดุประกอบ.....	32
3.3.7 สถิติที่ใช้ในงานวิจัย.....	32
3.4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

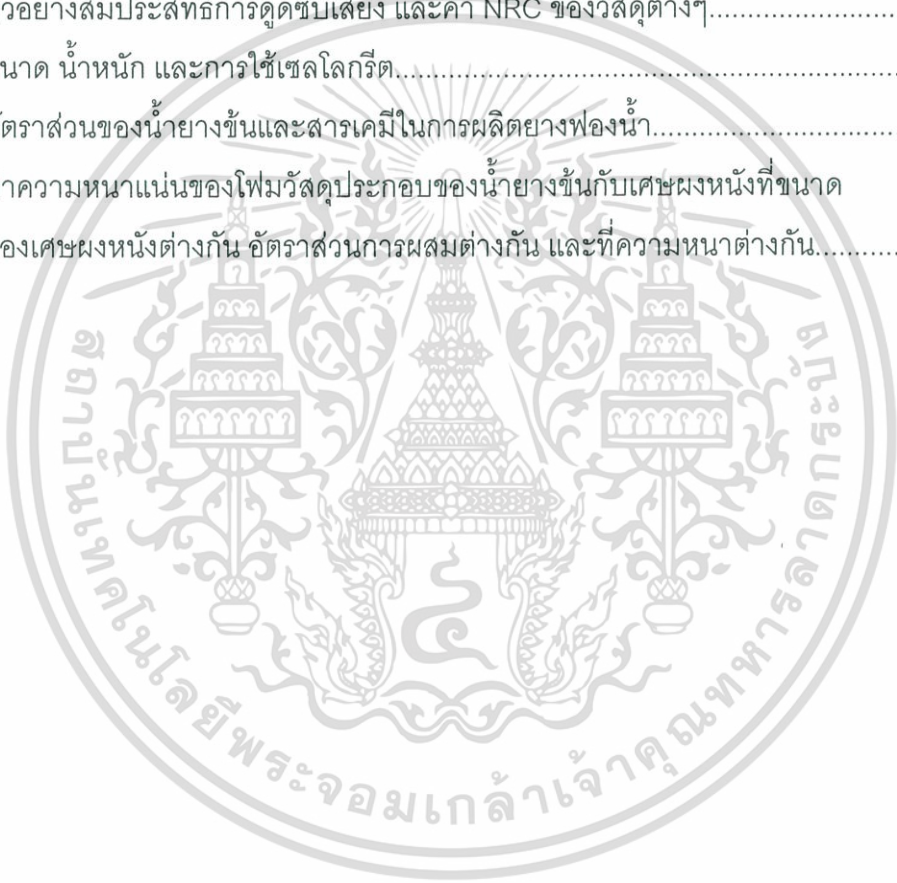
	หน้า
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	47
4.1 สรุปผลการวิจัย.....	47
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	48
เอกสารอ้างอิง.....	49
ภาคผนวก ก.....	52
ภาคผนวก ข.....	57
ภาคผนวก ค.....	69
ประวัติ.....	70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียจากหนึ่งฟอกสำเร็จ.....	8
2.2 การลดกากของเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง.....	10
2.3 องค์ประกอบของสารเคมีในยางฟองน้ำ.....	14
2.4 แสดงลักษณะทั่วไปของค่า NRC ของวัสดุต่างๆ.....	20
2.5 ตัวอย่างค่า NRC ตามสถานที่ต่างๆ.....	20
2.6 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง และค่า NRC ของวัสดุต่างๆ.....	21
2.7 ขนาด น้ำหนัก และการใช้เซลโลกรีต.....	23
3.1 อัตราส่วนของน้ำยางชั้นและสารเคมีในการผลิตยางฟองน้ำ.....	31
3.2 ค่าความหนาแน่นของโฟมวัสดุประกอบของน้ำยางชั้นกับเศษผงหนังที่ขนาด ของเศษผงหนังต่างกัน อัตราส่วนการผสมต่างกัน และที่ความหนาต่างกัน.....	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	กระบวนการผลิตหนังฟอก..... 5
2.2	ปฏิกิริยาระหว่างโครเมียมกับโปรตีน ในหนังดิบ..... 6
2.3	ของเสียของการผลิตหนังฟอกสำเร็จ 1,000 kg..... 7
2.4	วัตถุดิบและผลพลอยได้ของหนังที่ผ่านกระบวนการต่างๆ..... 9
2.5	การสกัดโปรตีนและโครเมียมจากเศษหนังเจียร..... 9
2.6	การผลิตหนังอัดแผ่นจากเศษหนังตัดเจียร..... 10
2.7	สูตรโครงสร้างของ cis 1,4 polyisoprene..... 12
2.8	ลักษณะการดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงแต่ละชนิด..... 15
2.9	การดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงแต่ละชนิดตามความถี่..... 15
2.10	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของใยแก้วความหนา 10, 25, 40, 50, 75 และ 100 mm ที่มีความหนาแน่น 32 kg/m ³ และมีความกว้างระหว่างใยแก้วกับกำแพงเท่ากับ 0 mm.... 16
2.11	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของใยแก้วความหนา 50 mm ที่ความหนาแน่น 12 kg/m ³ และมีความกว้างระหว่างใยแก้วกับกำแพงเท่ากับ 0, 40, 100 และ 300 mm..... 16
2.12	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของใยแก้วความหนา 50 mm ที่ความหนาแน่น 8, 12, 16, 32 และ 48 kg/m ³ และมีความกว้างระหว่างใยแก้วกับกำแพงเท่ากับ 0 mm..... 16
2.13	การดูดซับเสียงในช่วงความยาวคลื่นที่ความถี่ต่ำและความถี่สูง..... 17
2.14	การดูดซับเสียงในช่วงความยาวคลื่นในวัสดุที่มีความหนาต่างกัน..... 17
2.15	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงและสะท้อนเสียง..... 18
2.16	ลักษณะทั่วไปของท่ออิมพีแดนซ์..... 24
2.17	คลื่นมีการแทรกสอดแบบเสริมและหักล้างกันอย่างสมบูรณ์..... 24
2.18	รูปแบบของคลื่นนิ่งภายในท่ออิมพีแดนซ์..... 25
3.1	เครื่อง Standing Wave Apparatus Type 4002 ที่วัดความถี่สูงและความถี่ต่ำ..... 29
3.2	การจัดชุดอุปกรณ์วัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง..... 29
3.3	โฟมวัสดุประกอบที่อัตราส่วน 1:0.0 และ 1:1.6 ที่กำลังขยาย 5 เท่า..... 33
3.4	การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:0 ที่มีความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm..... 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:0.2 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm.....	37
3.6 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:0.4 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm.....	38
3.7 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:0.6 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm.....	38
3.8 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:0.8 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm.....	39
3.9 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:1.0 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm.....	39
3.10 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:1.2 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm.....	40
3.11 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:1.4 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm.....	40
3.12 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:1.6 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm.....	41
3.13 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:1.8 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm.....	41
3.14 ค่า NRC ของโฟมวัสดุประกอบที่เศษผงหนึ่งขนาด < 0.83 mm ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm ในอัตราส่วนของน้ำยางต่อเศษผงหนึ่งต่างๆ.....	44
3.15 ค่า NRC ของโฟมวัสดุประกอบที่เศษผงหนึ่งคละขนาด ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm ในอัตราส่วนของน้ำยางต่อเศษผงหนึ่งต่างๆ.....	45
3.16 ค่า NRC ของโฟมวัสดุประกอบที่เศษผงหนึ่งขนาด ≥ 2.36 mm ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm ในอัตราส่วนของน้ำยางต่อเศษผงหนึ่งต่างๆ.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมฟอกหนัง เป็นอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ และเป็นอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มกับหนังสัตว์ โดยนำหนังสัตว์มาผ่านกระบวนการต่างๆ จนเป็นหนังฟอกถึงสำเร็จรูป หรือที่เรียกว่า หนังเขียว จากนั้นนำหนังเขียวมาทำการฟอก ย้อมสี และตกแต่ง โดยใช้สารเคมี เพื่อให้ได้หนังฟอกสำเร็จรูป และใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องหนังต่างๆ เช่น กระเป๋า รองเท้า เข็มขัด เพอร์นิเจอร์หนัง หนังเบาะรถยนต์ เป็นต้น สำหรับการผลิตหนังฟอกสำเร็จรูปจากการฟอกโครม 240 kg จะต้องใช้หนังดิบ 1,000 kg ส่วนที่เหลือเป็นของเสียทั้งของแข็ง และของเหลว โดยคิดเป็นกากของเสียประมาณ 600 kg [1] เศษหนังตัดเจียร (Chrome Shaving) เป็นกากของเสียที่มีปริมาณมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 35 ของกากของเสียทั้งหมด ส่วนที่เหลือเป็นน้ำเสีย ในปัจจุบันประเทศไทยได้ทำการกำจัดกากของเสียโดยการนำไปทิ้งร่วมกับขยะอื่น ผังกลบ หรือการเผาไหม้ ซึ่งทั้ง 3 วิธีทำให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม การนำไปเผาไหม้นั้น ถ้าเผาในระบบเปิดจะเกิดการออกซิไดซ์ของ Cr^{3+} เป็น Cr^{6+} ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นการเผาไหม้จะต้องทำในโรงงานที่มีเตาเผาที่ออกแบบมาเป็นพิเศษตามมาตรฐาน UINDO/UNEP ที่มีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ สามารถกำจัดสารที่เป็นอันตราย และเป็นการหลีกเลี่ยงการปลดปล่อยก๊าซพิษออกสู่บรรยากาศ ส่วนน้ำเสียนั้นทางกรมโรงงาน อุตสาหกรรม ได้กำหนดให้โรงงานฟอกหนังดำเนินการติดตั้งระบบบำบัดสารโครเมียม เพื่อแก้ปัญหาในการปล่อยสารโครเมียมสู่แหล่งน้ำ

การนำกากของเสียมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Reutilization) โดยผลิตเป็นวัสดุที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณของเสีย และเป็นแนวคิดสำหรับงานวิจัยนี้ โดยนำกากของเสียคือ เศษหนังตัดเจียร มาสังเคราะห์เป็นวัสดุดูดซับเสียงแบบวัสดุพูน การสังเคราะห์วัสดุดูดซับเสียงแบบวัสดุพูนนี้จะใช้น้ำยางข้นและเศษผงหนังร่วมกัน เรียกว่าโฟมวัสดุประกอบ จากนั้นทำการหาขนาดของเศษผงหนัง อัตราส่วนการผสม และความหนาที่เหมาะสมของโฟมวัสดุประกอบเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียง การสังเคราะห์โฟมวัสดุประกอบนี้สามารถทำได้ง่าย สะดวก โดยทั่วไปวัสดุดูดซับเสียงแบบวัสดุพูนเป็นที่นิยมใช้กันมากเพราะสามารถดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่ที่กว้าง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์วัสดุดูดซับเสียงจากเศษวัสดุเหลือใช้ หรือกากของเสียในประเทศไทยยังมีไม่มากนัก จึงสามารถนำมาใช้เป็น

แนวทางในการควบคุมและลดระดับความรุนแรงของปัญหามลพิษทางเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การสังเคราะห์โฟมวัสดุประกอบจากน้ำยางข้นและเศษผงหนัง เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียง และลดการสะท้อนเสียง ภายในอาคารบ้านเรือน หรือเป็นวัสดุดูดซับเสียงที่ติดบนกำแพงทางด่วน ซึ่งการสังเคราะห์โฟมวัสดุประกอบจากน้ำยางข้นและเศษผงหนังนอกจากจะช่วยกำจัดกากของเสียจากอุตสาหกรรมแล้ว ยังสามารถช่วยแก้ปัญหามลพิษทางเสียง และเป็นการเพิ่มมูลค่าของกากของเสีย และน้ำยางข้น

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1. โฟมวัสดุประกอบจากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาดมีความหนาแน่นแตกต่างกันหรือไม่
2. โฟมวัสดุประกอบที่ความหนาแน่นต่างกันมีความหนาแน่นแตกต่างกันหรือไม่
3. โฟมวัสดุประกอบที่อัตราส่วนการผสมต่างกันมีความหนาแน่นแตกต่างกันหรือไม่
4. โฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์จากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาดมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงแตกต่างกันหรือไม่
5. โฟมวัสดุประกอบที่อัตราส่วนการผสมต่างกันมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงแตกต่างกันหรือไม่
6. โฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นถ้าความหนาแน่นต่างกันจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงแตกต่างกันหรือไม่
7. โฟมวัสดุประกอบที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นนี้มีโครงสร้างเป็นแบบรูพรุนที่มีการเชื่อมต่อกัน

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. สังเคราะห์โฟมวัสดุประกอบจากเศษผงหนัง 3 ขนาด ที่อัตราส่วนการผสมของน้ำยางข้นต่อเศษผงหนังต่างๆ โดยที่แต่ละอัตราส่วนทำการสังเคราะห์ 5 ความหนา
2. นำโฟมวัสดุประกอบจากข้อ 1 มาทดสอบคุณสมบัติการดูดซับเสียงที่ความถี่ต่างๆ ตามมาตรฐาน ISO 10534-1
3. หาค่าความหนาแน่นของโฟมวัสดุประกอบ
4. ดูลักษณะความเป็นรูพรุนของโฟมวัสดุประกอบ
5. นำโฟมวัสดุประกอบที่ได้ทำการสังเคราะห์ขึ้นมาทำการเปรียบเทียบค่าการดูดซับเสียงกับวัสดุเชิงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หนังฟอกสำเร็จ

หนังฟอกสำเร็จ (Finishing Leather, Leather) หมายถึง การนำหนังดิบไปแช่ในสารฟอกหนัง เช่น น้ำเป็ลือกไม้ หรือ น้ำยาเคมี ทำให้ปราศจากการเน่าเปื่อย เก็บไว้ได้นาน มีคุณสมบัติทางกายภาพดีขึ้น สามารถนำมาเย็บและตัดลาย เป็นผลิตภัณฑ์หนังต่างๆ ที่เหมาะกับการนำไปใช้งาน วัตถุประสงค์หลักสำหรับอุตสาหกรรมฟอกหนัง ประกอบด้วย หนังดิบ และสารเคมีชนิดต่างๆ หนังฟอกสำเร็จประมาณร้อยละ 90 เป็นหนัง โค และกระบือ ส่วนที่เหลือเป็นหนังจาก งู ปลากะเบน หมู และอื่นๆ ซึ่งในกระบวนการฟอกหนังก็มีของเสียเช่น กากของเสีย และน้ำเสีย ทำให้เกิดปัญหาในการกำจัด และเกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม

หนังดิบ ในที่นี้คือ หนังสัตว์ที่ยังไม่ได้ผ่านกรรมวิธีฟอกหนัง แต่ผ่านกรรมวิธีการเก็บรักษาในลักษณะต่างๆ เช่น หมักเกลือ ตากแห้ง อาบน้ำยา เป็นต้น

กระบวนการผลิต และของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการฟอกหนัง

2.1.1 กระบวนการผลิตหนังฟอก สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนใหญ่ๆ ได้ 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมหนังก่อนฟอก การฟอกหนัง และการตกแต่ง มีรายละเอียดดังนี้ [2]

2.1.1.1 ขั้นตอนเตรียมหนังก่อนฟอก (Beamhouse Process) คือ ขั้นตอนการเตรียมหนังดิบก่อนนำไปทำการฟอกหนัง โดยทำการล้างสิ่งสกปรก หรือ สิ่งไม่ต้องการออกจากหนังดิบ สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. ล้างและแช่น้ำให้คืนตัว (Washing & Soaking) โดยปกติหนังดิบที่ผ่านการดองเกลือแล้วจะมีการหดตัวของหนังดิบ ดังนั้นต้องนำหนังดิบไปแช่น้ำเพื่อให้หนังดิบเกิดการคืนตัว และเป็นการล้างเอาสิ่งสกปรกต่างๆ ออกจากหนังดิบ ใช้เวลาประมาณ 12-24 ชั่วโมง

2. แช่น้ำปูนและการกำจัดขน (Liming & Unhairing) โดยใช้สารละลายปูนขาว ผสมโซเดียมซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นเพียงพอที่จะละลายเอาไขมัน โปรตีน และขน ออกได้ ใช้เวลาประมาณ 10-15 ชั่วโมง

3. การขูดพังผืดและการแล่หนัง (Fleshing & Splitting) โดยนำหนังจากขั้นตอนที่แล้วมาทำการกำจัดขน โปรตีน และไขมันส่วนเกินออก จากนั้นนำไปแล่เป็นชั้นๆ ตามความหนาที่ต้องการ โดยทั่วไปสามารถแบ่งหนังออกเป็น 2 ชนิด คือ หนังส่วนบน (Upper, Grain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และหนังส่วนล่าง (Lower, Split) ซึ่งหนังส่วนบนจะนำมาผลิตเป็นหนังฟอกสำเร็จ หนังส่วนล่างจะนำมาผลิตเป็นหนังคุณภาพรอง และสินค้าทะเล้นของสุนัข

4. การล้างน้ำปูนและบ่มหนัง (Deliming & Bating) หนังที่ได้จากขั้นตอนการขูดพังผืดและการแลหนังจะถูกนำไปแช่ในสารละลายเกลือแอมโมเนียมฟอสเฟต หรือ เกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง เพื่อที่จะปรับสภาพหนังดิบให้มีค่า pH ลดลง

5. การดองกรด (Pickling) เป็นการปรับสภาพหนังให้มีความพร้อมก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการฟอกหนัง โดยทำการปรับสภาพหนังให้มีความ pH ~ 2 สารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนนี้คือ กรดกำมะถัน และกรดฟอร์มิก

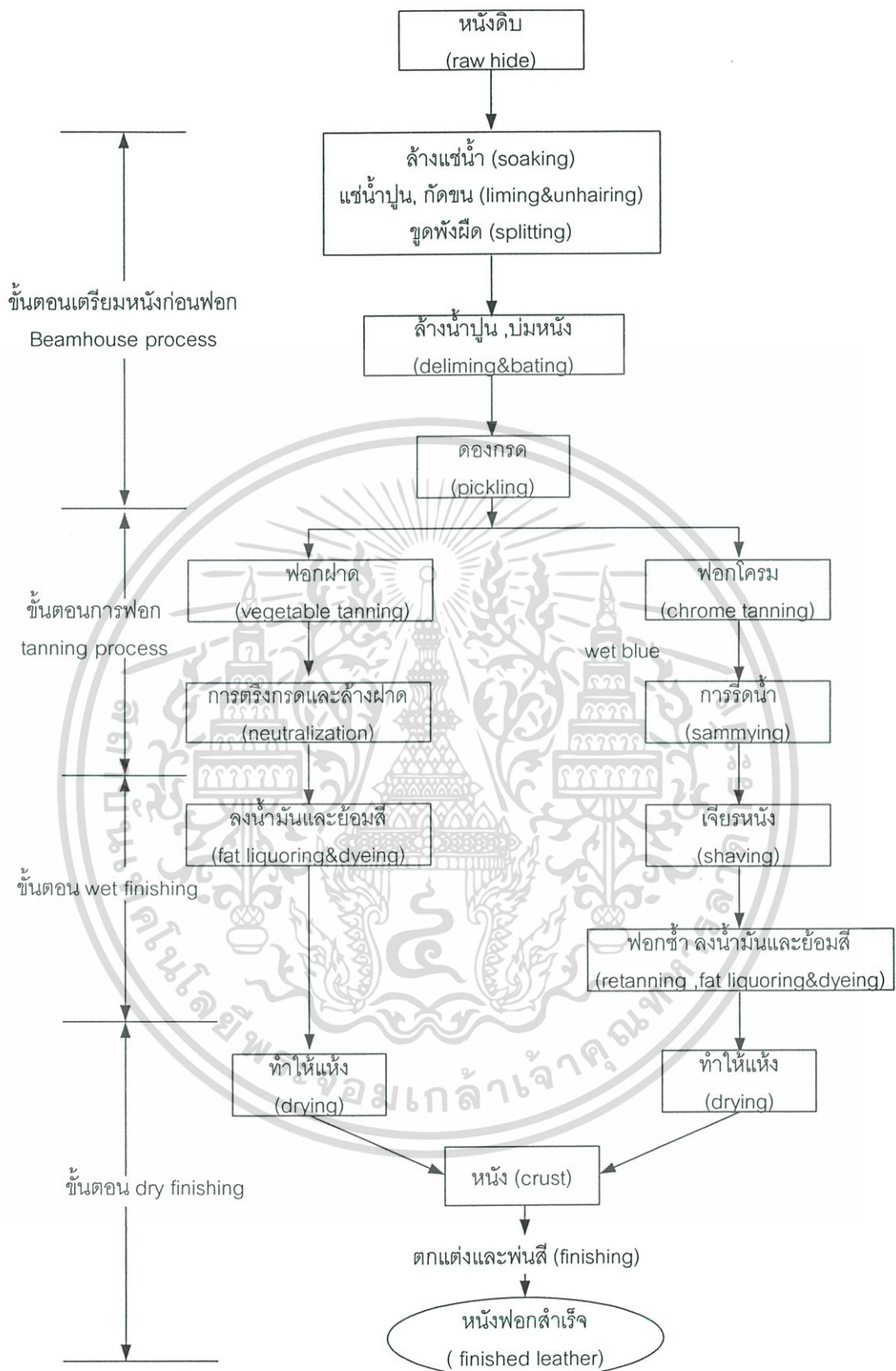
2.1.1.2 การฟอกหนัง (Tanning Process) ในปัจจุบันประเทศไทยทำการผลิตหนังฟอกสำเร็จรูป 2 ประเภท คือ การฟอกฝาด และการฟอกโครม ดังรูปที่ 2.1

1. การฟอกโครม (Chrome Tanning) เป็นที่นิยมและต้องการของตลาด เนื่องจากใช้เวลาในการผลิตน้อย สารเคมีที่ใช้มีราคาถูก หนังที่ฟอกแล้วมีความคงทนต่อความร้อนและความชื้นดีกว่าหนังฟอกฝาด กระบวนการฟอกโครมนี้สามารถผลิตได้ถึงหมื่น มีขั้นตอนดังนี้

1.1) การฟอกโครม นำหนังดิบจากขั้นตอนการดองกรดมาแช่ในสารละลายโครเมียมซัลเฟต (Basic Chrome Sulphate, Cr^{3+}) ทำให้เกิดปฏิกิริยาแบบการเชื่อมโยงของโมเลกุลแบบร่างแห (Crosslink) (รูปที่ 2.2) ระหว่างโปรตีนกับสารละลายโครเมียมซัลเฟต หนังดิบจึงเปลี่ยนสภาพเป็นไฟเบอร์ (Fiber) เมื่อหนังดิบผ่านขั้นตอนนี้แล้วจะเปลี่ยนสภาพเป็นหนังฟอกที่มีสีเขียว เรียกว่า หนังเขียว (Wet Blue) หนังนี้จะไม่น่าเบื่อ โดยทั่วไปประมาณร้อยละ 70 ของโครเมียมที่เติมลงมาจะทำปฏิกิริยากับหนังดิบ ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 30 จะถูกปล่อยไปกับน้ำเสีย ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 10-15 ชั่วโมง

1.2) ขั้นตอนการผ่าหนังและการเจียรหนัง (Splitting & Shaving) นำหนังเขียวที่ได้ไปรีดน้ำออก จากนั้นนำมาตัดแต่งให้ได้ความหนาที่ต้องการและทำการเจียรหนังเพื่อปรับให้หนังเขียวมีความหนาสม่ำเสมอตลอดแผ่น จากนั้นนำมาเก็บไว้เพื่อรอการจำหน่าย หรือแปรรูปตามความต้องการของตลาด

2. การฟอกฝาด (Vegetable Tanning) เป็นการฟอกโดยใช้สารสกัดจากเปลือกไม้ที่มีแทนนิน เช่น ไม้ยูคาลิปตัส คิวบราโค และอื่นๆ การฟอกฝาดนิยมทำในถังไม้หรือบอคอนกรีตที่ต่อแบบอนุกรม เพราะสามารถนำน้ำที่ใช้ฟอกแล้วกลับมาใช้ใหม่ หนังที่ได้จากกระบวนการฟอกฝาดนี้จะมีน้ำหนักมากกว่าหนังที่ได้จากกระบวนการฟอกโครมและมีต้นทุนการผลิตสูงกว่า ส่วนมากผลิตเป็นพื้นรองเท้าและเข็มขัด



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตหนังฟอก

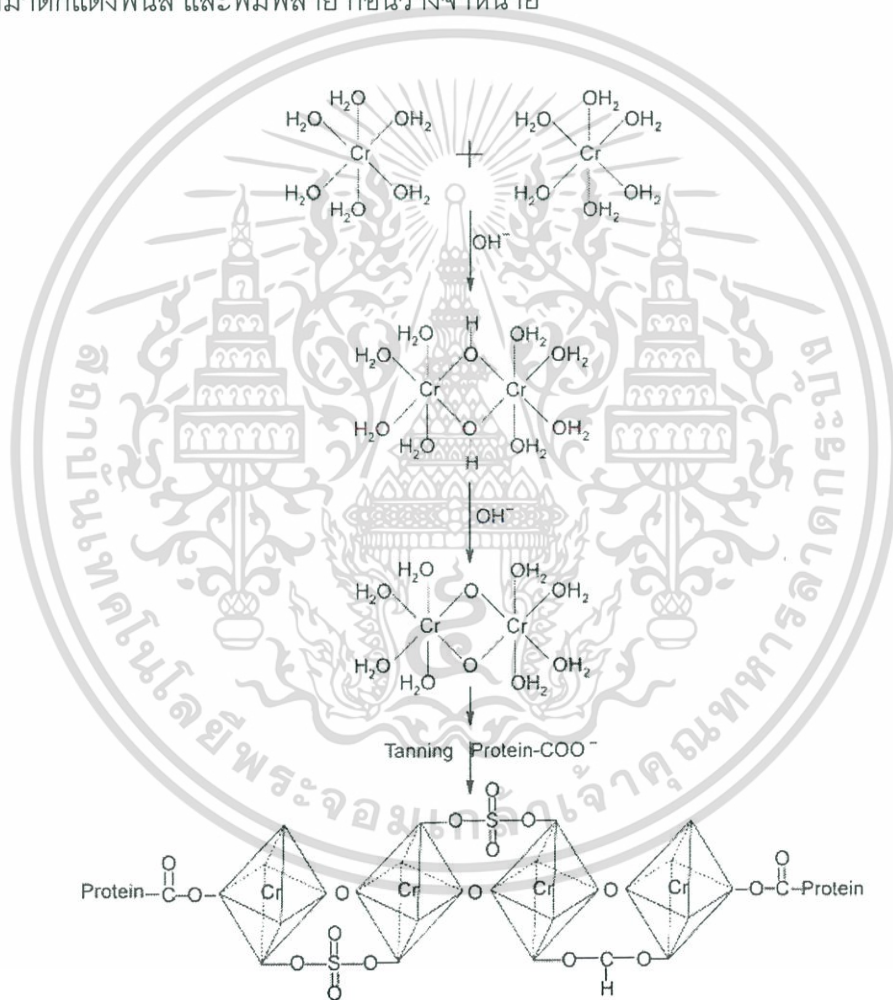
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 การตกแต่ง (Finishing Process)

1. การฟอกทับและย้อมสี (Retanning & Dyeing) ขั้นตอนนี้จะทำกับหนังที่ได้มาจากการฟอกโครมเท่านั้น สารที่ใช้ในการฟอกทับมีทั้งที่เป็นสารเคมีและสารที่สกัดจากธรรมชาติ หลังจากนั้นนำไปทำการย้อมสี

2. การใส่น้ำมัน (Fat Liquoring) เพื่อจะทำให้หนังมีความอ่อนนุ่ม อยู่ตัว วิธีการนี้อาจทำพร้อมกับการฟอกทับและการย้อมสี หรือแยกทำเป็นอีกขั้นตอนก็ได้

3. การอบแห้ง (Drying) หนังที่ผ่านขั้นตอนการอบแห้งแล้ว เรียกว่า หนังพื้น (Crust) มีความชื้นประมาณร้อยละ 15-20 สามารถนำออกจำหน่าย ส่วนหนังฟอกสำเร็จคือหนังพื้นที่นำมาตกแต่งพื้นสี และพิมพ์ลาย ก่อนวางจำหน่าย



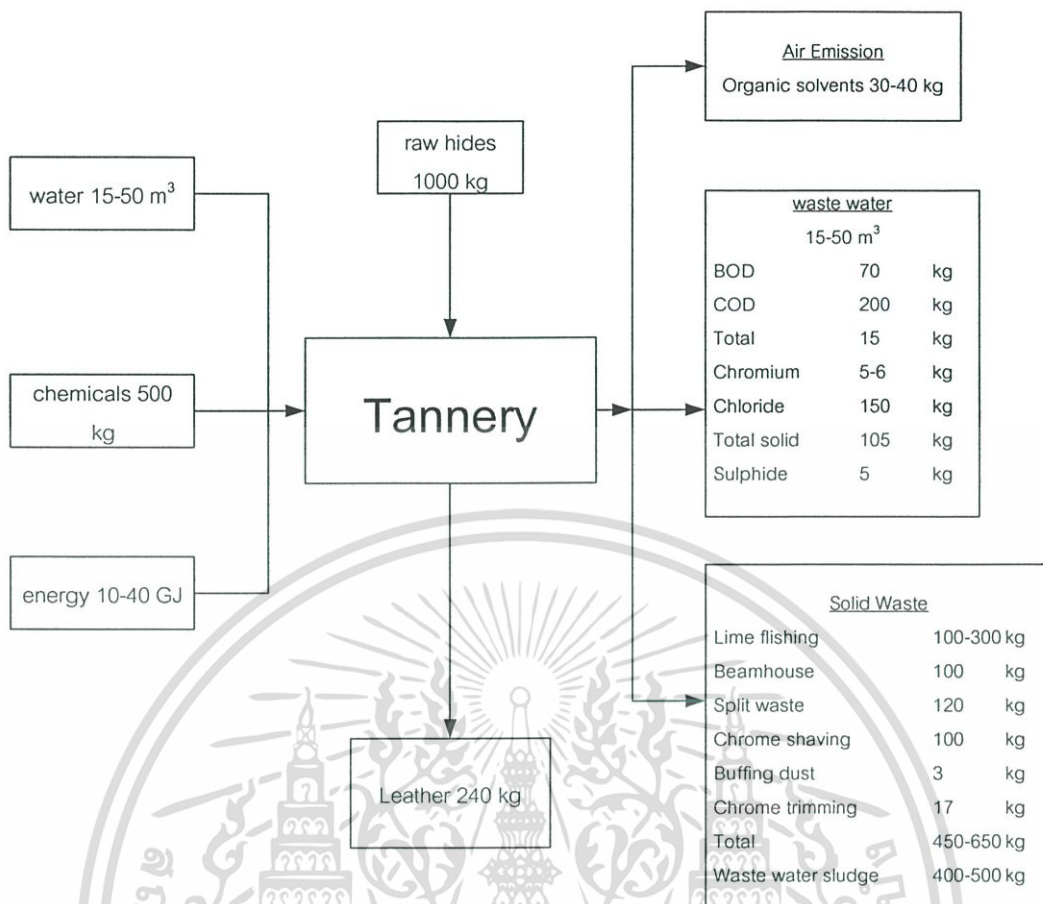
รูปที่ 2.2 ปฏิกริยาระหว่างโครเมียมกับโปรตีนในหนังดิบ [3]

2.1.2 ของเสียและวิธีการลดของเสียจากกระบวนการฟอกหนัง

การฟอกหนังเป็นกระบวนการแปรรูปหนังสัตว์โดยอาศัยน้ำ สารเคมี และ

กระบวนการทางกล และของเสียที่เกิดขึ้นสามารถสรุปได้ดังรูป 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ของเสียของการผลิตหนังพอกสำเร็จ 1,000 kg [4]

หลักการลดของเสียสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท หรือเรียกว่า 4R [2] คือ

1. **ไม่ใช้ (Reject)** คือ ถ้ารู้ว่าสารนั้นทำให้เกิดปัญหาให้หันไปใช้สารชนิดอื่น
2. **ลดการใช้ (Reduction)** คือ ถ้าจำเป็นต้องใช้ก็จะใช้ในปริมาณที่น้อยลง
3. **นำมาใช้อีก (Reuse)** คือ การนำน้ำ สารเคมี หรือวัตถุใดๆ ที่ทิ้งแล้วกลับมา

ใช้อีกจนกว่าจะใช้ไม่ได้จึงค่อยทิ้ง

4. **เวียนใช้ใหม่ (Recycle)** คือ การใช้กระบวนการต่างๆ สกัดเอาสารบางชนิดในของเสียกลับมาใช้ในการผลิตใหม่

ซึ่งวิธีการ 4R สามารถใช้ได้กับทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตหนังพอก สามารถแยกเป็นด้านน้ำเสียและกากของเสีย ในที่นี้ขออธิบายแต่กากของเสีย

กากของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต [5]

1. **กากของเสียจากขั้นตอนการชุดฟั่งและการแล่หนัง** คือ เศษหนังชิ้นเล็กๆ ที่ใช้งานไม่ได้ และเศษขาหรือกีบเท้าสัตว์ กากของเสียนี้มีคุณค่าทางการค้า เพราะสามารถเอกลากรณีเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาทำเป็นของขบเคี้ยวสำหรับสุนัข (Dog chew) หรือนำมาทำเป็นเจลาตินสำหรับทำเป็นแคปซูลยา หรือทำเป็นกาวหนัง หรือสกัดเอาไขมันมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นเครื่องสำอาง หรือสบู่ การนำกากของเสียนี้ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ สามารถแสดงได้ดังรูป 2.4

2. เศษหนังที่มีโครมหรือเศษหนังตัดเจียร สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกโดยสกัดเอาโปรตีนและโครเมียมกลับมาใหม่ สำหรับวิธีการผลิตคือนำเศษหนังตัดเจียรมาย่อยด้วยสารละลายต่างได้โปรตีนผสมออกมาในสารละลาย และโปรตีนที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกาว หรือเป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์ ส่วนกากที่เหลือจากการย่อยโปรตีนก็นำไปสกัดโครเมียมออกด้วยกรดซัลฟูริก ซึ่งโครเมียมที่ได้สามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการฟอกหนังได้อีก กากที่เหลือจากการสกัดโครเมียมสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ ดังรูปที่ 2.5 ในต่างประเทศได้นำเศษหนังตัดเจียรมาผลิตเป็นหนังอัดแผ่น (leather board) เพื่อใช้ในกิจกรรมหลายประเภท เช่น วัสดุอุดซับเสียง วัสดุรองพื้น พื้นรองเท้า และสันรองเท้า หรือทำวัสดุต่างๆ ที่มีราคาถูก เช่น กระเป๋าถือผู้หญิง ปกหนังสือ ซึ่งขั้นตอนการผลิตหนังอัดแผ่นสามารถแสดงได้ดังรูป 2.6

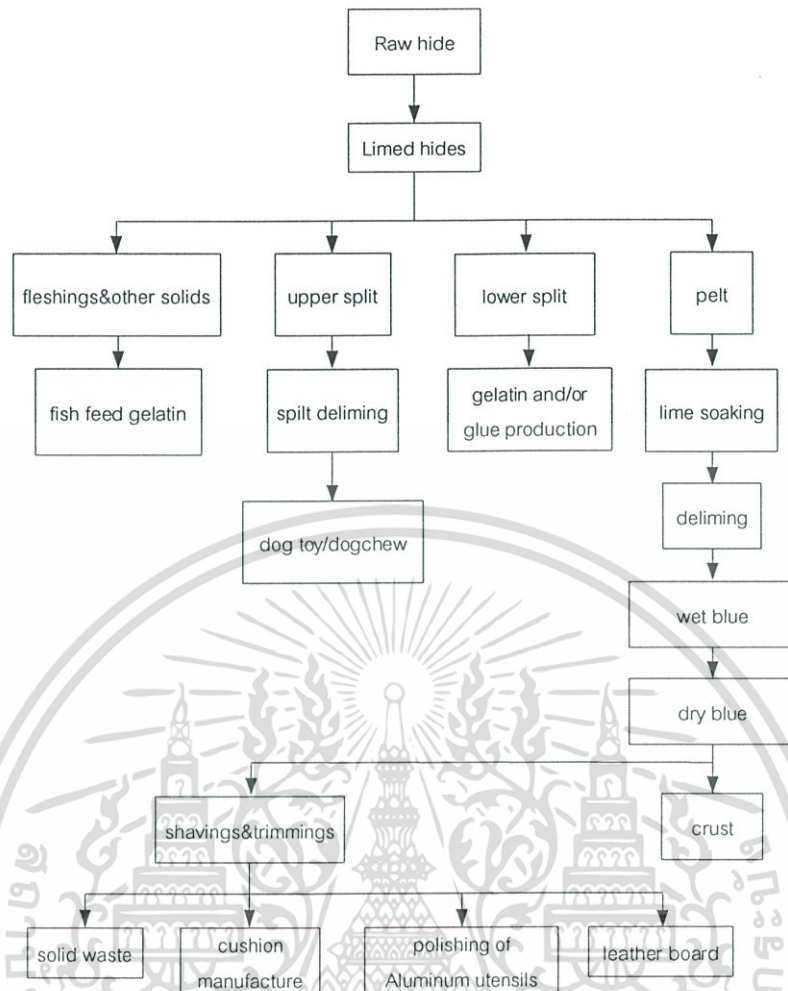
Pawlik, C. และ Winter, F.[6] ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของเศษหนัง (ตารางที่ 2.1) พบว่าเศษหนังมีโครเมียมเป็นองค์ประกอบร้อยละ 2.3 โดยทั่วไปการจัดการกากของเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังซึ่งมีองค์ประกอบของโลหะหนัก เช่น Cr^{3+} , Cu, Pb, Zn [7] สามารถทำได้ดังตารางที่ 2.2 แต่โรงงานฟอกหนังบางแห่งยังไม่มียุทธศาสตร์บำบัดของเสียที่ดีพอ จึงมีการปล่อยสู่ภายนอกทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียจากหนังฟอกสำเร็จ (Leather Waste)^{*}

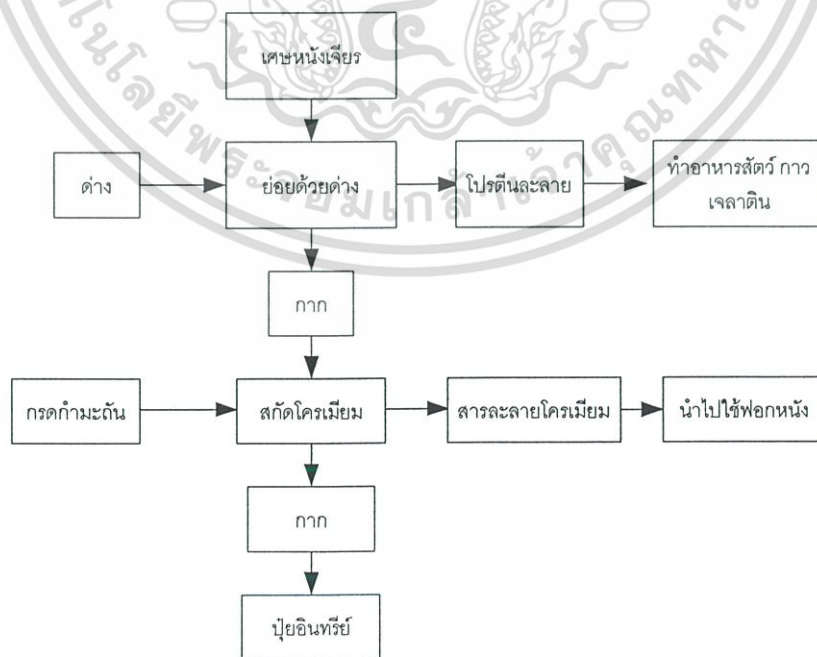
Proximate Analysis (%wt d.b.)		Ultimate Analysis (%wt d.b.)	
Moisture	13.30	Carbon	54.9
Volatile Matter	76.55	Hydrogen	5.1
Ash	5.25	Sulfur	1.4
Carbon Fixed	18.20	Oxygen	19.2
		Nitrogen	14.1
		Chlorine	0.8
		Chromium	2.3
		Other	2.2

^{*}This data were obtained in CIEMAT, Department of Fuels.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 วัตถุดิบและผลพลอยได้ของหนังที่ผ่านกระบวนการต่างๆ [8]



รูปที่ 2.5 การสกัดโปรตีนและโครเมียมจากเศษหนังตัดเจียร์ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การผลิตหนังอัดแน่นจากเศษหนังตัดเจียร [8]

ตารางที่ 2.2 การลดกากของเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง [9]

ขั้นตอน	ลักษณะของเสีย	วิธีการนำไปใช้ประโยชน์/กำจัด	
		ต่างประเทศ	ในประเทศ (ปัจจุบัน)
1 กระบวนการก่อนฟอก การขูดพังผืด การผ่าแยกชิ้น	เศษหนังติดพังผืดที่มี ปูนขาว หนังส่วนล่างที่มีปูนขาว	คอกาเจน ไขมัน อาหาร โปรตีน คอกาเจน เจลาติน เปลือก ไข่กรอก ของทะเลสาบ	ทำอาหารปลา ปุ๋ย ของทะเลสาบ เจลาตินและกาว
2 กระบวนการฟอกหนัง ฟอกโครม การตัดเจียรหนัง ฟอกฝาด การตัดเจียรหนัง	เศษหนังที่มีโครเมียม เศษหนัง	กาว แผ่นกรองเสียง เจลาติน อาหารสัตว์ ปุ๋ย หนังอัดแน่น ปุ๋ย, หนังแผ่น, หนังอัดแน่น	ฝัง, ทิ้ง ทิ้ง, หนังราคาถูก
3 การตกแต่งหนัง	เศษหนังที่มีโครเมียม และสีย้อม	หนังราคาถูก	ขายทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 โฟมพลาสติก (Plastic Foam) [10]

โฟมพลาสติกสามารถแบ่งตามชนิดโครงสร้าง และความหนาแน่น ดังนี้

1. ตามชนิดโครงสร้างของโฟมพลาสติก

1.1) โฟมเซลล์ปิด (Close Cell Foam) เป็นโฟมแข็ง ไม่ยืดหยุ่น หรือ ไม่สามารถพับ งอ ได้ (Rigid) เช่น โพลียูรีเทนโฟมที่ไม่ยืดหยุ่น, โฟมโพลีไวนิลคลอไรด์, โฟมโพลีสไตรีน, อีพอกซีเรซิน เป็นต้น โฟมเซลล์ปิดนี้สามารถนำมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อน ห่วงยางชูชีพ ได้

1.2) โฟมเซลล์เปิด (Open Cell Foam) มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ สามารถดูดซับ น้ำได้ดี เป็นโฟมที่มีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นดี ทนต่อการกด บิด โดยไม่เกิดการฉีกขาด และมี โครงสร้างแบบเป็นรูพรุนทำให้มีการระบายอากาศได้ดี เช่น โฟมโพลียูรีเทนที่ยืดหยุ่น, โฟมโพลี สไตรีน, โฟมโพลีเอเลฟีนส์, โฟมโพลีไวนิลคลอไรด์, และยางฟองน้ำ เป็นต้น วัสดุชนิดนี้สามารถ นำมาผลิตเป็น เบาะรถยนต์, เฟอร์นิเจอร์, พูก หรือ เบาะสำหรับนอน, และวัสดุดูดซับเสียง

ความแตกต่างระหว่างโฟมเซลล์เปิดกับโฟมเซลล์ปิด

1. สามารถดูดซับน้ำ และความชื้นได้ดีกว่า
2. มีความสามารถในการแทรกผ่านของแก๊สได้ดีกว่า
3. มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนได้น้อยกว่า
4. มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงดีกว่า

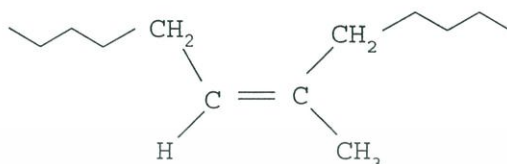
2. ตามความหนาแน่น

- 2.1) โฟมที่มีน้ำหนักเบามาก (Very light) มีความหนาแน่นระหว่าง $3-50 \text{ kg/m}^3$
- 2.2) โฟมที่มีน้ำหนักเบา (Light) มีความหนาแน่นระหว่าง $50-200 \text{ kg/m}^3$
- 2.3) โฟมที่มีน้ำหนักปานกลาง (Medium) มีความหนาแน่นระหว่าง $200-500 \text{ kg/m}^3$
- 2.4) โฟมที่มีน้ำหนักมาก (Heavy) มีความหนาแน่นระหว่าง $500-700 \text{ kg/m}^3$
- 2.5) โฟมแข็ง (Super heavy) มีความหนาแน่นมากกว่า 700 kg/m^3

2.3 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)

น้ำยางชั้นมีสูตรทางเคมี คือ cis 1,4 polyisoprene ดังรูป 2.14 [11] เป็นสารคอลลอยด์ที่มี อนุภาคละเอียดของยางหรือปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content: DRC) อย่างน้อยร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก กระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ น้ำยางชั้นได้จากการนำน้ำยางสดที่กรีตได้จากต้น ยางพารามาผ่านกระบวนการทำเป็นน้ำยางชั้น ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นสามารถทำได้ 3 วิธี คือ การทำให้เป็นครีม การระเหยน้ำ และการใช้เครื่องปั่นแยก น้ำยางชั้นที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ ร้อยละ 95 เป็นน้ำยางชั้นที่ได้จากวิธีการใช้เครื่องปั่นแยก ในระหว่างการปั่นแยก คาร์โบไฮเดรต และโปรตีนส่วนใหญ่จะถูกชะออกไป [12] และสามารถแบ่งชนิดของน้ำยางชั้นได้เป็น 2 ชนิด คือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดที่มีปริมาณแอมโมเนียร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก จัดเป็นน้ำยางชั้นที่มีปริมาณแอมโมเนียสูง และชนิดที่มีปริมาณแอมโมเนียร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก จัดเป็นน้ำยางชั้นที่มีปริมาณแอมโมเนียต่ำ [11] อนุภาคละเอียดของยางมีลักษณะเป็นทรงกลมขนาด 0.01- 5.0 ไมครอน น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000,000



รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างของ cis 1,4 polyisoprene

2.3.1 หลักการสำคัญของการผลิตยางพองน้ำ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ทำให้น้ำยางชั้นเกิดฟอง ซึ่งเป็นฟองจากอากาศหรือฟองของแก๊สต่างๆ
2. เติมสารเคมีที่จะช่วยให้ฟองยางจับตัวเป็นรูปร่าง (Gel)
3. ทำให้อฟองยางที่จับตัวเป็นรูปร่างแล้วคงตัว

2.3.2 สารเคมีของยางพองน้ำ ประกอบด้วย [13] (ตารางที่ 2.3)

1. สารละลายโพแทสเซียมโอเลเอต (Potassium oleate soap solution) เป็นสารที่ทำให้เกิดฟองและเพิ่มปริมาตรของยางพองน้ำโดยไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี ถ้าใช้สารละลายโพแทสเซียมโอเลเอตในปริมาณมากจะทำให้ยางพองน้ำมีความหนาแน่นน้อยลง แต่มีความพรุนในยางพองน้ำมากขึ้น [14]

2. สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing Agent) หรือ สารวัลคาไนซ์ ที่ใช้ในการผลิตยางพองน้ำ คือ กำมะถัน ช่วยทำให้น้ำยางชั้นเปลี่ยนสถานะจากความไม่คงรูปไปอยู่ในสถานะที่คงรูปได้ในลักษณะยืดหยุ่นหรือแข็ง และทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลแบบร่างแหตรงตำแหน่งที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา ในการผลิตยางพองน้ำต้องใช้กำมะถันเป็นสารทำให้ยางคงรูปประมาณ 2.5 phr (phr = 1 ส่วน ต่อ 100 ส่วนของยางแห้ง)

3. ตัวเร่งให้ยางคงรูป (Accelerators) เมื่อนำมาใช้ร่วมกับกำมะถัน พบว่า สารตัวเร่งจะช่วยลดเวลาและอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ลงอย่างมาก ตัวเร่งให้ยางคงรูปในยางพองน้ำที่ใช้คือ Zinc-N-Diethyl Dithiocarbamate (ZDEC) และ Zinc salt of-2-Mercaptobenzothiazole (ZMBT) ในอัตราส่วนของ ZDEC ต่อ ZMBT เท่ากับ 1 ต่อ 1

4. สารกระตุ้นตัวเร่งให้ยางคงรูป (Activator) เป็นตัวช่วยให้ตัวเร่งทำงานได้ดีขึ้น สารกระตุ้นตัวเร่งที่ใช้ในยางพองน้ำ คือ ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ เมื่อใส่เข้าไปในยางจะทำให้ยางมีค่าโมดูลัสสูงขึ้น [13] และบางครั้งถ้าไม่เติมสารกระตุ้นตัวเร่งนี้ก็จะไม่ทำให้เกิดการวัลคาไนซ์

5. สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Antioxidant) ทำหน้าที่ยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์จากน้ำยางชั้น โดยป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของออกซิเจนและโอโซน (O_3) ในขณะใช้งาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ [13]

5.1) สารประกอบอะมีน และอนุพันธ์ สารนี้ทำให้ยางมีสีคล้ำ

5.2) สารประกอบฟีนอลและอนุพันธ์ สารนี้ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนสี

5.3) สารประกอบ Imidazyl และอนุพันธ์ สามารถทำงานเป็นแอนติออกซิแดนท์เพิ่มประสิทธิภาพให้กับแอนติออกซิแดนท์ชนิดฟีนอล หรืออะมีนได้

6. สารทำให้เกิดเจล (Gelling Agents) ซึ่งจะมีคุณสมบัติทำให้ยางจับเป็นเจล สารทำให้เกิดเจลที่ใช้ในการผลิตยางพองน้ำ คือ Sodium Silicofluoride (SSF) และเติม Diphenyl guanidine (DPG) เพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยการเกิดเจล และเป็นช่วยลดความเสี่ยงของการยุบตัวของพองยางก่อนเกิดเจล [11]

2.3.3 วิธีการผลิตยางพองน้ำ [14]

1. การทำให้น้ำยางชั้นเกิดฟอง เป็นการผสมอากาศเข้ามาในน้ำยางชั้นเพื่อทำให้เกิดเป็นฟอง ทำได้ 2 วิธี คือ

1.1) การตีฟองทีละชุด (Batch Foaming) เหมาะกับการผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นเล็กๆ ซึ่งจะใช้เครื่องปั้นเช่นเดียวกับ เครื่องตีขนมเค้ก

1.2) การตีฟองแบบทำต่อเนื่อง (Continuous Foaming) วิธีนี้เหมาะกับการผลิตที่ต้องการความรวดเร็ว และการผลิตพองน้ำชิ้นใหญ่ๆ มีความหนาแน่นที่แน่นอน

2. การขึ้นรูปในเบ้าพิมพ์ และทำให้เป็นเจล (Molding and Gelation) เมื่อตีฟองจนน้ำยางชั้นได้ฟองที่มีความหนาแน่นตามต้องการให้ใส่สารเคมีตามตารางที่ 2.3 จากนั้นเทพองยางลงในเบ้าพิมพ์ ซึ่งการเกิดเจลนี้ควรสมบูรณ์ภายใน 10-15 นาที

3. ทำให้พองยางคงรูป (Vulcanizing) เมื่อพองยางเกิดเจลแล้ว และนำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง เพื่อให้ยางคงรูป การอบให้ยางพองน้ำให้คงรูปต้องทำทันทีที่พองยางเกิดเจล เพื่อลดการหดตัวของยางพองน้ำ

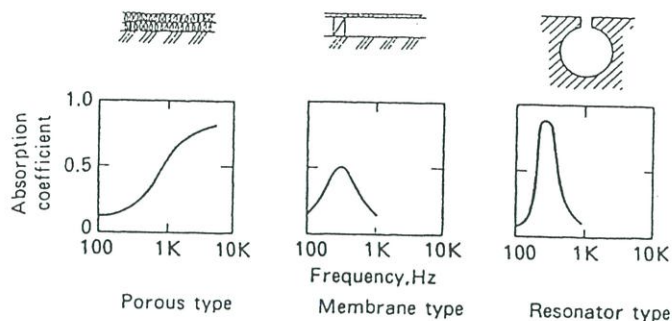
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของสารเคมีในยางพองน้ำ

Ingredients		Dry	Weight, phr Wet
Part A	- 60% Deammoniated (H.A.) NR Latex	100	167
	- 20% Potassium oleate soap solution	1	5
	- 50% ETHYL ZIMATE (ZDEC) slurry	0.75	1.5
	- 68% Sulfur dispersion	0.5	0.74
Part B	- 50% Antioxidant dispersion	2	4
	- 50% ETHYL ZIMATE (ZDEC) slurry	0.25	0.5
	- 65% ZETAX (ZMBT) dispersion	1	1.54
	- 68% Sulfur dispersion	1.5	2.21
	- 20% Potassium olate soap solution		
1) For medium-density foam or	0.6	3	
2) For light-density foam	1	5	
Part C	Use only if foam is to be cured using dry heat cure		
	- ZDEC: ZMBT (1: 1)	-	0.5
	- Water of dilution	-	1
	- 65% Castor oil emulsion	2	3.08
Part D	Add in Oakes mixer or blow of blender		
	- 60% Zinc oxide dispersion	5	8.33
	- 20% Sodium silicofluoride dispersion	1.5	7.5

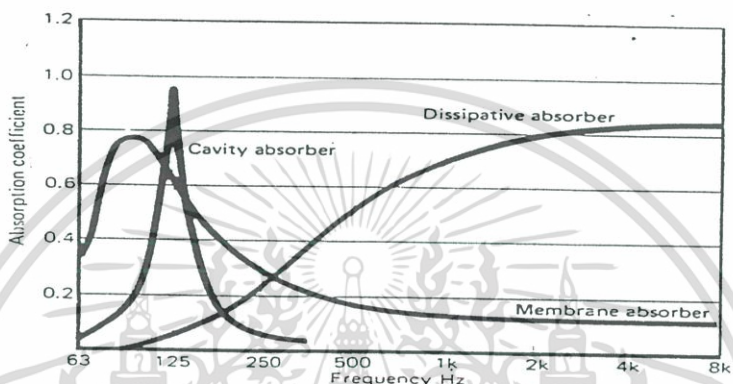
น้ำยางชั้นที่มีปริมาณแอมโมเนียร้อยละ 0.60 โดยน้ำหนัก และทำการระเหยแอมโมเนียออกให้เหลือประมาณร้อยละ 0.10-0.12

2.4 วัสดุดูดซับเสียง (Absorptive Materials)

วัสดุดูดซับเสียงโดยทั่วไป มีคุณสมบัติในการลดการสะท้อนของเสียง ถ้าเสียงเคลื่อนที่มาตกกระทบบนวัสดุดูดซับเสียง เสียงจะถูกดูดซับ ทะลุผ่าน และสะท้อนออกจากวัสดุนั้น ซึ่งการสะท้อนกลับของเสียงมีปริมาณมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและคุณลักษณะของวัสดุดูดซับเสียงเป็นสำคัญ วัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับเสียงได้ดีเป็นพวกเส้นใย หรือ วัสดุพูน [15] วัสดุดูดซับเสียงสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ วัสดุพูน (Porous or Dissipative Absorber), เรโซเนเตอร์ (Resonator or Cavity Absorber) และ เมมเบรน (Panel or Membrane Absorber) ดังรูปที่ 2.8-2.9



รูปที่ 2.8 ลักษณะการดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงแต่ละชนิด [16]

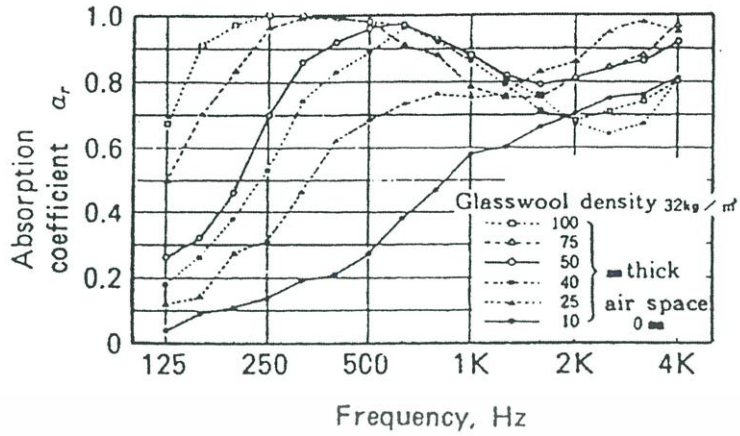


รูปที่ 2.9 การดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงแต่ละชนิดตามความถี่ [17]

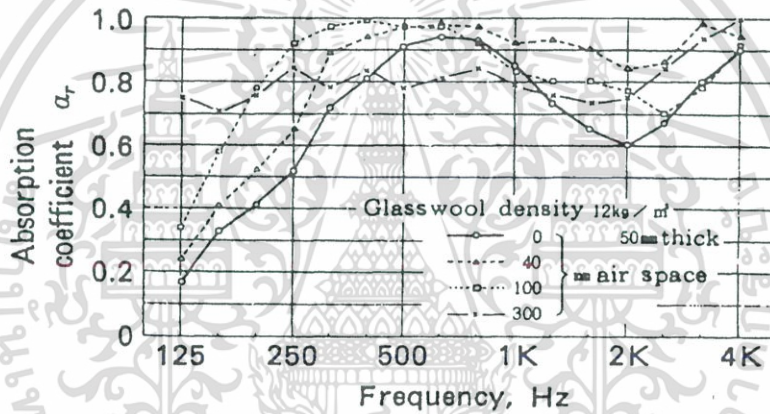
2.4.1 วัสดุดูดซับเสียงแบบวัสดุพรุน

วัสดุดูดซับเสียงแบบวัสดุพรุน มีโครงสร้างภายในแบบรูพรุนที่มีการเชื่อมต่อกันจำนวนมาก การทดสอบว่าเป็นวัสดุดูดซับเสียงแบบวัสดุพรุนสามารถทำได้โดยให้อากาศผ่านวัสดุนั้น ถ้าอากาศสามารถทะลุผ่านแสดงว่าเป็นวัสดุพรุน ค่าความต้านทานของอากาศ (Flow Resistance) สามารถบอกถึงคุณสมบัติการดูดซับเสียงได้ โดยที่ค่าความต้านทานของอากาศที่ทะลุผ่านวัสดุพรุนมากหรือน้อยเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเสียดทาน (Frictional Loss) น้อย เมื่อนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงพบว่า วัสดุดูดซับเสียงมีความสามารถในการดูดซับเสียงได้น้อย ดังนั้นในวัสดุพรุนแต่ละชนิดจะมีค่าความต้านทานของอากาศค่าหนึ่งที่ทำให้วัสดุดูดซับเสียงแบบวัสดุพรุนมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมากที่สุด นอกจากนี้ยังมี ค่าความหนาแน่น ความกว้างของวัสดุพรุนกับกำแพง (Air Space) และความหนาของวัสดุเข้ามาเกี่ยวข้องอีกด้วย ดังรูปที่ 2.10-2.12 [16] กลไกการดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงแบบวัสดุพรุน คือ เมื่อเสียงตกกระทบบนวัสดุ โมเลกุลของอากาศจะเกิดการสั่นตัวภายในช่องว่างของวัสดุพรุนก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเสียดทาน และมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศและทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในช่วงที่เกิดการอัดและขยายผ่านช่องว่างภายในวัสดุพรุน ทำให้เกิดการสูญเสียของพลังงานในรูปแบบพลังงานความร้อน [18] ตัวอย่างวัสดุดูดซับเสียงแบบวัสดุพรุน เช่น โยแก้ว โยหิน และโฟมเซลเปิด เป็นต้น

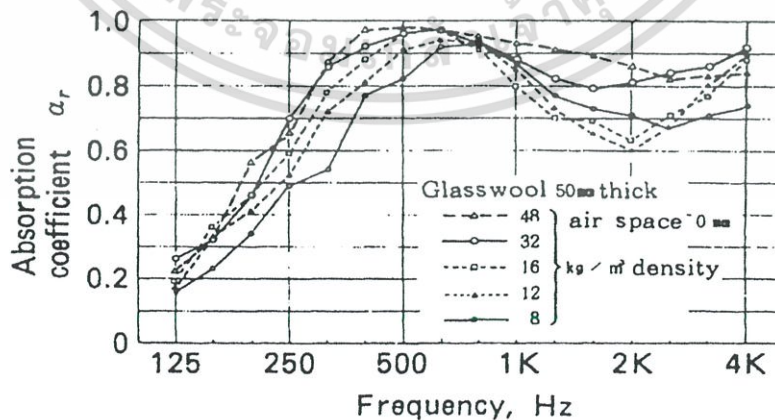
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของใยแก้วความหนา 10, 25, 40, 50, 75 และ 100 mm ที่ความหนาแน่น 32 kg/m³ และมีความกว้างระหว่างใยแก้วกับกำแพงเท่ากับ 0 mm

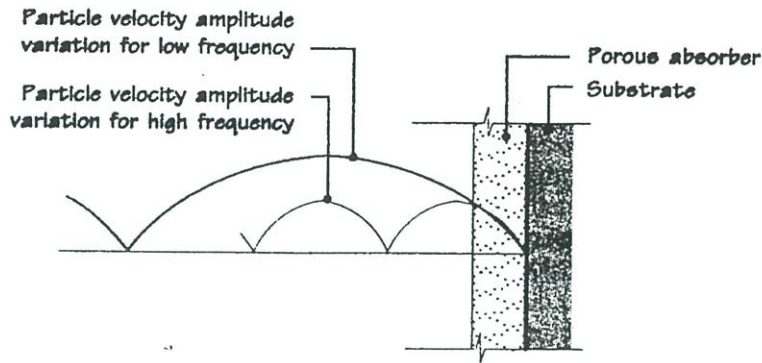


รูปที่ 2.11 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของใยแก้วความหนา 50 mm ที่ความหนาแน่น 12 kg/m³ และมีความกว้างระหว่างใยแก้วกับกำแพงเท่ากับ 0, 40, 100 และ 300 mm

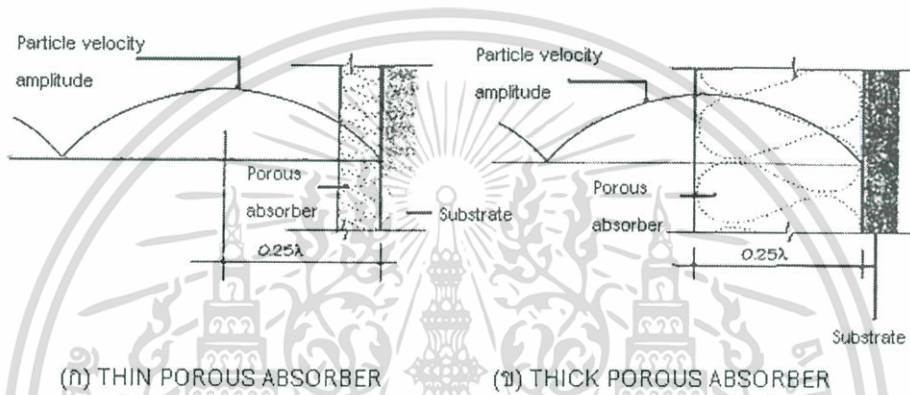


รูปที่ 2.12 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของใยแก้วความหนา 50 mm ที่ความหนาแน่น 8, 12, 16, 32 และ 48 kg/m³ และมีความกว้างระหว่างใยแก้วกับกำแพงเท่ากับ 0 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การดูดซับเสียงในช่วงความยาวคลื่นที่ความถี่ต่ำและความถี่สูง [19]



รูปที่ 2.14 การดูดซับเสียงในช่วงความยาวคลื่นในวัสดุที่มีความหนาต่างกัน [19]

วัสดุดูดซับเสียงที่มีประสิทธิภาพดีจะสามารถดูดซับคลื่นเสียงที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ 0.25λ หรือ 0.75λ ได้ดีเพราะที่ความยาวคลื่นนี้เป็นจุดที่ทำให้เกิดเสียงดังที่สุด ถ้าวัสดุดูดซับเสียงมีความหนาเท่ากันความสามารถในการดูดซับเสียงจะขึ้นอยู่กับความถี่ถ้าความถี่สูงวัสดุนั้นสามารถดูดซับเสียงได้ดี ส่วนที่ความถี่ต่ำวัสดุจะดูดซับเสียงได้น้อย ดังรูปที่ 2.13 ถ้าต้องการให้วัสดุนั้นมีความสามารถในการดูดซับเสียงได้ดีที่ความถี่ต่ำควรเพิ่มความหนาให้กับวัสดุนั้น ดังรูปที่ 2.14

2.4.2 วัสดุดูดซับเสียงแบบเรโซเนเตอร์

วัสดุดูดซับเสียงแบบเรโซเนเตอร์ เป็นวัสดุที่มีโพรงอากาศอยู่ภายใน และโพรงอากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของคลื่นเสียงที่ตกกระทบบนช่องเปิด หรือเรียกว่า เรโซเนเตอร์ ใช้ได้เฉพาะความถี่ในช่วงแคบ ทำให้วัสดุดูดซับเสียงนี้ มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานสูง สามารถดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่ที่ต่ำ และแคบกว่าที่จะนำไปใช้งานได้จริง

2.4.3 วัสดุดูดซับเสียงแบบเมมเบรน

วัสดุดูดซับเสียงแบบเมมเบรนสามารถดูดซับเสียงได้ดีที่ช่วงความถี่เรโซแนนท์ ซึ่งความสามารถในการดูดซับเสียงขึ้นอยู่กับ มวล ความแข็ง และความกว้างของช่องว่างที่อยู่ใต้เมมเบรน ดังสมการ 2.1 [20] และมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงไม่เกิน 0.4 ทางปฏิบัติสามารถนำวัสดุดูดซับเสียงแบบเมมเบรนมาใช้ร่วมกับวัสดุดูดซับเสียงแบบวัสดุพูน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง

$$f_{res} = \frac{60}{\sqrt{md}} \quad (2.1)$$

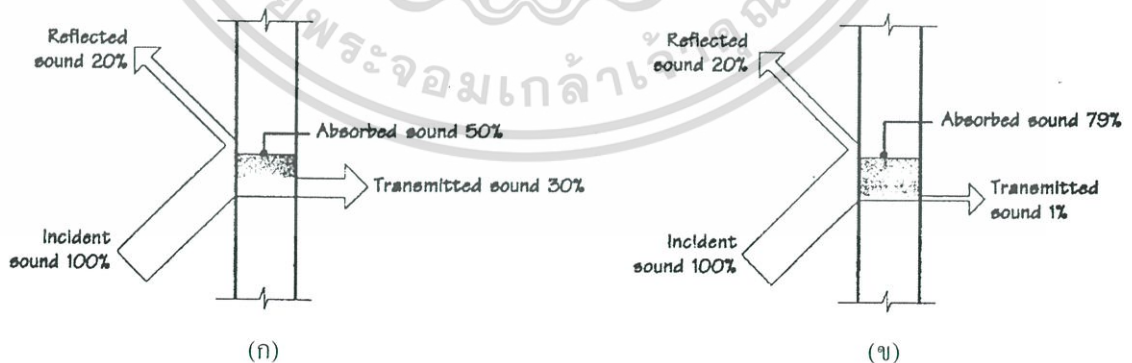
เมื่อ f_{res} = ความถี่ที่มีการดูดซับเสียงสูงสุด

m = มวลของเมมเบรน (kg/m^2)

d = ความกว้างของช่องว่าง (m)

2.5 ประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับเสียง

2.5.1 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient, α) เป็นค่าที่บอกรถึงความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุชนิดหนึ่งๆ คือ เมื่อเสียงเดินทางมาตกกระทบบนวัสดุ (Incident sound) ทำให้เกิดการสะท้อน (Reflect sound) ดูดซับ (Absorbed sound) และทะลุผ่านของเสียง (Transmitted sound) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเป็นการรวมกันระหว่างการดูดซับเสียงภายในวัสดุกับการทะลุผ่านของเสียงผ่านวัสดุนั้นเข้าด้วยกัน ดังรูป 2.15 ก และ ข ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียงมีค่าเท่ากันเท่ากับ 0.8 และ 0.2 ตามลำดับ



รูปที่ 2.15 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงและสะท้อนเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุใดๆ ที่มีค่าเท่ากับ 0 หมายความว่า ไม่มีการดูดซับเสียงเกิดขึ้นในวัสดุนั้น และเกิดการสะท้อนของเสียงกลับหมด จึงถือว่าเป็นวัสดุสะท้อนเสียง แต่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมีค่าเท่ากับ 1 หมายความว่า มีการดูดซับเสียงที่มากกระทบบนวัสดุนั้นทั้งหมด โดยไม่มีการสะท้อนเสียงออกไป จึงจัดว่าวัสดุนั้นเป็นวัสดุดูดซับเสียงแบบมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงสูง ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เป็นค่าในอุดมคติ เนื่องจากโดยทั่วไปวัสดุต่างๆ มีความสามารถทั้งการดูดซับ และสะท้อนเสียงเกิดขึ้นเสมอไม่ว่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุนั้นเป็นสำคัญ [21]

อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ของเสียง และมุมที่คลื่นเสียงนั้นตกกระทบด้วย Beranek [22] อธิบายว่า ความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุใดๆ นั้นมีได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุชนิดนั้นเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับวิธีการติดตั้งวัสดุนั้นๆ รวมทั้งขนาดและรูปร่างของห้องที่จะติดตั้งอีกด้วย

2.5.2 ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) เป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุต่างชนิดกัน ซึ่งค่า NRC คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ความถี่ 250, 500, 1,000 และ 2,000 Hz ดังสมการ 2.2

$$NRC = \frac{(\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000})}{4} \quad (2.2)$$

เมื่อ NRC = สัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง

α_x = สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ความถี่ x Hz

ค่า NRC ในสมการ 2.2 ใช้ในช่วงการดูดซับเสียงที่มีความถี่อยู่ในช่วง 250-2,000 Hz วัสดุที่มีค่า NRC สูงกว่า 0.4 จัดว่าเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับเสียงสูง วัสดุที่ใช้ในสำนักงานหรือที่อยู่อาศัย (ตารางที่ 2.4-2.6) ส่วนมากจะมีค่า NRC อยู่ระหว่าง 0.4-0.6 วัสดุที่มีค่า NRC สูงกว่า 0.8 โดยทั่วไปมีราคาแพง และใช้ในห้องที่มีวัตถุประสงค์เฉพาะเท่านั้น เช่น สตูดิโอ ห้องทดลอง หรือ ห้องบรรยายขนาดใหญ่ กรณีที่เสียงพิจารณาไม่ได้เป็นเสียงพูดของมนุษย์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น หรือมีความถี่อยู่นอกช่วงความถี่ 250-2,000 Hz จะต้องออกแบบวัสดุดูดซับเสียงให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงในช่วงความถี่ที่ต้องการมากกว่าการพิจารณาจากค่า NRC [18] โดยทั่วไปมนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่มีความถี่ตั้งแต่ 20-20,000 Hz

ตารางที่ 2.4 แสดงลักษณะทั่วไปของค่า NRC ของวัสดุต่างๆ [23]

ประสิทธิภาพการดูดซับเสียง	NRC	วัสดุที่ใช้	
มีประสิทธิภาพการดูดซับเสียงสูง	- 1.0 -	-วัสดุเฉพาะที่ได้รับการออกแบบพิเศษ ให้มีความสามารถในการดูดซับเสียงสูง	
	- 0.9 -		
	- 0.8 -		
	- 0.7 -		-เบาะ, นวมหุ้มเก้าอี้
	- 0.6 -		-ฝ้าเพดานที่มีความพรุนสูง
	- 0.5 -		-ม่านหนา
	- 0.4 -		
มีประสิทธิภาพการดูดซับเสียงปานกลาง	- 0.3 -	-พื้นดินที่เรียบ -พรมหนาบนพื้นคอนกรีต	
	- 0.2 -		
เกิดการสะท้อนของเสียง	- 0.1 -	-เก้าอี้ไม้หรือเหล็กที่ไม่มีคนนั่ง -พรมที่มีน้ำหนักเบา -ต้นไม้ -ม่านบาง	
	- 0.0 -	-หน้าต่างกระจก, ขอบหน้าต่างไม้ -คอนกรีตฉาบ, อิฐเคลือบสี, หินอ่อน -กระเบื้องแก้ว, ผนังน้ำ	

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างค่า NRC ตามสถานที่ต่างๆ [24]

Type of Space	NRC Range	Ceiling Treatment	Wall Treatment
Bedroom, Sleeping quarters, etc.	0.45-0.65	Full	None required
Private offices, large offices, hospitals, laboratory work spaces, libraries, etc.	0.65-0.75	Full	None required
Lobbies, corridors, gymnasiums, etc.	0.65-0.75	Full	Yes
Secondary and college classrooms, large meeting room, etc.	0.65-0.75	Partial	Yes
Kitchens, cafeterias, restaurants, etc	≥ 0.75	Full	None required
Computer equipment rooms, school and industrial shops, machinery spaces, etc.	≥ 0.75	Full	Yes
Auditoriums, theaters, churches, courtrooms, chapels, open plan offices and schools, language laboratories, factories, etc.	These spaces in particular require special study to determine the appropriate type, amount, and location of sound-absorbing treatment.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง และค่า NRC ของวัสดุต่างๆ [25]

Materials	Octave band center frequency, Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	NRC
● Brick, unlazed	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.035
● Brick, painted Concrete	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.018
● Concrete block, painted	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.175
● Linoleum, rubber, or cork on concrete	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.068
● Glass - <4 mm thick	0.35	0.25	0.20	0.10	0.05	0.05	0.150
- 6 mm plate	0.15	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.038
● Plaster - On solid surface	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.028
- On lath	0.10	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.063
● Gypsum, 12.7 mm thick on 51x102-mm studs 410 mm apart	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09	0.065
● Fiber glass (24- 48kg/m ³) - 25.4 mm thick	0.08	0.25	0.65	0.85	0.80	0.75	0.638
- 51 mm thick	0.17	0.55	0.80	0.90	0.85	0.80	0.775
- 25.4 mm thick, 25.4-mm air space	0.15	0.55	0.80	0.90	0.85	0.80	0.775
- 51 mm thick, plastic covering with perforated metal Facing	0.33	0.79	0.99	0.91	0.76	0.64	0.863
● Wood	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.085
● Plywood, 10 mm thick	0.30	0.20	0.17	0.10	0.10	0.11	0.143
● Polyurethane foam - 6.3 mm thick	0.05	0.07	0.10	0.20	0.45	0.81	0.205
- 12.5 mm thick	0.05	0.12	0.25	0.57	0.89	0.98	0.458
- 25.4 mm thick	0.14	0.30	0.63	0.91	0.98	0.91	0.705
- 51 mm thick	0.35	0.51	0.82	0.98	0.97	0.95	0.820
● Mineral fiber - 12.7 mm thick	0.05	0.15	0.45	0.70	0.80	0.80	0.525
- 25.4 mm thick	0.10	0.30	0.60	0.90	0.90	0.95	0.675
- 12.6 mm thick on late, 25.4-mm air space	0.25	0.50	0.80	0.90	0.90	0.85	0.775
● Drape - 0.35 kg/m ² , hung straight against the Wall	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35	0.140
- 0.65 kg/m ² , draped to half area	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65	0.580
● Carpet - Hair cord on felt	0.05	0.05	0.10	0.20	0.45	0.65	0.200
- Thick pile on sponge rubber	0.15	0.25	0.50	0.60	0.70	0.70	0.513

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วัสดุดูดซับเสียงในเชิงพาณิชย์

วัสดุดูดซับเสียงที่ใช้โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด [26] คือ วัสดุดูดซับเสียงชนิดเป็นแผ่นกระเบื้อง (Acoustical tiles), วัสดุดูดซับเสียงชนิดหน่วยชิ้นนำมาประกอบติด (Assembled unit) และ วัสดุดูดซับเสียงชนิดฉีดพ่น (Sprayed on acoustic materials) ดังนี้

2.6.1 วัสดุดูดซับเสียงชนิดเป็นแผ่นกระเบื้อง วัสดุประเภทนี้จะผลิตจากไม้ อ้อย หรือใยหิน ทำเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ความหนาประมาณ $\frac{3}{16}$ - $\frac{1}{4}$ " และมีค่า NRC ประมาณ 0.7 มีตัวอย่างดังนี้

1. ซีโลเทกซ์ (Celotex) เป็นฉนวนทางความร้อนและเสียง ทำมาจากผงชานอ้อยอัดให้เป็นแผ่น โดยมีสารเคมีบางชนิดเป็นตัวยึดประสานเพื่อให้ผงชานอ้อยยึดติดกันเป็นแผ่น ซึ่งมีขนาด 4×8 ft หนา $\frac{3}{4}$ " และ $\frac{1}{2}$ " ส่วนมากทำมาจากต่างประเทศ นิยมใช้ภายในอาคาร เช่น ทำฝ้าเพดาน หรือใช้กรุฝาในกรณีที่ต้องการเก็บเสียงเป็นพิเศษ เช่น ห้องส่งวิทยุ ห้องดนตรี เป็นต้น ไม่สามารถใช้ภายนอกอาคารเพราะมีคุณสมบัติที่ไม่ทนความชื้นและน้ำ [27]

2. แผ่นเซฟวิ่งบอร์ด (Shaving board) ผลิตโดยบริษัทศรีมหาราชา โดยนำไม้มาทำการลับให้เป็นชิ้นเล็กๆ และอัดให้ติดกันด้วยกาวภายใต้เครื่องอัดแรงสูงและมีไอน้ำผ่าน แผ่นเซฟวิ่งบอร์ดที่ผลิตออกมามีทั้งชนิดขัดกระดาษทรายหน้าเดียว และชนิดขัดกระดาษทราย 2 หน้า เหมาะสำหรับใช้ภายในอาคาร เช่น ฝ้าเพดาน ฝาผนังห้อง เป็นต้น [27]

3. แผ่นอะคูสติคบอร์ด (Acoustic board) ใช้สำหรับบุฝา เพดาน ห้องที่ต้องการเก็บเสียง เช่น ห้องประชุม ห้องทำงาน ห้องฟังเพลง วัสดุที่ใช้เป็นประเภทเดียวกับเซฟวิ่งบอร์ด แต่เซาะร่องเป็นแนวยาวตลอดความยาวของแผ่นมีชนิดร่องถี่ และร่องห่าง ขนาดมาตรฐานคือ กว้าง 60 cm ยาว 8 ft หนา 10 mm หรือ $60 \times 60 \times 10$ cm [27]

4. แผ่นเส้นไม้อัดหรือเซลโลกรีต (Cellocrete) ผลิตจากไม้ตัดให้เป็นเส้นในแนวตั้ง ผสมเส้นไม้กับซีเมนต์ทำให้เป็นแผ่น การตัดเส้นไม้นี้มีความสำคัญมาก เพราะการใช้เส้นไม้ที่บางมากทำให้เซลโลกรีตมีความหนาแน่นสูงขึ้นและมีความพรุนน้อยลง เป็นผลทำให้คุณสมบัติในด้านการเป็นฉนวนกันความร้อนและเก็บเสียงต่ำลง เซลโลกรีตสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ชนิดแผ่นเส้นไม้อัดธรรมดา ชนิดแผ่นเส้นไม้อัด 1 ด้านและอีกด้านเป็นแผ่นโฟม ส่วนชนิดสุดท้าย คือ แผ่นเส้นไม้อัดที่มีแผ่นโฟมอยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นเส้นไม้อัด ขนาดมาตรฐานดังตาราง 2.7 [27]

2.6.2 วัสดุดูดซับเสียงชนิดหน่วยชิ้นนำมาประกอบติด วัสดุนี้ประกอบด้วยวัสดุ ดูดซับเสียงพวกเส้นใยหิน เส้นใยแก้ว ซึ่งใช้ติดกับผิวหน้าวัสดุซึ่งโปร่ง เช่น เป็นแผ่นแข็งแกร่งเป็น แผ่นพวกฮาร์ดบอร์ด แผ่นแอสเบสตอส หรือแผ่นโลหะ ที่ผิวหน้ามีการเจาะรูพรุน เพื่อให้คลื่นเสียง ลอดทะลุไปได้ ค่า NRC ขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุที่ใช้ ชนิดของวัสดุ ผิวหน้า ขนาดและ จำนวนรูในผิวหน้า

2.6.3 วัสดุดูดซับเสียงชนิดฉืดพ่น แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ชนิดปูนฉาบใช้เวอร์มิคิวไลต์ หรือเพอร์ไลต์ผสม และอีกชนิดใช้ฉาบด้วยพวกใยแร่ผสมแก้ว ค่า NRC อยู่ระหว่าง 0.55-0.75 ขึ้นอยู่ กับความหนาของการฉาบปูน

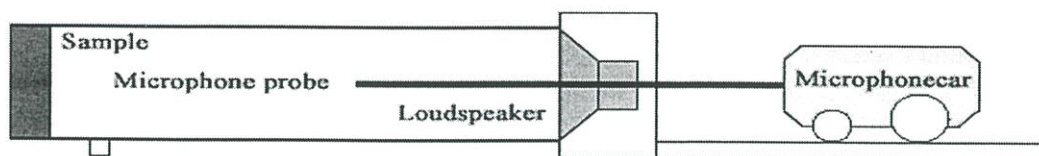
ตารางที่ 2.7 ขนาด น้ำหนัก และการใช้เซลล์โกรีต

ขนาด ก * ย* ห (cm)	น้ำหนัก (kg.)	การใช้
200 x 400 x 1.27	6.5	- เหมาะสำหรับทำฝ้าเพดาน เพื่อเป็นฉนวนกันความร้อน เก็บเสียงได้ ร้อย ละ 100 มีโครงเหล็กเป็นคร่าวฝ้าสำเร็จรูป
100 x 200 x 1.27	18	- เหมาะสำหรับทำฝ้าเพดาน เพื่อเป็นฉนวนกันความร้อน เก็บเสียงได้ ร้อย ละ 100
100 x 200 x 1.91	20	- เหมาะสำหรับทำผนังภายนอกและภายใน ใช้ปูแทนไม้แบบเทคอนกรีต
100 x 200 x 2.54	25	- เหมาะสำหรับทำผนังภายนอกและภายใน ใช้ปูแทนไม้แบบเทคอนกรีต
100 x 200 x 3.81	33	- เหมาะสำหรับทำผนังภายนอกและภายใน และทำหลังคา
100 x 200 x 5.00	44	- เหมาะสำหรับทำผนังภายนอกและภายในแบบการก่ออิฐ ใช้ส่วนผสม ของปูนเช่นเดียวกับการก่ออิฐ น้ำหนักเบากว่าอิฐถึง 10 เท่าต่อเนื้อที่ 1 m ²
100 x 200 x 7.54	56	- มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับความหนา 5 cm

2.7 เครื่องตรวจสอบคลื่นนิ่ง

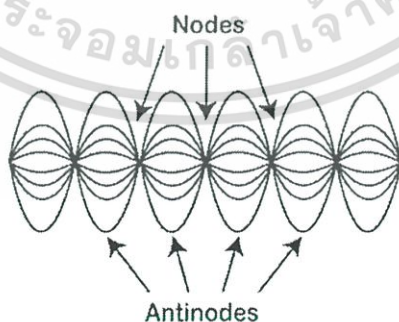
การวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุสามารถใช้ท่ออิมพีแดนซ์ (Impedance Tube) เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัด ซึ่งท่ออิมพีแดนซ์นี้ประกอบด้วย ท่อทรงกระบอกกลม ที่ปลายด้านหนึ่ง มีแหล่งกำเนิดเสียง และปลายอีกด้านหนึ่งมีวัสดุตัวอย่างที่ต้องการวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ เสียง ภายในเส้นท่อมิโครโฟนที่เคลื่อนที่ได้ตลอดความยาวของเส้นท่อ (ดังรูป 2.16) เครื่องมือนี้ สามารถเรียกอีกชื่อว่า เครื่องตรวจสอบคลื่นนิ่ง หรือ Standing Wave Apparatus ซึ่งใช้ในการวัด ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio, SWR) ของคลื่นเสียงภายในเส้นท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ลักษณะทั่วไปของท่ออิมพีแดนซ์ [28]

หลักการการทำงานของเครื่องตรวจสอบคลื่นนิ่ง คือ เมื่อคลื่นเสียงเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ปลายด้านหนึ่งของท่ออิมพีแดนซ์ไปตามความยาวของเส้นท่อ จนถึงปลายอีกด้านหนึ่งที่มีวัสดุตัวอย่างติดตั้งอยู่ คลื่นเสียงจะเกิดการตกกระทบ ดูดซับ และสะท้อนของเสียงบนพื้นผิวของตัวอย่าง เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบบนวัสดุและเกิดการสะท้อน ทำให้มีการแทรกสอดของคลื่นเสียงขึ้นภายในเส้นท่อ เรียกว่า คลื่นนิ่ง กรณีที่คลื่นตกกระทบสะท้อนออกจากผิวของวัสดุอย่างสมบูรณ์ จนกลายเป็นคลื่นสะท้อน แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองชนิดนี้จะมีค่าเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกันอย่างสมบูรณ์ และเป็นจุดที่มีความดันเป็นศูนย์ หรือเรียกว่า บัพ (Node) ส่วนบริเวณที่คลื่นเสียงมีการแทรกสอดแบบเสริมกันอย่างสมบูรณ์ และเป็นจุดที่มีความดันสูงสุด โดยที่มีค่าความดันเป็นสองเท่าของคลื่นตกกระทบ เรียกว่า ปฏิบัพ (Antinodes) ดังรูป 2.17 ส่วนในกรณีที่พลังงานของคลื่นตกกระทบบางส่วนถูกดูดซับโดยวัสดุ แอมพลิจูดของคลื่นสะท้อนจะมีค่าน้อยกว่าแอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบ ทำให้จุดบัพภายในเส้นท่อมีความดันไม่เป็นศูนย์ ค่าแอมพลิจูดของบัพ และปฏิบัพสามารถวัดได้จากไมโครโฟนที่เคลื่อนที่ได้ตลอดความยาวท่อ อัตราส่วนระหว่างความดันสูงสุดในเส้นท่อ ต่อค่าความดันต่ำสุดภายในเส้นท่อ เรียกว่า อัตราส่วนคลื่นนิ่ง ซึ่งค่าอัตราส่วนนี้จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งเสมอ และนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียง และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ [29]



รูปที่ 2.17 คลื่นมีการแทรกสอดแบบเสริมและหักล้างกันอย่างสมบูรณ์

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียง (r) ของคลื่นระนาบที่ตกกระทบบนพื้นผิวของวัสดุ มีค่าเท่ากับแอมพลิจูดของคลื่นสะท้อนส่วนด้วยแอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบ ดังสมการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$r = \frac{B}{A} \quad (2.2)$$

เมื่อ r = สัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียง

B = แอมพลิจูดของคลื่นสะท้อน

A = แอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบ

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ที่ตกกระทบบนพื้นผิวของตัวอย่าง ดังสมการ

$$\alpha = 1 - r^2 \quad (2.3)$$

$$\text{หรือ } \alpha = 1 - \left(\frac{B}{A}\right)^2 \quad (2.4)$$

ค่า A และ B ไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่สามารถหาได้จากค่าแอมพลิจูดของ $(A+B)$ และ $(A-B)$ ดังรูป 2.18 ซึ่งอัตราส่วนของ $(A+B)/(A-B)$ เรียกว่า อัตราส่วนคลื่นนิ่ง ดังสมการ 2.5



รูปที่ 2.18 รูปแบบของคลื่นนิ่งภายในท่ออิมพีแดนซ์ [25]

$$SWR = \frac{A+B}{A-B} \quad (2.5)$$

เมื่อ SWR = อัตราส่วนคลื่นนิ่ง

$A+B$ = ความดันของเสียงที่จุดสูงสุด

$A-B$ = ความดันของเสียงที่จุดต่ำสุด

หรือ สามารถเขียนสมการใหม่ได้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{B}{A} = \frac{SWR - 1}{SWR + 1} \quad (2.6)$$

นำสมการที่ 2.6 แทนค่าลงในสมการที่ 2.4 จะได้สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ดังนี้

$$\alpha = 1 - \left(\frac{SWR - 1}{SWR + 1} \right)^2 \quad (2.7)$$

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิรันดร์ วิฑิตอนันต์ (2535) [30] ได้ศึกษาสมรรถนะในการลดระดับเสียงของวัสดุพูน 3 ชนิด ได้แก่ แกลบบ ซึ่กบ และใยมะพร้าว โดยใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นสารยึดติด ที่ความหนา 1, 2, 3, 4 และ 5 cm ทำการทดลองโดยใช้คลื่นเสียงความถี่เดียว ระดับความดังเสียง 90 เดซิเบล พบว่า วัสดุทั้ง 3 ชนิด มีสมรรถนะในการลดระดับเสียงที่แตกต่างกัน ทั้งในแง่ความสามารถในการส่งผ่านเสียงและการดูดซับเสียง เมื่อวัสดุพูนมีความหนาเท่ากัน ความสามารถในการส่งผ่านเสียงของวัสดุพูนจะแปรผกผันกับความถี่เสียง ส่วนความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุจะแปรผันตรงกับความถี่เสียง ยกเว้นเสียงที่มีความถี่ในช่วง 1,000-2,000 Hz พบว่าวัสดุพูนทั้ง 3 ชนิด สามารถส่งผ่านเสียงได้ดีกว่าการดูดซับเสียง เนื่องจากเกิดปรากฏการณ์การก้ำก๋อในช่วงความถี่นั้นๆ สำหรับค่า NRC ของวัสดุพูนต่อเสียงชนิดความถี่เดียว พบว่าวัสดุพูนที่ใช่แกลบบ ซึ่กบ และใยมะพร้าว ความหนา 5 cm เป็นส่วนประกอบมีค่าเท่ากับ 0.91, 0.89 และ 0.46 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แกลบบมีประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงได้ดีที่สุด

ศักดิ์ชัย อมรศักดิ์ชัย (2541) [31] ศึกษาความสามารถในการลดระดับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงจาก ปูนซีเมนต์ เถ้าลอยลิกไนต์และวัสดุเหลือใช้ 3 ชนิด คือ แกลบบ ซึ่เกลือ และ ชูยมะพร้าว โดยมีอัตราส่วนการผสม 6 อัตราส่วนในแต่ละชนิดของวัสดุเหลือใช้ ที่ความหนา 1, 2, 3, 4, และ 5 cm พบว่า วัสดุดูดซับเสียงที่สังเคราะห์ขึ้นมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับวัสดุดูดซับเสียงประเภทเมมเบรน โดยที่สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงลดลงเมื่อความถี่ของเสียงสูงขึ้น และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุนี้จะไม่ขึ้นกับชนิดของวัสดุเหลือใช้ อัตราส่วนผสม และความหนาของวัสดุ

ปัญจพร ปารธรรม และ ปิยนุช ภัคดีสอน (2543) [32] ได้ทำการปรับปรุงโพลีเมอร์ผสมเพื่อใช้เป็นวัสดุป้องกันเสียง โดยนำเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (EVA) มาผสมกับยางชนิดต่างๆ เพื่อศึกษาอัตราส่วนระหว่าง EVA ต่อยาง อัตราส่วนของสารให้ฟอง และชนิดของยาง พบว่า EVA ที่ผสมกับยางสไตรีน-บิวทาไดอีนในอัตราส่วน 80: 20 ที่มีปริมาณสารให้ฟอง 5% โดยน้ำหนัก จะมีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงมากที่สุด แต่เทียบกับชิ้นงานทางการค้า พบว่าสามารถดูดซับเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงความถี่สูงได้ดีกว่า ส่วนที่ความถี่ต่ำจะดูดซับเสียงได้น้อยกว่าชิ้นงานมาตรฐาน แต่ถ้าพิจารณาโดยรวมสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุอุดหูป้องกันเสียงได้

ปูรณันท์ อังคสุวรรณ และ อุดมศักดิ์ พงติสุนากร (2544) [33] ศึกษาการเตรียมแผ่นกระดาษอัดดูดซับเสียง โดยนำเส้นใยอ้อยมาผสมกับโฟมโพลีสไตรีนในอัตราส่วนต่างๆ และใช้โพลีไวนิลอะซิเตต หรือยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารยึดติด พบว่าเมื่อมีปริมาณเส้นใยอ้อยมากขึ้น ทำให้มีสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และการดูดซับเสียงเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารยึดติดคือ โพลีไวนิลอะซิเตตกับยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ พบว่ายูเรียฟอร์มาลดีไฮด์มีสมบัติเชิงกลที่สูงกว่า เพราะมีการเชื่อมโยงกันแบบร่างแหทำให้มีการดูดซับเสียงได้ดีขึ้น

Swift, M.J. และคณะ (1999) [34] ได้ทำการศึกษาสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของยางรถยนต์ โดยนำยางรถยนต์มาย่อยให้มีขนาดอนุภาค 0.35-5.00 mm คัดขนาดอนุภาคของยางให้มีอยู่ในช่วง 0.71-1.0, 1.0-1.4, 1.4-2.0 และ > 2.0 mm จากนั้นนำผงยางที่ได้ไปทำให้เป็นแผ่น โดยกลุ่มหนึ่งทำให้เป็นแผ่นโดยใช้แรงดันอัด ส่วนอีกกลุ่มทำให้เป็นแผ่นโดยใช้แรงดันอัดร่วมกับใช้โพลีเมอร์เป็นสารยึดติด ที่ความหนา 20, 25 และ 30 mm นำไปหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงช่วงความถี่ 100-6,000 Hz พบว่า แผ่นยางที่มีโพลีเมอร์เป็นสารยึดติด ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงลดลง เมื่อมีขนาดอนุภาคของยางลดลง ส่วนความหนาไม่มีผลต่อผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

Horoshenkov, K.V. และ Swift, M.J. (2000) [35] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติของการดูดซับเสียงของขนาดอนุภาคของแผ่นยางที่มีและไม่มีโพลีเมอร์เป็นสารยึดติด พบว่า แผ่นยางที่มีโพลีเมอร์เป็นสารยึดติด ค่าความพรุนลดลง ส่วนค่าความต้านการไหล และค่าความคดเคี้ยว (Tortuosity) ของรูพรุน จะเพิ่มขึ้นเมื่อให้แรงดันมากขึ้น ซึ่งยางที่มีขนาด 0.71-2.0 mm มีคุณสมบัติของการดูดซับเสียงดีที่สุด ส่วนแผ่นยางที่ไม่มีโพลีเมอร์เป็นสารยึดติดนั้น ค่าความพรุนและความคดเคี้ยวของรูพรุนไม่ขึ้นกับขนาดของยาง

Han-Seung Yang และคณะ (2003) [36] ทำการสังเคราะห์วัสดุประกอบจากเศษไม้ผสมกับฟางข้าว เพื่อประยุกต์เป็นแผ่นฉนวนที่มีลักษณะคล้ายกับแผ่นไม้ที่ใช้ในอุตสาหกรรม โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของฟางข้าวต่อไม้เท่ากับ 10: 90, 20: 80, และ 30: 70 โดยใช้ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (Urea Formaldehyde) เป็นตัวยึดติด ค่าของ Bending Modulus of Rupture เท่ากับ 140-290, 700-900 และ 1,400-2,900 psi ทำให้วัสดุประกอบมีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 0.4, 0.6 และ 0.8 ตามลำดับ พบว่า วัสดุประกอบที่ทำขึ้นมีความแข็งแรงมากกว่าแผ่นไม้ที่เป็นฉนวนในทางอุตสาหกรรม ส่วนขนาดและความยาวของฟางข้าวไม่มีผลต่อ Bending Modulus of Rupture วัสดุประกอบที่สังเคราะห์จากฟางข้าวที่ไม่มีการคัดแยกขนาด และมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.4 และ 0.6 มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงดีที่สุด และดีกว่าแผ่นไม้ที่เป็นฉนวนในทางอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัยผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 รูปแบบของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์โพลิเมอร์จากน้ำยางข้นและเศษผงหนังเพื่อประยุกต์ใช้เป็นฉนวนดูดซับเสียง โดยนำเศษหนังตัดเจียรมาย่อยให้มีขนาดเล็กเรียกว่า เศษผงหนัง ทำการคัดแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงขนาด 8 และ 20 เมช ได้เศษผงหนังขนาด ≥ 2.36 , $2.36-0.83$ และ < 0.83 mm ทำการสังเคราะห์โพลิเมอร์จากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาด คือ เศษผงหนังที่มีขนาด ≥ 2.36 , < 0.83 mm และเศษผงหนังคละขนาด ที่อัตราส่วนของน้ำยางข้นต่อเศษผงหนัง (โดยน้ำหนัก) เท่ากับ 1:0.0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8, 1:1.0, 1:1.2, 1:1.4, 1:1.6 และ 1:1.8 แต่ละอัตราส่วนทำที่ความหนา 1 และ 2 cm นำโพลิเมอร์ประกอบความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm มาวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ความถี่ของเสียง 12 ระดับ คือ 250, 500, 750, 1,000, 1,250, 1,500, 1,750, 2,000, 2,500, 3,000, 3,500 และ 4,000 Hz หาค่าความหนาแน่นในแต่ละอัตราส่วน และดูพื้นผิวของโพลิเมอร์ประกอบด้วยกล้อง Stereo Microscope

3.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

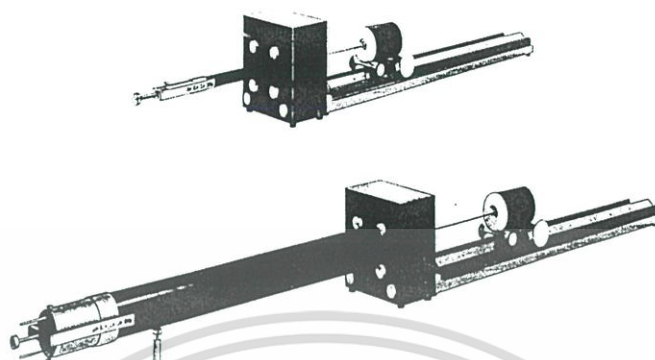
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องบด
2. เตาอบ (Hot Air Oven)
3. ตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 8 และ 20
4. เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 g
5. ภาชนะสำหรับตีฟอง
6. เวอร์เนียคาลิเปอร์
7. กล้อง Stereo Microscope ของบริษัท Olympus รุ่น SZ-CTV และชุดถ่ายภาพของบริษัท Olympus รุ่น DP12
8. เครื่อง Standing Wave Apparatus Type 4002 ของบริษัท Bruel & Kjaer ประกอบด้วย
 - 8.1) ท่อสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 98 mm วัดความถี่ในช่วง 100-1,800 Hz
 - 8.2) ท่อสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 28 mm วัดความถี่ในช่วง 800-6,500 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3) ลำโพง

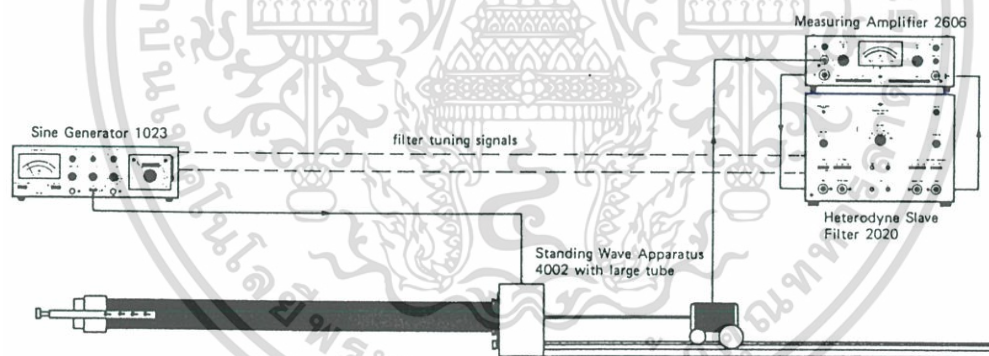
8.4) ไมโครโฟน



(Upper photo) The 4002 fitted with the short tube
(Lower photo) The 4002 fitted with the long tube

รูปที่ 3.1 เครื่อง Standing Wave Apparatus Type 4002 ที่วัดความถี่สูงและความถี่ต่ำ

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจำเป็นต้องมี Sine Generator 1023, Measuring Amplifier 2606 และ Heterodyne Slave Filter 2020 จัดอุปกรณ์ดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 การจัดชุดอุปกรณ์วัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. น้ำยารุ่นชนิดที่มีปริมาณแอมโมเนียร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก หรือเรียกว่า น้ำยารุ่น
2. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide)
3. สารละลายโพแทสเซียมไฮลิเอต ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
4. สารแขวนลอยซิลเฟอร์ ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก
5. สารแขวนลอย Zinc diethyl dithiocarbamate ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สารแขวนลอย Zinc – 2 – mercapto benzthiazole ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก
7. สารแขวนลอย Wingstay L ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก
8. สารแขวนลอย Diphenyl guanidine ร้อยละ 33 โดยน้ำหนัก
9. สารแขวนลอย Zinc oxide ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก
10. สารแขวนลอย Sodium silicofluoride ร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนัก
11. เศษหนังตัดเจียร

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมเศษผงหนัง

1. นำเศษหนังตัดเจียรมาย่อยให้เป็นผงละเอียดในเครื่องบด 3 ครั้ง
2. คัดขนาดโดยใช้ตะแกรงที่มีขนาด 8 และ 20 เมช ได้เศษผงหนังที่มีขนาด ≥ 2.36 , 2.36-0.83 และ < 0.83 mm
3. นำเศษผงหนังมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
4. นำเศษผงหนังที่คัดขนาดและคละขนาดแล้วมาบดบดในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.7 mol/l เป็นเวลา 5-7 ชั่วโมง
5. นำมาล้างในน้ำสะอาดเพื่อล้างสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่วนเกินออก และทำการวัดค่า pH ให้มีค่าประมาณ 7.0-8.0
6. บีบน้ำส่วนเกินออกจากเศษผงหนังโดยให้น้ำหนักเหลือประมาณ 1.5 เท่าของน้ำหนักเศษผงหนังแห้ง

3.3.2 สังเคราะห์โฟมวัสดุประกอบ

สังเคราะห์โฟมวัสดุประกอบโดยใช้น้ำยางข้นผสมกับเศษผงหนัง 3 ขนาด คือ เศษผงหนังที่มีขนาด ≥ 2.36 , < 0.83 mm และ เศษผงหนังที่ไม่ได้ทำการคัดขนาด (เศษผงหนังคละขนาด) ในอัตราส่วนของน้ำยางข้นต่อเศษผงหนัง (โดยน้ำหนัก) เท่ากับ 1:0.0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8, 1:1.0, 1:1.2, 1:1.4, 1:1.6 และ 1:1.8 ในแต่ละอัตราส่วนทำที่ความหนา 1 และ 2 cm ซึ่งมีขั้นตอนการสังเคราะห์โฟมวัสดุประกอบดังนี้

1. นำน้ำยางข้นกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จำนวน 8.86 g มาตีฟองในเครื่องกวนปริมาณฟองตามต้องการ
2. ใส่เศษผงหนังที่ได้จากการเตรียมในข้อ 3.3.1 ตามอัตราส่วนการผสมที่ต้องการ
3. ใส่สารเคมีในอัตราส่วนดังส่วนที่ 2 ของตารางที่ 3.1 ผสมให้เข้ากัน
4. ใส่สารเคมีในอัตราส่วนดังส่วนที่ 3 ของตารางที่ 3.1 ผสมให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใส่สารเคมีในอัตราส่วนดังส่วนที่ 4 ของตารางที่ 3.1 ผสมให้เข้ากัน
6. เทฟองยางใส่แม่พิมพ์ปาดหน้าให้เรียบ ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 10-15 นาที
7. นำไปอบที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของน้ำยางชั้นและสารเคมีในการผลิตยางฟองน้ำ

Part	Ingredients	Weight (g)
1	- 60% Deammoniated (H.A.) NR Latex	100
	- 10% Potassium oleate soap solution	8.86
2	- 50% Sulfur dispersion	2.39
	- 50% Zinc diethyl dithiocarbamate (ZDEC)	1.20
	- 50% Zinc – 2 – mercaptobenzthiazole (ZMBT)	1.20
	- 50% Wingstay L	1.20
3	- 33% Diphenyl guanidine	1.20
	- 50% Zinc oxide	5.98
4	- 12.5% Sodium silicofluoride	4.77

3.3.3 หาความหนาแน่น

นำโฟมวัสดุประกอบมาชั่งน้ำหนักและวัดขนาดด้วยเวอร์เนียคาร์ลิเปอร์ จากนั้นนำมาคำนวณค่าความหนาแน่นของแผ่นโฟมวัสดุประกอบ จากสมการ 3.1

$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง}} \quad (3.1)$$

3.3.4 วัดสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

วัดสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงด้วยเครื่อง Standing Wave Apparatus Type 4002 ตามมาตรฐาน ISO 10534-1 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm ซึ่งที่ความหนาที่ 4, 6 และ 8 cm สามารถทำได้โดยใช้โฟมวัสดุประกอบที่ความหนา 2 cm มาซ้อนกันเพื่อให้ได้ความหนาที่ต้องการ นำมาวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

1. ท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 98 mm ใช้วัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบที่ความถี่ 250, 500, 750, 1,000, 1,250, 1,500 และ 1,700 Hz
2. ท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 28 mm ใช้วัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบที่ความถี่ 2,000, 2,500, 3,000, 3,500 และ 4,000 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง (NRC)

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงของแต่ละแผ่นตัวอย่าง จากสมการ (3.2)

$$NRC = \frac{(\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000})}{4} \quad (3.2)$$

เมื่อ NRC = สัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง

α_x = สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ความถี่ x Hz

3.3.6 สภาพพื้นผิวของโพลีเอสเตอร์ประกอบ

นำโพลีเอสเตอร์ประกอบมาทำการดูสภาพพื้นผิว โดยใช้กล้อง Stereo Microscope ของบริษัท Olympus รุ่น SZ-CTV

3.3.7 สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

ใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ SPSS ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทาง และวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว โดยทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

เศษหนังตัดเจียรที่ย่อยจนเป็นเศษผงหนึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยละเอียด นำมาทำการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงขนาด 8 และ 20 เมช จะได้

เศษผงหนึ่งที่มีขนาดใหญ่ คือ ≥ 2.36 mm ในปริมาณร้อยละ 56.91

เศษผงหนึ่งที่มีขนาด = $2.36-0.83$ mm มีปริมาณร้อยละ 4.16

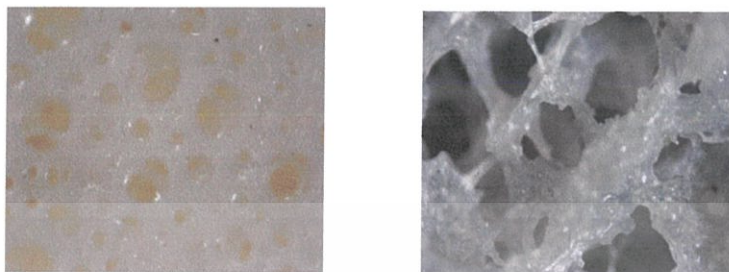
เศษผงหนึ่งที่มีขนาดเล็ก คือ < 0.83 mm มีปริมาณร้อยละ 38.93

นำเศษผงหนึ่งขนาด ≥ 2.36 , < 0.83 mm และเศษผงหนึ่งคละขนาด มาสังเคราะห์เป็นโพลีเอสเตอร์ประกอบของน้ำยางชั้นต่อเศษผงหนึ่งในอัตราส่วนข้างต้น ทำการตรวจสอบโพลีเอสเตอร์ประกอบขึ้นพื้นฐานว่าเป็นวัสดุพูนเซลล์เปิดโดยการเป่าลมผ่าน และพิจารณาร่วมกับรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นตัวอย่างของโพลีเอสเตอร์ประกอบจากน้ำยางชั้นและเศษผงหนึ่งที่อัตราส่วน 1:0.0 และ 1:1.6 พบว่าโพลีเอสเตอร์ประกอบเป็นวัสดุพูนและมีอากาศผ่านได้ในทุกอัตราส่วนการทดลอง

โพลีเอสเตอร์ประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.073-0.128 g/cm³ หรือเท่ากับ 73-128 kg/m³ ดังตารางที่ 3.2 โดยที่อัตราส่วนการผสมเศษผงหนึ่งที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความหนาแน่นมากขึ้น สามารถจัดได้ว่าโพลีเอสเตอร์ประกอบนี้เป็นโพลีเอสเตอร์ที่มีน้ำหนักเบา [16] และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cyril, M. Harris [38] ได้กล่าวว่า วัสดุดูดซับเสียงจะมีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงได้ดีเมื่อมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 96.11-144.16 kg/m³ และมีความสามารถดูดซับเสียงได้มากขึ้นเมื่อมีความหนาแน่นมากขึ้น แต่ถ้าความหนาแน่นมากกว่านี้วัสดุนี้จะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงได้น้อยลง



รูปที่ 3.3 โฟมวัสดุประกอบที่อัตราส่วน 1:0.0 และ 1:1.6 ที่กำลังขยาย 5 เท่า

จากสมมติฐานของการศึกษาในบทที่ 1

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทาง เพื่อทดสอบสมมติฐานในบทที่ 1 ข้อ 1 และ 2

โฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาด ที่ความหนาต่างกันจะมีค่าความหนาแน่นแตกต่างกันหรือไม่ โดยทำการทดสอบสมมติฐานที่ว่า

1) โฟมวัสดุประกอบจากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาดกับความหนาของโฟมวัสดุประกอบ มีปฏิสัมพันธ์ร่วมต่อความหนาแน่นหรือไม่

2) โฟมวัสดุประกอบจากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาด มีผลทำให้ค่าความหนาแน่นแตกต่างกันหรือไม่

3) ความหนาของโฟมวัสดุประกอบมีผลทำให้ความหนาแน่นแตกต่างกันหรือไม่
ทำการเปรียบเทียบ F คำนวณ กับ F ในตาราง และค่า sig. ที่คำนวณกับระดับนัยสำคัญ 0.05 ของสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ (จากภาคผนวก ก) ดังนี้

สมมติฐานข้อ 1)

F ที่คำนวณของโฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาดกับความหนาของโฟมวัสดุประกอบ (size*Thick) = 0.005

ค่า sig. = 1.00

F ในตารางที่ขึ้นแห่งความเป็นอิสระ 8, 135 = 2.01

F คำนวณมีค่าน้อยกว่า F ในตาราง แต่ค่า sig. มากกว่า 0.05 แสดงว่า โฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาด กับโฟมวัสดุประกอบที่มีความหนาต่างกันไม่มี

ปฏิสัมพันธ์ร่วมกันต่อค่าความหนาแน่น หรือขนาดของเศษผงหนึ่งและความหนาของโฟมวัสดุ ประกอบไม่มีอิทธิพลต่อกัน ดังนั้นสามารถแยกสรุปสมมติฐานข้อ 2. และ 3. ได้

สมมติฐานข้อ 2)

F ค่าพจน์ของโฟมวัสดุประกอบจากเศษผงหนึ่งทั้ง 3 ขนาด (size) = 2.334

ค่า sig. = 0.101

F ในตารางที่ขึ้นแห่งความเป็นอิสระ 2, 135 = 3.06

F ค่าพจน์มีค่าน้อยกว่า F ในตาราง แต่ค่า sig. มากกว่า 0.05 แสดงว่า โฟมวัสดุ ประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษผงหนึ่งทั้ง 3 ขนาดมีค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สมมติฐานข้อ 3)

F ค่าพจน์ของโฟมวัสดุประกอบที่ความหนาต่างกัน (Thick) = 0.128

ค่า sig. = 0.972

F ในตารางที่ขึ้นแห่งความเป็นอิสระ 4, 135 = 2.44

F ที่ค่าพจน์มีค่าน้อยกว่า F ในตาราง แต่ค่า sig. มากกว่า 0.05 แสดงว่า โฟมวัสดุ ประกอบที่มีความหนาต่างกันก็มีค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว เพื่อทดสอบสมมติฐานในบทที่ 1 ข้อ 3

โฟมวัสดุประกอบที่มีอัตราส่วนการผสมของน้ำยางขึ้นต่อเศษผงหนึ่งต่างกัน ค่าความหนาแน่นของโฟมวัสดุประกอบจะมีความแตกต่างกันหรือไม่

ทำการเปรียบเทียบ F ค่าพจน์ กับ F ในตาราง และค่า sig. ที่ค่าพจน์กับระดับนัยสำคัญ 0.05 (จากภาคผนวก ก) ดังนี้

F ค่าพจน์ของโฟมวัสดุประกอบที่มีอัตราส่วนการผสมต่างกัน = 248.136

ค่า sig. = 0.00

F ในตารางที่ขึ้นแห่งความเป็นอิสระ 9, 140 = 2.02

F ที่ค่าพจน์มีค่ามากกว่า F ในตาราง แต่ค่า sig. น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ค่าความหนาแน่นของโฟมวัสดุประกอบกับอัตราส่วนการผสมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือ ค่าความหนาแน่นของโฟมวัสดุประกอบขึ้นกับอัตราส่วนการผสมของน้ำยางขึ้นกับเศษผงหนึ่ง

จากสมมติฐานของการศึกษาในบทที่ 1 สามารถสรุปสมมติฐานข้อ 1, 2 และ 3 ได้ว่า ค่าความหนาแน่นของโฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นไม่มีผลกับขนาดของเศษผงหนึ่งและความหนาของโฟมวัสดุประกอบ แต่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการผสมของน้ำยางขึ้นกับเศษผงหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์ประกอบจากน้ำยางชั้นกับเศษผงหนึ่งที่ขนาดของ
เศษผงหนึ่งต่างกัน อัตราส่วนการผสมต่างกัน และที่ความหนาต่างกัน

ขนาดเศษผงหนึ่ง (mm)	อัตราส่วน (น้ำยางชั้น: เศษผงหนึ่ง)	ค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์ประกอบที่ความหนา (g/cm ³)				
		1 cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm
< 0.83	1:0.0	0.073	0.076	0.075	0.076	0.077
	1:0.2	0.091	0.091	0.090	0.094	0.094
	1:0.4	0.094	0.095	0.096	0.094	0.100
	1:0.6	0.095	0.099	0.098	0.101	0.099
	1:0.8	0.103	0.101	0.105	0.105	0.107
	1:1.0	0.110	0.105	0.112	0.107	0.111
	1:1.2	0.111	0.109	0.110	0.110	0.116
	1:1.4	0.118	0.119	0.115	0.119	0.117
	1:1.6	0.121	0.119	0.121	0.121	0.120
	1:1.8	0.124	0.128	0.126	0.125	0.128
คละขนาด	1:0.0	0.073	0.075	0.075	0.076	0.075
	1:0.2	0.089	0.090	0.089	0.092	0.091
	1:0.4	0.092	0.091	0.095	0.091	0.098
	1:0.6	0.096	0.096	0.097	0.098	0.098
	1:0.8	0.101	0.099	0.101	0.101	0.103
	1:1.0	0.106	0.105	0.105	0.107	0.106
	1:1.2	0.108	0.109	0.108	0.108	0.110
	1:1.4	0.113	0.114	0.112	0.115	0.114
	1:1.6	0.119	0.117	0.115	0.113	0.118
	1:1.8	0.123	0.123	0.122	0.124	0.125
≥ 2.36	1:0.0	0.073	0.075	0.075	0.075	0.073
	1:0.2	0.085	0.087	0.087	0.091	0.090
	1:0.4	0.091	0.090	0.094	0.091	0.095
	1:0.6	0.094	0.095	0.096	0.095	0.096
	1:0.8	0.099	0.097	0.100	0.098	0.101
	1:1.0	0.099	0.101	0.101	0.102	0.100
	1:1.2	0.105	0.103	0.104	0.104	0.105
	1:1.4	0.108	0.108	0.104	0.107	0.110
	1:1.6	0.113	0.114	0.108	0.105	0.111
	1:1.8	0.112	0.117	0.120	0.121	0.122

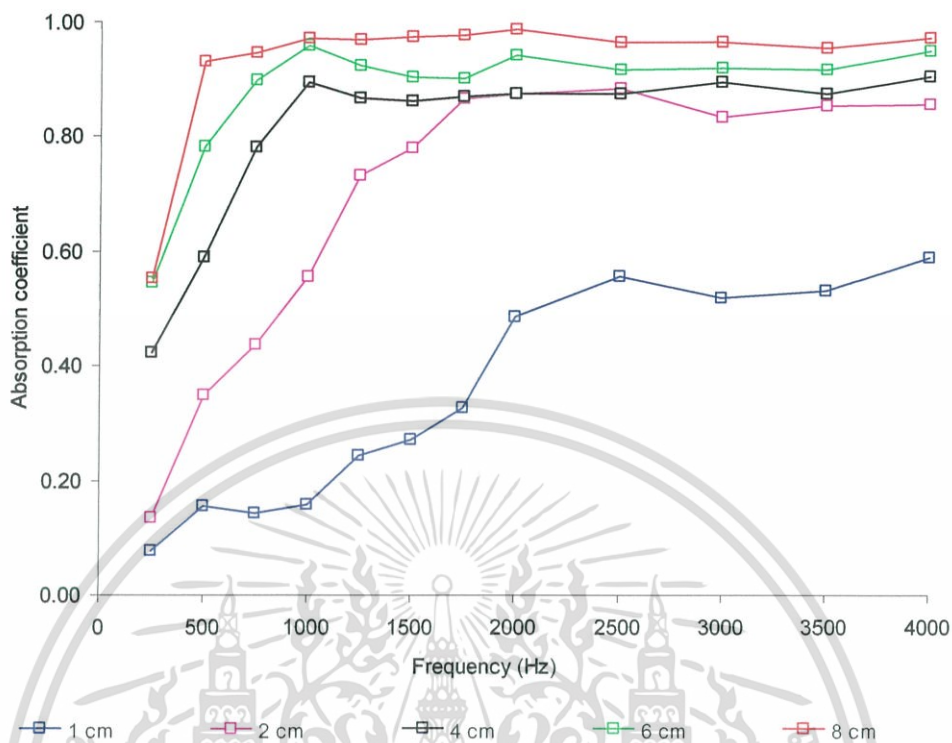
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำโคมวัสดุประกอบมาวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (ภาคผนวก ข) ได้ผลดังรูป 3.4-3.13 พบว่า โคมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นทุกความหนา มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงได้ดีที่ความถี่สูง โดยที่

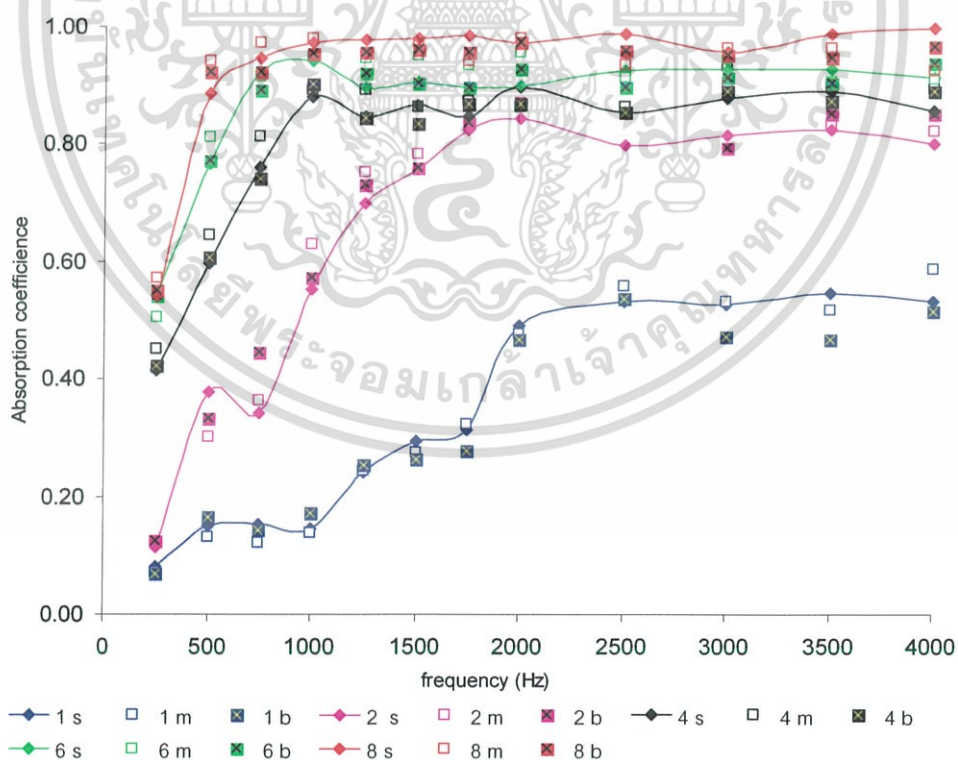
1. โคมวัสดุประกอบที่ความหนา 1 cm มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในช่วง 0.07-0.60 ที่ความถี่ในช่วง 250-1,750 Hz ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมีค่าน้อย คือ ไม่เกิน 0.40 แต่ที่ความถี่สูงกว่า 1,750 Hz ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึง 0.60
2. โคมวัสดุประกอบที่ความหนา 2 cm มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในช่วง 0.10-0.86 ความถี่ในช่วง 250-1,750 Hz ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และที่ความถี่มากกว่า 1,750 Hz ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมีค่า 0.75-0.86 และกราฟมีค่าเกือบเป็นเส้นตรง
3. โคมวัสดุประกอบที่ความหนา 4 และ 6 cm ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมีค่าอยู่ในช่วง 0.40-0.90 และ 0.50-0.95 ตามลำดับ โดยที่ความถี่ในช่วง 250-1,000 Hz ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ที่ความถี่มากกว่า 1,000 Hz มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงอยู่ในช่วง 0.80-0.98 และกราฟมีค่าคงที่ใกล้เคียงเส้นตรง
4. ส่วนโคมวัสดุประกอบที่ความหนา 8 cm มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในช่วง 0.50- 1.00 และที่ความถี่มากกว่า 500 Hz ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมีค่า 0.87-1.00 และกราฟมีค่าคงที่เกือบเป็นเส้นตรง

จากกราฟรูปที่ 3.4-3.13 พบว่า โคมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาด และที่อัตราส่วนการผสมของน้ำยางชั้นต่อเศษผงหนังต่างกัน มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงใกล้เคียงกันที่ความหนาเดียวกัน ถ้าโคมวัสดุประกอบมีความหนามากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงก็มีค่ามากขึ้น และสามารถดูดซับเสียงที่ความถี่ต่ำได้ดีขึ้น เช่น โคมวัสดุประกอบที่ความหนา 2 cm จะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ความถี่ต่ำได้ดีกว่าโคมวัสดุประกอบที่ความหนา 1cm โคมวัสดุประกอบที่ความหนา 4, 6 และ 8 cm มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงดีกว่าที่ 1 และ 2 cm และมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงค่อนข้างสูง ดังที่ Madam, M. (1999) [15] ได้กล่าวไว้ วัสดุดูดซับเสียงที่มีประสิทธิภาพดีจะสามารถดูดซับคลื่นเสียงได้ดีที่ 0.25λ , 0.75λ เพราะเป็นจุดที่ทำให้เกิดเสียงดังที่สุด ดังนั้นวัสดุที่มีความหนาเดียวกัน เสียงที่มีความถี่สูงจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงดีกว่าเสียงที่ความถี่ต่ำ และเมื่อวัสดุมีความหนามากขึ้นก็สามารถดูดซับเสียงที่ความถี่ต่ำได้ดีขึ้น

ผลการดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบที่เศษผงหนัง 3 ขนาด อัตราส่วนของน้ำยางชั้นต่อเศษผงหนังต่างกัน และที่ความหนาต่างกัน



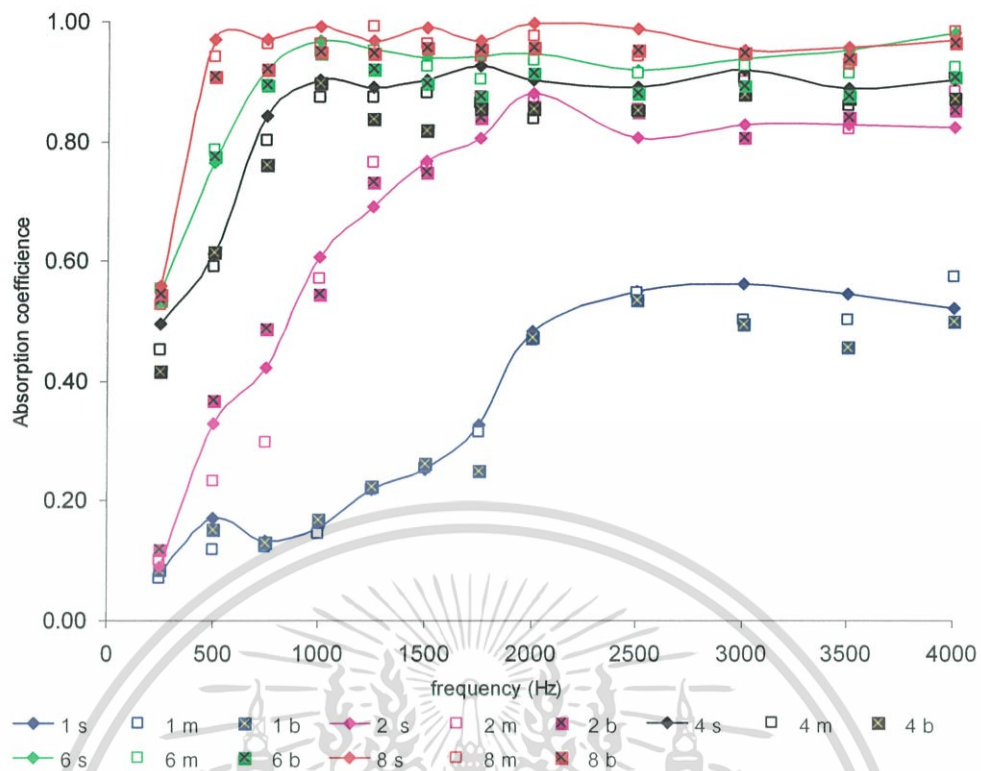
รูปที่ 3.4 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:0.0 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm



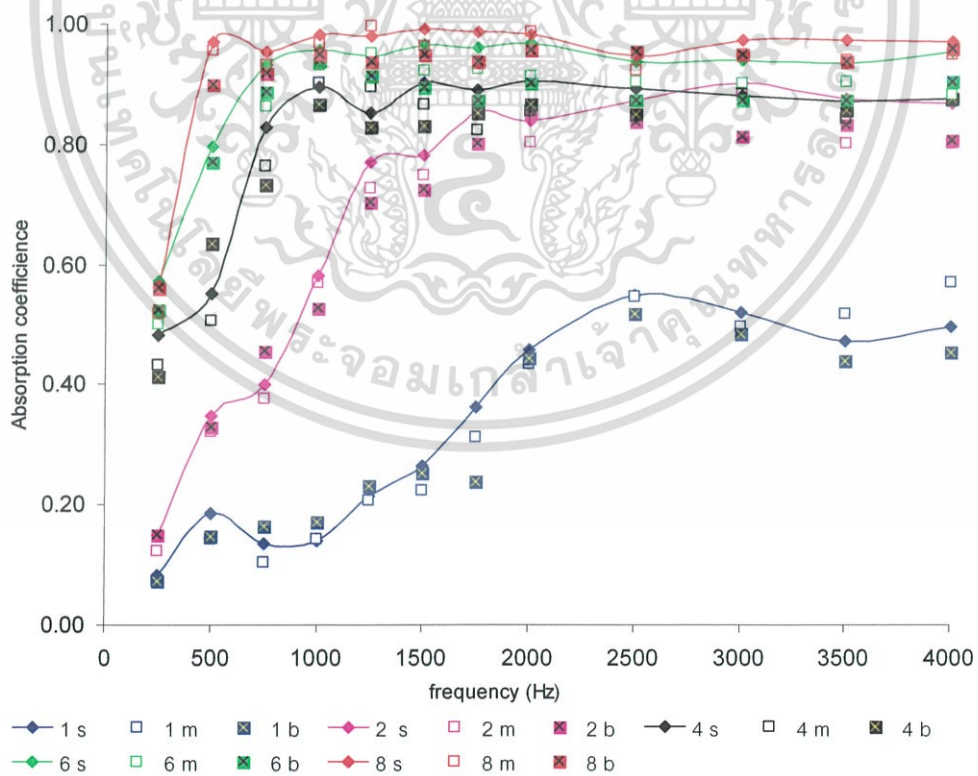
รูปที่ 3.5 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:0.2 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm

โดยที่ s, m, b = เศษผงหนังที่มีขนาด < 0.83 mm, คละขนาด และ ≥ 2.36 mm ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



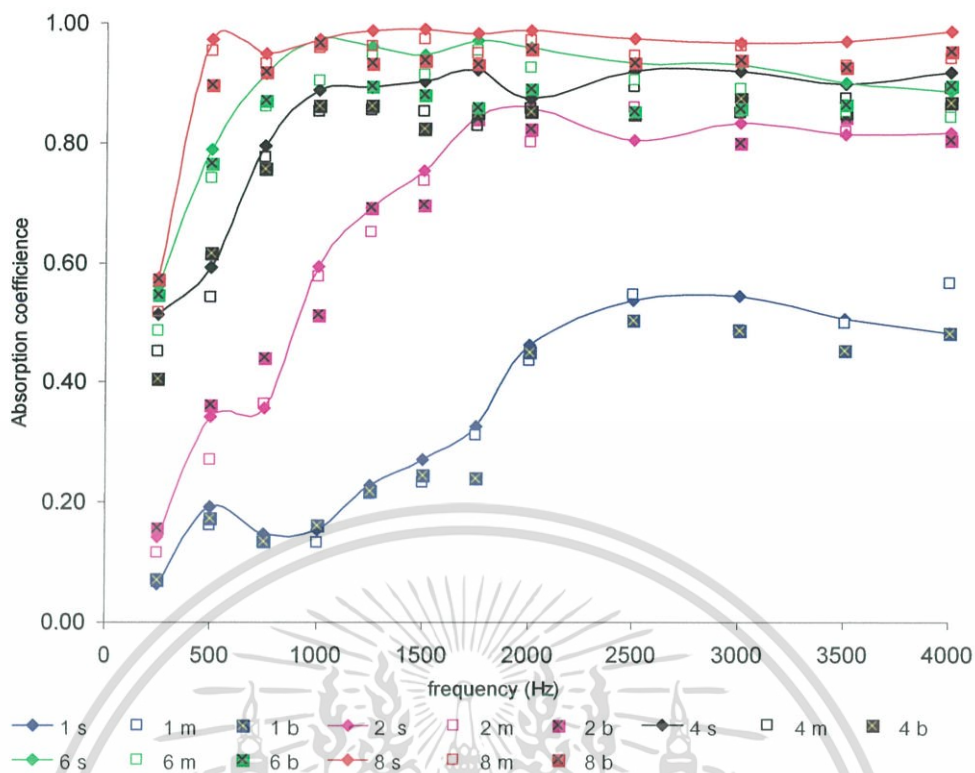
รูปที่ 3.6 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:0.4 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm โดยที่ s, m, b = เศษผงหน่งที่มีขนาด < 0.83 mm, คละขนาด และ ≥ 2.36 mm ตามลำดับ



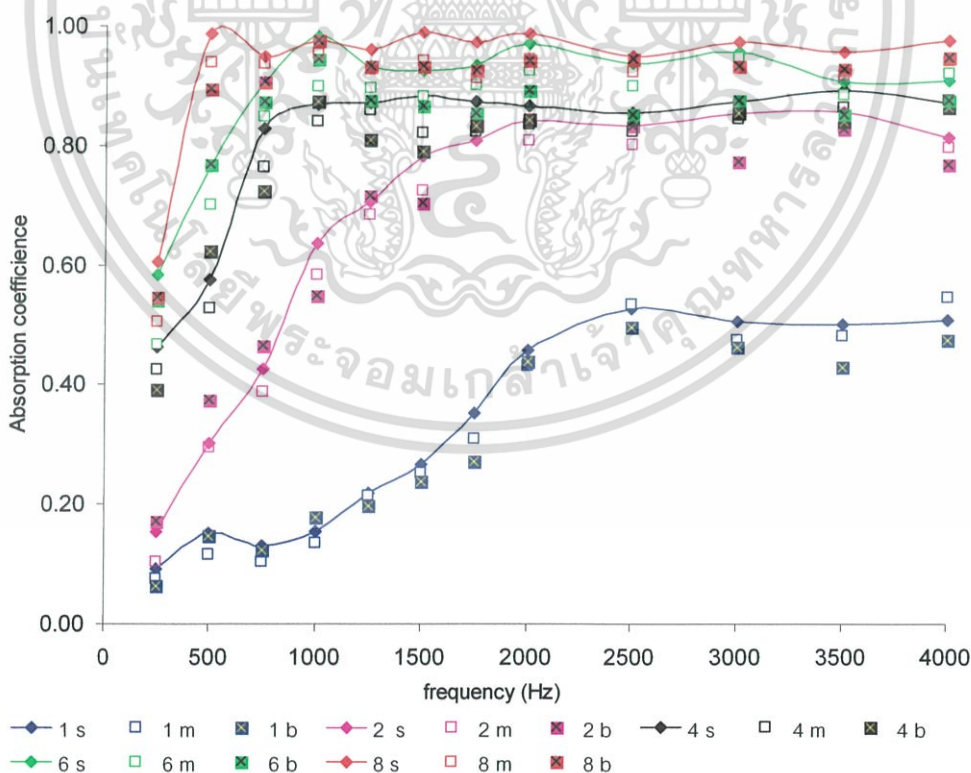
รูปที่ 3.7 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:0.6 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm

โดยที่ s, m, b = เศษผงหน่งที่มีขนาด < 0.83 mm, คละขนาด และ ≥ 2.36 mm ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



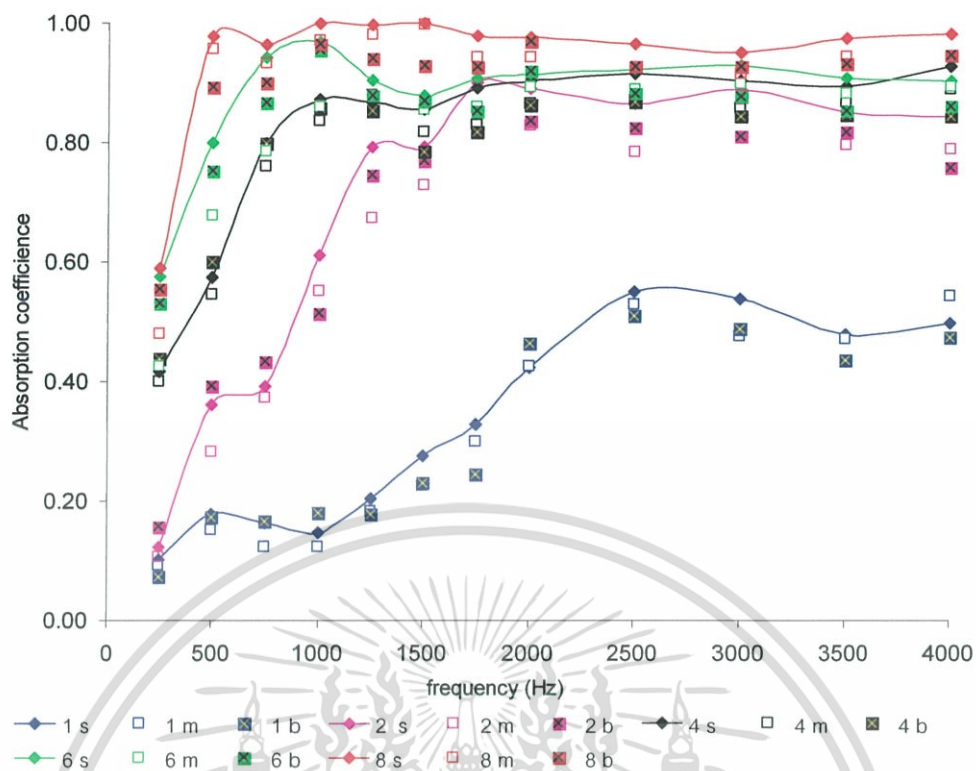
รูปที่ 3.8 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:0.8 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm โดยที่ s, m, b = เศษผงหนังที่มีขนาด < 0.83 mm, คละขนาด และ ≥ 2.36 mm ตามลำดับ



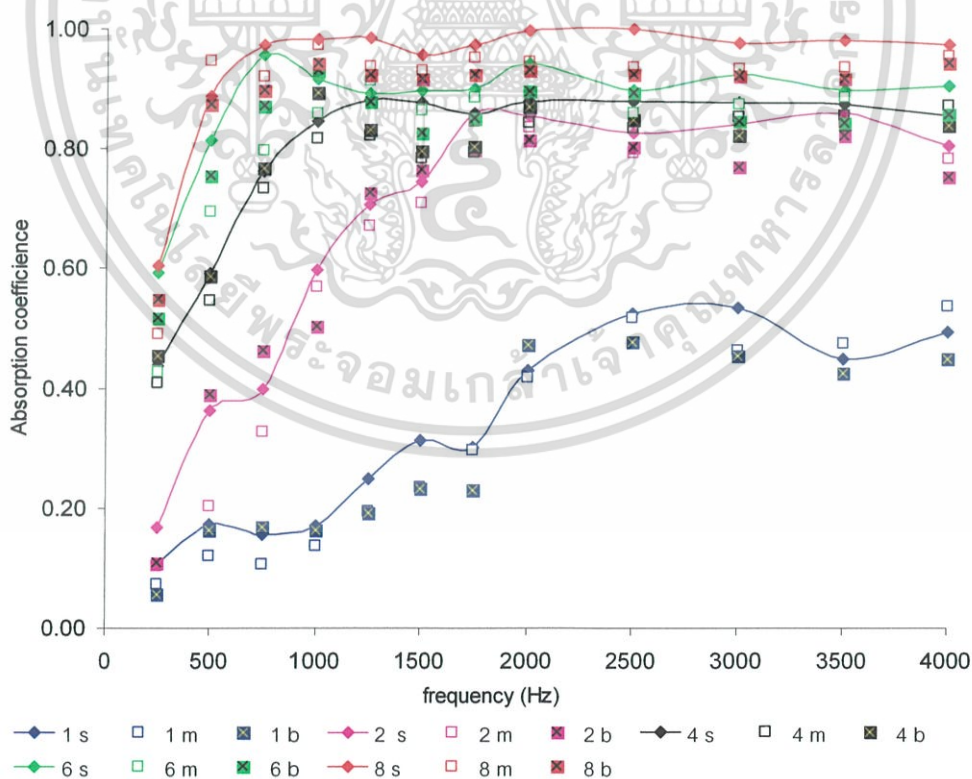
รูปที่ 3.9 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:1.0 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm

โดยที่ s, m, b = เศษผงหนังที่มีขนาด < 0.83 mm, คละขนาด และ ≥ 2.36 mm ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

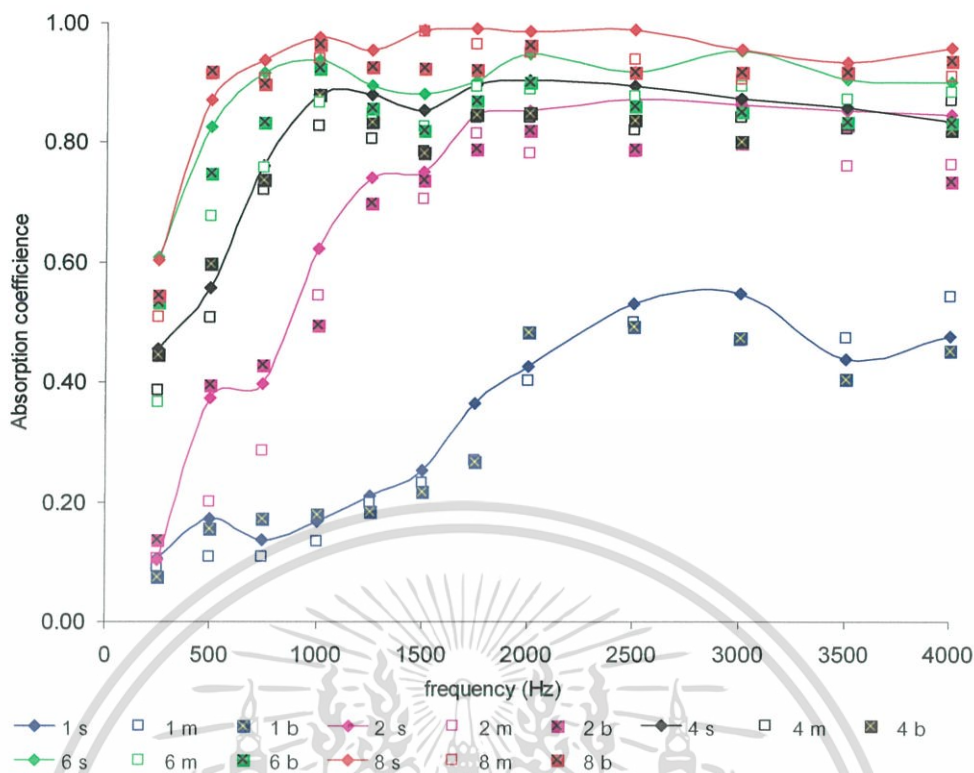


รูปที่ 3.10 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:1.2 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm โดยที่ s, m, b = เศษผงแห้งที่มีขนาด < 0.83 mm, คละขนาด และ ≥ 2.36 mm ตามลำดับ

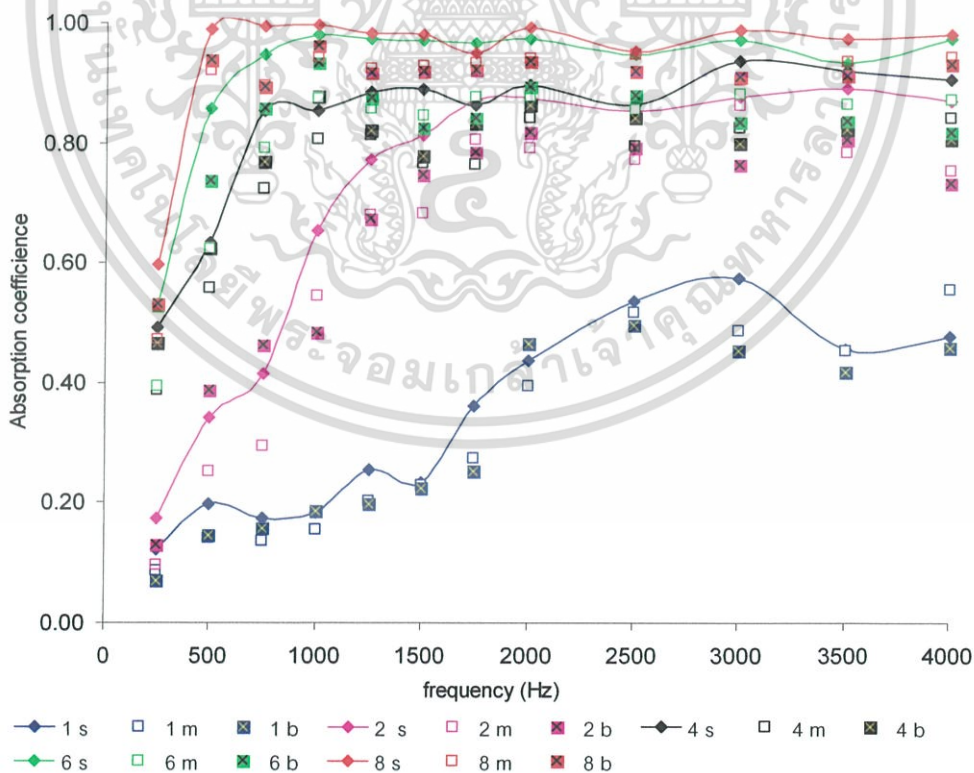


รูปที่ 3.11 การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบอัตราส่วน 1:1.4 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm โดยที่ s, m, b = เศษผงแห้งที่มีขนาด < 0.83 mm, คละขนาด และ ≥ 2.36 mm ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การดูดซับเสียงของไฟเบอร์ออปติกประกอบอัตราส่วน 1:1.6 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm โดยที่ s, m, b = เศษผนังที่มีขนาด < 0.83 mm, คละขนาด และ ≥ 2.36 mm ตามลำดับ



รูปที่ 3.13 การดูดซับเสียงของไฟเบอร์ออปติกประกอบอัตราส่วน 1:1.8 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm

โดยที่ s, m, b = เศษผนังที่มีขนาด < 0.83 mm, คละขนาด และ ≥ 2.36 mm ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมมติฐานของการศึกษาในบทที่ 1

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทาง เพื่อทดสอบสมมติฐานในบทที่ 1 ข้อ 4 และ 5

โฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาด และมีอัตราส่วนการผสมต่างกันจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยทดสอบสมมติฐานที่ว่า

1) โฟมวัสดุประกอบจากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาดกับอัตราส่วนการผสมของโฟมวัสดุประกอบมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงหรือไม่

2) โฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์จากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาด มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงแตกต่างกันหรือไม่

3) อัตราส่วนการผสมของโฟมวัสดุประกอบมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงแตกต่างกันหรือไม่

ทำการเปรียบเทียบ F คำนวณ กับ F ในตาราง และค่า sig. ที่คำนวณกับระดับนัยสำคัญ 0.05 ของสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ (จากภาคผนวก ก) ดังนี้

สมมติฐานข้อ 1)

F คำนวณของโฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาดกับอัตราส่วนการผสมของโฟมวัสดุประกอบ (size*ratio) = 0.143

ค่า sig. = 1.000

F ในตารางที่ขึ้นแห่งความเป็นอิสระ 18, 1770 = 1.64

F คำนวณมีค่าน้อยกว่า F ในตาราง แต่ค่า sig. มากกว่า 0.05 แสดงว่า โฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาด และโฟมวัสดุประกอบที่มีอัตราส่วนการผสมต่างกันไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันกับค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง หรือขนาดของเศษผงหนังและอัตราส่วนการผสมของเศษผงหนังไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ดังนั้นสามารถแยกสรุปสมมติฐานในข้อ 2) และ 3) ได้

สมมติฐานข้อ 2)

F คำนวณของโฟมวัสดุประกอบจากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาด (size) = 2.451

ค่า sig. = 0.087

F ในตารางที่ขึ้นแห่งความเป็นอิสระ 2, 1770 = 2.99

F คำนวณมีค่าน้อยกว่า F ในตาราง แต่ค่า sig. มากกว่า 0.05 แสดงว่า โฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาดมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงไม่แตกต่าง

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบไม่ขึ้นกับขนาดของเศษผงหนึ่ง

สมมติฐานข้อ 3.

F จำนวนของโฟมวัสดุประกอบที่อัตราส่วนการผสมต่างกัน (ratio) = 0.305

ค่า sig. = 0.974

F ในตารางที่ขึ้นแห่งความเป็นอิสระ 9, 1770 = 1.930

F จำนวนมีค่าน้อยกว่า F ในตาราง แต่ค่า sig. มากกว่า 0.05 พบว่า โฟมวัสดุประกอบที่มีอัตราส่วนการผสมต่างก็มีความสัมพันธ์การดูดซับเสียงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบไม่ขึ้นกับอัตราส่วนการผสมของโฟมวัสดุประกอบ

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบสมมติฐานในบทที่ 1 ข้อ 6

โฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นถ้ามีความหนาต่างกันจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงแตกต่างกันหรือไม่

ทำการเปรียบเทียบ F จำนวน กับ F ในตาราง และค่า sig. ที่จำนวนกับระดับนัยสำคัญ 0.05 (จากภาคผนวก ก) ดังนี้

F ที่จำนวนของโฟมวัสดุประกอบที่ความหนาต่างกัน = 809.468 และมีค่า sig. = 0.00

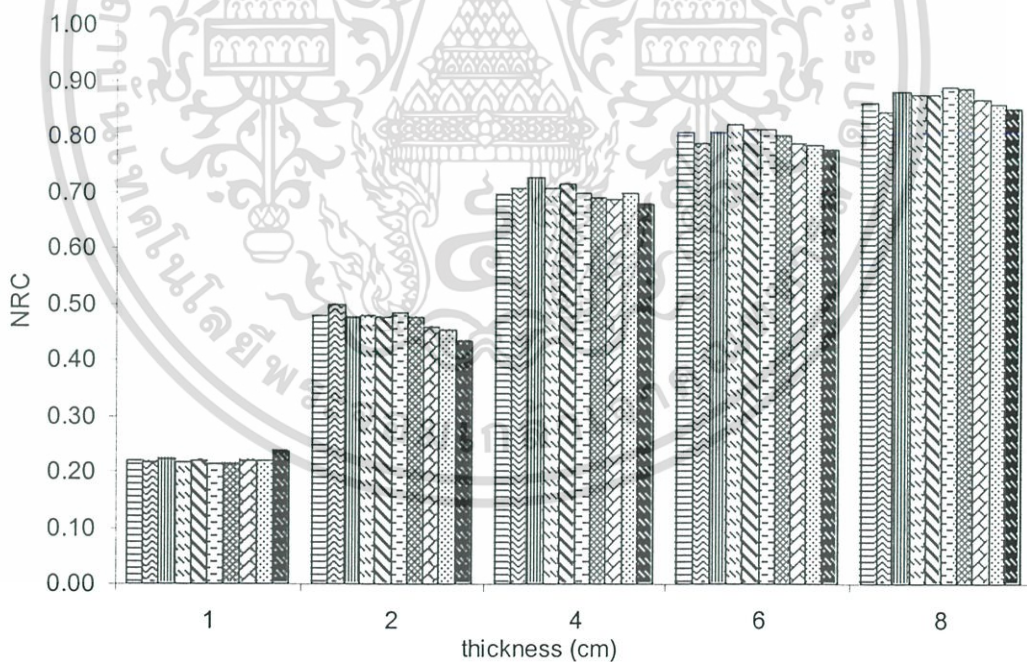
F ในตารางที่ขึ้นแห่งความเป็นอิสระ 4, 1795 = 2.02

F จำนวนมีค่ามากกว่า F ในตาราง แต่ค่า sig. น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า โฟมวัสดุประกอบที่ความหนาต่างกันจะทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจะขึ้นอยู่กับความหนาของโฟมวัสดุประกอบ

จากสมมติฐานของการศึกษาในบทที่ 1 สามารถสรุปสมมติฐานข้อ 4, 5 และ 6 ได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นไม่มีผลกับขนาดและอัตราส่วนการผสมของเศษผงหนึ่ง แต่ขึ้นอยู่กับความหนาของโฟมวัสดุประกอบ

จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมาคำนวณหาค่า NRC (ภาคผนวก ค) ได้กราฟแท่ง ดังรูป 3.14-3.16 พบว่า โฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นความหนามากกว่า 2 cm มีค่า NRC มากกว่า 0.50 ซึ่ง Cowan, J.P. [26] ได้กล่าวไว้ว่า ค่า NRC ที่ มากกว่า 0.4 ขึ้นไป สามารถเป็น วัสดุดูดซับเสียงที่มีประสิทธิภาพสูง และถ้าค่า NRC สูงกว่า 0.80 จะจัดเป็นวัสดุที่ได้รับการ ออกแบบให้มีความสามารถในการดูดซับเสียงสูงเป็นพิเศษ สรุปผลการทดลองของโฟมวัสดุ ประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นทุกอัตราส่วนการผสมและทุกขนาดของเศษผงหนังตามค่า NRC ได้ดังนี้

1. โฟมวัสดุประกอบที่ความหนา 1 cm มีค่า NRC = 0.15-0.20 จึงไม่สามารถนำมาใช้ เป็นวัสดุดูดซับเสียงได้
2. โฟมวัสดุประกอบที่ความหนา 2 cm มีค่า NRC = 0.38-0.50
3. โฟมวัสดุประกอบที่ความหนา 4 และ 6 cm มีค่า NRC = 0.65-0.84 มีคุณสมบัติใน การเป็นวัสดุดูดซับเสียงได้
4. โฟมวัสดุประกอบที่ความหนา 8 cm มีคุณสมบัติของการลดระดับเสียงได้สูงกว่า 0.80 จึงสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียงที่มีคุณภาพดี หรือในสถานที่ต้องการเก็บเสียงเป็นพิเศษ และสามารถนำไปใช้แทนวัสดุดูดซับเสียงในเชิงพาณิชย์ได้

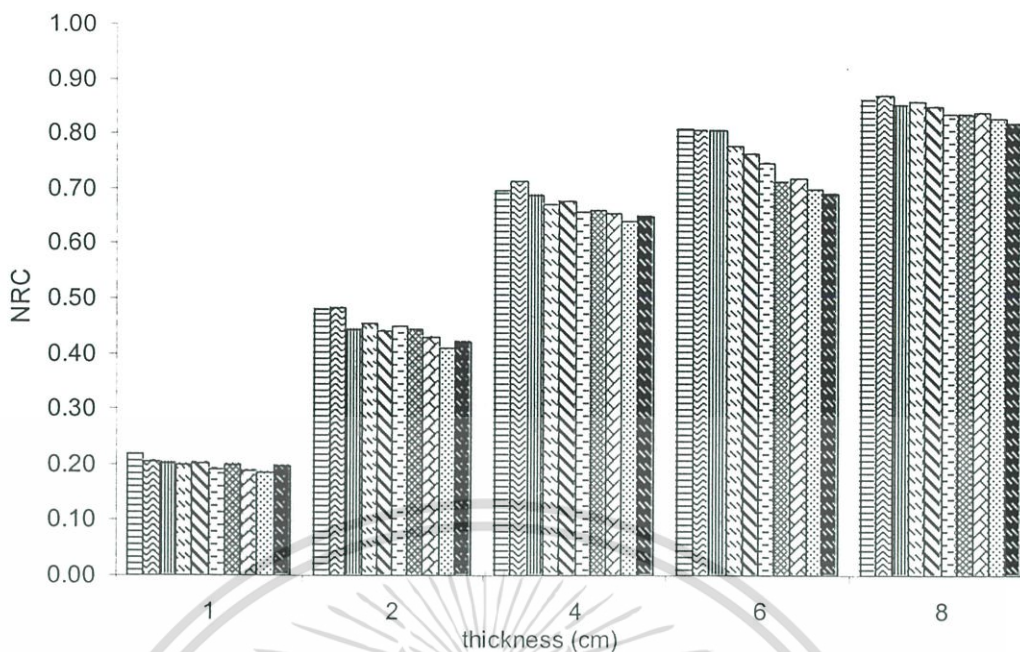


Legend: 1/0.0, 1/0.2, 1/0.4, 1/0.6, 1/0.8, 1/1.0, 1/1.2, 1/1.4, 1/1.6, 1/1.8

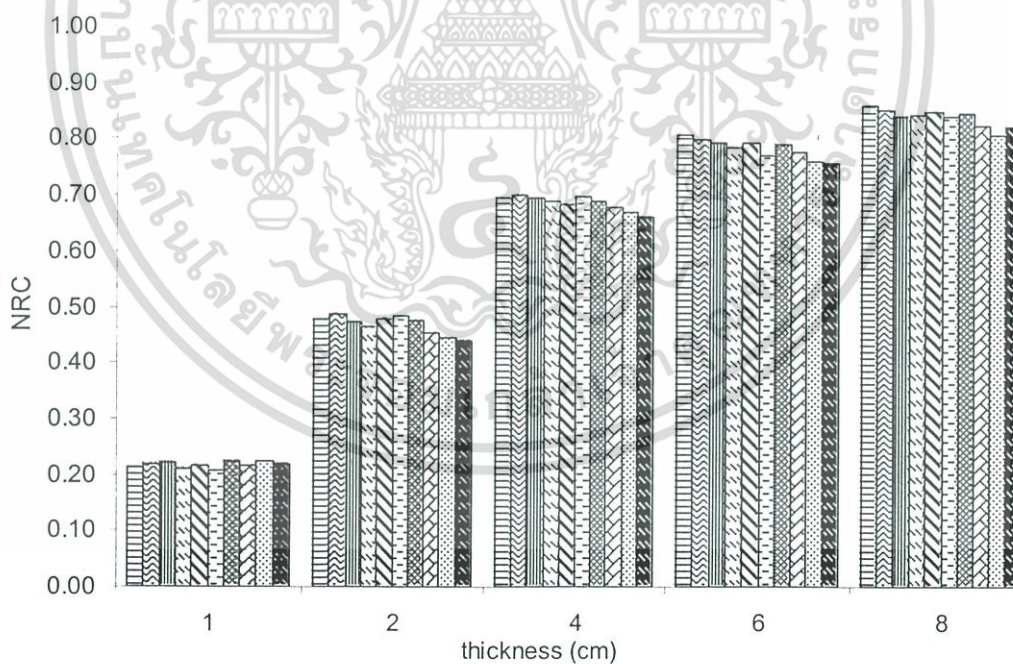
รูปที่ 3.14 ค่า NRC ของโฟมวัสดุประกอบที่เศษผงหนังขนาด < 0.83 mm ที่ความหนา

1, 2, 4, 6 และ 8 cm ในอัตราส่วนของน้ำยางชั้นต่อเศษผงหนังต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ค่า NRC ของโฟมวัสดุประกอบที่เศษผงหนึ่งขนาด ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm ในอัตราส่วนของน้ำยางชั้นต่อเศษผงหนึ่งต่างๆ



รูปที่ 3.16 ค่า NRC ของโฟมวัสดุประกอบที่เศษผงหนึ่งขนาด ≥ 2.36 mm ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm ในอัตราส่วนของน้ำยางชั้นต่อเศษผงหนึ่งต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟมวัสดุประกอบที่ทำการสังเคราะห์สามารถทนความชื้นและน้ำได้ คือเมื่อโดนน้ำแล้วไม่เกิดการเปื่อยยุ่ย หรือพองตัวแบบวัสดุดูดซับเสียงชนิดแผ่นกระเบื้อง จึงสามารถนำมาติดตั้งภายนอกอาคารได้ แต่โฟมวัสดุประกอบจากน้ำยางข้นและเศษผงหนังที่อัตราส่วน 1:1.8 การขึ้นรูปของโฟมวัสดุประกอบจะไม่ดี เศษผงหนังจะจับตัวเป็นก้อน และปริมาณของเศษผงหนังมีมากกว่าปริมาณของน้ำยางข้นเกือบ 2 เท่า ทำให้น้ำยางข้นมีปริมาณน้อยเกินกว่าจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างค้ำจุนของโฟมวัสดุประกอบได้ ดังนั้นควรทำการสังเคราะห์โฟมวัสดุประกอบนี้ที่อัตราส่วนของน้ำยางข้นผสมเศษผงหนัง เท่ากับ 1:1.6 เท่านั้น และโฟมวัสดุประกอบที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นเป็นวัสดุพูนเซลเปิด ซึ่งวัสดุพูนเกือบทุกชนิดมีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงได้

โฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นทุกขนาดของเศษผงหนัง อัตราส่วนการผสมของน้ำยางข้นต่อเศษผงหนังที่น้อยกว่า 1:1.6 และความหนามากกว่า 2 cm ขึ้นไป มีค่า NRC ใกล้เคียงกับวัสดุดูดซับเสียงที่ใช้ในปัจจุบัน (จากบทที่ 2 ตารางที่ 2.5) ดังนั้นโฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษผงหนังคละขนาด อัตราส่วนการผสมของน้ำยางข้นต่อเศษผงหนังที่ 1:1.6 จึงเป็นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมที่สุด และความหนาของโฟมวัสดุประกอบที่มากกว่า 2 cm ขึ้นไป เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียง ที่เลือกอัตราส่วนการผสมของน้ำยางต่อเศษผงหนังนี้เพราะว่าเป็นอัตราส่วนที่มีการผสมเศษผงหนังในปริมาณที่มากที่สุดที่สามารถขึ้นรูปได้ และเศษผงหนังยังเป็นวัสดุที่ไม่มีมูลค่า มีคุณสมบัติเป็นสารตัวเติม (Filler) ที่ทำหน้าที่ลดต้นทุนการผลิต และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของยางพองน้ำ คือเมื่อมีการผสมเศษผงหนังลงในโฟมวัสดุประกอบจะทำให้โฟมวัสดุประกอบมีรูพูนที่กว้างขึ้นกว่าโฟมวัสดุประกอบที่ไม่ผสมเศษผงหนัง ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า เศษผงหนังเป็นเส้นใยที่มีขนาดใหญ่เมื่อผสมกับยางพองน้ำ เส้นใยจะไปขวางหรือทำให้พองยางเกิดการแตกตัวทำให้เกิดเป็นโฟมวัสดุประกอบที่มีความพูนกว้างและมีโครงสร้างแบบเซลเปิด และยังเป็นตัวช่วยป้องกันไม่ให้ยางพองน้ำเกิดการหดตัวโดยทำหน้าที่เป็นโครงสร้างค้ำจุนให้กับยางพองน้ำ และการเติมเศษผงหนังลงมายังทำให้ยางพองน้ำมีความแข็งมากขึ้น สำหรับการเลือกความหนาของโฟมวัสดุประกอบนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของห้องหรือสถานที่นั้นๆ ซึ่งความสามารถในการดูดซับเสียงนอกจากจะขึ้นกับความหนาของวัสดุแล้วยังมีความสัมพันธ์กับธรรมชาติและรูปร่างของวัสดุ รูปร่างของห้อง ความถี่และมุมที่เสียงตกกระทบบนวัสดุนั้นๆ อีกด้วย

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิจัย

โฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นจากน้ำยางข้นและเศษผงหนังทั้ง 3 ขนาด ที่อัตราส่วน 1:0.0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8, 1:1.0, 1:1.2, 1:1.4, 1:1.6, และ 1:1.8 ที่ความหนา 1 และ 2 cm จากนั้นนำมาวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ความหนา 1, 2, 4, 6, และ 8 cm มีผลดังนี้

1. โฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นวัสดุพูนเซลเปิด
2. โฟมวัสดุประกอบที่ได้สังเคราะห์ขึ้นมีความหนาแน่นในช่วง 73-128 kg/m³
3. โฟมวัสดุประกอบหนา 1 cm มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงประมาณ 0.07-0.60 และมีค่า NRC ประมาณ 0.20
4. โฟมวัสดุประกอบหนา 2 cm มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงประมาณ 0.10-0.86 และมีค่า NRC ประมาณ 0.40-0.50
5. โฟมวัสดุประกอบที่ความหนา 4 และ 6 cm มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในช่วง 0.40-0.90 และ 0.50-0.95 ตามลำดับ ค่า NRC ประมาณ 0.60-0.84 สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียงได้
6. โฟมวัสดุประกอบหนา 8 cm มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในช่วง 0.50- 1.00 และมีค่า NRC ประมาณ 0.810-0.895 สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียงที่มีประสิทธิภาพดี เหมาะสำหรับห้องที่ต้องการเก็บเสียง
7. โฟมวัสดุประกอบความหนา 1 cm สามารถดูดซับเสียงได้ดีที่ความถี่สูง แต่ถ้าต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง โฟมวัสดุประกอบจะต้องมีความหนามากขึ้น
8. โฟมวัสดุประกอบความหนามากกว่า 2 cm สามารถนำมาผลิตเป็นวัสดุดูดซับเสียงได้
9. โฟมวัสดุประกอบทุกขนาดของเศษผงหนังและทุกอัตราส่วนการผสม มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงและค่า NRC มีค่าไม่ต่างกันมากนัก ดังนั้นโฟมวัสดุประกอบที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นฉนวนดูดซับเสียง ควรเป็นโฟมวัสดุประกอบที่สังเคราะห์จากเศษผงหนังคละขนาด และที่อัตราส่วนของน้ำยางต่อเศษผงหนัง 1:1.6

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงเชิงพาณิชย์นำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ให้มา เพื่อเป็นการตรวจวัดประสิทธิภาพของเครื่องมือโดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ที่วัดได้และค่ามาตรฐานไม่ควรต่างกันมากนัก และนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิจัย

2. ศึกษาเพิ่มเติมถึงความแข็งแรงของโพลีเมอร์ประกอบที่อัตราส่วนต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำวัสดุนี้มาใช้งานจริง

3. ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับลักษณะรูปร่างของโพลีเมอร์ประกอบ เช่น ผลิตเป็นแผ่นที่มีร่องแบบตาข่าย ทำให้เป็นลอนคลื่น หรือเป็นรูปพีระมิดเตี้ย ๆ เป็นต้น ว่ามีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงหรือไม่ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานจริงได้หรือไม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] TFL Leather Technology Ltd. 2004. Understanding Clean Technology. [Online]. Available : <http://www.tfl.com/pdfs/others/cleantechnologybrochure.pdf>.
- [2] Bureau of Industrial Environmental Technology. December 1997. Environmental Management Guideline for the Leather Tanning and Finishing Industry. [Online]. Available : http://www.gtzh.org/library/files/gtzh_2000_2266_5_1.pdf.
- [3] Mu, et.al. 2003. "Towards zero discharge of chromium-containing leather waste through improved alkali hydrolysis." *Waste Management*. 23(6) : 835-843.
- [4] Rydin, S. 2547. Leather Production Technology and Possibilities for Cleaner Production. [Online]. Available : <http://patantex.net/postscript/leather.doc>.
- [5] Kumar, M. 1992. "Potentials of Converting Tannery Solid Wastes into Glue and Other Utilizable by-products." 1-26. Seminar on The Profitability of Clean Technology in The Leather Tanning Industrials. Samutprakarn. Thailand.
- [6] Tuñón, A.T. Pawlik, C. Winter, F. " Waste Fluidized Bed Combustion Characterization in Laboratory and Demonstration Scale." [Online]. Available : [http://www.energytech.at/\(en\)/iea/results/id3409.html](http://www.energytech.at/(en)/iea/results/id3409.html).
- [7] <http://www.inece.org/mmcourse/chapt5.pdf>.
- [8] Zhuang, Y.H. 1992. "Profitability of Protein Recovery from Leather Shavings of High Level Chromium Contents." 1-21. Seminar on The Profitability of Clean Technology in The Leather Tanning Industrials, Samutprakarn. Thailand
- [9] NOSB TAP Materials Database Compiled by OMRI. "Leather Meal." 2000. [Online] : Available : <http://www.ams.usda.gov/nop/NationalList/TAPReviews/LeatherMeal.pdf>.
- [10] Klempner, D. and Frisch, K.C. *Polymeric Foam*. New York. : Hanser. 1991.
- [11] วรภรณ์ ขจรไชยกูล. *ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ*. กรุงเทพฯ : ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. 2537.
- [12] สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. *ปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ*. 1. กรุงเทพฯ : ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. 2541.
- [13] พรพรรณ นิธิอุทัย. *สารเคมีสำหรับยาง*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. 2528

- [14] Morton, M. Rubber Technology. 3rd ed. New York. : Van Nostrand Reinhold. 1987.
- [15] Douglas, D. Reynolds. Engineering Principles of acoustics. Boston. : ALLYN AND BACON, INC. 1989.
- [16] Maekawa, Z Lord, P. Environmental and architectural acoustics. London. : E & FN Spon. 1994.
- [17] Sound Research Laboratories Ltd. Noise control in industry. 3rd ed. London. : E & FN Spon. 1991.
- [18] Bell, L.H. Bell, D.H. Industrial Noise Control: Fundamentals and Applications. New York. : Marcel Dekker. 1994.
- [19] Johnson, J. Rocafort, J. Architectural acoustics: principles and design. New Jersey. : Prentice-hall. 1999.
- [20] Smit, B.J. Peter, R.J. Acoustic and Noise Control. 2nd ed.: Addison Wesley Longman. 1996.
- [21] James, P. Cowan. Handbook of Environmental Acoustics. New York. : VAN NOSTRAND REINHOLD. 1994.
- [22] Beranek LL. Acoustic Measurements. New York. : John Wiley & Sons. 1949.
- [23] Thumann, A, Miller, R.M. Fundamentals of noise control engineering. Georgia. : Fairmont Press. 1986.
- [24] Egan, M. David. Concepts in Architectural Acoustics. America: McGraw-Hill. 1972.
- [25] National Aeronautics and Space Administration Langley Research Center. Handbook for Industrial Noise Control. Washington, D.C. 1981.
- [26] เฉลิม สุขจิต. วัสดุและการก่อสร้างสถาปัตยกรรม 3 กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2540.
- [27] พงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ และ วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ. วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น. 2544.
- [28] Daniel, A. Russell. Absorption Coefficients and Impedance. " [Online]. Available : <http://www.gmi.edc/~drussell/GMI-Acoustics/Absorption.html>, 1997.
- [29] Bruel & Kjaer. Instruction Manual standing Wave Apparatus type 4002.
- [30] นรินทร์ วิฑิตอนันต์. สมรรถนะในการลดระดับความดังเสียงของวัตถุพูน. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2535.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [31] ศักดิ์ชัย อมรศักดิ์ชัย. การศึกษาประสิทธิภาพในการลดเสียงของวัสดุเหลือใช้เมื่อใช้ซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์เป็นสารเชื่อมประสาน. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. 2541.
- [32] ปัญจพร ปานธรรม และปิยนุช ภัคดีสอน. การปรับปรุงพอลิเมอร์ผสมเพื่อใช้เป็นที่อุดหูป้องกันเสียง. โครงการพิเศษ (เคมีอุตสาหกรรม.) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [33] ปุรณันท์ อังคสุวรรณ และอุดมศักดิ์ พงศ์สุนากร. ศึกษาการเตรียมแผ่นกระดาษอัดดูดซับเสียง โดยนำเส้นใยอ้อยมาผสมกับโฟมโพลีสไตรีน. โครงการพิเศษ (เคมีอุตสาหกรรม.) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [34] Swift, M.J. Bris, P. and Horoshenkov, K.V. 'Acoustic absorption in re-cycled rubber granulate" *Applied Acoustic*. 1999, 57 203-212.
- [35] Horoshenkov, K.V and Swift, M.J. "The effect of consolidation on the acoustic properties of loose rubber granulates" *Applied Acoustics*. 2001, 62 665-690.
- [36] Yang, H.S. Kim, D.J. Kim, H.J. "Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials." *Bioresource Technology*. 2003, 86 117-121.
- [37] Cyril M. Harris. *Noise control in Building: A Practical guide for Architects and Engineers*. New York. : VAN NOSTRAND REINHOLD. 1981.
- [38] บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ. คู่มือการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS FOR DOS & WINDOWS. 1. กรุงเทพฯ. 2540



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ความแปรปรวน [38]

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) เป็นการประยุกต์สถิติเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล หลักสำคัญของการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ การตรวจสอบอิทธิพลของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตาม โดยเรียกการวิเคราะห์ความแปรปรวนตามจำนวนของตัวแปรอิสระ ถ้าตัวแปรอิสระมี 1, 2 และ 3 ตัว จะเรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว, การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกสองทาง และการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกสามทาง ตามลำดับ

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One-Way ANOVA)

ใช้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระที่มีสองระดับขึ้นไปและเป็นอิสระต่อกัน
หลักการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวจะมีความแปรปรวน 3 ตัว คือ ความแปรปรวนรวม ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม และความแปรปรวนภายใน สามารถหาได้จากผลรวมของผลต่างกำลังสอง ดังนี้

1. ผลรวมของผลต่างกำลังสองรวม (SS_T ; Total Sum of Square = SS_T)

$$SS_T = \sum X_i^2 - \frac{(X_i)^2}{N_i}$$

2. ผลรวมของผลต่างกำลังสองระหว่างกลุ่ม (Between Sum of square = SS_b)

$$SS_b = \sum \frac{(\sum X_i)^2}{n_i} - \frac{(\sum X_i)^2}{n_i}$$

เมื่อ i = จำนวนข้อมูลในกลุ่มที่ i ($i = 1, 2, \dots$)

3. ผลรวมของผลต่างกำลังสองภายในกลุ่ม (Within Sum of Square = SS_w)

$$SS_w = SS_T - SS_b$$

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทาง (Two-way ANOVA)

วัตถุประสงค์หลักคือการพิสูจน์ว่า ตัวแปรอิสระ 2 ตัว นี้มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน (Interaction) กับตัวแปรตามหรือไม่ ถ้าหากมีผลร่วมกันแสดงว่า ผลของตัวแปรตามจะเป็นผลร่วมกันของตัวแปรทั้งแนวตั้งและแนวนอน มิใช่เป็นผลของตัวแปรอิสระตามแนวตั้งหรือแนวนอนเท่านั้น การสรุปผลว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันหรือไม่แตกต่างกันในแต่ละตัวแปรอิสระจะคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง ฉะนั้นในการเปรียบเทียบตัวแปรตามจึงต้องควบคุมตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่งหรือควบคุมสลับกันและวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว แต่ถ้าไม่มีผลร่วมกันแสดงว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน ข้อมูลหรือค่าสังเกตจะเป็นผลของตัวแปรตามแนวตั้งและแนวนอนโดยอิสระกัน

หลักการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทางมีประเด็นการวิจัย 3 ประการ คือ

1. ผลของตัวแปรอิสระตามแนวตั้ง ที่มีต่อตัวแปรตามแตกต่างกันหรือไม่
2. ผลของตัวแปรอิสระตามแนวนอน ที่มีต่อตัวแปรตามแตกต่างกันหรือไม่
3. ตัวแปรอิสระตามแนวตั้งและแนวนอนมีผลร่วมกันต่อตัวแปรตามหรือไม่

หาค่าความแปรปรวนได้จาก 4 แหล่ง คือ ความแปรปรวนตามแนวตั้ง, แนวนอน, ตามปฏิสัมพันธ์ร่วม และความแปรปรวนคลาดเคลื่อน ซึ่งคำนวณได้จากผลรวมของผลต่างกำลังสอง ดังนี้

1. ผลรวมของผลต่างกำลังสองรวม หากจากสูตร

$$SS_t = \sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n_i}$$

2. ผลรวมของผลต่างกำลังสองตามแนวตั้ง หากจากสูตร

$$SS_c = \frac{(X_{c1})^2}{n_{c1}} + \frac{(\sum X_{c2})^2}{n_{c2}} + \dots + \frac{(\sum X_i)^2}{n_i}$$

3. ผลรวมของผลต่างกำลังสองตามแนวนอน หากจากสูตร

$$SS_r = \frac{(\sum X_{r1})^2}{n_{r1}} + \frac{(\sum X_{r2})^2}{n_{r2}} + \dots + \frac{(\sum X_i)^2}{n_i}$$

4. ผลรวมของผลต่างกำลังสองระหว่างกลุ่ม หากจากสูตร

$$SS_b = \frac{(\sum X_{c1r1})^2}{n_{c1r1}} + \frac{(\sum X_{c2r2})^2}{n_{c2r2}} + \dots + \frac{(\sum X_i)^2}{n_i}$$

5. ผลรวมของผลต่างกำลังสองของปฏิสัมพันธ์ร่วม หาได้จากสูตร

$$SS_i = SS_b - SS_c - SS_r$$

6. ผลรวมของผลต่างกำลังสองคลาดเคลื่อน หากจากสูตร

$$SS_e = SS_t - SS_c - SS_r - SS_i$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Square	df	Mean Square	F _{คำนวณ}
ระหว่างกลุ่ม	SS_b	$k - 1$	$MS_b = \frac{SS_b}{k - 1}$	$F_{คำนวณ} = \frac{MS_b}{MS_w}$
ภายในกลุ่ม	SS_w	$n_i - k$	$MS_w = \frac{SS_w}{n_i - k}$	
รวม	SS_i	$n_i - 1$		

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทาง

แหล่งการแปรปรวน	Sum of Square	df	Mean Square	F _{คำนวณ}
ตามแนวตั้ง (a)	SS_c	$c - 1$	$MS_c = \frac{SS_c}{c - 1}$	$F_c = \frac{MS_c}{MS_e}$
ตามแนวนอน (b)	SS_r	$r - 1$	$MS_r = \frac{SS_r}{r - 1}$	$F_r = \frac{MS_r}{MS_e}$
ปฏิสัมพันธ์ร่วม (a*b)	SS_i	$(c - 1)(r - 1)$	$MS_i = \frac{SS_i}{(c - 1)(r - 1)}$	$F_i = \frac{MS_i}{MS_e}$
ความคลาดเคลื่อน	SS_e	$n_i - cr$	$MS_e = \frac{SS_e}{n_i - cr}$	
ทั้งหมด	SS_i	$n_i - 1$		

3. หลักการสรุปผลการทดสอบจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มักสรุปผลได้จาก ค่าพี (P: Probability) หรือ ค่าความน่าจะเป็น (P-Value) ซึ่งค่าพีในโปรแกรม SPSS อาจเขียนเป็น Sig.

ถ้า Sig. > α แล้ว ค่าความแปรปรวนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่อกัน

ถ้า Sig. \leq α แล้ว ค่าความแปรปรวนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่อกัน

หรือวิเคราะห์ผลจากค่า F โดยนำค่า F ที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับค่า F ในตารางที่ระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนี้

ถ้า $F_{คำนวณ} < F_{ตาราง}$ แล้ว ค่าความแปรปรวนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่อกัน

ถ้า $F_{คำนวณ} \geq F_{ตาราง}$ แล้ว ค่าความแปรปรวนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความหนาแน่นของโฟมวัสดุประกอบ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติแบบจำแนกสองทาง

ความหนาแน่นของโฟมวัสดุประกอบที่ขนาดของเศษผงแห้งทั้ง 3 ขนาด และที่ความหนาแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันหรือไม่

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
SIZE	1	small	50
	2	mix	50
	3	big	50
THICK	1	1 cm	30
	2	2 cm	30
	4	4 cm	30
	6	6 cm	30
	8	8 cm	30

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DENSITY

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.040E-03 ^a	14	7.429E-05	.373	.980
Intercept	1.564	1	1.564	7846.659	.000
SIZE	9.306E-04	2	4.653E-04	2.334	.101
THICK	1.022E-04	4	2.554E-05	.128	.972
SIZE * THICK	7.320E-06	8	9.150E-07	.005	1.000
Error	2.692E-02	135	1.994E-04		
Total	1.592	150			
Corrected Total	2.796E-02	149			

a. R Squared = .037 (Adjusted R Squared = -.063)

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติแบบจำแนกทางเดียว

ความหนาแน่นของโฟมวัสดุประกอบที่แต่ละอัตราส่วนการผสมมีความแตกต่างกันหรือไม่

ANOVA

DENSITY

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.026	9	.003	248.136	.000
Within Groups	.002	140	.000		
Total	.028	149			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบ

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติแบบจำแนกสองทาง

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบที่ขนาดของเศษผงแห้งและอัตราส่วนการผสมต่างกันมีความแตกต่างกันหรือไม่

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
SIZE	1	small	600
	2	mix	600
	3	big	600
RATIO	1	1/0.0	180
	2	1/0.2	180
	3	1/0.4	180
	4	1/0.6	180
	5	1/0.8	180
	6	1/1.0	180
	7	1/1.2	180
	8	1/1.4	180
	9	1/1.6	180
	10	1/1.8	180

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ABSORB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.747 ^a	29	2.578E-02	.353	.999
Intercept	906.703	1	906.703	12403.19	.000
SIZE	.358	2	.179	2.451	.087
RATIO	.201	9	2.228E-02	.305	.974
SIZE * RATIO	.189	18	1.048E-02	.143	1.000
Error	129.391	1770	7.310E-02		
Total	1036.842	1800			
Corrected Total	130.139	1799			

a. R Squared = .006 (Adjusted R Squared = -.011)

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติแบบจำแนกทางเดียว

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในโฟมวัสดุประกอบกับความหนาของโฟมวัสดุประกอบมีความแตกต่างกันหรือไม่

ANOVA

ABSORB

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	83.724	4	20.931	809.468	.000
Within Groups	46.415	1795	.026		
Total	130.139	1799			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโฟมวัสดุประกอบที่ขนาดของเศษผงแห้ง < 0.83 mm
ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm

ขนาดเศษ ผงแห้ง	Ratio (น้ำยาง: เศษผงแห้ง)	frequency (Hz)	Absorption Coefficient ของโฟมวัสดุประกอบที่ความหนา				
			1cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm
< 0.83 mm	1:0.0	250	0.078	0.135	0.424	0.547	0.553
		500	0.157	0.351	0.590	0.784	0.932
		750	0.143	0.439	0.780	0.900	0.946
		1000	0.159	0.557	0.894	0.960	0.972
		1250	0.245	0.732	0.867	0.924	0.971
		1500	0.271	0.781	0.862	0.904	0.976
		1750	0.328	0.866	0.870	0.903	0.977
		2000	0.485	0.874	0.873	0.941	0.987
		2500	0.556	0.883	0.874	0.917	0.965
		3000	0.519	0.834	0.893	0.920	0.964
	3500	0.532	0.854	0.874	0.916	0.954	
	4000	0.590	0.857	0.905	0.950	0.973	
	1:0.2	250	0.081	0.115	0.414	0.544	0.541
		500	0.152	0.378	0.597	0.767	0.887
		750	0.154	0.344	0.760	0.924	0.948
		1000	0.147	0.554	0.879	0.943	0.974
		1250	0.242	0.700	0.846	0.897	0.979
		1500	0.294	0.757	0.866	0.906	0.981
		1750	0.314	0.824	0.847	0.897	0.985
		2000	0.491	0.843	0.896	0.899	0.974
2500		0.533	0.799	0.854	0.926	0.989	
3000		0.527	0.815	0.878	0.927	0.957	
3500	0.546	0.824	0.890	0.928	0.989		
4000	0.532	0.801	0.857	0.914	0.997		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเศษ ผงหนึ่ง	Ratio (น้ำยาง: เศษผงหนึ่ง)	frequency (Hz)	Absorption Coefficient ของโฟมวัสดุประกอบที่ความหนา				
			1cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm
< 0.83 mm	1:0.4	250	0.081	0.092	0.495	0.549	0.560
		500	0.172	0.330	0.612	0.766	0.972
		750	0.135	0.424	0.843	0.921	0.971
		1000	0.155	0.608	0.902	0.968	0.992
		1250	0.220	0.691	0.890	0.954	0.970
		1500	0.254	0.767	0.902	0.940	0.991
		1750	0.328	0.806	0.927	0.943	0.968
		2000	0.484	0.879	0.903	0.947	0.998
		2500	0.551	0.807	0.891	0.918	0.989
		3000	0.563	0.828	0.919	0.937	0.953
		3500	0.546	0.828	0.887	0.952	0.958
		4000	0.522	0.824	0.902	0.982	0.968
	1:0.6	250	0.084	0.150	0.483	0.572	0.566
		500	0.185	0.349	0.552	0.797	0.971
		750	0.135	0.401	0.828	0.933	0.954
		1000	0.142	0.582	0.894	0.956	0.983
		1250	0.214	0.772	0.853	0.947	0.982
		1500	0.265	0.784	0.901	0.967	0.994
		1750	0.362	0.854	0.890	0.962	0.987
		2000	0.459	0.839	0.904	0.968	0.983
		2500	0.548	0.874	0.893	0.938	0.947
		3000	0.521	0.901	0.881	0.940	0.973
		3500	0.473	0.877	0.870	0.936	0.974
		4000	0.496	0.868	0.876	0.954	0.972
	1:0.8	250	0.065	0.143	0.514	0.561	0.574
		500	0.194	0.343	0.592	0.789	0.973
		750	0.148	0.359	0.795	0.916	0.951
		1000	0.154	0.594	0.888	0.973	0.974
		1250	0.228	0.692	0.893	0.962	0.989
		1500	0.273	0.753	0.901	0.948	0.990
		1750	0.328	0.842	0.921	0.972	0.984
		2000	0.464	0.859	0.873	0.959	0.988
		2500	0.538	0.804	0.920	0.934	0.974
		3000	0.543	0.832	0.918	0.931	0.967
		3500	0.507	0.815	0.897	0.899	0.968
		4000	0.483	0.816	0.917	0.884	0.986

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเศษ ผงแห้ง	Ratio (น้ำยา: เศษผงแห้ง)	frequency (Hz)	Absorption Coefficient ของโพลิเมอร์ประกอบที่มีความหนา				
			1cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm
< 0.83 mm	1:1.0	250	0.094	0.154	0.463	0.585	0.606
		500	0.152	0.303	0.576	0.767	0.988
		750	0.132	0.428	0.828	0.907	0.951
		1000	0.155	0.637	0.868	0.984	0.977
		1250	0.219	0.706	0.871	0.934	0.963
		1500	0.267	0.784	0.884	0.927	0.991
		1750	0.353	0.809	0.873	0.936	0.973
		2000	0.459	0.843	0.867	0.972	0.987
		2500	0.528	0.833	0.854	0.938	0.951
		3000	0.505	0.854	0.873	0.956	0.973
		3500	0.501	0.857	0.892	0.908	0.956
		4000	0.508	0.814	0.871	0.909	0.977
		1:1.2	250	0.102	0.124	0.417	0.576
	500		0.178	0.363	0.575	0.800	0.978
	750		0.164	0.392	0.797	0.942	0.964
	1000		0.147	0.611	0.871	0.969	1.000
	1250		0.204	0.793	0.866	0.904	0.997
	1500		0.276	0.793	0.854	0.878	1.000
	1750		0.329	0.899	0.891	0.908	0.979
	2000		0.424	0.890	0.902	0.915	0.977
	2500		0.551	0.864	0.914	0.922	0.964
	3000		0.537	0.887	0.903	0.928	0.951
	3500		0.479	0.851	0.893	0.907	0.975
	4000		0.497	0.843	0.926	0.902	0.981
	1:1.4		250	0.108	0.169	0.437	0.595
		500	0.174	0.364	0.591	0.814	0.889
		750	0.157	0.398	0.762	0.958	0.973
		1000	0.172	0.598	0.847	0.917	0.984
		1250	0.249	0.708	0.881	0.893	0.986
		1500	0.314	0.747	0.877	0.897	0.957
		1750	0.303	0.859	0.857	0.901	0.973
		2000	0.429	0.854	0.878	0.942	0.997
		2500	0.524	0.826	0.878	0.897	1.000
3000		0.534	0.841	0.876	0.925	0.977	
3500		0.450	0.859	0.873	0.897	0.981	
4000		0.494	0.806	0.856	0.904	0.973	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเศษ ผงแห้ง	Ratio (น้ำยาง: เศษผงแห้ง)	frequency (Hz)	Absorption Coefficient ของโฟมวัสดุประกอบที่ความหนา					
			1cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm	
< 0.83 mm	1:1.6	250	0.107	0.104	0.454	0.609	0.605	
		500	0.173	0.375	0.557	0.828	0.872	
		750	0.137	0.397	0.760	0.918	0.938	
		1000	0.169	0.624	0.880	0.939	0.976	
		1250	0.211	0.742	0.880	0.896	0.955	
		1500	0.254	0.751	0.854	0.881	0.987	
		1750	0.365	0.846	0.896	0.904	0.991	
		2000	0.427	0.854	0.903	0.947	0.986	
		2500	0.531	0.873	0.894	0.916	0.989	
		3000	0.547	0.863	0.873	0.952	0.954	
		3500	0.439	0.854	0.857	0.906	0.934	
		4000	0.476	0.847	0.834	0.901	0.958	
		1:1.8	250	0.124	0.174	0.492	0.532	0.599
			500	0.198	0.342	0.634	0.857	0.991
	750		0.175	0.416	0.853	0.947	0.995	
	1000		0.184	0.654	0.853	0.981	0.997	
	1250		0.255	0.773	0.884	0.974	0.983	
	1500		0.235	0.814	0.890	0.972	0.981	
	1750		0.362	0.873	0.864	0.966	0.950	
	2000		0.438	0.874	0.897	0.974	0.994	
	2500		0.537	0.853	0.863	0.948	0.952	
	3000		0.574	0.877	0.937	0.972	0.987	
	3500		0.457	0.890	0.919	0.934	0.973	
	4000		0.478	0.870	0.906	0.973	0.982	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลีเอสเตอร์ประกอบที่ขนาดของเศษผงแห้ง คละขนาด
ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm

ขนาดเศษ ผงแห้ง	Ratio (น้ำยาง: เศษผงแห้ง)	frequency (Hz)	Absorption Coefficient ของโพลีเอสเตอร์ประกอบที่ความหนา				
			1cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm
คละขนาด	1:0.0	250	0.078	0.135	0.424	0.547	0.553
		500	0.157	0.351	0.590	0.784	0.932
		750	0.143	0.439	0.780	0.900	0.946
		1000	0.159	0.557	0.894	0.960	0.972
		1250	0.245	0.732	0.867	0.924	0.971
		1500	0.271	0.781	0.862	0.904	0.976
		1750	0.328	0.866	0.870	0.903	0.977
		2000	0.485	0.874	0.873	0.941	0.987
		2500	0.556	0.883	0.874	0.917	0.965
		3000	0.519	0.834	0.893	0.920	0.964
	3500	0.532	0.854	0.874	0.916	0.954	
	4000	0.590	0.857	0.905	0.950	0.973	
	1:0.2	250	0.072	0.124	0.451	0.506	0.574
		500	0.131	0.301	0.644	0.814	0.942
		750	0.122	0.364	0.813	0.915	0.974
		1000	0.138	0.631	0.893	0.949	0.982
		1250	0.245	0.754	0.893	0.948	0.954
		1500	0.276	0.784	0.864	0.951	0.974
		1750	0.324	0.863	0.873	0.936	0.942
		2000	0.477	0.871	0.864	0.958	0.981
2500		0.559	0.864	0.863	0.914	0.935	
3000		0.533	0.904	0.932	0.945	0.965	
3500	0.517	0.834	0.897	0.907	0.965		
4000	0.587	0.823	0.895	0.912	0.926		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเศษ ผงหนึ่ง	Ratio (น้ำยาง: เศษผงหนึ่ง)	frequency (Hz)	Absorption Coefficient ของโฟมวัสดุประกอบที่มีความหนา				
			1cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm
คละขนาด	1:0.4	250	0.071	0.103	0.451	0.554	0.528
		500	0.119	0.235	0.590	0.787	0.943
		750	0.125	0.299	0.801	0.895	0.964
		1000	0.147	0.571	0.874	0.950	0.965
		1250	0.221	0.765	0.874	0.952	0.994
		1500	0.257	0.758	0.880	0.925	0.963
		1750	0.316	0.875	0.863	0.904	0.942
		2000	0.468	0.867	0.837	0.935	0.976
		2500	0.549	0.855	0.850	0.915	0.942
		3000	0.502	0.899	0.904	0.925	0.945
		3500	0.503	0.820	0.860	0.915	0.929
		4000	0.574	0.882	0.912	0.923	0.984
	1:0.6	250	0.074	0.124	0.431	0.501	0.521
		500	0.143	0.323	0.505	0.768	0.958
		750	0.104	0.377	0.763	0.865	0.932
		1000	0.143	0.571	0.901	0.932	0.968
		1250	0.208	0.728	0.896	0.952	0.997
		1500	0.225	0.749	0.867	0.923	0.964
		1750	0.312	0.872	0.824	0.925	0.937
		2000	0.435	0.804	0.854	0.913	0.989
		2500	0.546	0.846	0.872	0.905	0.923
		3000	0.497	0.883	0.899	0.903	0.951
		3500	0.517	0.801	0.842	0.904	0.941
		4000	0.571	0.803	0.870	0.882	0.951
	1:0.8	250	0.072	0.117	0.451	0.487	0.519
		500	0.163	0.271	0.542	0.743	0.955
		750	0.134	0.364	0.775	0.861	0.933
		1000	0.133	0.578	0.853	0.904	0.959
		1250	0.214	0.652	0.854	0.948	0.963
		1500	0.234	0.738	0.852	0.913	0.974
		1750	0.312	0.854	0.828	0.954	0.951
		2000	0.436	0.802	0.857	0.927	0.972
		2500	0.546	0.859	0.892	0.904	0.945
		3000	0.487	0.876	0.850	0.891	0.962
		3500	0.498	0.818	0.874	0.852	0.928
		4000	0.565	0.857	0.890	0.843	0.940

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเศษ ผงแห้ง	Ratio (น้ำยาง: เศษผงแห้ง)	frequency (Hz)	Absorption Coefficient ของโฟมวัสดุประกอบที่มีความหนา					
			1cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm	
คละขนาด	1:1.0	250	0.076	0.106	0.426	0.467	0.507	
		500	0.118	0.297	0.528	0.702	0.941	
		750	0.104	0.390	0.764	0.849	0.938	
		1000	0.136	0.584	0.839	0.899	0.954	
		1250	0.215	0.685	0.859	0.898	0.928	
		1500	0.252	0.725	0.821	0.883	0.943	
		1750	0.310	0.847	0.824	0.901	0.915	
		2000	0.432	0.809	0.836	0.926	0.944	
		2500	0.534	0.803	0.823	0.899	0.923	
		3000	0.474	0.869	0.844	0.948	0.930	
		3500	0.483	0.830	0.864	0.885	0.920	
		4000	0.547	0.796	0.875	0.921	0.943	
		1:1.2	250	0.094	0.106	0.401	0.427	0.482
			500	0.153	0.283	0.546	0.678	0.957
	750		0.124	0.375	0.759	0.785	0.934	
	1000		0.125	0.553	0.835	0.860	0.971	
	1250		0.183	0.673	0.878	0.876	0.980	
	1500		0.227	0.729	0.816	0.854	0.998	
	1750		0.301	0.857	0.829	0.859	0.944	
	2000		0.427	0.828	0.864	0.894	0.942	
	2500		0.529	0.784	0.869	0.887	0.925	
	3000		0.477	0.855	0.857	0.897	0.914	
	3500		0.471	0.796	0.867	0.882	0.942	
	4000		0.544	0.787	0.887	0.893	0.943	
	1:1.4		250	0.073	0.104	0.409	0.427	0.492
			500	0.120	0.205	0.547	0.696	0.947
		750	0.106	0.327	0.735	0.798	0.922	
		1000	0.137	0.571	0.818	0.861	0.975	
		1250	0.194	0.672	0.822	0.914	0.939	
		1500	0.235	0.711	0.784	0.864	0.930	
		1750	0.298	0.846	0.794	0.885	0.953	
		2000	0.419	0.836	0.843	0.895	0.945	
		2500	0.517	0.794	0.833	0.859	0.935	
		3000	0.463	0.874	0.853	0.875	0.934	
		3500	0.475	0.843	0.854	0.885	0.935	
		4000	0.537	0.783	0.872	0.853	0.955	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเศษ ผงแห้ง	Ratio (นํ้ายาง: เศษผงแห้ง)	frequency (Hz)	Absorption Coefficient ของไฟมัลติประกอบที่ความหนา				
			1cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm
คละขนาด	1:1.6	250	0.092	0.106	0.387	0.367	0.509
		500	0.108	0.201	0.506	0.678	0.915
		750	0.109	0.286	0.721	0.758	0.908
		1000	0.134	0.545	0.826	0.867	0.941
		1250	0.198	0.696	0.805	0.849	0.923
		1500	0.233	0.705	0.785	0.827	0.985
		1750	0.271	0.815	0.841	0.894	0.965
		2000	0.402	0.783	0.842	0.888	0.950
		2500	0.501	0.785	0.821	0.877	0.938
		3000	0.469	0.868	0.842	0.893	0.905
	3500	0.474	0.761	0.823	0.873	0.916	
	4000	0.542	0.764	0.869	0.883	0.909	
	1:1.8	250	0.087	-0.097	0.387	0.394	0.472
		500	0.143	0.252	0.557	0.624	0.923
		750	0.138	0.295	0.723	0.792	0.897
		1000	0.157	0.546	0.805	0.874	0.943
		1250	0.203	0.682	0.814	0.857	0.925
		1500	0.229	0.684	0.765	0.847	0.929
		1750	0.275	0.806	0.764	0.876	0.934
		2000	0.394	0.791	0.842	0.876	0.941
2500		0.517	0.772	0.795	0.856	0.947	
3000		0.487	0.862	0.825	0.882	0.906	
3500	0.455	0.785	0.832	0.865	0.935		
4000	0.556	0.754	0.841	0.872	0.943		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของโพลีเมอร์ประกอบที่ขนาดของเศษผงหนึ่ง ≥ 2.36 mm
 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm

ขนาดเศษ ผงหนึ่ง	Ratio (น้ำยาง: เศษผงหนึ่ง)	frequency (Hz)	Absorption Coefficient ของโพลีเมอร์ประกอบที่ความหนา				
			1cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm
≥ 2.36 mm	1:0.0	250	0.078	0.135	0.424	0.547	0.553
		500	0.157	0.351	0.590	0.784	0.932
		750	0.143	0.439	0.780	0.900	0.946
		1000	0.159	0.557	0.894	0.960	0.972
		1250	0.245	0.732	0.867	0.924	0.971
		1500	0.271	0.781	0.862	0.904	0.976
		1750	0.298	0.866	0.870	0.903	0.977
		2000	0.455	0.874	0.873	0.941	0.987
		2500	0.556	0.883	0.874	0.917	0.965
		3000	0.504	0.834	0.893	0.920	0.964
	3500	0.482	0.854	0.874	0.916	0.954	
	4000	0.534	0.857	0.905	0.950	0.973	
	1:0.2	250	0.070	0.125	0.421	0.541	0.552
		500	0.165	0.334	0.608	0.773	0.924
		750	0.143	0.445	0.742	0.891	0.924
		1000	0.173	0.573	0.901	0.954	0.954
		1250	0.254	0.731	0.843	0.921	0.958
		1500	0.264	0.759	0.834	0.903	0.962
		1750	0.278	0.837	0.867	0.898	0.957
		2000	0.468	0.867	0.867	0.928	0.973
2500		0.537	0.854	0.854	0.897	0.959	
3000		0.472	0.794	0.890	0.913	0.952	
3500	0.467	0.852	0.873	0.904	0.947		
4000	0.516	0.852	0.890	0.937	0.967		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเศษ ผงหนึ่ง	Ratio (นำยาง: เศษผงหนึ่ง)	frequency (Hz)	Absorption Coefficient ของโฟมวัสดุประกอบที่ความหนา				
			1cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm
≥2.36 mm	1:0.4	250	0.087	0.121	0.417	0.535	0.546
		500	0.152	0.369	0.616	0.776	0.908
		750	0.132	0.487	0.761	0.894	0.921
		1000	0.169	0.545	0.896	0.947	0.950
		1250	0.225	0.731	0.838	0.920	0.947
		1500	0.263	0.748	0.819	0.897	0.958
		1750	0.251	0.840	0.853	0.876	0.954
		2000	0.474	0.859	0.853	0.914	0.958
		2500	0.537	0.849	0.851	0.881	0.951
		3000	0.496	0.806	0.879	0.892	0.948
		3500	0.457	0.839	0.871	0.876	0.937
		4000	0.501	0.851	0.872	0.907	0.963
	1:0.6	250	0.073	0.151	0.414	0.526	0.561
		500	0.148	0.330	0.635	0.771	0.900
		750	0.165	0.455	0.733	0.887	0.920
		1000	0.172	0.527	0.866	0.941	0.950
		1250	0.232	0.703	0.827	0.914	0.937
		1500	0.254	0.726	0.830	0.896	0.949
		1750	0.238	0.802	0.851	0.874	0.937
		2000	0.443	0.854	0.867	0.902	0.958
		2500	0.519	0.837	0.850	0.874	0.955
		3000	0.485	0.813	0.874	0.873	0.949
		3500	0.439	0.833	0.857	0.873	0.937
		4000	0.453	0.806	0.876	0.904	0.959
	1:0.8	250	0.071	0.157	0.406	0.546	0.573
		500	0.175	0.363	0.615	0.767	0.897
		750	0.135	0.442	0.757	0.872	0.919
		1000	0.163	0.512	0.861	0.969	0.967
		1250	0.219	0.693	0.862	0.894	0.934
		1500	0.247	0.697	0.824	0.880	0.937
		1750	0.241	0.839	0.850	0.859	0.930
		2000	0.451	0.824	0.851	0.891	0.957
		2500	0.503	0.853	0.847	0.853	0.934
		3000	0.487	0.799	0.873	0.857	0.937
		3500	0.453	0.843	0.850	0.864	0.927
		4000	0.481	0.804	0.867	0.894	0.953

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเศษ ผง	Ratio (นํ้ายาง: เศษผง)	frequency (Hz)	Absorption Coefficient ของโฟมวัสดุประกอบที่มีความหนา				
			1cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm
≥2.36 mm	1:1.0	250	0.064	0.173	0.392	0.542	0.547
		500	0.147	0.376	0.623	0.769	0.894
		750	0.125	0.465	0.724	0.874	0.906
		1000	0.179	0.549	0.873	0.946	0.975
		1250	0.197	0.717	0.808	0.877	0.932
		1500	0.238	0.704	0.791	0.867	0.932
		1750	0.273	0.851	0.832	0.854	0.927
		2000	0.440	0.846	0.842	0.893	0.943
		2500	0.497	0.833	0.846	0.852	0.946
		3000	0.462	0.774	0.855	0.877	0.932
		3500	0.429	0.828	0.839	0.852	0.928
		4000	0.475	0.769	0.863	0.876	0.948
	1:1.2	250	0.074	0.157	0.438	0.532	0.554
		500	0.174	0.392	0.599	0.752	0.894
		750	0.167	0.432	0.798	0.866	0.901
		1000	0.180	0.514	0.857	0.954	0.964
		1250	0.178	0.745	0.853	0.879	0.940
		1500	0.232	0.768	0.784	0.869	0.929
		1750	0.246	0.818	0.816	0.853	0.927
		2000	0.464	0.836	0.861	0.919	0.969
		2500	0.509	0.824	0.868	0.881	0.927
		3000	0.489	0.809	0.844	0.876	0.927
		3500	0.435	0.818	0.846	0.852	0.932
		4000	0.474	0.757	0.844	0.860	0.945
	1:1.4	250	0.058	0.110	0.454	0.519	0.549
		500	0.163	0.389	0.587	0.755	0.874
		750	0.168	0.463	0.768	0.871	0.897
		1000	0.163	0.504	0.892	0.931	0.943
		1250	0.193	0.726	0.831	0.878	0.924
		1500	0.233	0.765	0.796	0.826	0.916
		1750	0.231	0.797	0.803	0.850	0.923
		2000	0.474	0.814	0.869	0.895	0.931
		2500	0.478	0.803	0.848	0.893	0.924
		3000	0.453	0.769	0.821	0.845	0.922
		3500	0.424	0.821	0.841	0.844	0.917
		4000	0.448	0.753	0.838	0.857	0.944

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเศษ ผงหนึ่ง	Ratio (น้ำยา: เศษผงหนึ่ง)	frequency (Hz)	Absorption Coefficient ของโฟมวัสดุประกอบที่ความหนา					
			1cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm	
≥2.36 mm	1:1.6	250	0.076	0.138	0.445	0.532	0.545	
		500	0.156	0.396	0.596	0.749	0.919	
		750	0.174	0.429	0.736	0.835	0.897	
		1000	0.181	0.495	0.878	0.924	0.965	
		1250	0.186	0.699	0.833	0.858	0.927	
		1500	0.219	0.737	0.783	0.821	0.923	
		1750	0.267	0.788	0.847	0.869	0.921	
		2000	0.484	0.821	0.848	0.901	0.961	
		2500	0.492	0.790	0.837	0.861	0.917	
		3000	0.474	0.798	0.802	0.851	0.917	
		3500	0.406	0.829	0.831	0.834	0.916	
		4000	0.452	0.735	0.821	0.831	0.937	
		1:1.8	250	0.072	0.129	0.465	0.529	0.531
			500	0.147	0.388	0.625	0.737	0.939
	750		0.159	0.463	0.769	0.859	0.893	
	1000		0.187	0.485	0.876	0.934	0.962	
	1250		0.199	0.674	0.821	0.876	0.918	
	1500		0.225	0.746	0.778	0.824	0.919	
	1750		0.254	0.784	0.833	0.843	0.923	
	2000		0.465	0.819	0.862	0.893	0.937	
	2500		0.496	0.793	0.843	0.879	0.919	
	3000		0.455	0.763	0.799	0.834	0.911	
	3500		0.419	0.807	0.823	0.837	0.913	
	4000		0.458	0.733	0.807	0.817	0.931	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียงของโฝมวัสดุประกอบที่ขนาดของเศษผงแห้ง ≥ 2.36 , คละขนาด, และ < 0.83 mm โดยมีอัตราส่วนการผสมของน้ำยางชั้นต่อเศษผงแห้งเท่ากับ 1:0.0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.8, 1:1.0, 1:1.2, 1:1.4, 1:1.6 และ 1:1.8 ที่ความหนา 1, 2, 4, 6 และ 8 cm

ขนาดเศษผงแห้ง (mm)	ความหนา (cm)	ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง (NRC) ของโฝมวัสดุประกอบที่อัตราส่วนของน้ำยางชั้นต่อเศษผงแห้ง									
		1:0.0	1:0.2	1:0.4	1:0.6	1:0.8	1:1.0	1:1.2	1:1.4	1:1.6	1:1.8
≥ 2.36	1	0.220	0.223	0.183	0.200	0.191	0.188	0.225	0.206	0.217	0.244
	2	0.479	0.504	0.467	0.480	0.474	0.494	0.480	0.471	0.461	0.473
	4	0.695	0.754	0.736	0.708	0.694	0.672	0.691	0.683	0.653	0.650
	6	0.808	0.836	0.778	0.823	0.799	0.787	0.742	0.753	0.734	0.717
	8	0.861	0.895	0.881	0.876	0.870	0.872	0.874	0.856	0.847	0.844
คละขนาด	1	0.220	0.205	0.201	0.199	0.201	0.191	0.200	0.187	0.184	0.195
	2	0.479	0.482	0.444	0.456	0.442	0.449	0.443	0.429	0.409	0.422
	4	0.695	0.713	0.688	0.673	0.676	0.657	0.662	0.654	0.640	0.648
	6	0.808	0.807	0.807	0.779	0.765	0.749	0.715	0.720	0.700	0.692
	8	0.861	0.870	0.853	0.859	0.851	0.837	0.838	0.840	0.829	0.820
< 0.83	1	0.212	0.199	0.183	0.183	0.180	0.179	0.174	0.160	0.167	0.158
	2	0.479	0.470	0.446	0.446	0.412	0.421	0.399	0.400	0.385	0.387
	4	0.695	0.682	0.671	0.670	0.652	0.649	0.638	0.624	0.612	0.607
	6	0.808	0.799	0.793	0.785	0.782	0.786	0.771	0.766	0.762	0.757
	8	0.861	0.851	0.841	0.842	0.826	0.827	0.825	0.817	0.820	0.813

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวจุไรรัตน์ ระยับพิศม์
วัน เดือน ปีเกิด	20 เมษายน 2520
ที่อยู่	101/3 ถนนเพชรเกษม ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี 70000
ประวัติการศึกษา	2542 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม
ผลงานตีพิมพ์	1. "ผลกระทบของโพลีโพรไพลีนและโพลิสไตรีนที่มีผลต่อการ สลายตัวด้วยความร้อนของไฮเดนซิติ์-โพลีเอทิลีน." วิศวกรรมสาร มก. 40 (14). เมษายน-กรกฎาคม 2543. 40-46. 2. "การสังเคราะห์โฟมวัสดุประกอบจากน้ำยางและผงหนัง เพื่อประยุกต์ใช้เป็นฉนวนดูดกลืนเสียง." วิศวกรรมลาดกระบัง 21 (2). มิถุนายน 2547. 7-12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้