

การพัฒนาคุณสมบัติด้านการดูดซับเสียงของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันด้วย
กระบวนการอบแห้ง

DEVELOPMENT OF SOUND ABSORPTIVITY PROPERTY OIL PALM
BOARDS USING DRYING PROCESSES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560
KMITL-2017-EN-D-058-217

การพัฒนาคุณสมบัติด้านการดูดซับเสียงของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันด้วย
กระบวนการอบแห้ง

DEVELOPMENT OF SOUND ABSORPTIVITY PROPERTY OIL PALM
BOARDS USING DRYING PROCESSES



ปัญญา แดงวิลัยลักษณ์
PANYA DANGVILAILUX

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560
KMITL-2017-EN-D-058-217

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF SOUND ABSORPTIVITY PROPERTY OIL PALM BOARDS
USING DRYING PROCESSES



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-EN-D-058-217

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

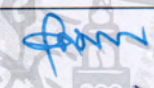
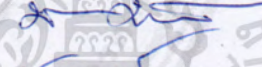
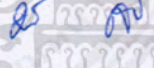
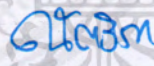
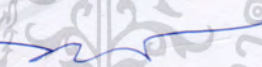
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

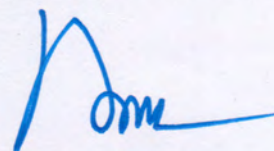
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาคุณสมบัติด้านการดูดซับเสียงของแผ่นไม้ปาเล็มน้ำมันด้วยกระบวนการอบแห้ง
Thesis Title Development of Sound Absorptivity Property Oil Palm Boards Using Drying Processes
นักศึกษา นายปัญญา แดงวิไลลักษณ์
รหัสประจำตัว 53610209
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-D-058-217

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.อุดมเกียรติ นนทแก้ว	
รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์	
ดร.มธุรส สุชาติวัฒน์	
ผศ.ดร.ณัฏวิภา เจียรนะนาวีระ	
รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2560 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 1 ชั้น 5 อาคาร A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เมื่อวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2560
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาคุณสมบัติด้านการดูดซับเสียงของแผ่นไม้ปาเลมน้ำมันด้วยกระบวนการอบแห้ง
นักศึกษา	นายปัญญา แดงวิไลลักษณ์
รหัสประจำตัว	53610209
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาเงื่อนไขในการดำเนินการของกระบวนการอบแห้งที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงและค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวนของแผ่นไม้ปาเลมน้ำมัน ภายใต้เทคโนโลยีการอบแห้งแบบลมร้อนและไมโครเวฟ โดยใช้ลำต้นปาเลมที่นำมาใช้มีอายุ 26 ปี สายพันธุ์ เทเนอรา ตัดที่มีความสูงไม่เกิน 2 เมตร นำมาต้มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส แล้วนำมาปอกเปลือกให้เหลือแกนกลาง แล้วแปรรูปเป็นแผ่นไม้ปาเลมน้ำมันขนาด 200 x 200 มม 20 มิลลิเมตร โดยเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งของลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส และอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ 200 400 1200 และ 4000 วัตต์ จากการทดลองพบว่าเงื่อนไขการอบแห้งแบบลมร้อนมีปัจจัยที่พึงประสงค์ต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงและค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียง ในขณะที่การอบแห้งแบบไมโครเวฟให้ผลน้อยกว่า โดยการดำเนินการภายใต้เงื่อนไขลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 0.86 และค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวนสูงสุด 0.58 สันนิษฐานว่าจากลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่ผิวไปยังภายในของแผ่นไม้ ทำให้ผิวด้านนอกของแผ่นไม้เกิดการสูญเสียความชื้นก่อน จึงมีการหดตัวที่ผิวไม่มากเนื่องจากมีเนื้อไม้ภายในควบคุมการหดตัวไว้ และกลายเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง เมื่อความร้อนเข้าสู่ภายในเนื้อไม้ ความชื้นภายในคายออกไม่ทันทำให้เกิดความดันและเมื่อเกิดการหดตัวภายใน จึงเกิดการรอยแยกระหว่างกลุ่มของท่อลำเลียงกับเนื้อเยื่อ และมีโพรงภายในแผ่นไม้ ซึ่งจะส่งผลให้การดูดซับเสียงดีขึ้น และเหมาะสมเป็นแผ่นดูดซับเสียง จึงสามารถสรุปได้ว่าเทคโนโลยีลมร้อนมีความเหมาะสมในเชิงการดำเนินการและเชิงเศรษฐศาสตร์ในการนำมาใช้ผลิตวัสดุดูดซับเสียงจากแผ่นไม้ปาเลมน้ำมัน

Thesis	Development of Sound Absorptivity Property Oil Palm Boards Using Drying Processes
Student	Mr. Panya Dangvilailux
Student ID.	53610209
Degree	Doctor of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Jaruwat Charoensuk

ABSTRACT

The objective of this study is to examine the effect of operating conditions of the drying process to the sound absorption coefficient and the noise reduction coefficient of the oil palm board using the hot air and microwave of drying technologies. The oil palm trees were of tenera cultivar. The trees were 26 years old, being cut into stumps of up to 2 m in height (length) as measured from the trunk base. The wood was soaked in hot water at 85 °C. The oil palm boards (OPB) processed into dimensions of 200 mm x 200 mm x 20 mm (W x L x T) from the inner region of oil palm trunk (OPT). The hot-air temperatures and microwave power outputs were varied between 50 °C, 60 °C, 80 °C, and 100 °C and 100 W, 400 W, 1200 W, and 4000 W, respectively. It was found that the hot air drying had the desirable effect on sound absorption coefficient and the noise reduction coefficient, while less effect was found with the microwave drying. Under the 100 °C condition of hot air drying, a sound absorption coefficient of 0.86 and a noise reduction coefficient of 0.58 were obtained. With hot air drying the heat had transferred from outer surface to the inner core of the board. It was hypothesized that the outer surface of the board had experienced moisture loss and skin shrinkage to some extent due to support of the inner core and had become a relatively solid structure. When moisture inside the core found its way out, it caused the split of the inner layer due to pressure build-up and inner shrinkage. Eventually, fissures and cavity had developed between the vascular bundles and parenchyma cell of the oil palm board specimens. It can be concluded that the hot air drying technology is operationally and economically suited for production of the high-quality and high-performance acoustic oil palm board.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จรรูวัตร เจริญสุข ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อุดมเกียรติ นนทแก้ว รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ ผศ.ดร.ณัฏวิภา เจียรโนวชิระ ดร.มธุรส สุชาติวัฒน์ และ รศ.ดร.จรรูวัตร เจริญสุข ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และโครงการวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ปัญญา แดงวิไลลักษณ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	3
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	5
2.1 ข้อมูลเกี่ยวข้องกับแผ่นดูดซับเสียงในปัจจุบัน	5
2.2 ลักษณะกายภาพของพอลิเมอร์น้ำมัน.....	7
2.3 งานวิจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง.....	11
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	15
3.1 เสียง(Sound).....	15
3.2 วัสดุดูดซับเสียง	16
3.3 ทฤษฎีกระบวนการอบแห้ง	19
3.4 คุณสมบัติของไม้.....	24

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)	27
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	28
4.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง.....	29
4.2 หลักการทำงานของเครื่องอบแผ่นไม้ปาล์มด้วยลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ	39
4.3 วิธีการทดลอง	40
4.3.1 ขั้นตอนของกระบวนการปอกและนำเข้าเครื่องอบแห้ง	40
4.3.2 ขั้นตอนของกระบวนการอบ	42
4.3.3 วิธีการทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพ	43
4.3.4 วิธีการทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางกล	44
4.3.5 วิธีการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	48
4.3.6 วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง.....	50
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	51
5.1 จลนพลศาสตร์อุณหภูมิการอบแห้งของของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน	51
5.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน.....	54
5.3 สมบัติทางกลของแผ่นไม้ปาล์ม	56
5.4 ผลการทดลองของลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด.....	57
5.5 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง.....	58
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย	62
6.1 สรุปผลการทดลอง	62
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	64

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	68
ภาคผนวก ก. บทความวิชาการ.....	69
The 9 th TSAE International Conference	
The study of microwave and hot air drying on mechanical properties of oil palm timbers.	70
The 10 th TSAE International Conference	
The Study of Halogen Lamps and Microwave Drying on Mechanical Properties of Oil Palm Timbers.	76
วารสารวิชาการนานาชาติ BioResources 13(1)	
Effects of Convection and Microwave Drying Schemes on the Characteristics and Sound Absorption of Acoustic Oil Palm Boards.....	82
ภาคผนวก ข. แบบชิ้นส่วนต่างๆ	98
ประวัติผู้เขียน.....	111

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อมูลแผ่นดูดซับเสียง	5
2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับเสียงและค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียงของวัสดุ	6
2.3 การจำแนกชนิดของวัสดุป้องกันเสียงจากค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง	7
3.4 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของวัสดุทางการเกษตร	26
5.1 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของแผ่นไม้ปาเลียมที่เสื่อนไขอบแห้งแบบลมร้อน และคลื่นไมโครเวฟภายใต้สภาวะความร้อนต่างๆ	55
5.2 เปรียบเทียบสมบัติทางกลของแผ่นไม้ปาเลียมน้ำมันที่ของการอบแห้งแบบลมร้อน และคลื่นไมโครเวฟภายใต้สภาวะความร้อนที่กำหนดไว้	56
5.3 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงสุด (SAC) ที่ความถี่ต่างๆและค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวน (NRC) ของแผ่นไม้ปาเลียมน้ำมัน ภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งแบบลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ	61

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การทำลายต้นปาล์มที่โคนกิ่งด้วยรถแบคโฮหรือเลื่อยยนต์เพื่อโค่นหรือย่อยต้นปาล์มน้ำมัน	2
1.2 การเผาต้นปาล์มที่โคนกิ่ง เพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูก	2
1.3 การทำลายต้นปาล์มที่อายุมากด้วยการเจาะต้นหยอดยาฆ่าหญ้า	2
2.1 ภาพตัดขวางของปาล์มน้ำมัน	9
2.2 โครงสร้างของหลอดลำเลียงอาหารแสดงให้เห็นการจัดตัวของเนื้อเยื่อ	10
2.3 ไม้ปาล์มน้ำมัน a. ไม้สดก่อนอบ b. ไม้ใหม่หลังการอบ c. ไม้บิตและหดตัวหลังการอบ d. ไม้แห้งสภาพดีหลังการอบ	12
3.1 ปราบกฎการณ์สะท้อน ดูดกลืน และส่งผ่านเสียงของวัสดุ	17
3.2 การดูดซับเสียงของวัสดุที่มีกลไกในการดูดซับเสียงแบบต่างๆ	19
3.3 ช่วงของการอบแห้ง	20
3.4 แลปสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	22
3.5 ภายในของแมกนีตรอน	24
3.6 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบที่ไม่มีจุดคราก	27
4.1 เครื่องเลื่อยไม้STIHL MS 381	29
4.2 ไม้ปาล์มพันธุ์เทนเนอร์ อายุ 26 ปี	29
4.3 เครื่องปรับความเร็วรอบ	29
4.4 เครื่องซังดิจิตอล	30
4.5 เครื่องวัดความเร็วรอบ DIGCON DT-235T	30
4.6 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น SARTORIUS-MA37	30
4.7 ชิ้นส่วนเครื่องปอกไม้บางสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน	31
4.8 ลูกกลิ้งสำหรับหมุนประคองไม้ปาล์มน้ำมัน	31

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่.....	หน้า
4.9 สกรูส่งกำลังป้อนไม้ปาล์มน้ำมัน.....	32
4.10 ใบมีดสำหรับปอกไม้ปาล์ม.....	32
4.11 แท่นลับมีด.....	32
4.12 มอเตอร์เกียร์ขนาด 10 แรงม้า.....	33
4.13 มอเตอร์เกียร์ขนาด 5 แรงม้า.....	33
4.14 มอเตอร์เกียร์ขนาด 1 แรงม้า.....	33
4.15 โซ่เบอร์ 60.....	34
4.16 เกียร์ 3 ทาง.....	34
4.17 ตู้ควบคุมเครื่องทำไม้บาง.....	34
4.18 ตัวรับไม้.....	35
4.19 ชุด Brass Boost Housing.....	35
4.20 คานรับน้ำหนัก.....	35
4.21 สายพานลำเลียงไม้บางชนิด PVC.....	36
4.22 ชิ้นส่วนเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง.....	36
4.23 ตู้อบไม้แบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ.....	37
4.24 เครื่องไมโครเวฟและช่องนำคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่ห้องอบ.....	37
4.25 ชุดเป่าลมร้อนพร้อมฮีทเตอร์.....	38
4.26 สายพานเทปเลื่อนขนาด 80×7.5 เมตร.....	38
4.27 ช่องระบายความชื้นติดตั้งลูกกรงฟาราเดย์.....	39
4.28 ตู้กระจกน้ำดูคลื่นไมโครเวฟที่รั่วไหลออกจากห้องอบ.....	39
4.29 ตู้ควบคุมสายพานลำเลียง มอเตอร์ ชุดเป่าลมร้อน และจอแสดงค่าอุณหภูมิภายในตู้อบ.....	40
4.30 ตัดต้นปาล์มที่มีอายุ 26 ปี.....	40

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่.....	หน้า
4.31 ต้นปาล์มที่มีความยาว 70 เซนติเมตร.....	40
4.32 การนำไม้เข้าเครื่องปอก.....	41
4.33 แผ่นกลมที่ทำจากท่อนไม้ปาล์มน้ำมัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 250 มม. หนา 20 มม.....	41
4.34 แผ่นไม้ปาล์มน้ำมันจากเนื้อไม้ด้านใน แผ่นสี่เหลี่ยม ขนาด 200x 200หนา 20 มิลลิเมตร.....	41
4.35 ตำแหน่งการวางแผ่นไม้ปาล์มในห้องอบแห้ง.....	42
4.36 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน.....	42
4.37 ขนาดของไม้ปาล์มน้ำมัน สำหรับ ก) หาค่าความชื้น ข) หาค่าความหนาแน่น ค)หาค่าปริมาตรการหดตัว.....	43
4.38 เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ TA Plus texture analyzers, Lloyd Instruments, West Sussex, England พร้อมกับโหลดเซลล์ขนาด 1 กิโลนิวตัน.....	44
4.39 ลักษณะตัวอย่างของชิ้นทดสอบ ความเค้นตั้งตั้งฉากเสี้ยน (Tensile Stress perpendicular to Grain).....	44
4.40 การทดสอบหาค่าความเค้นตั้งตั้งฉากเสี้ยน.....	45
4.41 การทดสอบหาค่าความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน.....	45
4.42 การทดสอบหาความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน.....	46
4.43 การทดสอบหาแรงดัด (Static Bending).....	47
4.44 ความแข็งแรงของผิว (Hardness).....	48
4.45 เครื่อง Cressington Sputter Cater.....	49
4.46 ส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	49
4.47 เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง แบบท่ออิมพีแดนซ์(Impedance Tube) รุ่น the B&K Type 4206 Impedance Tube.....	50
4.48 ขนาดแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง แบบท่ออิมพีแดนซ์.....	50

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่.....	หน้า
5.1 จลนพลศาสตร์ของอุณหภูมิความชื้นเทียบกับเวลา: (ก) รูปแบบการอบแห้งแบบลมร้อน (ข) แผนอบแห้งแบบไมโครเวฟ	52
5.2 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการคายน้ำของการอบแห้ง (ก) การอบแห้งแบบลมร้อน (ข)การอบแห้งแบบคลื่นไมโครเวฟ	53
5.3 ขึ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งของการหาค่าความหนาแน่น (ก) การอบแห้งแบบลมร้อน (ข) การอบแห้งแบบไมโครเวฟ	54
5.4 ภาพตัดขวางของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน อบแห้งแบบลมร้อน ที่ (ก) 50, (ข) 60, (ค) 80 และ (ง) 100 องศาเซลเซียส.....	57
5.5 การส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกลุ่มท่อลำเลียงและเนื้อเยื่อของ แผ่นไม้ปาล์ม ที่อบแห้งด้วยลมร้อน ที่ (ก) 50, (ข) 60, (ค) 80 และ (ง) 100 องศาเซลเซียส.....	58
5.6 ภาพตัดขวางของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน อบแห้งแบบไมโครเวฟ ที่ (ก) 200, (ข) 400, (ค) 1200 และ (ง) 4000 วัตต์.....	59
5.7 การส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกลุ่มท่อลำเลียงและเนื้อเยื่อของ แผ่นไม้ปาล์ม อบแห้งแบบไมโครเวฟ ที่ (ก) 200, (ข) 400, (ค) 1200 และ (ง) 4000 วัตต์.....	59
5.8 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ของแผ่นไม้ปาล์ม ภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งแบบ: (ก)การอบแห้งแบบลมร้อน (ข) การอบแห้งแบบไมโครเวฟ.....	60
ข.1 แบบเครื่องปอกไม้บาง.....	99
ข.2 แบบฐานเครื่องปอก	100
ข.3 แบบเครื่องปอกไม้บางท่อนบน.....	101
ข.4 แบบเครื่องปอกไม้บางท่อนล่าง.....	102
ข.5 แบบมีดปอก.....	103
ข.6 แบบเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อน ชนิดสายพานลำเลียง.....	104

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่.....	หน้า
ข.7 แบบBlower	105
ข.8 แบบโครงเครื่องอบ.....	106
ข.9 แบบโครงเครื่องอบด้านบน	107
ข.10 แบบโครงเครื่องอบด้านหน้า	108
ข.11 แบบตู้อบ.....	109
ข.12 แบบช่องนำคลื่นไมโครเวฟ.....	110
ประวัติผู้เขียน.....	111



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการ

การเพิ่มขึ้นของประชากร เป็นส่วนหนึ่งในการเพิ่มเสียง ซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งของโลก เสียงรบกวน เป็นเสียงที่ไม่พึงประสงค์ เรียกว่ามลพิษทางเสียง ซึ่งเกิดจากการขยายตัวทางธุรกิจในอุตสาหกรรม สมัยใหม่และการขนส่งเช่น เครื่องบิน รถไฟ รถยนต์หรือรถประจำทาง เป็นสาเหตุหลักของเสียงของ ปัญหาในเขตเมือง นอกจากนี้กิจกรรมประจำวันของมนุษย์มีส่วนร่วมอย่างมากสร้างระดับเสียงที่สามารถรบกวนคนอื่นได้ ผลกระทบจากเสียงดังมีผลกระทบทางสรีรวิทยาเช่น ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ อาการลำไส้ใหญ่บวม ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ และที่เลวร้ายที่สุดคือการสูญเสียการได้ยิน ส่วนทางด้านจิตใจ ส่งผลต่อความรำคาญทางอารมณ์ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาแผ่นดูดซับเสียง ที่ทำมาจากวัสดุสังเคราะห์หรือวัสดุจากธรรมชาติ เพื่อลดเสียงรบกวน หรือเสียงที่ไม่พึงปรารถนา อันได้แก่ ความดังของเสียงที่ตึงเกินค่ามาตรฐาน 120 เดซิเบล และความถี่ของเสียงที่ความถี่สูงหรือความถี่ต่ำเกินไป โดยธรรมชาติมนุษย์ไม่ชอบเสียงสูงมากกว่าเสียงต่ำ ดังนั้น แผ่นดูดซับเสียงจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) เป็นค่าของจำนวนเลขที่ หมายถึงความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุถ้ามีค่ามากกว่า 0.4 วัสดุดูดซับเสียงมีองค์ประกอบที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุ ได้แก่ ความหนา ความหนาแน่น ความพรุน ความต้านทานการไหล ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (Coefficient of elasticity) และค่าความต้านทานเสียง (Acoustic impedance) เป็นต้น

จากการศึกษาพบว่าในปัจจุบันได้มีการนำลำต้นหรือวัสดุที่ทำมาจากพืชตระกูลปาล์มมาประยุกต์ผลิตเป็นวัสดุดูดซับเสียง เช่น การใช้เส้นใยจากเปลือกและทะลายจากพืชตระกูลปาล์ม[1] การนำลำต้นปาล์มน้ำมันมาผสมกรดไฮโดรคลอริก UP5 และ TP5 [2] การนำลำต้นปาล์มน้ำมันมาเจาะให้มีรูพรุน โดยมีขนาดรู 3 5 8 มิลลิเมตร และลึก 5 7.5 และ 10 มิลลิเมตร[3] การทำแผ่นไม้อัดจากผงขนาดต่างๆ ของลำต้นปาล์มน้ำมัน[4] วิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษการผลิตแผ่นดูดซับเสียงจากลำต้นปาล์มน้ำมัน ภายใต้เงื่อนไขในการดำเนินการกระบวนการอบแห้ง โดยใช้ลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis Jacq*) อยู่ในวงศ์ Areacaceae หรือ Palmae เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวชนิดหนึ่ง มีแหล่งกำเนิดในพื้นที่ฝนเขตร้อนป่าของทวีปแอฟริกา การขยายพื้นที่ปลูกอย่างรวดเร็ว เช่น แอฟริกา, อเมริกาใต้, และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้กับ อินโดนีเซีย มาเลเซีย และประเทศไทย ซึ่งมีพื้นที่ปลูก อันดับ 1-3 ของโลก ในปี 2559 ประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกปาล์มรวม 4,023,819 ไร่ ใน 67 จังหวัด ผลผลิตรวม 10,944,884 ตัน ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 2,424 กิโลกรัมต่อไร่ ปัจจุบันจังหวัดที่มีการปลูกปาล์มมากที่สุดจะอยู่ในเขตภาคใต้เป็นหลัก ได้แก่ จังหวัด สุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นอกจากนี้ยังมีการขยายพื้นที่ไปยังจังหวัดในภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ อายุของต้นปาล์มน้ำมันที่เริ่มให้ผลผลิตจะอยู่ที่ 2 – 3 ปี ปาล์มน้ำมันมีอายุการเก็บเกี่ยวที่คุ้มค่าประมาณ 25 ปี หลังจากนั้นต้นปาล์มน้ำมันจะให้ผลผลิตน้อยลงประกอบกับความสูงของต้นปาล์มทำให้ยากต่อการเก็บผลผลิต ชาวสวนจึงต้องตัดต้นปาล์มน้ำมันที่มีอายุมากทิ้งเพื่อที่จะปลูกต้นปาล์มน้ำมันรุ่นต่อไป ซึ่งต้นปาล์มน้ำมันที่ถูกตัดทิ้งนี้ประเทศไทยยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ นอกจากให้ย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ยแต่ต้องใช้เวลาานาน หรือทำการเผาทำลาย หรือใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมีเพื่อให้ต้นปาล์มน้ำมันยืนต้นตาย ดังรูปที่ 1.1-1.3 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 มีการคาดการณ์ว่ามีจะมีชีวมวลจากลำต้นปาล์มน้ำมันมากกว่า 20 ล้านลูกบาศก์เมตรในประจำปี [5]

ปัจจุบันในมาเลเซียมีการศึกษาเพื่อการทำไม้ปาล์มน้ำมันมาใช้ประโยชน์ ซึ่งมีการแปรรูปและใช้อย่างอิสระหรือใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์กระดาษ คอมโพสิต ไบโอบีโอมโพสิตบอร์ด ไม้อัด ไม้อัดปูนซีเมนต์และไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง [6-11]



รูปที่ 1.1 การทำลายต้นปาล์มที่โคนทิ้งด้วยรถแบคโฮหรือเลื่อยยนต์เพื่อโค่นหรือย่อยต้นปาล์มน้ำมัน



รูปที่ 1.2 การเผาต้นปาล์มที่โคนทิ้ง เพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูก



รูปที่ 1.3 การทำลายต้นปาล์มที่อายุมากด้วยการเจาะต้นหยอดยาฆ่าหญ้า

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาเงื่อนไขในการดำเนินการของกระบวนการอบแห้งที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงและค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวนของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน ภายใต้เทคโนโลยีการอบแห้งแบบลมร้อนและไมโครเวฟ ภายใต้เงื่อนไขในการดำเนินการกระบวนการอบแห้ง โดยใช้ลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ ในปัจจุบันได้มีการเทคโนโลยีการอบแห้งแบบต่างๆ ในการอบไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน ได้แก่ ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ [12], การอบแห้งแบบหมุนเวียน [13] การอบแห้งแบบ คลื่นไมโครเวฟ [14-15] การใช้คลื่นวิทยุร่วมกับระบบสุญญากาศ [16-17] และวิธีการทำให้แห้งแบบแช่แข็ง [18] วิธีการอบแห้งเหล่านี้มีความหลากหลายที่ส่งผลต่อคุณสมบัติต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของไม้และต้นทุนของการอบแห้ง โดยวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีการอบแห้งแบบ ลมร้อน ที่ 50, 60, 80 และ 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบการการอบแห้งใช้คลื่นไมโครเวฟ ที่ ระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟ 100 , 400, 1200 และ 4000 วัตต์ โดยทำการศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้ง (อุณหภูมิกับความชื้นภายในเนื้อไม้เทียบกับเวลา) ทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกล และสมรรถนะการดูดซับเสียง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นใช้วัสดุธรรมชาติจากแกนกลางลำต้นปาล์มน้ำมันเพื่อทดแทนวัสดุสังเคราะห์ทั่วไป ซึ่งประกอบไปด้วยใยหิน ใยแก้ว โฟม พลาสติกที่มีความเป็นพิษสูง มีอันตรายและก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ[19] วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การอบแห้งแบบ ลมร้อน และคลื่นไมโครเวฟ กับเงื่อนไขความร้อนต่างๆ เช่นระยะเวลาในการอบแห้ง อุณหภูมิ ลมร้อน ระดับพลังงานของคลื่นไมโครเวฟ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติการดูดซับเสียงของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันที่ทำการทดสอบ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงและค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวนของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน ด้วยเทคโนโลยีการอบแห้งแบบลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1. การเลือกใช้แกนไม้ปาล์มน้ำมันบริเวณแกนลำต้น ที่มีท่อลำเลียง และความหนาแน่นน้อย ซึ่งลักษณะเป็นรูพรุนกระจายภายในเนื้อไม้และมีเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่ม ซึ่งเหมาะสมในการศึกษาเพื่อผลิตเป็นแผ่นดูดซับเสียงค่า ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวน มากกว่า 0.4 ได้
2. กระบวนการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนและระดับพลังงานของคลื่นไมโครเวฟ มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวนและคุณสมบัติต่างๆ เช่น คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกลของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน
3. ลำต้นปาล์มน้ำมันที่ใช้ ได้มาจากส่วนกลางของลำต้น ซึ่งวัดความสูง 2 เมตร จากพื้นดิน เพื่อให้คุณสมบัติต่างๆ ของแผ่นไม้เหมือนกัน

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ลำต้นปาล์มที่นำมาใช้มีอายุ 26 ปี สายพันธุ์ เทเนอร์่า
2. ใช้ลำต้นปาล์มน้ำมัน ส่วนที่วัดความสูงไม่เกิน 2 เมตร จากพื้นดิน
3. แผ่นไม้ทำมาจากแกนกลางลำต้นปาล์มน้ำมันมีขนาด 200 x 200 x 20 ลูกบาศก์มิลลิเมตร
4. แผ่นไม้ปาล์มน้ำมันก่อนทำการอบแห้ง รักษาอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส และความชื้น 350 ± 2.7 % มาตรฐานแห้ง
5. ความชื้นสุดท้ายของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันอยู่ระหว่าง 10 ± 2 เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานแห้ง
6. การอบแห้งแบบ ลมร้อน ได้รับความร้อนจากฮีสเตอร์ขนาด 5,000 วัตต์ และการอบแห้งโดยใช้เครื่องไมโครเวฟ SAMSUNG รุ่น MS103HCE ความถี่ 2.45 GHz ขนาด 1,000 วัตต์ จำนวน 4 เครื่อง
7. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ตามมาตรฐาน (ASTM D2395-14)
8. ทดสอบคุณสมบัติทางกล ตามมาตรฐาน (ASTM D143-14)
9. ทดสอบคุณสมบัติการดูดซับเสียง ตามมาตรฐาน (ASTMC423-09)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษางานวิจัยสำหรับการผลิตแผ่นดูดซับเสียง โดยหาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถดูดซับเสียงได้ของแผ่นไม้ปาเลียมน้ำมัน เช่น กระบวนการอบแห้ง ซึ่งส่งผลต่อ ค่าความหนาแน่น ความพรุน เป็นต้น
2. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการทำวัสดุดูดซับเสียง กระบวนการอบแห้ง ประเภทต่างๆ ที่ใช้สำหรับอบไม้
3. ทำการแปรรูปลำต้นปาเลียมน้ำมัน โดยตัดตามขวางลำต้น โดยมีความหนา 20 มิลลิเมตร แล้วนำมาต้มเพื่อไล่น้ำตาลประเภทต่างๆ ออกจากเนื้อไม้ และแปรรูปเป็นแผ่นไม้ปาเลียมน้ำมัน
4. กำหนดเงื่อนไขการทดลองของการอบแห้งแบบลมร้อนและแบบไมโครเวฟและทำการทดลองพร้อมบันทึกผลการทดลอง
5. นำผลการวิเคราะห์ที่พิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติและงานประชุมวิชาการนานาชาติเพื่อยืนยันความถูกต้องของงานวิจัย
6. วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อสร้างความเชื่อมโยงกับองค์ความรู้ทางทฤษฎี รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 7.. สรุปผลการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการทำวัสดุดูดซับเสียงจากแผ่นไม้ปาเลียมน้ำมัน
2. สามารถทราบถึงคุณลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของไม้ปาเลียมน้ำมันที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อนและแบบคลื่นไมโครเวฟ
3. พัฒนาเครื่องอบแผ่นไม้ปาเลียมด้วยลมร้อนและไมโครเวฟ
4. เป็นประโยชน์ในด้านวิชาการในการศึกษากระบวนการอบแห้งที่มีผลต่อแผ่นดูดซับเสียงดูดซับเสียง

บทที่ 2

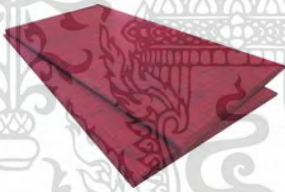

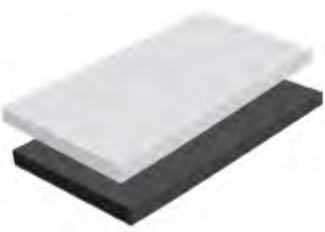
วรรณกรรมปริทัศน์

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการพัฒนาคุณสมบัติด้านการดูดซับเสียงของแผ่นไม้ปาเลมน้ำมันด้วยกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อนเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งแบบคลื่นไมโครเวฟ โดยศึกษาลักษณะเกี่ยวของกับแผ่นดูดซับเสียงในปัจจุบัน กายภาพของปาเลมน้ำมันและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเกี่ยวข้องกับแผ่นดูดซับเสียงในปัจจุบัน

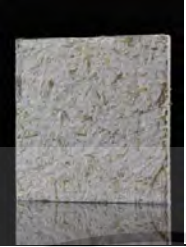



จากการศึกษาพบว่าในปัจจุบันการผลิตแผ่นดูดซับเสียง ทำมาจากวัสดุสังเคราะห์หรือวัสดุจากธรรมชาติ เพื่อลดเสียงรบกวน หรือเสียงที่ไม่พึงปรารถนา จากตารางที่ 2.1-2.3 แสดงข้อมูลแผ่นหรือวัสดุดูดซับเสียง

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลแผ่นดูดซับเสียง

ลำดับ	บริษัทหรือหน่วยงานวิจัยของแผ่นดูดซับเสียง	วัสดุ	ความหนา (มม.)	ค่า NRC
1	ผลิตภัณฑ์ดูดซับเสียง ArtKUSTEG รุ่น ENZON ของ SCG 	เส้นใย Polyester 100%	25	0.65
2	แผ่นฝ้าเพดานตกแต่ง Ecophon Focus A 	Inorganic Wool	50	0.85
3	แผ่นฝ้าอะคูสติค Cylence รุ่น ZofTone ของ SCG 	แผ่นฉนวนกลาสวูล (glasswool)	25	0.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลแผ่นดูดซับเสียง (ต่อ)

ลำดับ	บริษัทหรือหน่วยงานวิจัยของแผ่นดูดซับเสียง	วัสดุ	ความหนา (มม.)	ค่า NRC
4	แผ่น Green insulation ของ GANFAI 	ฟางข้าว และเศษกระดาษ	25	0.75
5	แผ่นบุผนังจากขี้ข้าวโพด/มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 	ขี้ข้าวโพดหยาบ	20	0.37
6	แผ่นดูดซับเสียงกาบมะพร้าวผสมซีเมนต์/มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 	กาบมะพร้าวผสมซีเมนต์	25	0.40
7	อิฐบล็อกผนังดูดซับเสียง/มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 	ฉุ่ซีเมนต์ผสมคอนกรีต	140	0.094

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับเสียงและค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียงของวัสดุ

วัสดุ	ค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับเสียง, ที่ความถี่ (Hz)						NRC
	125	250	500	1000	2000	4000	
อิฐ							
• Brick unglazed, bare	.03	.03	.03	.04	.05	.07	.05
• Brick unglazed, painted	.01	.01	.02	.02	.02	.03	.00
พรม							
• Carpet, 1/8" Pile Height	.05	.05	.01	.02	.03	.04	.15
• Carpet, 1/4" Pile Height	.05	.10	.10	.30	.40	.50	.25
• Carpet, 3/16" combined Pile&Foam	.05	.15	.30	.40	.50	.60	.35

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับเสียงและค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียงของวัสดุ (ต่อ)

วัสดุ	ค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับเสียง, ที่ความถี่ (Hz)						NRC	
	125	250	500	1000	2000	4000		
ผ้า	• Fabric, light velour, 10 oz/sqyd, hung straight in contact with wall	.03	.04	.04	.17	.24	.35	.15
	• Fabric, medium velour, 14 oz/sqyd, draped to half coverage	.07	.31	.31	.75	.70	.60	.55
	• Fabric, heavy velour, 18 oz/sqyd, draped to half coverage	.14	.35	.35	.72	.70	.65	.60
ยิปซัม	• Gypsum board, 1/2" nailed to 2x4's 16" o.c.painted	.10	.08	.05	.03	.03	.03	.05
	• กระเบื้องหินอ่อน หรือกระเบื้องเคลือบ Marble or Glazed Tile	.01	.01	.01	.01	.02	.02	.00

ตารางที่ 2.3 การจำแนกชนิดของวัสดุป้องกันเสียงจากค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง [19]

ประสิทธิภาพการดูดกลืนเสียง	NRC	วัสดุชนิดต่าง ๆ
มีประสิทธิภาพการดูดซับเสียงสูง	1.0	
	0.9	วัสดุที่ได้รับการออกแบบพิเศษ ให้มีความสามารถในการดูดซับเสียงสูง
	0.8	
	0.7	
	0.6	ฝ้าเพดานที่มีความพรุนสูง
	0.5	ม่านหนา เบาะหุ้มเก้าอี้
	0.4	
มีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง ปานกลาง	0.3	พื้นดินที่เรียบ
	0.2	พรมหนาบนพื้นคอนกรีต
สะท้อนเสียง	0.1	พรมที่มีน้ำหนักเบา ต้นไม้ ม่านบาง
	0	หน้าต่างกระจก ปูนพลาสเตอร์ แผ่นยิปซัม บอร์ด คอนกรีตฉาบเรียบ อิฐเคลือบสี หินอ่อน กระเบื้องแก้วผิวน้ำ

2.2 ลักษณะกายภาพของปาล์มน้ำมัน

1. ลำต้นปาล์มน้ำมัน

ลำต้นปาล์มน้ำมันมีหน้าที่เป็นแกนช่วยพยุงส่วนอื่นๆ ช่วยสะสมและลำเลียงน้ำกับอาหารไปยังส่วนต่างๆ ลักษณะลำต้นปาล์มน้ำมันเป็นลำต้นเดี่ยว ตั้งตรง ไม่มีกิ่งแขนงมีรูปร่างทรงกระบอก มีตายอดอยู่ตรงปลายสุดของลำต้นซึ่งเป็นจุดกำเนิดของใบ ลำต้นประกอบขึ้นจากเนื้อเยื่อเส้นใย มีข้อและปล้องที่ถี่มาก ลำต้นของปาล์มน้ำมันเรียกว่า (bole) กว่าที่จะปรากฏให้เห็นก็กินเวลา 2-3 ปี แรก หลังจากปลูก ต้นปาล์มน้ำมันจะพัฒนาทางด้านกว้างโดยลำต้นจะขยายส่วนฐานให้ใหญ่ขึ้น ในระยะนี้จะสังเกตเห็นทางใบอยู่ติดลำต้นมากกว่า 40 ทางใบ พอหลังจากต้นปาล์มน้ำมันอายุ 3 ปีขึ้นไป ปล้องของลำต้นจะยึดตัวมากขึ้น และทำให้การเจริญเติบโตทางด้านกว้างหยุดไปหรือมีน้อยมาก เพราะไม่มีเนื้อเยื่อเจริญในระบบท่อน้ำท่ออาหารเช่นเดียวกับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่วไป ในช่วงแรกก่อนที่จะมีการยึดตัวของปล้องเป็นไปทางด้านกว้างมากกว่าด้านสูง ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อเจริญที่ฐานของฐานใบ (primary thickening meristem) ซึ่งมีการแบ่งตัวอยู่ในแนวเฉียง (tangential phase) เมื่อขนาด

เอกสาร์เป็นเนื้อเยื่อที่สร้างเนื้อเยื่อท่อลำเลียงขึ้นเพื่อการลำเลียงน้ำและอาหารให้พืชใบเลี้ยงเดี่ยวขึ้น การที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นโตเต็มที่ 40-60 เซนติเมตร ก็จะมีอายุเจริญเติบโตทางด้านความสูงแทนอย่างรวดเร็วในอัตรา 35-75 เซนติเมตรต่อปี ขึ้นกับสภาพแวดล้อมและพันธุกรรม ปาล์มน้ำมันมีความสูงได้มากกว่า 30 เมตร และมีอายุยืนนานมากกว่า 100 ปี แต่การปลูกปาล์มน้ำมันเป็นการค้า ไม่ควรมีความสูงเกิน 15-18 เมตร ซึ่งมีอายุการเก็บเกี่ยวที่คุ้มค่าประมาณ 25 ปี

2. ลักษณะของไม้ปาล์มน้ำมัน

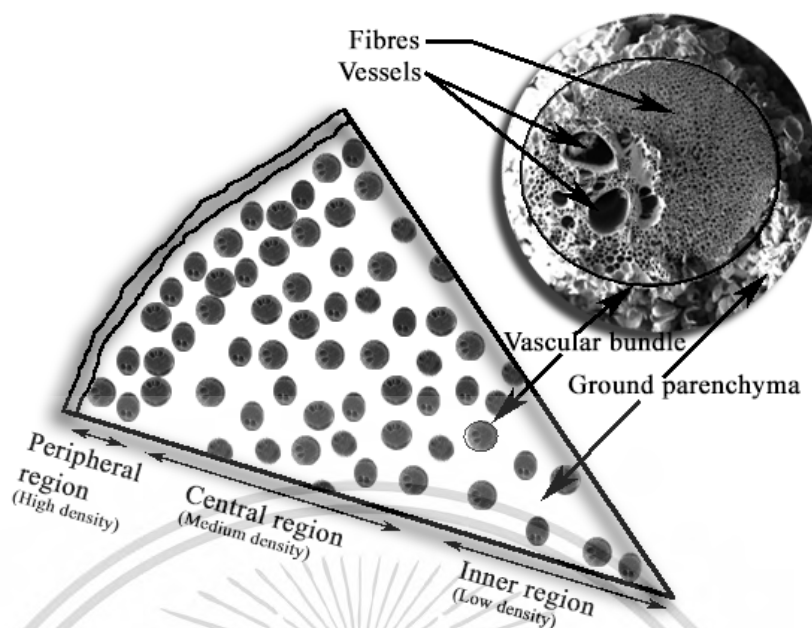
ปาล์มน้ำมันมีการเจริญเติบโตในทางแนวยาวขึ้นเรื่อยๆ การเติบโตทางด้านข้างมีน้อยมาก ลักษณะของเนื้อไม้จะมีมัดท่อลำเลียง (Vascular bundle) จะมีความแข็งแรงและมีสีที่เข้มตามอายุของต้นไม้และบริเวณกระพี้ไม้ (Sapwood) จะมีเนื้อเยื่ออยู่มาก และจำนวนเส้นใยจะค่อยๆ ลดลงจนไปถึงบริเวณไส้ไม้ โดยต้นปาล์มน้ำมันจะมีลำต้นที่ตรงไม่มีการแตกกิ่งไม้ และไม่มีตาไม้

สังเกตนเนื้อไม้จะมีจุดสีน้ำตาลหรือสีดำกระจายอยู่ทั่วอยู่บนผิวไม้ ส่วนประกอบนี้ จะช่วยเสริมลำต้นของต้นปาล์มนั้นให้มีความแข็งแรงขึ้น เรียกว่า มัดท่อลำเลียง (Vascular bundle) จากการสังเกตสีบนตัวอย่างไม้ที่อบแล้ว จุดสีน้ำตาลนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีดำสิ่งนี้ เป็นการบ่งบอกถึงความหนาแน่นของท่อลำเลียงอาหาร มันสามารถบ่งบอกได้ว่าทำไมไม้ปาล์มนั้นถึงได้มี คุณสมบัติทางกลและทางกายภาพที่แตกต่างออกไป เพราะว่าโครงสร้างของไม้ชนิดนี้ ในขณะที่การอบนั้นจะเกิดการรวมตัวกันของ Vascular bundle และ เนื้อเยื่อพาเรงโคมา(Parenchymatous tissues) จากการตรวจสอบหลังการอบนั้น ไม้จะเปลี่ยนรูปไปในลักษณะต่างๆ เช่น การหดตัว การบิด เป็นต้น ท่อนไม้ปาล์มจะแบ่งได้เป็น 3 ส่วนหลักๆ ดังรูปที่ 2.1 คือ เนื้อไม้ด้านใน(inner region) เนื้อไม้ส่วนกลาง(central region) ละเนื้อไม้ส่วนรอบนอก(peripheral region)

จากการศึกษาพบว่าความหนาแน่นของหลอดลำเลียงอาหารต่อพื้นที่บริเวณเนื้อไม้ส่วนรอบนอก(peripheral region) เป็นส่วนที่แข็งที่สุดของท่อนไม้ปาล์ม โดยปกติแล้วส่วนนี้ จะประกอบด้วยไฟเบอร์จำนวนมากในรูปแบบระบบหลอดลำเลียงอาหารที่หนาแน่น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่เสริมให้ตัวลำต้นนั้นมีความแข็งแรงมากขึ้น ในพื้นที่นี้ หลอดลำเลียงอาหารและเนื้อเยื่อพาเรงโคมา นั้นจะแคบกว่าส่วนอื่นๆ ของลำต้นพื้นที่นี้มีความหนาแน่นประมาณ 10-15 มิลลิเมตร. และมีสีเข้มกว่าพื้นที่อื่นๆ ของลำต้น

เนื้อไม้ส่วนกลาง(central region) ในพื้นที่นี้ จะประกอบด้วยหลอดลำเลียงอาหารที่กว้างและใหญ่อยู่เล็กน้อย บริเวณนี้จะกว้างที่สุดเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นๆ อาจจะมีมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อไม้ทั้งหมด หลอดลำเลียงอาหารในพื้นที่นี้ จะอยู่แบบ กระจายกันออกไป

เนื้อไม้ด้านใน(inner region) พื้นที่นี้ จะมีเพียง 20-25 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อไม้ทั้งหมดและจะประกอบด้วย เนื้อเยื่อพาเรงโคมา และความชื้นมากที่สุด หลอดลำเลียงอาหารนั้นมีน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ 2 พื้นที่ก่อนหน้านี้



รูปที่ 2.1 ภาพตัดขวางของปาล์มน้ำมัน

3. คุณสมบัติทางกายภาพของไม้

ไม้ปาล์มน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีความชุ่มชื้นสูง (70% ถึง 80% มาตรฐานเปียก) ที่มีส่วนผสมของ โพลีเซลลูโลส(holocellulose) 65% ถึง 80% และ ลิกนิน(lignin) 18% ถึง 21% [20] โครงสร้างทางกายวิภาคของไม้ปาล์มน้ำมันปาล์ม ประกอบด้วยส่วนที่เป็นไม้เนื้อแข็ง(hardwood) เช่น การรวมกลุ่มของลำเลียงและเซลล์เนื้อเยื่ออ่อน และส่วนที่เป็นไม้เนื้ออ่อน(softwood) เช่น เซลล์ของเส้นใย, tracheids, เส้นเลือดในเส้นเลือดและลำไส้เล็กส่วนปลาย [21]

ลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้ปาล์มน้ำมัน โดยมีย่านมัดท่อลำเลียงเฉลี่ยประมาณ 26 ท่อ ต่อ ตารางเซนติเมตร และเส้นใยมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 30 ไมโครเมตรและความยาว 1.24 มิลลิเมตร [5] ถ้าเรานำลำต้นมาผ่าออกตามขวางจะพบว่าลำต้นของไม้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

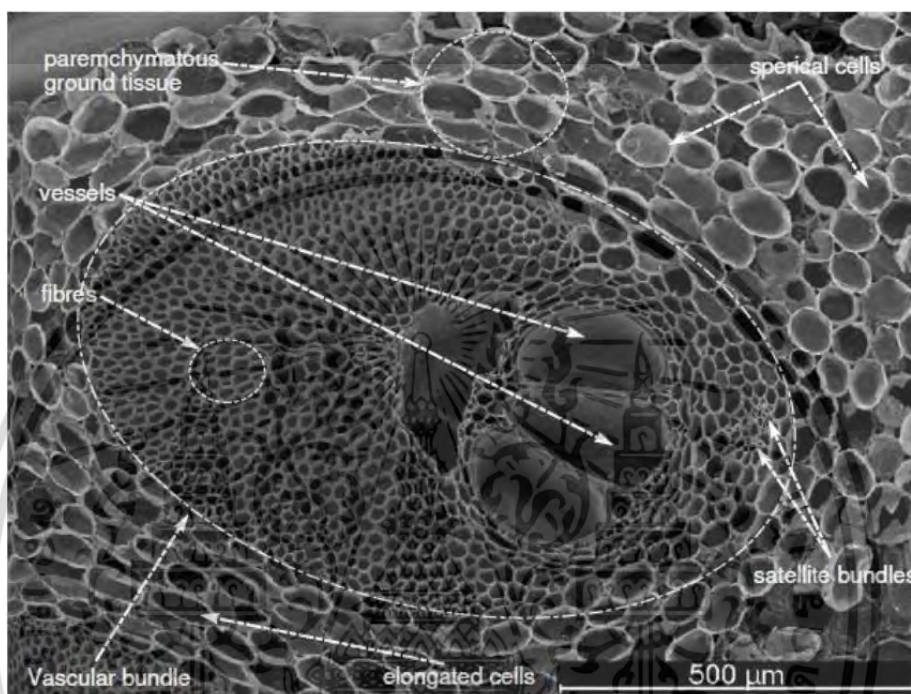
- ใต้ม (Pith) อยู่บริเวณกลางลำต้น มีความแข็งแรงน้อย
- กระจุกไม้ (Sapwood) เป็นส่วนหนึ่งของเซลล์ที่ยังคงทำงานส่งและสะสมอาหาร
- เปลือกไม้ (Bark) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มลำต้นไว้ นำไปใช้เป็นไม้ก่อสร้างไม่ได้

ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ค่าปริมาณความชื้นในไม้คือเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของน้ำเนื้อไม้เมื่อเทียบจากน้ำหนักของไม้แห้งที่อบด้วยเตาอบ การอบไม้ในเตาอบใช้อุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส และใช้เวลาอบ 24 ชั่วโมง เมื่อไม้ถูกทำให้แห้งน้ำที่อยู่ในโพรงของเส้นใยจะระเหยออกก่อน ในขณะที่น้ำซึ่งอยู่ผนังของเส้นใยยังคงอยู่ เมื่อไรก็ตามที่น้ำในโพรงของเส้นใยระเหยออกไปหมดน้ำในผนังของเส้นใยยังคงอึดตัวอยู่ เราเรียกไม้สภาพนี้ว่า มีความชื้นที่จุดเส้นใยอึดตัว (Fiber Saturation Point) ซึ่งมีความชื้นประมาณ 30% ไม้ที่นำมาใช้งานจะดูหรือคายความชื้นจากบรรยากาศรอบตัว จนกระทั่งไม้มีความชื้นได้สมดุลกับความชื้นในอากาศ เราเรียกไม้ในสภาพนี้ว่า มีความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content)

น้ำหนักและความถ่วงจำเพาะ (Weight and Specific Gravity) ไม้ซึ่งมีน้ำหนักมาก และมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง จะทำให้รับแรงได้สูงกว่าไม้ซึ่งมีน้ำหนักน้อยและความถ่วงจำเพาะต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหดตัว (Shrinkage) ไม้จะมีการหดตัวเมื่อสูญเสียความชื้น ในทางตรงกันข้ามไม้แห้งจะมีการขยายตัวเมื่อเปียกน้ำหรือดูดความชื้นจากบรรยากาศ การหดตัวจะเกิดเฉพาะทางด้านตั้งฉากกับเส้นไม้หรือด้านกว้างและด้านหน้า ส่วนการหดตัวขนานกับเส้นไม้หรือด้านยาวของไม้จะมีค่าน้อยมาก การหดตัวและการขยายตัวมีผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลของไม้ ไม้จะหดตัวเมื่อค่าความชื้นในไม้มีค่าอยู่ระหว่างศูนย์กับค่าความชื้นที่จุดเส้นไม้อิมมัตว์ อัตราการหดตัวของไม้จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับอัตราการสูญเสียความชื้นไม้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของหลอดเลือดอาหารแสดงให้เห็นการจัดตัวของเนื้อเยื่อ [5]

จากรูปที่ 2.2 เป็นการการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscopy : SEM) จะแสดงให้เห็นเนื้อเยื่อพาเรงโคมา ท่อลำเลียง (Vessels) และ เส้นใย(Fibers) ซึ่งแต่ละอย่างละชนิดจะมีหน้าที่แตกต่างกันเช่น เนื้อเยื่อพาเรงโคมา จะเป็นเนื้อเยื่อเจริญซึ่งใน ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เก็บอาหารและแบ่งภายในเซลล์ ส่วนท่อลำเลียงจะมีโครงสร้างเป็นท่อวงรีขนาดใหญ่ซึ่งมีความแข็งแรงมากทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและอาหารไปเลี้ยงลำต้นและส่วนอื่นๆ ของต้นปาล์ม และ เส้นใย (Fibers) จะเป็นส่วนที่สร้างความแข็งแรงให้แก่ลำต้นโดยจะมีการจัดเรียงตัวเป็นเส้นใยถักทอกันในส่วนของไฟเบอร์นี้ จะมีความแข็งแรงประมาณหนึ่งแต่น้อยกว่าท่อลำเลียง พื้นที่ว่างที่ใกล้ท่ออาหารขนาดใหญ่ 3 ท่อนั้น เรียกว่า โฟเลมเซลล์ (Phloem cell) จากโครงสร้างดังกล่าวจะพบว่า มัดท่อลำเลียง(Vascular Bundle) จะถูกล้อมรอบด้วยเนื้อเยื่อพาเรงโคมา(Parenchymatous) ซึ่งลักษณะเช่นนี้ จะไม่พบในไม้พวกใบเลี้ยงคู่ ซึ่งเป็นส่วนที่พัฒนามาจาก Secondary xylem และเนื้อเยื่อของต้นปาล์มโดยทั่วไปจะมีลักษณะ 3 แบบคือ เนื้อเยื่อทรงกลม, เนื้อเยื่อแบบเหลี่ยม และเนื้อเยื่อแบบยาว[22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 งานวิจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2016 Changjie Chen, และคณะ [1] ศึกษา “Windmill palm fiber/polyvinyl alcohol coated nonwoven mats with sound absorption characteristics” โดยใช้เส้นใยปาล์ม และเส้นใยทะเลของ Windmill palm โดยใช้เปลือกที่มีลักษณะเป็นตาข่าย เพื่อผลิตเส้นใยปาล์ม ในการทำแผ่นอะคูสติก โดยใช้วัสดุและผสมกรด ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพลี ไวนิล แอลกอฮอล์ โดยหาค่า ความหนาและความหนาแน่นของพื้นผิววัสดุและความเข้มข้นของ PVA ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงจะถูกวัดด้วย โดยแผ่นอะคูสติกจากเส้นใยปาล์ม และเส้นใยทะเล มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงเท่ากับ 0.38 เมื่อความเข้มข้นของ PVA เท่ากับ 1% โดยน้ำหนัก.

ในปี 2015 Shafizah Sa'adon, Anika Zafiah M. Rus [2] ศึกษา “Utilization of oil palm trunk (*elaeis guineensis*) as foam composite for sound absorption” โดยใช้ปาล์ม น้ำมันทำหน้าที่เป็นตัวเติมสำหรับพอลิเมอร์โฟมคอมโพสิตได้รับการตรวจสอบและพิสูจน์แล้วว่ามี ความสามารถในการดูดซับเสียง ในการศึกษานี้ได้ทดลองทั้งแบบที่ไม่ผ่านการย่อยด้วยกรดและผ่านการย่อยด้วยกรดที่ชื่อว่า UP5 และ TP5 เป็นสารตัวเติม การศึกษานี้ได้ทำการพัฒนาขึ้นเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเสียงตามองค์ประกอบของสารตัวเติมในพอลิเมอร์โฟมคอมโพสิต โดยการเลือกขนาด $<500 \mu\text{m}$ เลือกสามเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกันคือ 10%, 15% และ 20% สำหรับทั้งสองเงื่อนไข ตัวอย่างเหล่านี้ได้รับการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงโดยใช้ทดสอบแบบอิมพีแดนซ์หลอดตาม ASTM E-1050 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงการวัดค่า α และการสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) เพื่อตรวจสอบความพรุนของแต่ละตัวอย่าง การเติมฟิลเลอร์ของ UP5 20% ให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงสูงสุดที่ 0.97 ที่ 4728 Hz ขณะที่ของ TP5 20% มีค่า 0.99 ที่ 3371 Hz เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง สำหรับวัสดุคอมโพสิตโพลีเมอร์โพลีเมอร์ TP5 มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงกว่า ในระดับความถี่ต่ำ (Hz)

ในปี 2000 A.Oloyede, P.Groombridge [23] ศึกษา “The Influence of Microwave Heating On The Mechanical Properties of Wood” โดยการศึกษาจะใช้ไม้นสนคาริเบียนมาใช้ในการอบแห้ง โดยจะอบแห้ง 3 แบบคือ อบแห้งด้วยอากาศ อบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน และอบแห้งด้วยไมโครเวฟ การอบแห้งด้วยอากาศนั้นจะต้องเตรียมตัวอย่างไม้วางเป็นชั้นๆสูงประมาณ 1.5 เมตร จากพื้น จะชั่งน้ำหนักทุก 24 ชั่วโมง จนกระทั่งได้ความ ชื้นภายในตามต้องการ การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน จะอบให้มีความชื้น 12- 20% โดยใช้อุณหภูมิ 50, 103 องศาเซลเซียส จะเปิดช่วงระบายอากาศเพื่อช่วยในการไหลของอากาศและช่วยระเหยความชื้นออกจากเตาอบโดยอุณหภูมิเริ่มต้นของเตาอบ 20 องศาเซลเซียส การอบแห้งด้วยไมโครเวฟจะอบให้มีความชื้น 12- 20% โดยใช้ไมโครเวฟที่มีช่องแมกนีตรอน 2 ช่อง เตาอบมีกำลังสูงสุด 1.6 kW ทดลองโดยใช้กำลังในการอบ 50% และ 100% โดยขึ้นไม้จะให้ความร้อนเป็นเวลา 30 วินาที และจะถูกวางให้เย็น 3 นาที ที่อุณหภูมิ ห้องก่อนจะถูกนำไปให้ความร้อนอีก 30 วินาที จนกว่าจะเหลือความชื้นที่ต้องการ โดยไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอบแล้วจะนำไปทดลองรับโหลดแรงดึงเพื่อหาคุณสมบัติทางกลซึ่งพบว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟระยะ เวลาในการอบจะสั้นกว่าการอบด้วยวิธีอื่นๆแต่ทำให้ความแข็งแรงลดลง 60%

ในปี 2007 จรูญ เจริญเนตรกุล และ อัมพร หมัดแสละ [24] ศึกษา “การนำไม้ปาล์มน้ำมัน มาใช้ในงานวิศวกรรม” โดยการศึกษาการนำไม้ปาล์มน้ำมันมาใช้งานวิศวกรรมเพื่อเป็นการนำไม้ปาล์มน้ำมันมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ แล้วนำผลการทดสอบเอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิสาทรสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เหมื่อนุญาตให้เนาไปใช้ประโยชน์ตามการคาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการนำไม้ปาล์มน้ำมันมาทดลองออกแบบสร้างเป็นชิ้นงานที่ได้จากไม้ปาล์มน้ำมัน จากการศึกษาพบว่าไม้ปาล์มน้ำมันไม่เหมาะที่จะนำมาเป็นโครงสร้างหลักของอาคารแต่มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาเป็นส่วนประกอบของอาคารที่ไม่ใช่โครงสร้างหลักเช่น พื้นไม้รวกันตก และจากการทดลองออกแบบแล้วสร้างชิ้นงานเป็นโคมไฟประดับบ้านเรือน และแจกันพบว่าสามารถสร้างเป็นชิ้นงานที่มีความสวยงาม ด้วยเหตุผลคือคุณสมบัติของไม้ปาล์มที่มีปริมาณเพียงพอมีลวดลายของเนื้อไม้สวยงาม มีความแข็งแรง สามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรเครื่องมือได้

ในปี 2010 H.P.S. Abdul Khalil et al. [25] ศึกษา “Optimization of bioresource material from oil palm trunk core drying using microwave radiation; a response surface methodology application” ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพจากการอบไม้ปาล์มน้ำมันโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ โดยมีเงื่อนไขในการอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อหลีกเลี่ยงการเผาไหม้ และการหดตัว มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการอบไม้ปาล์มน้ำมัน ชุดของการทดลองได้รับการออกแบบโดยใช้วิธีการศึกษาพื้นผิวตอบสนอง เพื่อประเมินผลทางสถิติ มีสามตัวแปรในกระบวนการรวมคือ เวลา (2-10 min), ตัวอย่างน้ำหนัก (300-1000 g) และพลังงาน (660-3300 W) ศึกษาภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และได้รับการออกแบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบซอฟต์แวร์ ผลการศึกษาพบประสิทธิภาพของการอบแห้งโดยคลื่นไมโครเวฟในการลดเวลาและการกำจัดความชื้นที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการอบด้วยเตาอบแห้งที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 2.3 ไม้ปาล์มน้ำมัน a.ไม้สดก่อนอบ b.ไม้ไหม้หลังการอบ c.ไม้บดและหดตัวหลังการอบ d.ไม้แห้งสภาพดีหลังการอบ

ปี 2009 Vongpradubchai, S. [26] ศึกษา “กระบวนการอบแห้งไม้ด้วยเครื่องไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง” ช่องของเครื่องอบไมโครเวฟมีลักษณะเป็น 4 เหลี่ยม มีขนาดด้านตัดขวาง 94 X47 เซนติเมตร เครื่องไมโครเวฟถูกตั้งค่าความถี่ไว้ที่ 2.45 จิกะเฮิร์ต และทำงานที่อุณหภูมิสูงสุด คือ 200 องศาเซลเซียส กำลังไมโครเวฟอยู่ที่ 11.2 กิโลวัตต์ ในความถี่ 2.45 จิกะเฮิร์ต พลังงานที่ถูกป้อนเข้าไป คือ 800 วัตต์ ขณะการอบสายพานจะเลื่อนไม้เข้าไปในเตาอบด้วยความเร็ว 2 เมตรต่อนาที และสามารถปรับได้ที่แผงควบคุม การรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟถูกป้องกันโดยการสะท้อนกลับของแผงตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรองและการดูดซึมโดยแถบดูดซึมคลื่นไมโครเวฟ ในทางเข้าและออก การรั่วไหลของไมโครเวฟถูกควบคุมภายใต้ DHHS (สหรัฐอเมริกากรมอนามัยและมนุษย์บริการ) ที่ 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และใช้อินฟราเรดในการตรวจสอบอุณหภูมิ (ความแม่นยำ ± 0.5 องศาเซลเซียส) ตัวอย่างไม้ที่เลือกใช้มีขนาด 3X3X3 เซนติเมตร มีความชื้นเริ่มต้น 80 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง และอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 28 องศาเซลเซียสการทดสอบคุณสมบัติทางกลของไม้ก่อนอบโดยการตัด และยึดมาตรฐานตาม BSI ของ London ในขณะที่ 15 ตัวอย่างถูกอบ ไม้พวกนั้นจะถูกชั่งน้ำหนักก่อนและหลังอบ แล้วถูกลำเลียงเข้าสู่ การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟร่วมกันในขณะที่อบ คลื่นไมโครเวฟจะทำการเจาะทะลุเพื่อเพิ่มความร้อนและให้น้ำกระจายตัวออกมาสู่ผิวไม้ ความชื้นในอากาศจะถูกดูดออกจากระบบ suction และใช้กล้อง infrared ในการตรวจสอบอุณหภูมิของไม้ในเวลาต่างๆที่กำหนดไว้หลังจากอบเสร็จแล้วก็หาความชื้นที่สูญเสีย และนำตัวอย่าง 3 ชิ้นไปทดสอบการตัด และ นำอีก 15 ตัวอย่างหลังจากการตัดไปห่อพลาสติกทันที และทิ้งไว้ 1 วัน หลังจากนั้นนำไปอบกับเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสแล้วนำมาทดสอบแรงตัด แล้วนำ 15 ตัวอย่างของ ทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบกัน

ปี 2016 Daungvilailux, P. [27] ศึกษา “การศึกษาไมโครเวฟและเครื่องลมร้อนที่มีต่อสมบัติเชิงกลของไม้ปาล์มน้ำมัน” ในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์จากไม้ปาล์มน้ำมัน โดยงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาการอบแห้งด้วยไม้ปาล์มน้ำมัน โดยใช้ห้องอบที่มีเงื่อนไขการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟผสมอากาศร้อน ห้องอบแห้งมีขนาด 1000 x 1000 สูง 500 มิลลิเมตร ทำจากสแตนเลส 316 โดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟจำนวน 4 ตัว สามารถปรับระดับพลังงาน 100-4000 วัตต์ การเตรียมไม้ปาล์มน้ำมันนำไม้จากลำต้นที่ความสูงไม่เกิน 3 เมตร มีอายุ 25 ปี แปรรูปมีขนาด 5 x 250 หนา 2.5 เซนติเมตร ไม้ปาล์มสดมีความชื้นเริ่มต้น 297 % มาตรฐานแห้ง ทำการอบแห้งไม้ปาล์มน้ำมันให้เหลือความชื้นสมดุลของไม้ปาล์มน้ำมันระหว่าง 8 ถึง 12% มาตรฐานแห้ง การศึกษาเป็นวิธีการทดลอง 3 วิธีคือ การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ปรับระดับพลังงาน 1200, 1,600 และ 2000 วัตต์ อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 65 และ 95 องศาเซลเซียส และระบบผสมผสานของระดับพลังงานไมโครเวฟคงที่ 1600 วัตต์ ร่วมกับอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 65 และ 95 องศาเซลเซียส ผลการอบแห้งไมโครเวฟ 1600 วัตต์ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้ง 1,200 นาที โดยมีอุณหภูมิที่ผิวสูงสุด 59.35 องศาเซลเซียส ซึ่งมีสมบัติทางกลของการบีบอัดขนานกับเส้น ค่าความต้านทานแรงเฉือน แรงตัด(โมดูลัสแตกกร้าว(MOR) และ โมดูลัสยืดหยุ่น(MOE)) มีค่าเท่ากับ 17.01, 0.5437, 34.18 และ 3437.56 เมกะปาสคาล ตามลำดับ จากเงื่อนไขการอบแห้งดังกล่าว ไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบนี้เกิดการบิดและหดตัวน้อยลง คุณสมบัติไม้สามารถนำมาใช้สำหรับตกแต่งภายในหรือประเภทของเฟอร์นิเจอร์

ปี 2015 Srivaro, S. และคณะ [28] ศึกษาการโค้งงอของความล้าและความแข็งแรงของแกนไม้ปาล์มน้ำมันแผ่นประกบ วางซ้อนกับแผ่นไม้อัดยางพาราภายใต้จุดศูนย์กลางการอัด พารามิเตอร์รวมไปถึงความหนาแน่นและทิศทางการวางของลายไม้ในแกนไม้ปาล์มน้ำมัน ความหนาไม้อัดยางพาราและมีการตรวจสอบระยะความยาว มีการประเมินผลการทดลองของสมบัติทางกลบางส่วนของไม้ปาล์มน้ำมัน และความล้าของการตัด และความแข็งแรงของคานแบบประกบ ทฤษฎีคานยึดหยุ่นแบบเส้นตรงถูกนำมาใช้ในการคาดเดาประสิทธิภาพการโค้งงอ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าทฤษฎีคานยึดหยุ่นแบบเส้นตรงด้วยการใช้ทฤษฎีพลังงานของยังมอดูลัสและความแข็งแรงของการตัดในไม้ปาล์มน้ำมัน เช่น ฟังก์ชันของความหนาแน่นที่นำมาศึกษานี้ มีความเพียงพอกับความล้า และความแข็งแรงของการตัดในคานแบบประกบ ทำให้แกนไม้ปาล์มน้ำมันมีความหนาแน่นและความแข็งแรงสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเสียหายจากผิวหน้าที่มีรอยแตกและแรงเฉือนหลัก มีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นที่แกนของไม้ปาล์ม น้ำมันที่มีความหนาแน่นต่ำ แผ่นไม้อัดที่มีความหนาสัมพัทธ์และระยะสั้น ทำให้ทิศทางการวางลายไม้ของแกนไม้ปาล์มน้ำมัน ได้รับอิทธิพลจากความล้า และความแข็งแรงมีเพียงเล็กน้อยของแผ่นประกบสุดท้ายนี้ ความแข็งแรงและความเสียหายของแกนไม้ปาล์มน้ำมันแผ่นประกบ มีการประยุกต์ใช้กับสมการสำหรับการใช้งานได้จริงของผลิตภัณฑ์นี้

ปี 2016 Kerdongmee, P. และคณะ [3] การตรวจสอบการดูดซับเสียงของแผ่นลำต้นปาล์ม น้ำมันโดยใช้หลอด อิมพีแดนซ์ชนิดหนึ่งไมโครโฟน โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของลำต้นปาล์มน้ำมันถูกสำรวจด้วย หลอดอิมพีแดนซ์ ตัวอย่างปาล์มถูกนำมาจากส่วนกลางของปาล์มน้ำมัน โดยตัดลำต้นทิศทางการตัดขนานและตั้งฉากกับชุดท่อลำเสียง การดูดซับเสียงได้รับการประเมินสำหรับแผ่นปาล์มน้ำมันที่มีการเจาะรูหลายขนาดและความลึกเช่นเดียวกับแผ่นเจาะและเจาะร่อง ทำให้แผ่นที่มีรูพรุนในระยะทางที่แตกต่างกัน ทำการวัดการดูดกลืนเสียงภายในช่วงความถี่ 300-2000 เฮิร์ตซ์ แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของการตัดขวางของแผ่นไม้ที่ได้มีค่า ~ 0.15 แผงขนานมีค่าน้อยมากได้ค่า ~ 0.10 ตัวอย่างที่มีความลึกแตกต่างกันของค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงเทียบกับแผ่นตัดขวางที่ไม่แปรรูป มีการปรับปรุงโดยเจาะรูที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-มิลลิเมตร ที่ความลึก 10 มม. มีค่ามากกว่าประมาณ 25% เมื่อเทียบกับความลึกที่ 5 มม. สำหรับแผ่นที่เจาะทะลุรวมกับการเจาะร่อง มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน $\sim 80\%$ ของการดูดซับเสียงที่ 1750-2000 เฮิร์ตซ์ สุดท้ายนี้แผ่นจะถูกเจาะให้เป็นช่องอากาศมีขนาด 2, 4 และ 6 มิลลิเมตร จากนั้นวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงมากกว่า 80% ใกล้เคียงความถี่เรโซแนนซ์ตามที่คำนวณโดยใช้รูปแบบการกระจาย Helmholtz resonator

ปี 2017 Cristina C. Ferrández-García และคณะ [4] ศึกษา “Acoustic and thermal evaluation of palm panels as building material” โดยหาสมบัติของเสียงและสมบัติทางความร้อน โดยทำจากต้นปาล์ม โดยย่อยเส้นใยให้มีขนาดที่แตกต่างกัน 3 ช่วง (0.25 ถึง 1.00 มม., 1.00 ถึง 2.00 มม. และ 2.00 ถึง 4.00 มม.) จากนั้นมาผสมยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน 8% โดยใช้แผ่นอัดร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที ที่ความดัน 1.6 MPa ขนาดที่แตกต่างกัน 3 ช่วง โดยมีค่าเฉลี่ยการนำความร้อนของเท่ากับ $0.062 \text{ W / (K}\cdot\text{m)}$ และไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ที่ความถี่ 125 และ 250 Hz แผงทดลองถูกจัดเป็นแผ่นอะคูสติกระดับ D โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงเท่ากับ 0.14

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าสามารถผลิตแผ่นดูดซับเสียงจากธรรมชาติได้ โดยหาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติด้านการดูดซับเสียง ซึ่งวิทยานิพนธ์เรื่องนี้จะทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับเสียงด้วยกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อนเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งแบบคลื่นไมโครเวฟ โดยพบว่ามีการวิจัยหลายเรื่องทีผลิตแผ่นดูดซับเสียงจากลำต้นปาล์ม โครงสร้างภายในของลำต้นปาล์มมีความอ่อนนุ่ม มีเส้นใยสูง มีท่อลำเสียงเป็นลักษณะรูพรุน ซึ่งน่าจะเหมาะสมในการผลิตแผ่นดูดซับเสียงจาก [2] โดยศึกษาลักษณะกายภาพภายนอกและภายในแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันและจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ายังไม่มีการศึกษาผลของการอบแห้งแผ่นไม้จากแกนกลางปาล์ม น้ำมันที่มีผลต่อค่าการดูดซับเสียงและค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับเสียงจากแกนกลางลำต้นปาล์มน้ำมันให้มีประสิทธิภาพสูง ภายใต้เงื่อนไขในการดำเนินการกระบวนการอบแห้ง เช่น ทฤษฎีของเสียงและการดูดซับเสียง ทฤษฎีกระบวนการอบแห้งของลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ คุณสมบัติของไม้ เป็นต้น

3.1 เสียง(Sound)

คลื่นเสียงเป็นคลื่นกลตามยาวซึ่งเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงโดยการเคลื่อนที่ของเสียงจากตัวก่อกำเนิดเสียงต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานการสั่นจากตัวก่อกำเนิดเสียงนั้นไปยังที่ต่างๆ หูของมนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่มีความถี่ระหว่าง 20 -20,000 เฮิรตซ์ คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ เรียกว่า อินฟราโซนิก (infrasonic) คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์ เรียกว่า อัลตราโซนิก (ultrasonic) ซึ่งเสียงนี้มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ การสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด ขณะที่คลื่นเสียงแผ่ไปในตัวกลาง เช่น อากาศนั้นก็เกิดบริเวณที่มีการอัด (compression) ซึ่งจะมีความหนาแน่นมากและการขยายตัว (expansion) ซึ่งจะมีความหนาแน่นน้อย โมเลกุลอากาศสลับกันไปอย่างกลมกลืนและมีระเบียบตามทิศทางการแผ่ของคลื่นเสียง

ในรูปของความดัน ขณะปกติ(ไม่มีเสียง) ตัวกลางคืออากาศมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศปกติ อากาศมีความหนาแน่น ในคลื่นเสียงที่มีความหนาแน่นสูงและต่ำ ทำให้ตัวกลางมีความดันสูงและต่ำตามไปด้วย คลื่นเสียงจะมีความดันตามสมการ 3.1

$$P_0 = P_a \sin(\omega t + \phi) \quad (3.1)$$

เมื่อ P_0 คือความดันคงที่ของอากาศปกติ

P_a คือแอมพลิจูดทางความดัน (pressure amplitude) ของคลื่นเสียง

ϕ คือค่าคงที่ทางเฟส ซึ่งขึ้นกับการเริ่มพิจารณาที่เวลาใด

คลื่นของการกระจัดและคลื่นของความดันมีเฟสต่างกัน 90° หรือ $\pi/2$ เรเดียน นั่นคือแอมพลิจูดการกระจัดจะเป็นบัพความดัน บัพการกระจัดจะเป็นแอมพลิจูดความดัน

คลื่นเสียงเป็นคลื่นความดัน ความดันนี้หมายถึงความดันที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าความดันปกติ เมื่อคลื่นเสียงแผ่ไปในอากาศจะทำให้ความดันเปลี่ยนแปลงแล้วโมเลกุลของอากาศรวมกันและมีผลต่อโมเลกุลข้างเคียง ทำให้โมเลกุลของอากาศสั่นไปสั่นมาพร้อมกับถ่ายโอนพลังงานให้กับโมเลกุลอื่นๆ อย่างต่อเนื่องแล้วกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม คลื่น (WAVE) เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติชนิดหนึ่งซึ่งจะเกิดขึ้นได้ต้องมีแหล่งกำเนิดคลื่นแล้วค่อยแผ่กระจายคลื่นออกจากแหล่งกำเนิดออกไปเป็นวงกว้าง โดยจะมีขนาดลดลงไปเรื่อยๆ ยิ่งห่างจากแหล่งกำเนิดมากขนาดจะยิ่งเล็กลงในที่สุดจะหายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะเฉพาะของเสียง ได้แก่ ความถี่ ความยาวช่วงคลื่น แอมพลิจูด และความเร็ว เสียงแต่ละเสียงมีความแตกต่างกัน เสียงสูงกับเสียงต่ำ, เสียงดังกับเสียงเบา, หรือคุณภาพของเสียงลักษณะต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดเสียง และจำนวนรอบต่อวินาทีของการสั่นสะเทือน

ความถี่เสียง ความถี่เป็นสิ่งสำคัญทำให้เราสามารถแยกแยะได้ว่าเสียงต่างๆ ที่เราได้ยินนั้นคืออะไรและเพราะความหลากหลายของความถี่ที่เกิดขึ้นมา เสียงแต่ละแบบเปรียบได้กับลายนิ้วมือของคนเรานั้นเอง ซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะของมันเองมีหน่วยคือ Hertz (Hz) หรือ รอบต่อวินาที ซึ่งระดับเสียง (pitch) หมายถึง เสียงสูง เสียงต่ำ สิ่งที่ทำให้เสียงแต่ละเสียงสูงต่ำแตกต่างกันนั้น ขึ้นอยู่กับความเร็วในการสั่นสะเทือนของวัตถุ เสียงสูงเกิดจากการสั่นของวัตถุที่รวดเร็วกว่าวัตถุที่สั่นช้า โดยจะมีหน่วยวัดความถี่ของการสั่นสะเทือนต่อวินาที เช่น 60 รอบต่อวินาที, 2,000 รอบต่อวินาที เป็นต้น และนอกจาก วัตถุที่มีความถี่ในการสั่นสะเทือนมากกว่าจะมีเสียงที่สูงกว่า

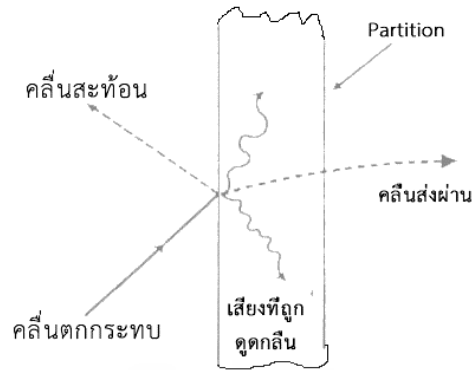
ความยาวช่วงคลื่น (wavelength) หมายถึง ระยะทางระหว่างยอดคลื่นสองยอดที่ติดกันซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการอัดตัวของคลื่นเสียง (คล้ายคลึงกับยอดคลื่นในทะเล) ยิ่งความยาวช่วงคลื่นมีมาก ความถี่ ของเสียง (ระดับเสียง) ยิ่งต่ำลง

แอมพลิจูด (amplitude) หมายถึง ความสูงระหว่างยอดคลื่นและท้องคลื่นของคลื่นเสียง ที่แสดงถึงความเข้มของเสียง (Intensity) หรือความดังของเสียง (Loudness) ยิ่งแอมพลิจูดมีค่ามาก ความเข้มหรือความดังของเสียงก็ยิ่งเพิ่มขึ้น

3.2 วัสดุดูดซับเสียง

วัสดุดูดซับเสียง สามารถดูดซับเสียงได้เนื่องจาก เมื่อเสียงมีการตกกระทบกับวัตถุใดๆ เสียงส่วนหนึ่งจะเกิดการสะท้อน อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน และส่งผ่านเข้าไปในวัตถุทำให้พลังงานลดลง และจะถูกเปลี่ยนเป็นรูปของพลังงานความร้อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ และลักษณะของวัตถุอันนั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.1 [29]

โดยวัสดุที่สามารถดูดซับเสียงได้ดีจะเป็นวัสดุจำพวกเส้นใย (Fibrous) และวัสดุพรุน (Porous) เมื่อเสียงกระทบวัสดุใดๆ เสียงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและส่งผ่านเข้าไปในวัสดุนั้นทั้งนี้จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและคุณลักษณะของวัสดุนั้นเป็นสำคัญ [30] ดัชนีที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงของวัสดุแต่ละชนิด คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficients) คลื่นเสียงที่ผ่านเข้าไปในวัสดุของที่เสียงตกกระทบจะมีพลังงานลดลง เนื่องจากพลังงานส่วนหนึ่งถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานความร้อน โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficients, α)



รูปที่ 3.1 ปรากฏการณ์สะท้อน ดูดกลืน และส่งผ่านเสียงของวัตถุ

โดยค่าความสามารถในการดูดซับเสียง (Sound Absorption) สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 3.2 (ASTM C423-09a)

$$A = 0.9210 \frac{Vd}{c} \quad 3.2$$

เมื่อ A คือ ค่าความสามารถในการดูดซับเสียง, เมตร²
 V คือ ปริมาตรของห้องที่ใช้ในการทดลอง, m³
 d คือ อัตราการสลายตัวของพลังงานเสียง (rate of decay), dB/sec
 c คือ ความเร็วเสียง, m/s สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 3.3

$$c = 20.047 \sqrt{273.15 + t} \quad 3.3$$

เมื่อ t คือ อุณหภูมิ, °C

สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) เป็นค่าของจำนวนเลขที่บอกถึงขีดความสามารถในการดูดซับเสียงของวัตถุ ซึ่งก็คือค่าเฉลี่ยของ SAC นั้นเอง ได้โดยการนำ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ ที่ความถี่ 250 500 1000 และ 2000 เฮิรตซ์ มาทำการเฉลี่ย ดังสมการที่ 3.4

$$NRC = \frac{[\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1,000} + \alpha_{2,000}]}{4} \quad 3.4$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $NRC =$ ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC)

$\alpha_x =$ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ, x หมายถึง ความถี่ที่ 250 500 1000 และ 2000 เฮิรตซ์

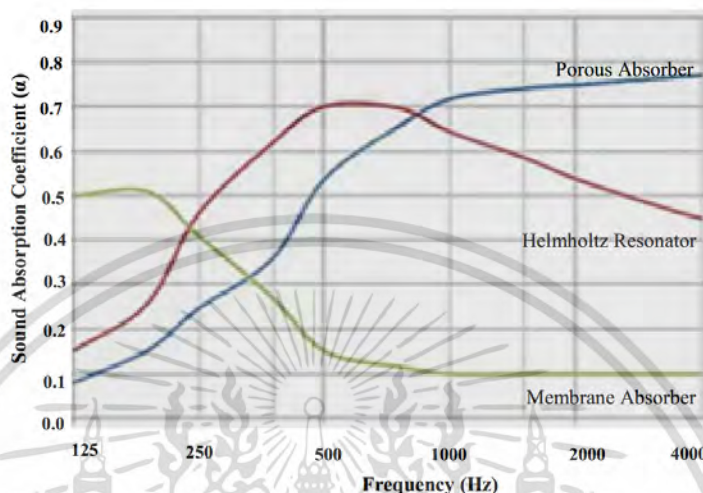
ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง NRC เป็นค่าของจำนวนเลขที่หมายถึงความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุ ถ้ามีค่ามากกว่า 0.4 โดยวัสดุดูดซับเสียงมีองค์ประกอบที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุ ได้แก่ ความหนา ความหนาแน่น ความพรุน ความต้านทานการไหล ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (Coefficient of elasticity) และค่าความต้านทานเสียง (Acoustic impedance) (Acoustic impedance) [31] โดยสามารถจำแนกประเภทของวัสดุดูดซับเสียงออกได้เป็น 3 ประเภทตามกลไกการดูดซับเสียง ได้แก่

1. วัสดุดูดซับเสียงประเภทเมมเบรน (Membrane Absorber) ได้แก่ แผ่นโลหะบาง ไม้อัดพลาสติก กระดาษ ยิปซัมบอร์ด เป็นต้น โดยวัสดุเหล่านี้จะเกิดการสั่นตัวด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของเสียงที่ตกกระทบและเนื่องจากวัสดุเหล่านี้ไม่สามารถยืดหยุ่นได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปเนื่องจากการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นเสียงไปเป็นพลังงานความร้อนให้แก่วัสดุนั้นๆ ซึ่งวัสดุชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงได้ดีที่ความถี่ต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 เนื่องจากที่ความถี่ต่ำพลังงานเสียงจะทำให้เมมเบรนเคลื่อนที่ได้ดีกว่าที่ความถี่สูง ในขณะที่คลื่นความถี่สูงมักจะถูกสะท้อนออกจากเมมเบรน ทำให้มีการสูญเสียพลังงานให้กับเมมเบรนน้อยมากแต่อย่างไรก็ตาม หากนำ วัสดุที่เป็นเมมเบรนมาใช้ร่วมกับวัสดุพรุน ก็จะทำให้สามารถดูดกลืนคลื่นเสียงที่มีช่วงความถี่กว้างได้ดีมากขึ้น นอกจากนี้ค่าความสามารถในการดูดซับเสียงสูงสุดของเมมเบรนยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นเสียงไปเป็นพลังงานความร้อนของวัสดุอีกด้วย กล่าวคือ ถ้าความสามารถในการถ่ายเทพลังงานความร้อนของวัสดุมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับเสียงสูงสุดของเมมเบรนมีค่าลดลง แต่จะครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างมากขึ้น

2. วัสดุดูดซับเสียงประเภทเป็นโพรง/ช่อง (Resonator or Cavity Absorber) หรือ Helmholtz Resonators เป็นวัสดุดูดซับเสียงที่มีลักษณะเป็นช่อง/โพรงที่ขนาดแตกต่างกันในผนังหรือโครงสร้างของวัตถุ โดยถ้าโพรงอากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับความยาวของคลื่นเสียงที่ตกกระทบบนช่องเปิด เรโซเนเตอร์ (Resonator) ก็จะปรับให้มีความจำเพาะกับความถี่นั้น ทำให้การสั่นตัวของปริมาตรอากาศในโพรงอากาศเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่เข้าออกของอากาศผ่านรูเปิดของโพรงอากาศ โดยวัสดุประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 1,000 เฮิรตซ์ โดยจะสามารถดูดซับเสียงได้สูงสุดในช่วงความถี่ 100-300 เฮิรตซ์ และประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น [32] ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3. วัสดุดูดซับเสียงประเภทเส้นใย (Fiber) หรือวัสดุที่มีรูพรุน (Porous or Dissipative Absorber) ซึ่งวัสดุชนิดนี้สามารถหาได้ง่าย ราคาถูกและมีอยู่มากในประเทศไทย อาทิเช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ตัวอย่างเช่น กาบมะพร้าว ฟางข้าว ต้นข้าวโพด [33] โดยวัสดุเหล่านี้จะมีช่องว่างภายใน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ซึ่งต่ำกว่าขนาดความยาวของคลื่นเสียงมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นวัสดุชนิดนี้จึงเป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานได้เป็นอย่างดี โดยกลไกการเปลี่ยนแปลงพลังงานในวัสดุพอร์น คือ เมื่อเสียงตกกระทบบนวัสดุเหล่านี้ โมเลกุลของอากาศจะเกิดการสั่นตัวภายในช่องว่างของวัสดุพอร์น โดยมีความถี่ของการสั่นเท่ากับความถี่ของเสียงที่ตกกระทบ การสั่นตัวของโมเลกุลของอากาศนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเสียดทานและความหนืด (Frictional and Viscous Loss) ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การดูดซับเสียงของวัสดุที่มีกลไกในการดูดซับเสียงแบบต่างๆ [31]

3.3 ทฤษฎีกระบวนการอบแห้ง

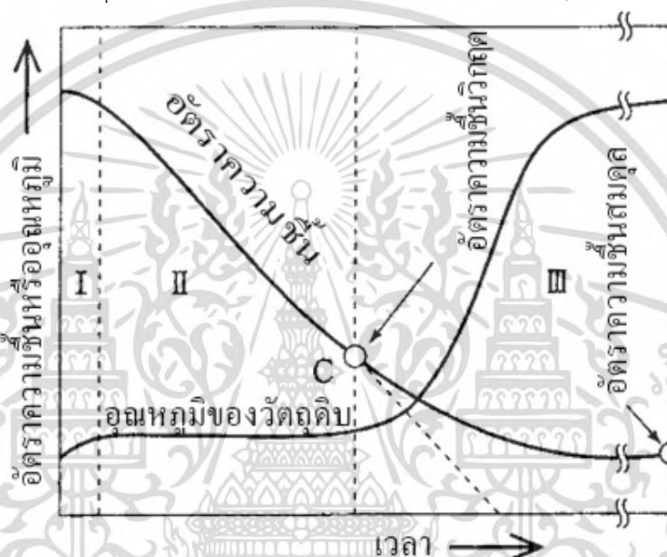
การอบแห้ง คือ กระบวนการไล่ความชื้นหรือลดความชื้นของวัสดุ โดยใช้ความร้อนถ่ายเทไปยังความชื้นของวัสดุด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง เช่น การนำ การพา การแผ่รังสีหรือทั้งสามแบบผสมผสานกัน เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหยน้ำออกจากวัสดุ

1. การอบแห้งไม้แบบลมร้อน

เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังความชื้นของวัสดุ โดยทั่วไปการอบแห้งที่ใช้ อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบพาความร้อน ซึ่งโครงสร้างภายในของวัสดุทางการเกษตรส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นรูพรุน ทำให้มีกระบวนการอบแห้งเกิดขึ้น 2 กระบวนการคือ ช่วง อัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate drying period) และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Drying Period) ในช่วงแรกที่วัสดุมีความชื้นสูงการอบแห้งจะเป็นแบบอัตราการอบแห้งคงที่ ในช่วงนี้ ผิวของวัสดุจะมีน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ ผิววัสดุเท่านั้น อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยความเร็วอากาศ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของ อากาศ ถ้าสภาวะของอากาศคงที่จะทำให้อัตราการอบแห้งมีค่าคงที่ด้วย จนกระทั่งเมื่อวัสดุมีความชื้น ลดลงต่ำกว่าความชื้นวิกฤตจะอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในวัสดุออกมา ที่ผิวของวัสดุในลักษณะของเหลวหรือไอน้ำและน้ำที่ผิว จากนั้นจึงระเหยออกไปยังอากาศ อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุมาอยู่ที่ผิวนอกเรียกสภาวะนี้ ว่า ความชื้นสมดุล [34] ซึ่งช่วงระยะในการอบแห้งจะแสดงในรูปที่ 3.3 ช่วงอุ่นวัตถุดิบหมายถึง ช่วง (I) เป็นช่วงที่อุณหภูมิของวัตถุดิบจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิตั้งต้น (อุณหภูมิห้อง) จนถึงอุณหภูมิ สมดุลที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการอบ เรียกว่า ช่วงอุ่นวัตถุดิบ ในกรณีที่วัตถุดิบได้รับความร้อนด้วยการพา ความร้อนโดยลมร้อน อุณหภูมิสมดุลนี้ จะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมร้อนนั้น ช่วงอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยอัตราเร็วคงที่ในช่วง (II) อุณหภูมิของวัตถุจะคงที่ ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้รับจะถูกใช้ไปในการระเหยความชื้นของวัตถุ ชั้นของการระเหยจะเกิดที่ผิวหน้าของวัตถุโดยอัตราเร็วในการอบจะมีค่าคงที่ ช่วงนี้ เรียกว่า ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ ซึ่งจะดำเนินไปตราบเท่าที่มีความชื้นอิสระให้ระเหยอยู่ที่ผิวหน้าของวัตถุ โดยอัตราความชื้นของวัตถุจะลดลงด้วยอัตราเร็วคงที่ ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง (III) เมื่ออบไปเรื่อยๆ จนปริมาณความชื้นที่ผิวหน้าวัตถุแห้งลง และความชื้นภายในเนื้อวัตถุเริ่มลดลง ความชื้นอิสระภายในตัววัตถุจะซึมขึ้นมาทดแทน ให้ทันกับอัตราเร็วในการระเหยที่ผิวหน้า จึงเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ III ได้แก่ ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง ชั้นของการระเหยจะค่อยๆ เลื่อนลงลึกเข้าไปในเนื้อวัตถุ อุณหภูมิของวัตถุจะเริ่มเข้าใกล้อุณหภูมิของลมร้อนจากบริเวณพื้นผิว ในการอบความร้อนจะต้องเข้าไปถึงภายในเนื้อวัตถุ นอกจากนี้ ความร้อนส่วนหนึ่งยังต้องใช้ไปในการให้ความร้อนตัววัตถุเองอีกด้วย อัตราเร็วในการอบจึงค่อยๆ ลดลงตามเวลาที่ผ่านไป



รูปที่ 3.3 ช่วงของการอบแห้ง

ฮีตเตอร์ (Heater) เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน โดยใช้หลักการจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำ (ตัวความต้านทาน R) ซึ่งส่งผลให้ลวดตัวนำมีความร้อนเกิดขึ้น โดยแหล่งจ่ายไฟสามารถใช้ได้กับแรงดัน 220VAC และ 380VAC ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานฮีตเตอร์ (Heater) ได้ง่ายและสะดวก โดยส่วนประกอบของฮีตเตอร์ (Heater) มีดังนี้ 1. ลวดฮีตเตอร์ (Heater) ซึ่งเรียกว่า ลวด Nikrothal 80 หรือ R80 โดยมีส่วนผสมของนิเกิล 80 เปอร์เซ็นต์ และโครเมียม 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 1400 องศาเซลเซียส โดยมีคุณสมบัติเหนียว และทนความร้อนได้สูงถึง 1400 องศาเซลเซียส 2. ฉนวนแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) คุณสมบัติมีค่าความนำทางไฟฟ้าต่ำ แต่นำความร้อนได้ดีมาก ซึ่งทำหน้าที่กั้นกลางระหว่างลวดตัวนำฮีตเตอร์ (Heater) กับปลอกโลหะ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระแสรั่ว (Leak Current) จากลวดฮีตเตอร์ออกไปยังผิวโลหะ จุดสำคัญคือห้ามมีความชื้นในฉนวนเด็ดขาดเนื่องจากจะทำให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงขึ้น 3. แสตนเลส (Stainless) ที่นำมาใช้ในการผลิตฮีตเตอร์ (Heater) มีอยู่หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ดังนี้ - Stainless 304: ใช้ในงานที่ต้องการขึ้นรูปเพื่อการตกแต่งให้สวยงาม สามารถป้องกันสนิมได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Stainless 316: ถูกออกแบบให้ป้องกันสนิมได้เป็นอย่างดี สามารถใช้ในงานอุตสาหกรรมหนัก และสถานที่ใกล้ทะเลที่มีความเป็นกรด-ด่างสูง
- Stainless 430: เป็นสแตนเลสที่ใช้โครเมียมเป็นส่วนประกอบ 100 เปอร์เซ็นต์ และมีโอกาสเกิดสนิมน้อยกว่าเบอร์ 300

สมการคำนวณขนาดของขดลวดความร้อน (Heater)

$$Q = m c_p \Delta T \quad (3.5)$$

สมการคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวล (m)

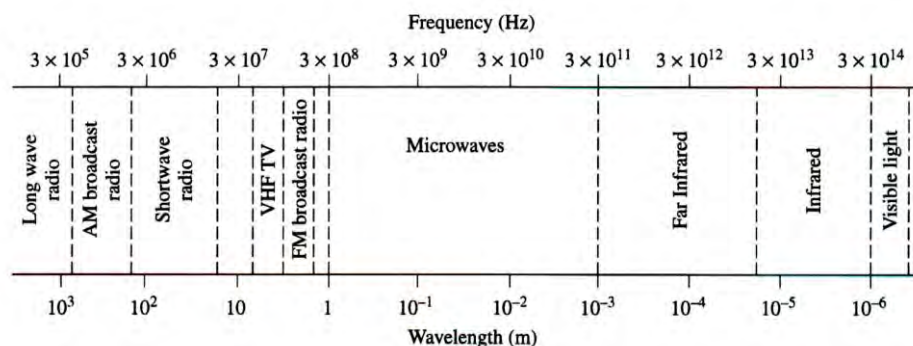
$$m = \rho v A \quad (3.6)$$

$$T_f = \frac{T_w + T_\alpha}{2} \quad (3.7)$$

Q	=	อัตราการถ่ายเทความร้อน (วัตต์)
m	=	อัตราการไหลเชิงมวล (กิโลกรัมต่อวินาที)
ΔT	=	ผลต่างอุณหภูมิของอากาศ (องศาเซลเซียส)
ρ	=	ค่าความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
C_p	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (จูลต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส)
T_f	=	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)
T_w	=	อุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศ (องศาเซลเซียส)
T_α	=	อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)

2. การอบแห้งไม้ด้วยไมโครเวฟ

การแผ่คลื่นความถี่ย่านไมโครเวฟ ดังรูปที่ 3.4 โดยปกติจะใช้ช่วงความถี่ 2.45 จิกะเฮิร์ตซ์ (GHz) หรือ ความยาว คลื่น 12.24 เซนติเมตร ผ่านเข้าไปในไม้ โมเลกุลของน้ำ และน้ำตาล ที่อยู่ในไม้จะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไปและเกิดเป็นความร้อนขึ้น ในกระบวนการนี้ เรียกว่า การเกิดความร้อนในสารไดอิเล็กตริก (dielectric heating) เนื่องจากโมเลกุลส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้า มีประจุบวกและประจุลบ เมื่อคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นสนามไฟฟ้าผ่านเข้าไป โมเลกุลเหล่านี้ ก็จะถูกเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.4 แถบสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงย่านความถี่ไดอิเล็กตริกและไมโครเวฟ ดังรูปที่ 3.4 การกำหนดให้เข้าใจตรงกันได้โดยการทำความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านของไดอิเล็กตริก (Dielectric heating) สามารถประยุกต์ใช้ได้กับทุกย่านความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอย่างน้อยที่สุดก็ครอบคลุมแถบสเปกตรัมของอินฟราเรด (Infrared spectrum) โดยระบบความถี่ที่ต่ำกว่าที่ใช้ งานได้อย่างน้อยคือช่วงความถี่สูง (High Frequency; HF) ซึ่งมีความถี่ในช่วง 3 MHz ถึง 30 MHz และช่วงความถี่สูงมาก (Very High Frequency; VHF) ซึ่งมีความถี่ในช่วง 30 MHz ถึง 300 MHz ช่วงของย่านความถี่ที่ยอมรับในการทำความร้อนของไดอิเล็กตริกคือ 1 ถึง 100 MHz ในขณะที่ไมโครเวฟใช้ ย่านความถี่ 300 MHz ถึง 300 GHz

ความเร็วในการระเหยน้ำออกจากวัสดุที่จะอบแห้งนั้นจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันระหว่างน้ำหรือความชื้นภายในวัสดุที่จะอบแห้งกับภายนอก กล่าวคือถ้าความดันของน้ำภายในวัสดุสูงกว่าความดันภายนอกวัสดุ การระเหยก็จะขึ้นอย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้ไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ค่อนข้างสูง จะทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อวัสดุที่จะอบแห้งไปสั่นโมเลกุลของน้ำอย่างรุนแรงด้วยความถี่เท่ากับความถี่ไมโครเวฟ เมื่อสสารกลับตัวไปมาตามความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ 2450 เมกะเฮิรตซ์ โมเลกุลจะกลับตัวในช่วงคลื่นไมโครเวฟช่วงบวกเข้ามา 2450 ล้านครั้งต่อวินาทีและเมื่อช่วงลบของคลื่นไมโครเวฟเข้ามา โมเลกุลจะกลับตัวอีกครั้งเป็นจำนวน 2450 ล้านครั้งต่อวินาที ซึ่งจะส่งผลให้เกิดเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรวดเร็วของโมเลกุลของน้ำทำให้ได้รับความร้อนเนื่องจากการเสียดสีของโมเลกุลของน้ำ ส่งผลให้น้ำมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น และเมื่อมีความดันสูงกว่าภายนอกเป็นเหตุให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว

ปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

$$Q = \omega \epsilon_0 \epsilon_r'' E^2 = 2\pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r' (\tan \delta) E^2 \quad (3.8)$$

Q = ปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

E = สนามไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง

f = ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ

ω = ความเร็วเชิงมุมของคลื่นไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ϵ_r' = relative dielectric constant ซึ่งบอกถึงคุณสมบัติของวัสดุใดๆที่อธิบายถึงความสามารถในการดูดซับส่งผ่าน และสะท้อนพลังงานจากส่วนที่เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าเก็บพลังงานได้มาก แต่ค่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความชื้นของไม้

ϵ_r'' = the loss factor เป็นค่าที่แสดงความสามารถของวัสดุที่จะกระจายพลังงาน ไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าจะเกิดความร้อนสูง คำว่า “loss” หรือสูญเสียหมายถึงการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน

ϵ_0 = Dielectric Constant ของอากาศ = 1

$\tan \delta$ = Dielectric Loss Tangent Coefficient ซึ่งบอกถึงความสามารถในการแปรเปลี่ยนพลังงานที่วัสดุดูดซับเป็นพลังงานความร้อน

ลักษณะของคลื่นไมโครเวฟมีอยู่ 3 ลักษณะ คือ

- การสะท้อนของคลื่น (Reflection) คลื่นไมโครเวฟเมื่อส่งไปโดนโลหะจะสะท้อนออกคลื่นไม่สามารถทะลุผ่านโลหะไปได้

- การทะลุผ่านของคลื่น (Penetration) คลื่นไมโครเวฟจะสามารถทะลุผ่านวัสดุบางชนิดที่คล้ายกระจกส่องหน้าต่างที่ยอมให้แสงธรรมดาส่องผ่านตัวมันได้ วัสดุที่รู้จักกันแพร่หลายของการทะลุผ่านของคลื่น คือแก้วทั่วไป แก้วทนความร้อน เครื่องกระเบื้องเคลือบ เครื่องถ้วย ชามเคลือบกระดาด และพลาสติก เป็นต้น ดังนั้นเมื่อนำวัสดุเหล่านี้มาทำเป็นวัสดุบรรจุอาหาร ตัววัสดุเองจะไม่ร้อนจะร้อนเฉพาะอาหารเท่านั้น

- การดูดกลืนของคลื่น (Absorption) คลื่นไมโครเวฟสามารถดูดกลืนไว้โดยอาหารหรือวัสดุที่มีส่วนผสมของน้ำอยู่ทำให้กำลังงานของคลื่นลดลงไป ซึ่งกำลังที่ถูกดูดกลืนไว้จะเปลี่ยนสภาพทำให้วัตถุร้อนขึ้น วัตถุที่ดูดกลืนคลื่น นอกจากจะเป็นอาหารและน้ำยังประกอบด้วยพวกเครื่องปั้นดินเผาที่ไม่ได้เคลือบทั้งหมด เนื่องจากเหตุที่ว่าเครื่องปั้นดินเผาที่ไม่ได้เคลือบจะมีรูพรุนมากมายทำให้วัสดุมีความชื้นหรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือมีละอองน้ำแทรกเข้าไปอยู่ในรูพรุนเหล่านั้นเมื่อนำมาใช้ในเตาไมโครเวฟตัวละอองน้ำจะร้อนส่งผลให้วัสดุร้อนไปด้วย

ไมโครเวฟเป็นสนามของพลังงานไฟฟ้า และพลังงานแม่เหล็กอยู่ด้วยกัน จึงจัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเร็วแสง มีการแผ่รังสีเหมือนแสงแต่มีพลังงานน้อยกว่า เคลื่อนที่ในรูปแบบคลื่น ดังนั้นไมโครเวฟจึงสะท้อนไปมาถูกส่งหรือดูดกลืนได้โดยขึ้นกับสารที่ไมโครเวฟทำปฏิกิริยาด้วย หลักการทำงานโดยอาศัยน้ำ เพราะน้ำเป็นโมเลกุลชนิดมีขั้วบวกที่ปลายด้านหนึ่ง โมเลกุลของน้ำในไม้จะจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ เมื่อเปิดเครื่องทำให้เกิดคลื่นไมโครเวฟในเตาอบ โมเลกุลของน้ำจะดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ สนามของคลื่นไมโครเวฟจะเกิดการสั่นเป็นจำนวนล้านๆ ครั้งใน 1 วินาที ขณะเดียวกันโมเลกุลของน้ำสั่นไปพร้อมกับเปลี่ยนตำแหน่งของโมเลกุลในน้ำ ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลให้เป็นระเบียบมากขึ้น การที่โมเลกุลภายในเป็นระเบียบมากขึ้น การที่โมเลกุลของน้ำสั่นอย่างมากนี้ ทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น [35]

แมกนีตรอนเป็นตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟชนิดหนึ่งนิยมใช้อยู่ในเตาไมโครเวฟและเรดาร์ การที่ผู้ผลิตเตาไมโครเวฟทุกยี่ห้อเลือกใช้แมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟเนื่องจากคุณสมบัติที่ดีหลายประการ คือมีขนาดเล็กแต่ให้ประสิทธิภาพสูง มีเสถียรภาพในการทำงานที่ความถี่ที่ต้องการดี ในปัจจุบันเตาไมโครเวฟทุกยี่ห้อตัวแมกนีตรอนจะสร้างความถี่ 2450 ± 50 เมกะเฮิรตซ์เมื่อโหลดมีการดึงกระแสสูงหรือดึงกระแสต่ำมาก ตัวแมกนีตรอนยังคงสร้างความถี่ค่อนข้างคงที่ จะเห็นได้ว่าการเกิดคลื่นผิดพลาดน้อยมาก เมื่อเทียบกับส่วนความถี่หลักที่สร้างขึ้นอาจผิดพลาดเพียง ± 50 เมกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

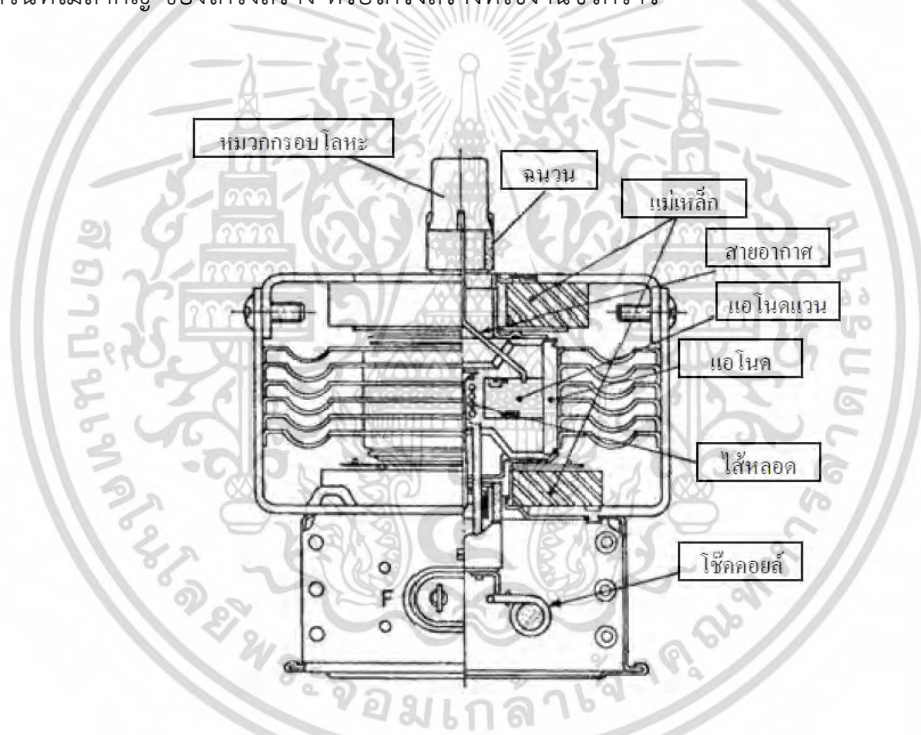
เท่านั้น ซึ่งการผิดพลาดของความถี่นี้มีผลน้อยมากต่อการปรุงอาหาร ข้อดีของแมกนีตรอน คือสร้างง่าย ราคาถูก อันเนื่องจากอุปกรณ์ภายในน้อยมาก

จากรูปที่ 3.5 ภายในของแมกนีตรอน เป็นการผ่าแสดงให้เห็นภายในของแมกนีตรอนเบอร์ 2M157 ซึ่งแมกนีตรอนอีกหลายหลายเบอร์ ในปัจจุบันก็มีโครงสร้างเหมือนกันหรือคล้ายกับเบอร์นี้ ภายในของแมกนีตรอนมีโครงสร้างคล้ายหลอดไดโอด ประกอบไปด้วยไส้หลอดซึ่งทำหน้าที่เป็นแคโทดด้วย นอกจากนี้ยังมีแอโนดและส่วนแพร่กระจายคลื่นที่เรียกว่า สายอากาศ

3.4 คุณสมบัติของไม้

ไม้เนื้อแข็ง คือ ไม้ที่มีความหนาแน่นและน้ำหนักมาก ความถ่วงจำเพาะสูง มีสมบัติทางกลดี และมีความทนทานสูง ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกใช้เป็นส่วนสำคัญของงานโครงสร้าง

ไม้เนื้ออ่อน คือ ไม้ที่มีความหนาแน่นและน้ำหนักเบากว่า ความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า คุณสมบัติทางกลต่ำกว่า และ ไม้มีความทนทาน ยกเว้นได้รับการอบน้ำยา ดังนั้นจึงถูกเลือกไปใช้งานในส่วนที่ไม่สำคัญ ของโครงสร้าง หรือโครงสร้างที่ใช้งานชั่วคราว



รูปที่ 3.5 ภายในของแมกนีตรอน

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ (Physical Properties) ของไม้เป็นคุณสมบัติของที่ไม่เกี่ยวกับแรงที่มากระทำ แต่เกี่ยวกับคุณภาพหรือคุณลักษณะของเนื้อไม้ คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของไม้ ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ, การนำความร้อน, สัมประสิทธิ์การขยายตัว, ความหนาแน่น และความต้านทานไฟฟ้า เป็นต้น สามารถทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2395-14 (Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials) วิธีการทดสอบเหล่านี้ครอบคลุมถึงการกำหนดความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ (ความหนาแน่นสัมพัทธ์) ของไม้และวัสดุที่ทำจากไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความชื้นของวัสดุ สามารถหาได้ดังนี้ ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ใช้ใช้ความชื้นมาตรฐานแห้งคือมวลของความชื้นในวัสดุต่อหน่วยมวลของเนื้อวัสดุแห้ง ในกระบวนการอบแห้งมวลของวัสดุขึ้นจะเปลี่ยนค่าอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงใช้มวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานในการคำนวณหาค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง ความชื้นในมาตรฐานเปียกจะมีค่าไม่เกินร้อยละเซนต์ นิยมใช้กันทั่วไปทางการเกษตรและวงการค้าแต่ความชื้นแบบมาตรฐานแห้งอาจจะมีค่าเกินร้อยละเซนต์ได้นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งในทางทฤษฎี

$$M(\% db) = \frac{W - W_d}{W_d} \times 100 \quad (3.9)$$

$$MR = \frac{M}{M_{ini}} \quad (3.10)$$

เมื่อ $M(\% db)$ = ค่าความชื้นมาตรฐานแห้งของชิ้นตัวอย่าง ($kd\ water / kg\ DM\ \%$)
 W = คือน้ำหนักวัสดุ (กรัม)
 W_d = คือน้ำหนักวัสดุหลังอบแห้ง (กรัม)
 MR = อัตราส่วนความชื้น
 M_{ini} = ค่าความชื้นเริ่มต้น ($kd\ water / kg\ DM\ \%$)

ค่าความหนาแน่นวัสดุหลังอบแห้ง สามารถหาได้ดังนี้

$$\rho_o = \frac{M_o}{V_o} \quad (3.11)$$

เมื่อ ρ_o = ค่าความหนาแน่นวัสดุหลังอบแห้ง (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
 M_o = คือน้ำหนักวัสดุหลังอบแห้ง (กิโลกรัม)
 V_o = คือปริมาตรวัสดุหลังอบแห้ง (ลูกบาศก์เมตร)

ค่าปริมาตรการหดตัว สามารถหาได้ดังนี้

$$S_v(\%) = \frac{V_g - V_o}{V_g} \times 100 \quad (3.12)$$

เมื่อ S_v = เปอร์เซนต์ปริมาตรการหดตัว (%)
 V_g = ปริมาตรของวัสดุก่อนอบแห้ง (กรัม)
 V_o = ปริมาตรของวัสดุหลังอบแห้ง (กรัม)

คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties) ของไม้ เป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของวัสดุ เมื่อมีแรงจากภายนอกกระทำต่อวัสดุ คุณสมบัติทางกลได้แก่ความแข็งแรง, ความเอกลักษณะเป็นเอกสารที่สวนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไม้ไปใช้ประโยชน์ตามการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็ง, ความสามารถในการยึดตัว, ความยืดหยุ่น, ความเหนียว เป็นต้น โดยใช้มาตรฐาน ASTM D143-14 (Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber) กำหนดให้มีการทดสอบสมบัติของไม้ดังนี้

ความแข็งแรงต่อการดึง (Tensile strength)

ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D143-09 จับปลายชิ้นทดสอบทั้งสองข้างของชิ้นทดสอบ แล้วดึงออกจากกัน วิธีการทดสอบนั้น เราจะนำตัวอย่างที่จะทดสอบมาดึงอย่างช้า ๆ แล้วบันทึกค่าของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นไว้ แล้วมาพลอตเป็นเส้นโค้ง แล้วนำมาหาค่าความแข็งแรง

ความแข็งแรงต่อการอัด (Compressive strength)

แรงที่มากกระทำอยู่ในลักษณะการกดอัด (Compressive) และแนวแรงตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ ทำให้วัสดุออกแรงต้านทานเพื่อไม่ให้เกิดการแตกหัก ขณะทดสอบมักจะเกิด การโก่งงอได้ ซึ่งเรียกว่า Buckling หรือเกิดการดัดเนื่องจาก มีความเค้นดัด (Bending stress) เนื่องจากชิ้นทดสอบมีความสูงเกินไป เมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัด ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนสูงและพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ จะต้องมือัตราส่วนตามมาตรฐานและเหมาะสมกับเครื่องทดสอบ ในทางปฏิบัตินิยมเลือกใช้ ชิ้นทดสอบที่มีขนาดความสูง (h) ประมาณ สองเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง (d)

ความแข็งแรงต่อการเฉือน (Shear strength)

แรงที่มากกระทำอยู่ในลักษณะการเฉือน (Shear) แนวแรงจะขนานกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ ทำให้วัสดุออกแรงต้านเพื่อไม่ให้ถูกเฉือนขาดออกจากกัน

ความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (Flexural strength)

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, MOE)

ค่าโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture, MOR)

ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D143-09 วางชิ้นทดสอบลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 25 มิลลิเมตร ให้แรงกดลงบนจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ

ความแข็งแรงของผิว (Hardness)

ความสามารถต้านทานต่อการถูกขูดขีด หรือกดให้เป็นรอย โดยมาตรการวัดจะเทียบกับเพชร ซึ่งเป็นวัสดุที่แข็งที่สุด การทดสอบวิธีนี้ทำโดยการกดลูกบอลเหล็กกล้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ลงบนผิววัสดุที่ทำการทดสอบให้ได้กึ่งกลางลูกบอลแล้วอ่านค่าแรงสูงสุด

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของวัสดุทางการเกษตร [36]

เส้นใยธรรมชาติ	Density, g/cm ³	Tensile Strength, MPa	Young modulus, GPa	Strain, %	Diameter, μm
ใยไม้ไผ่	0.6-0.8	200.5		10.2	
ใยมะพร้าว	1.25	138.7	6	10.5	396.98
เส้นใยกล้วย	1.48	550-900	73	1.6	
เส้นใยปอแก้ว	1.4	215.4	13-17	1.18-1.31	
เส้นใยปอกระเจา	1.18	393-773	26.5	1.8	200
เส้นใยต้นตาว	1.29	190.29	3.69	19.6	99-311

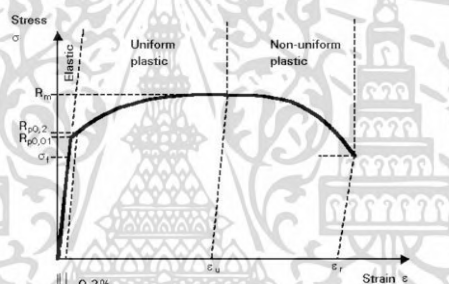
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมของวัสดุภายใต้แรงทางกล

จากกราฟ stress-strain สามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ดังนี้

1. การเปลี่ยนรูปแบบ Elastic Deformation เป็นขบวนการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น คือวัสดุเมื่อมีแรงมากกระทำ วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงจะยืดหรือหด โดยเมื่อเอาแรงออก วัสดุจะสามารถกลับคืนรูปให้อยู่ในสภาพเดิมได้
2. การเปลี่ยนรูปแบบ Plastic Deformation เป็นขบวนการเปลี่ยนรูปแบบถาวร คือวัสดุเมื่อมีแรงมากกระทำ วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงจะยืดหรือหด โดยเมื่อเอาแรงออกมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและรูปร่างไปอย่างถาวร จนไม่อาจจะกลับคืนสู่สภาพเดิม ๆ ได้

วัสดุหลายชนิดเช่น ไม้ พลาสติก อะลูมิเนียม ทองแดง จะไม่แสดงจุดครากอย่างชัดเจน แต่เราก็มีวิธีที่จะหาได้โดยกำหนดความเครียดที่ 0.10 - 0.20% ของความยาวกำหนดเดิม แล้วลากเส้นขนานกับกราฟช่วงแรกไปจนตัดเส้นกราฟที่โค้งไปทางด้านขวา ดังรูปที่ 3.6 ค่าความเค้นที่จุดตัดนี้จะนำมาใช้แทนค่าความเค้นจุดครากได้ ความเค้นที่จุดนี้บางครั้งเรียกว่า ความเค้นพิสูจน์ (Proof Stress) หรือความเค้น 0.1 หรือ 0.2% offset



รูปที่ 3.6 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบที่ไม่มีจุดคราก

3.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

SEM เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับจุลภาค และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในการวิจัย และการผลิตภาคอุตสาหกรรม SEM เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงถึงระดับ 1,000,000 เท่า ทำให้สามารถศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับไมโครหรือนาโนได้ SEM ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer ; EDS) ซึ่งช่วยในการศึกษา ชนิด ปริมาณ และการกระจายขององค์ประกอบธาตุของวัสดุที่ศึกษาได้อีกทั้ง SEM ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หรือหัววัดอื่น ๆ เพื่อใช้ศึกษาวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ที่ต่างกันออกไปเช่นเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วิเคราะห์การเรียงตัวของผลึกโดยใช้สัญญาณจากการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Electron Backscatter Diffraction; EBSD) นอกจากนี้ SEM ยังสามารถประยุกต์โดยเชื่อมต่อกับชุดอุปกรณ์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนเพื่อใช้เขียนลวดลายขนาดเล็กลงบนชิ้นงาน (Electron Beam Lithography) จะเห็นได้ว่า SEM เป็นเครื่องมือที่มีความจำเป็นต่อการศึกษาวิจัย ด้วยกำลังขยายที่สูง และสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายและครอบคลุมการศึกษาวิจัยในระดับจุลภาค [37].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนออุปกรณ์และวิธีการทดลอง เพื่อให้เข้าใจถึงปัจจัยที่ส่งผลให้เป็นวัสดุดูดซับเสียงจากแกนกลางลำต้นปาล์มน้ำมันที่ โดยทำการทดลองการอบแห้งแบบลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ โดยจะใช้เครื่องปอกไม้บางและเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง เพื่อเตรียมแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันสำหรับการทดลอง โดยใช้ต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์เทเนอราที่มีอายุ 26 ปี เพื่อให้ได้ลักษณะทางกายภาพและความหนาแน่นของลำเลียงที่เป็นเนื้อเดียวกัน ลำต้นปาล์มจะถูกตัดเป็นท่อนไม้ที่มีความยาว 2 เมตร โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 500-650 มิลลิเมตร จากส่วนล่างสุดของลำต้น โดยมีความชื้นเริ่มต้น $287\% \pm 0.5\%$ แห้ง (db) ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นแผ่นกระดาน โดยตัดท่อนปาล์มที่มีความยาวท่อนละ 70 เซนติเมตร เข้าเครื่องปอกแบบโรตารี เพื่อทำการปอกเปลือก เนื้อบริเวณด้านนอกและบริเวณส่วนกลางของท่อนปาล์มน้ำมัน จนกระทั่งเหลือแต่เนื้อไม้บริเวณด้านใน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 250 มิลลิเมตร แล้วนำมาแปรรูปเป็นแผ่นกลมมีความหนา 20 มิลลิเมตร นำแผ่นกลมมาต้มน้ำที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส (กระบวนการต้มด้วยน้ำร้อนสำหรับละลายน้ำตาลกลูโคสที่ น้ำตาลหมักอื่นๆ ที่มีอยู่ในลำต้น และป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อราโดยไม่ต้องใช้สารเคมี) หลังจากนั้นนำมาแปรรูป ให้มีขนาดกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร และหนา 20 มิลลิเมตร โดยนำมาเก็บที่ห้องบ่ม ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส และมีความชื้น $350\% \pm 2.7\%$ (db) โดยมีความหนาแน่นของตัวอย่างแผ่นไม้ปาล์มอยู่ในช่วง 900-1,100 กิโลกรัม / เมตร³ เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลให้เป็นวัสดุดูดซับเสียง โดยได้ออกแบบวิธีการทดลอง นำแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันไปอบด้วยเครื่องอบด้วยลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียง โดยเราจะทำการทดลองอบลมร้อนแผ่นไม้ปาล์มที่ อุณหภูมิ 50 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่น้ำสามารถระเหยออกมาได้ดี ถ้าใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิสูงจะทำให้แผ่นไม้เกิดการบิดงอ และอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ 200 400 1200 และ 4000 วัตต์ เนื่องจากใช้ไมโครเวฟแบบคริวเรือนมาประกอบกัน 4 เครื่อง จึงใช้เป็นเงื่อนไขในการทดลอง ถ้าใช้ระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟเกิน 4000 วัตต์ จะทำให้ภายในเนื้อไม้เกิดการไหม้ได้ โดยทุกๆ เงื่อนไขการทดลองการอบแห้งแบบต่างๆ จะใช้จำนวน 32 ชิ้น ต่อเงื่อนไขการอบแห้ง แผ่นไม้ปาล์มจะถูกจัดวางไว้ในตำแหน่งสมมาตรของห้องอบ โดยแผ่นไม้ที่ผ่านการอบแห้งแล้วจะต้องมีความชื้น $10\% \pm 2\%$ db แผ่นไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบแล้วจะนำไป หาคุณสมบัติทางกายภาพ ทดสอบคุณสมบัติเชิงกล เพื่อศึกษาความแข็งแรงของแผ่นไม้ที่ผ่านการอบ และจะทำการส่องกล้อง Scanning Electron Microscope เพื่อศึกษาลักษณะของแผ่นไม้ที่ผ่านการอบ และนำมาทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง และหาค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง โดยทำการเปรียบเทียบและสรุปผลการทดลองกับกระบวนการอบแห้งที่เงื่อนไขต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องเลื่อยไม้ยี่ห้อ STIHL รุ่น MS 381 5.3 แรงม้า แสดงในรูป 4.1



รูปที่ 4.1 เครื่องเลื่อยไม้ STIHL MS 381

2. ไม้ปาล์มพันธุ์เทเนอร์่าที่มีอายุ 26 ปีและมีความยาว 70 เซนติเมตร แสดงในรูป 4.2



รูปที่ 4.2 ไม้ปาล์มพันธุ์เทเนอร์่า อายุ 26 ปี

3. เครื่องปรับความเร็วรอบ HAITEC H-3400 3 เฟส ขนาด 5 แรงม้า จำนวน 2 เครื่อง



รูปที่ 4.3 เครื่องปรับความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 3 ตำแหน่ง ขนาด 10 กิโลกรัม แสดงในรูป 4.4



รูปที่ 4.4 เครื่องชั่งดิจิตอล

5. เครื่องวัดความเร็วรอบ DIGCON DT-235T ย่านการวัด 0.5 – 19,999 รอบต่อนาที แสดงในรูป 4.5



รูปที่ 4.5 เครื่องวัดความเร็วรอบ DIGCON DT-235T

6. เครื่องวิเคราะห์ความชื้น SARTORIUS-MA37 เป็นเครื่องวิเคราะห์ความชื้นเริ่มต้น และชิ้นงานต้องมีน้ำหนักไม่เกิน 15 กรัม แสดงในรูป 4.6

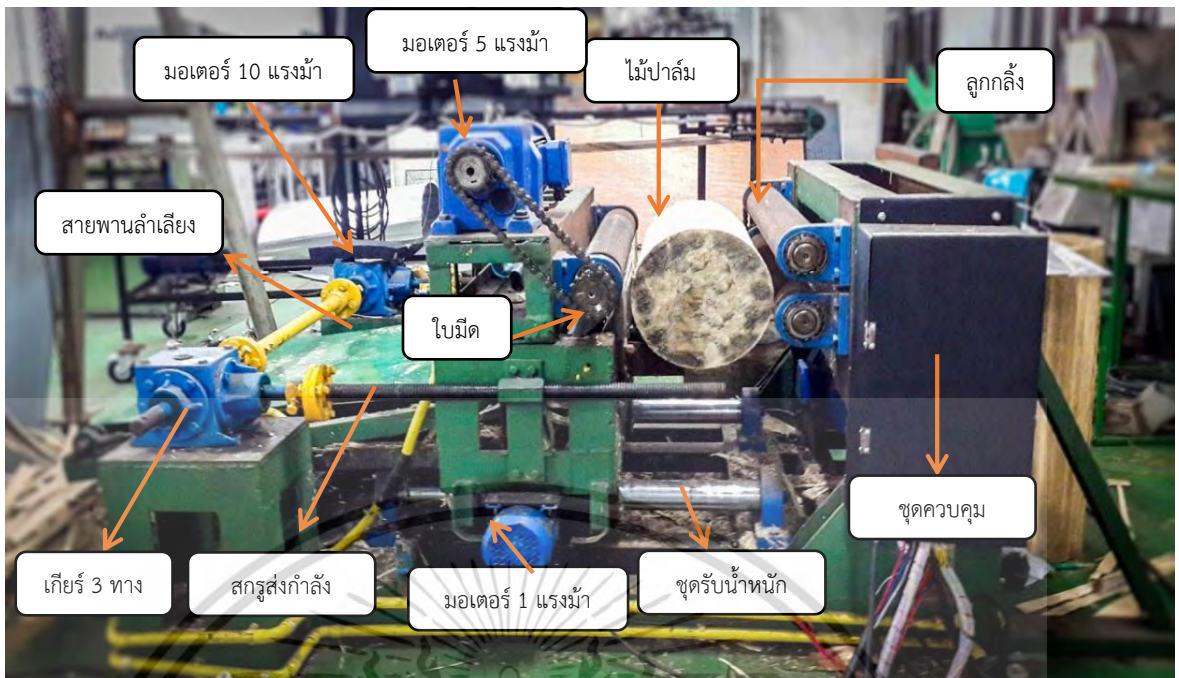


รูปที่ 4.6 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น SARTORIUS-MA37

7. เครื่องทำไม้บางสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน

เครื่องปอกไม้บางสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน ได้ออกแบบเครื่องปอกแบบโรตารี โดยจะนำไม้ปาล์มน้ำมันที่มีความยาวท่อนละ 70 เซนติเมตร ปอกด้วยความเร็วรอบชุดมีด 0.26 เมตรต่อนาที สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง เครื่องปอกไม้บางสำหรับปาล์มน้ำมันมีส่วนประกอบคือ โครงสร้าง ชุดสายพานลำเลียง มอเตอร์ขับ ลูกกลิ้ง ใบมีด ชุดควบคุม สกรูส่งกำลัง เป็นต้น แสดงในรูป 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ชิ้นส่วนเครื่องปอกไม้บางสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน

การออกแบบเครื่องปอกไม้บางสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน

1. ลูกกลิ้ง มีความยาว 90 เซนติเมตร บนลูกกลิ้งจะมีลายเพื่อประคองไม้ไม่ให้ไม้ลื่น หล่นลงไป ลูกกลิ้งด้านซ้ายจะหมุนทวนเข็มนาฬิกาเพื่อให้ท่อนไม้หมุนขึ้น และลูกกลิ้งด้านขวาจะหมุน ทวนเข็มนาฬิกาเพื่อกดไม้เข้าหาใบมีด ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ลูกกลิ้งสำหรับหมุนประคองไม้ปาล์มน้ำมัน

2. สกรูส่งกำลัง ส่งกำลังโดยเปลี่ยนจากการหมุนเป็นการเลื่อน มีอัตราการทดของ เฟืองที่สูงมากเนื่องจากต้องแบกรับน้ำหนักในการเคลื่อนที่จำนวนมาก โดยสกรูส่งกำลังจะทำหน้าที่ เลื่อนชุดมีดเข้าหาท่อนไม้ ดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 สกรูส่งกำลังป้อนไม้ปาล์มน้ำมัน

3. ใบมีดสำหรับปอกไม้ปาล์ม มีความยาว 107 เซนติเมตร ใช้วัสดุเหล็กกล้าที่มีความแข็งแรง และ ชุบโครเมียมเพื่อให้มีดทนแรงเสียดสีได้ดี โดยจะตั้งค่าให้มีเอียง 2 องศา ทำให้ง่ายต่อการปอก ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ใบมีดสำหรับปอกไม้ปาล์ม

4. แท่นลับมีด ออกแบบให้มีดที่วางอยู่บนแท่นหน้าของมีดจะอยู่ในแนวระนาบ และจะนำมีดไปลับกับเครื่องเจียรระนาบ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แท่นลับมีด

5. มอเตอร์เกียร์ขนาด 10 แรงม้า 1,440 รอบต่อนาที อัตราทด 1 : 9.64 หนึ่งตัว สำหรับสกรูส่งกำลัง ดังรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



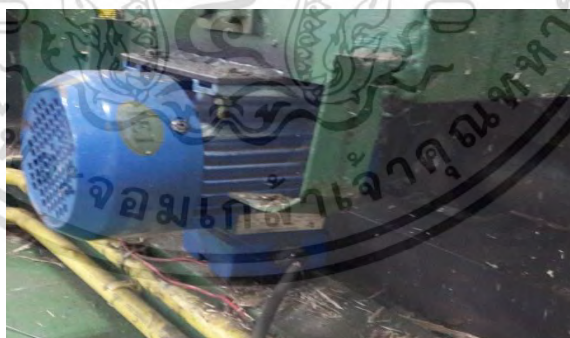
รูปที่ 4.12 มอเตอร์เกียร์ขนาด 10 แรงม้า

6. มอเตอร์เกียร์ขนาด 5 แรงม้า 1,440 รอบต่อนาที อัตราทด 1:9.64 จำนวน 2 ตัวสำหรับขับเคลื่อน Rolling ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 มอเตอร์เกียร์ขนาด 5 แรงม้า

7. มอเตอร์เกียร์ขนาด 1 แรงม้า 1,440 รอบต่อนาที สำหรับสายพานลำเลียง ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 มอเตอร์เกียร์ขนาด 1 แรงม้า

8. โซ่เบอร์ 60 จำนวน 3 เส้น ดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 โซ่เบอร์ 60

9. เกียร์ 3 ทาง อัตราทด 1 : 1 เพื่อเลื่อนชุดมีด ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 เกียร์ 3 ทาง

10. ตู้ควบคุมเครื่องทำไม้บาง ออกแบบให้ปุ่มควบคุมสามารถควบคุมห่างจากตัวเครื่องได้ ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ตู้ควบคุมเครื่องทำไม้บาง

11. ตัวรับไม้จำนวน 4 ตัว จะคอยรับไม้ไม่ให้หล่นจากเครื่องปอก ดังรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ตัวรับไม้

12. ชุด Brass Boost Housing จำนวน 2 ชุด สำหรับยึดชุดใบมีด และคานเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ชุด Brass Boost Housing

13. คานรับน้ำหนักชุดใบมีดและชุดลูกกลิ้งประคองไม้ ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 คานรับน้ำหนักรับน้ำหนัก

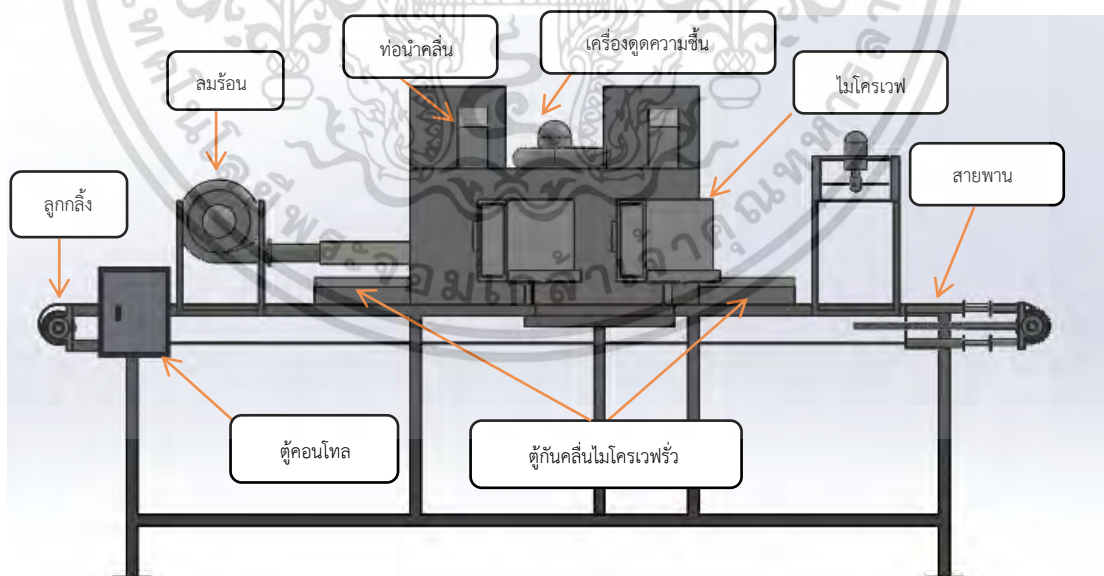
14. สายพานสำหรับลำเลียงไม้บาง มีขนาด 80×130 เซนติเมตร วัสดุของสายพานจะเป็น PVC จะมีความเหนียวจะทำให้ปอกได้อย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 สายพานลำเลียงไม้บางชนิด PVC

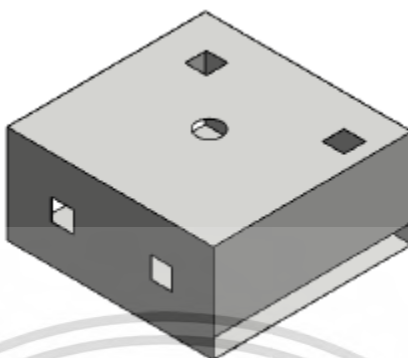
8. เครื่องอบแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันด้วยลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียง เครื่องอบแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง ออกแบบให้สามารถอบแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันด้วยลมร้อน 50-100 องศาเซลเซียส และคลื่นไมโครเวฟ 100-4,000 วัตต์ และสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยเครื่องมีส่วนประกอบหลักๆคือ โครงสร้าง, ชุดสายพานลำเลียง, ไมโครเวฟ, ลมร้อน ดังรูปที่ 4.22 โดยสามารถหารายละเอียดเพิ่มเติมที่ [27]



รูปที่ 4.22 ชิ้นส่วนเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง

1. ห้องอบไมโครเวฟ เป็นห้องสี่เหลี่ยม ขนาด 1000×1000×500 ลูกบาศก์ มิลลิเมตร ใช้วัสดุ สแตนเลสชนิด 316L ความหนา 1 มิลลิเมตร โดยจะเจาะช่องสี่เหลี่ยมขนาด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12×12 เซนติเมตร ที่ด้านข้าง 2 ช่อง และด้านบน 2 ช่อง เพื่อใส่ท่อนำคลื่นไมโครเวฟและม้วนกลมด้านบนเพื่อใส่เครื่องเป่าลมพาความร้อนขึ้นออกจากตู้ ดังรูปที่ 4.23 โดอนออกแบบให้มีการกระจายตัวเงื่อนไขความร้อนให้สม่ำเสมอ



รูปที่ 4.23 ตู้อบไม้แบบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ

2. ตู้อบไมโครเวฟ ใช้ไมโครเวฟ ยี่ห้อ SAMSUNG รุ่น MS28H512BK ที่ความถี่ 2.45 จิกกะเฮิร์ต จำนวน 4 เครื่อง เครื่องละ 1000 วัตต์ ไมโครเวฟจะถูกติดตั้งด้านข้าง 2 เครื่อง และด้านบน 2 เครื่อง โดยจะมีท่อนำคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่ห้องอบ ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 เครื่องไมโครเวฟและช่องนำคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่ห้องอบ

3. ชุดเป่าลมร้อนใช้ลวดทังสเตนขนาด 5,000 วัตต์ ติดตั้งในท่อขนาด 2.5 นิ้ว ต่อกับเครื่องเป่าลมส่วนปลายท่ออีกฝั่งจะต่อกับท่อที่เป็นทรงพีระมิดสี่เหลี่ยมทำจากแผ่นสแตนเลสชนิด 316L ขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อให้กระจายความร้อนเข้าสู่ตู้ด้วยความเร็ว 2 เมตร ต่อ วินาที ดังรูปที่ 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ชุตเป่าลมร้อนพร้อมฮีทเตอร์

4. สายพานลำเลียง จะเป็นสายพานที่ลำเลียงแผ่นไม้ปาร์เก้ น้ำมันเข้าไปในตู้อบ โดยวัสดุที่ใช้จะเป็นเทฟลอน (Teflon Belts) มีขนาด 80×7.5 เมตร สามารถนำเข้าไปอบตู้ไมโครเวฟได้ เนื่องจากทนความร้อนได้ดี โดยชุดลูกกลิ้งขับเคลื่อนสายพานทำจากท่อขนาด 4 นิ้ว ดังรูปที่ 4.26

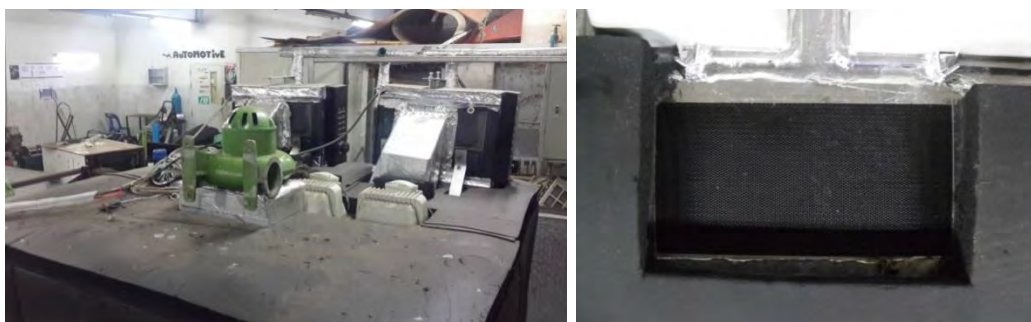


รูปที่ 4.26 สายพานเทฟลอนขนาด 80×7.5 เมตร

5. ชุดขับเคลื่อนสายพาน ใช้มอเตอร์ 3 เฟส 3 แรงม้า, 2.2 กิโลวัตต์, 50 เฮิร์ตซ์ และมีความเร็ว 1,420 รอบต่อนาที ใช้สายพานร่องวีขับเคลื่อน มอเตอร์มีอัตราทด 1:60 เข้าสู่เฟืองเกียร์ทดรอบ 1:1 โดยใช้โซ่เป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งสามารถควบคุมให้สายพานลำเลียงเคลื่อนที่ไปทางซ้ายและขวาโดยใช้ Magnetic Contactor คอยคุมทิศทางของสายพาน

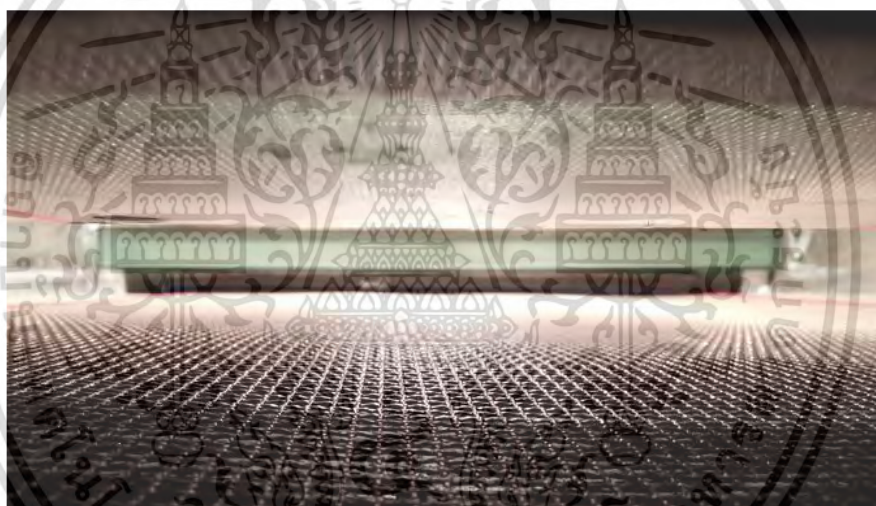
6. ช่องระบายความชื้นโดยจะนำแผ่นลูกกรงฟาราเดย์มาปิดไว้ตรงช่องระบายความชื้นเพื่อไม่ให้คลื่นไมโครเวฟรั่ว และใช้เครื่องเป่าลมดูดความชื้นภายในตู้เพื่อช่วยให้การระบายความชื้นได้เร็วขึ้น ดังรูปที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 ช่องระบายความชื้นติดตั้งลูกกรงพาราเดย์

7. อุปกรณ์ป้องกันการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ ด้านในออกแบบให้ใช้ตู้กระจก ขนาด $100 \times 35 \times 20$ เซนติเมตร โดยจะใส่น้ำไปในตู้กระจกเพื่อให้น้ำดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ ส่วนทางเข้าของเครื่องอบจะใช้แผ่นสแตนเลสชนิด 316L สามารถปิด/เปิดได้เมื่อมีการลำเลียงแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันเข้าเครื่องอบ ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ตู้กระจกน้ำดูดคลื่นไมโครเวฟที่รั่วไหลออกจากห้องอบ

4.2 หลักการทำงานของเครื่องอบแผ่นไม้ปาล์มด้วยลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ

1. วางแผ่นไม้ปาล์ม จำนวน 4 แผ่น ตรงทางเข้าของเครื่อง
2. กดสวิทซ์ให้สายพานลำเลียงแผ่นไม้ปาล์มเข้าภายในตู้อบ
3. ตั้งอุณหภูมิหรือตั้งระดับพลังงานของไมโครเวฟที่ใช้อบและเวลาที่ต้องการอบแผ่นไม้ ดังรูปที่ 4.29

- การอบด้วยลมร้อน ปรับระดับอุณหภูมิที่ต้องการอบบนตู้ควบคุม เปิดสวิทซ์ควบคุมพัดลมเป่าอากาศ

- การอบด้วยไมโครเวฟ ปรับระดับพลังงานไมโครเวฟและเวลาที่ต้องการอบที่เครื่องไมโครเวฟ จากนั้นกดปุ่ม START เมื่อไมโครเวฟทำงานเสร็จจะส่งเสียงเตือน

4. เมื่อทำการอบเสร็จแล้ว กดสวิทซ์ให้สายพานลำเลียงแผ่นไม้ออกจากตู้อบ

5. อบแผ่นไม้จนกว่าจะได้ไม้ที่มีความชื้นอยู่ระหว่าง 8–12 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ตู้ควบคุมสายพานลำเลียง มอเตอร์ ชุดเป่าลมร้อน และจอแสดงค่าอุณหภูมิภายในตู้อบ

4.3 วิธีการทดลอง

4.3.1 ขั้นตอนของกระบวนการปอกและนำเข้าเครื่องอบแห้ง ดังแสดงในรูป 4.30–4.35

1) ตัดต้นปาล์มที่มีอายุมากกว่า 26 ปี ใช้ส่วนโคนที่สูงจากพื้นไม่เกิน 2 เมตร



รูปที่ 4.30 ตัดต้นปาล์มที่มีอายุ 26 ปี

2) ตัดต้นปาล์มเป็นท่อนขนาดความยาวท่อนละ 70 เซนติเมตร



รูปที่ 4.31 ต้นปาล์มที่มีความยาว 70 เซนติเมตร

3) นำไม้ปาล์มที่ตัดมาเข้าเครื่องปอกไม้บาง โดยจะมีลูกกลิ้งทั้ง 2 ข้างประคองอยู่ จนเหลือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 250 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 การนำไม้เข้าเครื่องปอก

4) นำลำต้นปาล์มน้ำมันที่ปอกแล้ว มาตัดเป็นแผ่นกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 250 มิลลิเมตร ที่มีความหนา 20 มิลลิเมตร ดังรูป 4.34



รูปที่ 4.33 แผ่นกลมที่ทำจากท่อนไม้ปาล์มน้ำมัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 250 มม. หนา 20 มม.

5) นำแผ่นกลมมาต้มที่ 85 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที

6) นำแผ่นกลมมาแปรรูป ให้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ขนาด 200 x 200 หนา 20 มิลลิเมตร ดังรูปที่

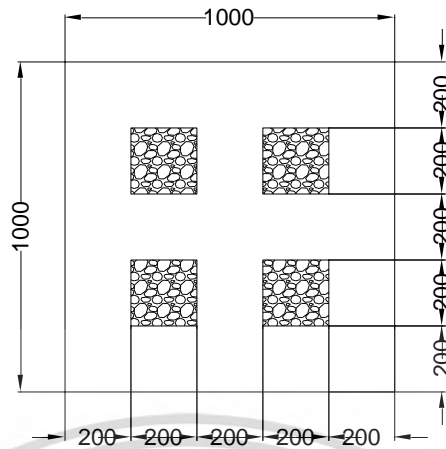
4.34



รูปที่ 4.34 แผ่นไม้ปาล์มน้ำมันจากเนื้อไม้ด้านใน แผ่นสี่เหลี่ยม ขนาด 200x 200 หนา 20 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

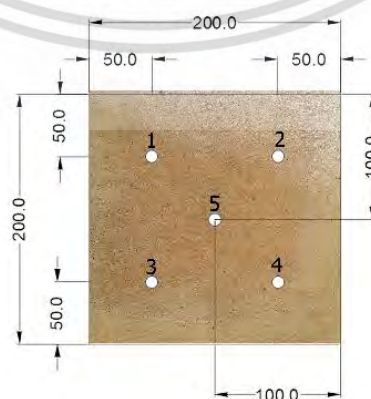
6) นำแผ่นไม้เข้าเครื่องอบ ในตำแหน่งที่ต้องการดังรูป 4.35 แล้วกดสวิตช์หยุดสายพาน



รูปที่ 4.35 ตำแหน่งการวางแผ่นไม้ปาล์มในห้องอบแห้ง

4.3.2 ขั้นตอนของกระบวนการอบ

นำแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันเข้าเตาอบชนิดสายพานลำเลียงด้วยลมร้อนและไม่โครเวฟ ในทุกๆ 10 นาทีจะนำแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันที่อบแห้งออกมาซึ่งน้ำหนักและวัตถุดิบแห้งที่อยู่ในเนื้อไม้ โดยการวัดทั้งหมด 5 ตำแหน่ง วัดที่มุมทั้ง 4 ด้าน และตรงกลางของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน ดังรูปที่ 4.36 เพื่อหาค่าความชื้นและอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเนื้อไม้ โดยเลื่อนสายพานลำเลียงออกแผ่นไม้สองแผ่นออกทางด้านที่หนึ่ง แล้วทำการวัดค่าอุณหภูมิและชั่งน้ำหนักแล้วรีบใส่กลับเข้าไป โดยแผ่นไม้อีก สองแผ่นยังอยู่ในตู้อบ เมื่อได้เวลาครั้งต่อมาก็เลื่อนเอาแผ่นอื่นออกมาเพื่อวัดค่าอุณหภูมิและชั่งน้ำหนัก สลับไปสลับมา จนความชื้นของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันมีค่าอยู่ในช่วง 10 ± 2 % มาตรฐานแห้ง จึงหยุดการทดลอง เก็บแผ่นไม้ไว้ที่ช่องซีลล็อกเพื่อนำไปทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกล โดยทดลองการอบที่สภาวะต่างๆดังนี้ อบด้วยลมร้อน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และอบด้วยไมโครเวฟ ไมโครเวฟ 100 วัตต์ ไมโครเวฟ 400 วัตต์ ไมโครเวฟ 1200 วัตต์ ไมโครเวฟ 4000 วัตต์

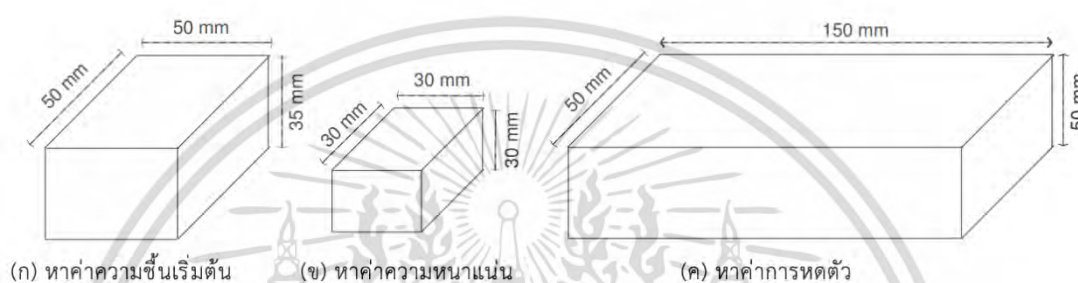


รูปที่ 4.36 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 วิธีการทำการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพ

- หาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของไม้ปาล์มน้ำมันเริ่มต้น นำเนื้อด้านในของไม้ปาล์มน้ำมันขนาด 50x50 หนา 35 มิลลิเมตร มาใช้ในการทดลองหาค่าความชื้นเริ่มต้นโดยการนำไปอบที่ตู้อบ (Hot air oven) ED/FD ด้วยอุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักไม้เปลี่ยนแปลง โดยนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักก่อนอบ จนน้ำหนักไม้เปลี่ยนแปลง หลังจากนั้นแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบแล้วมาชั่งน้ำหนักและนำไปคำนวณหาค่าความชื้นตามมาตรฐานแห่ง ตามมาตรฐาน (DIN 52 183) [33] โดยมีขนาดดังรูป 4.37 (ก) แล้วนำไปคำนวณหาความชื้นตามสมการ 3.5 และ 3.6



(ก) หาค่าความชื้นเริ่มต้น

(ข) หาค่าความหนาแน่น

(ค) หาค่าการหดตัว

รูปที่ 4.37 ขนาดของไม้ปาล์มน้ำมัน สำหรับ ก) หาค่าความชื้น ข) หาค่าความหนาแน่น ค) หาค่าปริมาตรการหดตัว

- หาค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาล์ม ความหนาแน่นของไม้ปาล์มน้ำมันถูกกำหนดโดยใช้ตัวอย่างของ. ขนาดของชิ้นงาน 30x30x30 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน (DIN 52 183) [33]. ดังรูปที่ 4.37 (ข) ชิ้นงานแผ่นไม้ปาล์มจะถูกอบแห้งตามเงื่อนไขของการอบแห้ง แล้วนำไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นตามสมการ 3.7 ตามมาตรฐาน ASTM D2395-14 (Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials)

- หาค่าปริมาตรการหดตัวการหดตัวของไม้ปาล์มน้ำมัน เตรียมตัวอย่าง ขนาด 50 x 150 หนา 50 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน (DIN 52 183) [33]. ดังรูปที่ 4.37 (ค) โดยทำการวัดปริมาตรของการหดตัวของตัวอย่างก่อนอบและชั่งตัวอย่างไม้ปาล์มเข้าเครื่องอบแห้งตามเงื่อนไขของการอบแห้ง ต่างๆ จนกระทั่งจนความชื้นของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันมีค่าอยู่ในช่วง 10 ± 2 % มาตรฐานแห่ง และทำการวัดปริมาตรของการหดตัวของตัวอย่างหลังอบ แล้วนำไปคำนวณหาค่าปริมาตรการหดตัว ตามสมการ 3.8 ตามมาตรฐาน ASTM D2395-14 (Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials)

4.3.4 วิธีการทำการทดสอบหาคุณสมบัติทางกล

การหาค่าสมบัติทางกลของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน ตามมาตรฐาน ASTM D143-14 ทำการทดลองตามเงื่อนไขของการอบแห้ง ต่างๆ โดยทดสอบคุณสมบัติทางกล เงื่อนไขการทดลองละ 20 ชิ้น ตัวอย่าง โดยใช้เครื่องการวัดเอนกประสงค์ (TA Plus texture analyzers, Lloyd Instruments,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

West Sussex, England) พร้อมกับโหลดเซลล์ขนาด 1 กิโลนิวตัน ดังรูปที่ 4.38 เพื่อทดสอบหาคุณสมบัติต่อไปนี้



รูปที่ 4.38 เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ TA Plus texture analyzers, Lloyd Instruments, West Sussex, England พร้อมกับโหลดเซลล์ขนาด 1 กิโลนิวตัน

ความเค้นดึงตั้งฉากเส้น (Tensile strength perpendicular to Grain) ขึ้นทดสอบมีขนาด 5x20x200 มิลลิเมตร ความเร็วของหัวทดสอบอยู่ที่ 1 มิลลิเมตรต่อนาที ดังรูปที่ 4.39 และ 4.40 หาค่าความต้านทานแรงดึง จากสูตร

$$IB = \frac{P_{\max}}{A} \quad (4.1)$$

เมื่อ IB คือ ความต้านทานแรงดึง หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร(เมกะปาสคาล)

P_{\max} คือ แรงดึงสูงสุดที่ชิ้นงานทดสอบรับได้

A คือ พื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉาก



รูปที่ 4.39 ลักษณะตัวอย่างของชิ้นทดสอบ ความเค้นดึงตั้งฉากเส้น (Tensile strength perpendicular to Grain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 การทดสอบหาค่าความเค้นดิ่งตั้งฉากเส้น

2) ความเค้นอัดตั้งฉากเส้น (Compressive strength perpendicular to Grain) โดยเตรียมชิ้นงานขนาดเป็นรูปแท่งสี่เหลี่ยมขนาด 20 มม. x 20 มม. x 100 มม. ความเร็วของหัวทดสอบอยู่ที่ 0.3 มิลลิเมตรต่ออนาที ดังรูปที่ 4.41 หาค่าความเค้นอัดตั้งฉากเส้น จากสูตร

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{A} \quad (4.2)$$

เมื่อ σ คือ ความต้านทานแรงอัด หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร(เมกะปาสคาล)

P_{\max} คือ แรงอัดสูงสุดที่ชิ้นงานทดสอบรับได้

A คือ พื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉาก



รูปที่ 4.41 การทดสอบหาค่าความเค้นอัดตั้งฉากเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3)ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน (Shearing strength Parallel to Grain) โดยเตรียมชิ้นงานขนาด เป็นรูปแท่งสี่เหลี่ยมขนาด 20 มม. x 20 มม. x 60 มม. ความเร็วของหัวทดสอบอยู่ที่ 0.6 มิลลิเมตรต่อนาที ดังรูปที่ 4.42 ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน จากสูตร

$$\tau = \frac{V_{\max}}{A} \quad (4.2)$$

เมื่อ τ คือ ความเค้นเฉือน หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร(เมกะปาสคาล)

V_{\max} คือ แรงเฉือนภายในสูงสุดที่ชิ้นงานทดสอบรับได้

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่แรงเฉือนผ่าน



รูปที่ 4.42 การทดสอบหาความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน

4)ความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (Flexural strength) ของ- Modulus of Rupture (MOR) และ - Modulus of Elasticity (MOE) โดยเตรียมชิ้นงานขนาดเป็นรูปแท่งสี่เหลี่ยมขนาด 20 มม. x 20 มม. x 200 มม. ความเร็วของหัวทดสอบอยู่ที่ 1.3 มม./นาที ดังรูปที่ 4.43 หาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น จากสูตร

$$MOE = \frac{L^3 \Delta W}{4bt^3 \Delta S} \quad (4.3)$$

เมื่อ MOE คือ โมดูลัสยืดหยุ่น หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร(เมกะปาสคาล)

L คือ ระยะห่างของแท่นรองรับ หน่วยเป็นมิลลิเมตร.

ΔW คือ แรงกดที่กระทำเพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง หน่วยเป็นนิวตัน

ΔS คือ ระยะแอนตัวของชิ้นไม้ที่เพิ่มขึ้นในช่วงเส้นกราฟเป็นเส้นตรง หน่วยเป็นมิลลิเมตร.

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร.

t คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture, MOR)

ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D143-09 ให้แรงกดลงบนจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ อัตราเร็วในการกด 2 มิลลิเมตรต่อนาที เครื่องกดสามารถกดได้สูงสุดถึง 10 กิโลนิวตัน ใช้ตัวอย่างชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นต่อหนึ่งการทดสอบ

หาค่าโมดูลัสแตกร้าว จากสูตร

$$\text{MOR} = \frac{3 F l_1}{2 b t^2} \quad (4.4)$$

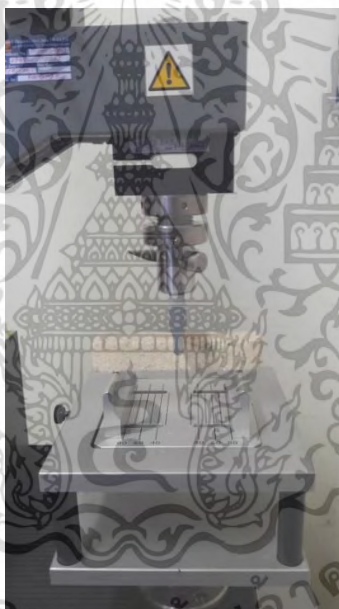
เมื่อ MOR คือ ความต้านแรงดัด หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร(เมกะปาสคาล)

F คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ เป็นนิวตัน

l_1 คือ ระยะห่างของแท่งรองรับ หน่วยเป็นมิลลิเมตร.

b คือ ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร.

t คือ ความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร.



รูปที่ 4.43 การทดสอบหาแรงดัด (Static Bending)

ความแข็งแรงของผิว (Hardness)

ความสามารถต้านทานต่อการถูกขูดขีด หรือกดให้เป็นรอย โดยมาตรฐานการวัดจะเทียบกับเพชร ซึ่งเป็นวัสดุที่แข็งที่สุด การทดสอบวิธีนี้ทำโดยการกดลูกบอลเหล็กกล้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ลงบนผิววัสดุที่ทำการทดสอบให้ได้กึ่งกลางลูกบอลแล้วอ่านค่าแรงสูงสุด โดยเตรียมชิ้นงานขนาด 50x20x150 มิลลิเมตร อัตราเร็วในการกด 6 มิลลิเมตรต่อนาที ดังรูปที่ 4.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 ความแข็งแรงของผิว (Hardness)

4.3.5 วิธีการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

หลังจากการทดสอบค่าความต้านทานทางกลต่อมาเราจะนำตัวอย่างแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบในเงื่อนไขต่างกันมาทำการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) หรือ SEM ซึ่งเป็นการส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อศึกษาถึงโครงสร้างของชิ้นงาน โดยใช้ประจุอิเล็กตรอนเป็นตัวรับภาพสามารถขยายได้มากที่สุด 10 นาโนเมตร และในการส่องกล้อง SEM ในครั้งนี้จะดูโครงสร้างแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันหลังผ่านการอบโดยจะพิจารณาด้าน Cross section ของไม่ว่ามีการจัดเรียงตัวที่เปลี่ยนไปอย่างไรเพื่อใช้อ้างอิงค่าการทดสอบทางกลที่ได้

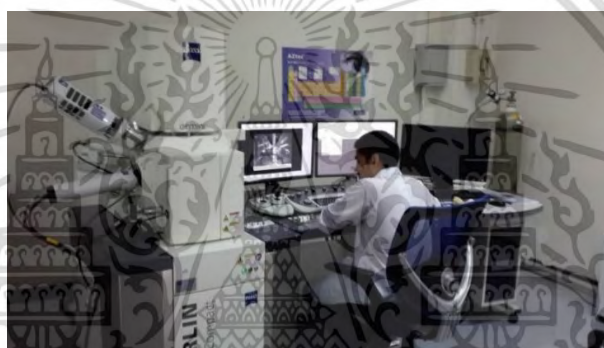
การส่องกล้อง SEM จะมีการเตรียมชิ้นงานโดยจำเป็นต้องให้ชิ้นงานมีขนาดเล็กและมีความชื้นน้อยที่สุด เพื่อให้ในการเคลือบทองก่อนทำการส่องกล้องทองจะสามารถติดได้ทั่วชิ้นงาน และในการส่อง 1 ครั้งสามารถวางชิ้นงานได้มากที่สุด 9 ชิ้น โดยใช้เครื่อง ZEISS MERLIN for Life Science วิธีการส่องกล้อง SEM ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการเตรียมแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันโดยมีขนาด 1x1 เซนติเมตร แล้วนำเข้าไปอบด้วยการอบในเงื่อนไขต่างๆได้แก่ การอบด้วยลมร้อน และการอบด้วยไมโครเวฟ
2. นำตัวอย่างที่ผ่านการอบแล้วมาวัดความชื้นอีกครั้งด้วยปั๊มสุญญากาศและเคลือบทองโดยใช้เครื่อง Cressington Sputter Cater จนกระทั่งความดันในหลอดแก้วมีค่าต่ำกว่า 40 มิลลิแอมป์ต่อมิลลิบาร์ แล้วทำการเคลือบทองลงบนชิ้นงานเพื่อให้ทองเป็นตัวจ่ายประจุอิเล็กตรอนแล้วนำชิ้นงานไปวางบนจานโดยหันด้าน Cross Section ขึ้นด้านบน ดังแสดงในรูป 4.45



รูปที่ 4.45 เครื่อง Cressington Sputter Cater

- นำตัวอย่างที่เตรียมเสร็จ เข้าเครื่อง Scanning Electron Microscope เพื่อดูลักษณะไม้หลังผ่านการอบ โดยจะเริ่มเดินเครื่องด้วยการยิงกระแสประจุอิเล็กตรอน 15 กิโลโวลต์ และใช้อัตราขยายภาพที่ 30 ไมโครเมตร แล้วบันทึกรูปที่ต้องการ ดังแสดงในรูป 4.46

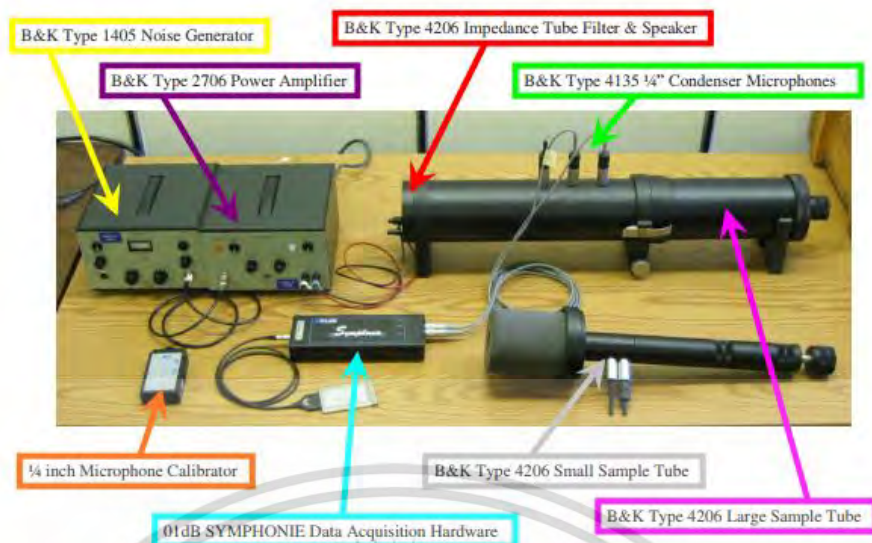


รูปที่ 4.46 ส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

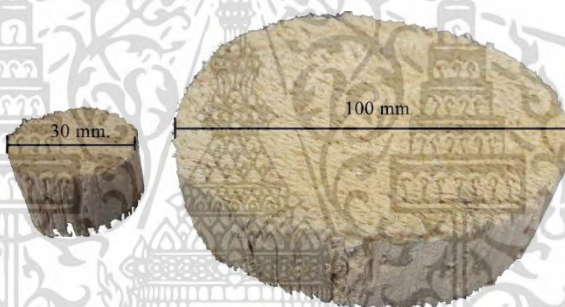
4.3.6 วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

การหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง (The sound absorption coefficients, SAC) ของแผ่นไม้ปาเล็ม ที่ได้รับความร้อนตามเงื่อนไขต่างๆ ถูกกำหนดโดยใช้วิธีการท่ออิมพีแดนซ์ (Impedance Tube) ตามมาตรฐาน ASTM E 1050 90 ดังรูปที่ 4.47 โดยใช้ท่อขนาดขนาดเล็กมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ใช้ทดสอบการดูดซับที่ความถี่สูง ในช่วง 500 ถึง 6400 เฮิรต และใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ท่อขนาดใหญ่สำหรับการทดสอบการดูดซับที่ความถี่ต่ำ ในช่วง 0.0 ถึง 1600 เฮิรต โดยเตรียมตัวอย่างขึ้นทดสอบดังรูปที่ 4.48 หาค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) เป็นค่าของจำนวนเลขที่บอกถึงขีดความสามารถในการดูดซับเสียงของวัตถุของค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง (SAC) ที่ 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz และ 2000 Hz ค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวน (NRC) แผ่นไม้ปาเล็มน้ำมัน ภายใต้เทคโนโลยีการอบแห้งทั้งสองชนิด ถูกกำหนดตามมาตรฐาน ASTM C423-09 ตามสมการ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.47 เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง แบบท่ออิมพีแดนซ์ (Impedance Tube) รุ่น the B&K Type 4206 Impedance Tube



รูปที่ 4.48 ขนาดแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง แบบท่ออิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

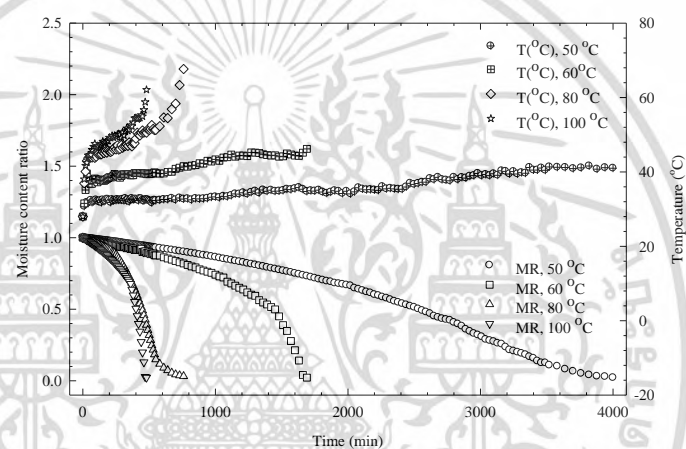
ผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะอธิบายผลการทดลองที่ส่งผลต่อการเป็นวัสดุดูดซับเสียงของแผ่นไม้ปาเล็มจากการทดลองอบแผ่นไม้ปาเล็มน้ำมันด้วยเครื่องอบไม้ปาเล็มด้วยลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ ที่เงื่อนไขของ อุณหภูมิ 50 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส และอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ 100 400 1200 และ 4000 วัตต์ โดยนำเสนอผลการทดลองการอบแห้งแผ่นไม้ปาเล็มน้ำมันของกระบวนการอบแห้งของจลนพลศาสตร์อุณหภูมิการอบแห้ง โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น อุณหภูมิกับเวลาในหัวข้อที่ 5.1 แล้วคุณสมบัติของแผ่นไม้ปาเล็ม ซึ่งดูจากคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลในหัวข้อที่ 5.2 แล้วอธิบายผลการทดลองโดยการศึกษาารูปลักษณะและการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในหัวข้อที่ 5.3 และนำเสนอผลการทดลองความสามารถในการดูดซับเสียงโดยหาได้จากค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของเสียงในหัวข้อที่ 5.4

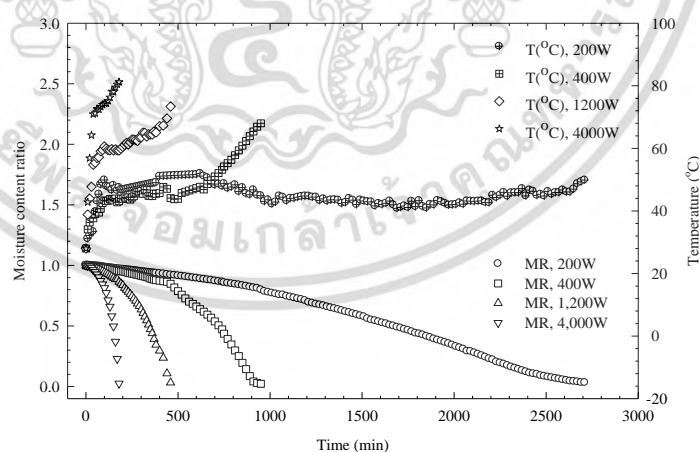
5.1 จลนพลศาสตร์อุณหภูมิการอบแห้งของของแผ่นไม้ปาเล็มน้ำมัน

จากสภาวะเริ่มต้นของแผ่นไม้ปาเล็มน้ำมัน โดยรักษาความชื้นและอุณหภูมิของแผ่นไม้ปาเล็มน้ำมัน ที่เตรียมไว้ก่อนหน้านี้นี้มีค่าเท่ากับ $350\% \pm 2.7\%$ มาตรฐานแห้ง และ 28 องศาเซลเซียส โดยทำการอบแห้งจนมีความชื้นสมดุลเท่ากับ $10\% \pm 2\%$ มาตรฐานแห้ง จากรูปที่ 5.1(ก) แสดงจลนพลศาสตร์ของอุณหภูมิความชื้นเทียบกับเวลาที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งแบบลมร้อนภายใต้อุณหภูมิ 50 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะ 50 องศาเซลเซียสความชื้นเป้าหมายที่ $10\% \pm 2\%$ db ใช้เวลา 4000 นาที โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นไม้ปาเล็มที่ 41.6°C ในขณะที่ภายใต้อุณหภูมิลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียสและ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 1470 นาทีและ 750 นาที โดยมีอุณหภูมิภายในของแผ่นไม้ปาเล็มน้ำมันที่ 47.7 องศาเซลเซียสและ 58.7 องศาเซลเซียสตามลำดับ ภายใต้สภาวะอบแห้งด้วยลมร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ให้ถึงความชื้นที่กำหนดไว้ใช้เวลา 470 นาที โดยมีอุณหภูมิของแผ่นไม้ปาเล็มน้ำมันที่ 63.4 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิความร้อนมีความสัมพันธ์ทางบวกกับอัตราการคลายความชื้น และมีความสัมพันธ์ในการลดลงของเวลาในการอบแห้ง กล่าวอีกนัยหนึ่งอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งมีความร้อนที่สูงขึ้นทำให้การลดลงของความชื้นและเวลาในการอบแห้งลดลงด้วย ระยะเวลาในการลดอัตราการอบแห้งสามารถแบ่งออกเป็นสามส่วนคือในตอนแรกเป็นช่วงเริ่มต้นของแผ่นไม้ที่ใช้ในการอบแห้ง มีความชื้นเริ่มต้นของแผ่นไม้ยังสูงอยู่ ผิวของแผ่นไม้จะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับแผ่นไม้ ทำให้อุณหภูมิจุดผิวแผ่นไม้มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก ของลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลาง อัตราการทำให้แห้งค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงอัตราทำให้แห้งคงที่ (constant rate) และช่วงที่สองเป็นช่วงที่น้ำภายในแผ่นไม้เคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า พลังงานความร้อนที่แผ่นไม้ได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากของวัสดุอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของแผ่นไม้จะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการ

อบแห้ง จุดสุดท้ายของช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่ อัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง ความชื้นของแผ่นไม้ ณ เวลานั้น เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content) และช่วงสุดท้ายคือเป็นช่วงที่ความชื้นในแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าแผ่นไม้ปาล์มอย่างต่อเนื่อง ผิวหน้าของแผ่นไม้ปาล์มเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของแผ่นไม้ปาล์มสูงขึ้นเรื่อยๆ อัตราการอบแห้งจะลดลง ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่าความชื้นสมดุล ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุด ภายใต้สภาวะที่ใช้อยู่ในขณะนั้น ที่ความชื้นนี้ อัตราการทำแห้งเป็นศูนย์ น้ำในแผ่นไม้ปาล์มไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก ในการอบแห้งด้วยอากาศร้อนพบว่าที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส เริ่มต้นการอบแห้งน้ำที่สม่ำเสมอในผลิตภัณฑ์จากภายในให้ไหลผ่านรูขุมขนจำนวนของแผ่นไม้ เพื่อชดเชยการสูญเสียน้ำที่เกิดจากการระเหยของผิว ก่อนสิ้นสุดการอบแห้งปริมาณน้ำภายในจะต่ำมาก สร้างความร้อนในรูพรุนและการนำที่เสียนไปเพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในของไม้



(ก)



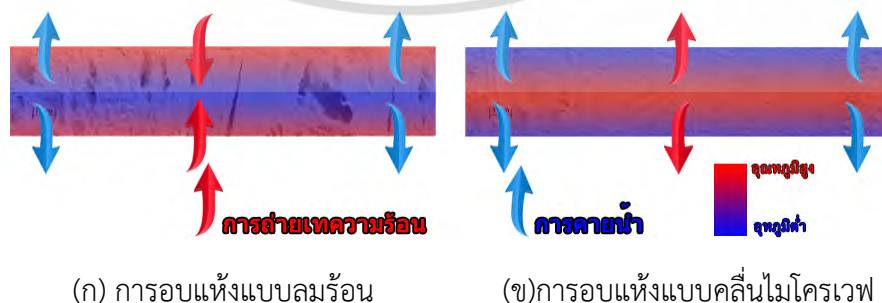
(ข)

รูปที่ 5.1 จลนพลศาสตร์ของอุณหภูมิความชื้นเทียบกับเวลา: (ก) การอบแห้งแบบลมร้อน
(ข) การอบแห้งแบบไมโครเวฟ

รูปที่ 5.1 (ข) นำเสนอจลนพลศาสตร์ของอุณหภูมิความชื้นเทียบกับเวลาของการอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ภายใต้สภาวะความร้อน 200, 400, 1200 และ 4000 วัตต์ ภายใต้เงื่อนไขระดับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานของคลื่นไมโครเวฟที่ 200 วัตต์ ใช้เวลาในการอบแห้ง 2770 นาทีโดยมีอุณหภูมิของแผ่นไม้ปาล์มประมาณ 50 องศาเซลเซียส ภายใต้เงื่อนไข 4000 วัตต์ ใช้เวลาจนถึงความชื้นสุดท้ายที่ตั้งค่าเอาไว้โดยใช้เวลา 180 นาที โดยมีอุณหภูมิของแผ่นไม้ปาล์มเฉลี่ย 81.2 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะ 400 วัตต์ และ 1200 วัตต์ โดยใช้เวลา 950 นาทีและ 450 นาที และมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 67.9 และ 73.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การเปรียบเทียบระยะเวลาการอบแห้งของคลื่นไมโครเวฟ ทั้งในสภาวะที่รุนแรงและปานกลางมีใช้ระยะเวลาสั้นกว่าแบบลมร้อน ผลจากการถ่ายเทมวลที่เกิดขึ้นไมโครเวฟทำให้แผ่นไม้ลดความชื้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีความชื้นสูงในแผ่นไม้ปาล์ม พลังงานไมโครเวฟถูกดูดซับได้อย่างมีประสิทธิภาพและเปลี่ยนเป็นความร้อนที่เหมาะสม อุณหภูมิแผ่นไม้ภายในที่ไม่สม่ำเสมอเกิดจากการกระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระจายไม่สม่ำเสมอ อาจเกิดการสะสมในบางตำแหน่งเรียกว่า จุดร้อน(Hotspot)[38] จากการวิเคราะห์แผ่นไม้ปาล์มน้ำมันพบว่าค่าความเป็นฉนวนสัมพัทธ์ (ϵ') ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (ϵ'') และ $\tan\delta$ ค่าความสามารถในการแปรเปลี่ยนพลังงานที่วัสดุดูดซับเป็นพลังงานความร้อนของชิ้นงานของไม้ปาล์มสดมีค่าเท่ากับ 5.61, 0.96, และ 0.17 ตามลำดับ ที่ความถี่ 2250 เมกะเฮิรตซ์ โดยใช้เครื่อง WaveAnalyser ของระบบไมโครเวฟ จากบริษัท PÜSCHNER เมื่อพิจารณาจากค่าความสูญเสียที่สูง (0.96) ของตัดแผ่นไม้ปาล์มสามารถดูดกลืนพลังงานไมโครเวฟได้เกือบทั้งหมด อย่างไรก็ตามการดูดซับพลังงานของคลื่นไมโครเวฟลดลงเมื่อความชื้นของแผ่นไม้ลดลงดังแสดงในรูปที่ 5.1(ข) การสร้างความร้อนภายในอันเนื่องมาจากคลื่นไมโครเวฟทำให้เกิดการสร้างความร้อนภายในซึ่งจะช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากแรงดัน ความชื้นจะลดลงปัจจัยการสูญเสียและอัตราส่วนการอบแห้งลดลงเมื่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง[39]

จากรูปที่ 5.2 ซึ่งเป็นพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนของการอบแห้งแบบลมร้อนและแบบคลื่นไมโครเวฟ โดยที่การถ่ายเทความร้อนของการอบแห้งแบบลมร้อนจะเกิดขึ้นที่ผิวแล้วนำความร้อนเข้าไปภายในเนื้อไม้ ส่วนน้ำที่ผิวของแผ่นไม้จะคายความชื้นไปกับลมร้อนและน้ำภายในจะพยายามแพร่ออกมาที่บริเวณผิวของแผ่นไม้ ส่วนการอบแห้งแบบคลื่นไมโครเวฟ โดยคลื่นไมโครเวฟจะทำให้เกิดการสั่นโมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในเนื้อไม้ปาล์มน้ำมันทำให้เกิดความร้อน และจะถ่ายเทความร้อนสู่ภายนอกเช่นเดียวกับน้ำที่อยู่ภายในจะพยายามแพร่ออกมาที่บริเวณผิวของไม้



รูปที่ 5.2 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการคายน้ำของการอบแห้ง (ก) การอบแห้งแบบลมร้อน (ข)การอบแห้งแบบคลื่นไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นไม้ปาเลียมน้ำมัน

จากการทดลองอบแผ่นไม้ปาเลียมน้ำมันด้วยการอบแห้งแบบลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ ภายใต้เงื่อนไขความชื้นแบบต่างๆ ของตารางที่ 5.1 ซึ่งการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ มีความสัมพันธ์ผกผันกับความหนาแน่นและแปรผันโดยตรงกับปริมาตรการหดตัวของแผ่นไม้ปาเลียม ซึ่งได้รับอิทธิพลอย่างมาจกสภาวะความร้อน อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก 50 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิต่ำสุด) กับ 100 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิมากที่สุด) มีค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาเลียม ลดลงจาก 265 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็น 247 กก. / ลบ.ม. ซึ่งที่อบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะเกิดรอยแยกของของท่อลำเลียง(Vascular bundles) กับเนื้อเยื่อ(Parenchyma) ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพอีกอันหนึ่งได้แก่ ปริมาตรการหดตัวจะเพิ่มขึ้นจาก 15.42% เป็น 23.94% สันนิษฐานว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน จะมีการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณผิวไปยังภายในของแผ่นไม้ ดังรูปที่ 5.2 (ก) ในช่วงแรกทำให้ผิวด้านนอกของแผ่นไม้เกิดการสูญเสียความชื้นและมีการหดตัวที่ผิวเล็กน้อย เนื่องจากมีอุณหภูมิที่ผิวไม่สูงมาก ทำให้ขนาดภายนอกไม่ได้เปลี่ยนแปลงมาก และทำการอบแห้งต่อเนื่องไปจนถึงความชื้นสมดุลทำให้ขนาดภายนอกมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ภายในเนื้อไม้ปาเลียมน้ำมันจะเกิดช่องว่างจากการฉีกขาดของความดันภายในที่คายน้ำออกไม่ทันจากภายในสู่ภายนอก จะพบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นมีค่าความหนาแน่นลดลงและเกิดการหดตัวเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 5.3 (ก)



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.3 ชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งของการหาค่าความหนาแน่น (ก) การอบแห้งแบบลมร้อน (ข) การอบแห้งแบบไมโครเวฟ

คุณสมบัติทางกายภาพตัวสุดท้ายที่สนใจได้แก่ สีของแผ่นไม้ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขของการอบแห้ง ค่า L^* หมายถึง ค่าแกนสีขาวไปถึงสีดำ หมายความว่าหลังจากการอบแผ่นไม้ปาเลียมน้ำมัน จะมีสีคล้ำเพิ่มขึ้นจาก 82.8 เป็น 71.72 ส่วนค่า a^* หมายถึงแกนสีเขียวไปถึงสีแดง โดยแผ่นไม้ปาเลียม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีเปลี่ยนเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นจาก 1.77 เป็น 6.49 และสุดท้ายแทนสีน้ำเงินไปสีเหลือง แผ่นไม้ปาล์ม จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 22.61 เป็น 27.01 และ Hue ค่ามุมสีที่แตกต่างกันลดลง จาก 87.31 เป็น 76.48 จากการวัดค่าของสีพบว่า แผ่นปาล์มสดมีสีเปลี่ยนหลังจากการอบด้วยลมร้อน แล้วแผ่นไม้ปาล์มจะกลายเป็นสีแดงอ่อน ดึงนำเสนอในตารางที่ 5.1 ซึ่งเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งแบบ ลมร้อนสูงขึ้นมีส่วนทำให้อัตราการคลายน้ำเร็วขึ้น ค่าความหนาแน่นต่ำลงและปริมาตรการหดตัว สูงขึ้น

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของแผ่นไม้ปาล์มที่เงื่อนไขอบแห้งแบบลมร้อนและ คลื่นไมโครเวฟภายใต้สภาวะความร้อนต่างๆ

ลักษณะการอบแห้ง		ค่าความ หนาแน่น หลังอบ (kg/m ³)	ค่าปริมาตร การหดตัว (%)	L*	a*	b*	Hue
ลมร้อน (องศาเซลเซียส)	50	265	15.42	82.8	1.77	22.61	87.31
	60	262	18.38	77.76	1.15	24.51	85.53
	80	259	21.92	77.64	3.11	21.27	81.68
	100	247	23.94	71.72	6.49	27.01	76.48
คลื่นไมโครเวฟ (วัตต์)	200	352	44.42	79.5	1.69	21.50	85.5
	400	385	48.72	75.17	3.80	21.49	79.98
	1200	416	53.69	59.01	6.15	25.06	76.20
	4000	458	65.90	48.58	6.19	21.55	73.97
แผ่นไม้ปาล์มสดมีค่าความหนาแน่น 900-1100 (kg/m ³)				70.55	1.88	26.13	85.88

จากการทดลองการอบแห้งแบบคลื่นไมโครเวฟการคายความชื้นจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วอย่างมากอันเป็นผลมาจากการถ่ายเทมวลที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ โดยการสร้างความร้อนจากภายในระดับพลังงานของคลื่นไมโครเวฟมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นและปริมาตรการหดตัวของแผ่นไม้ปาล์ม ค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาล์มจะเพิ่มขึ้นจาก 352 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็น 485 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และปริมาตรการหดตัวจะเพิ่มขึ้นจาก 44.42% เป็น 65.90% ภายใต้สภาวะการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟจากค่าระดับพลังงานที่ 200 วัตต์ (ต่ำสุด) เป็น 4000 วัตต์ (มากที่สุด) ตามลำดับ จากหลักการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ จะทำให้เกิดความร้อนจากภายในและมีการถ่ายเทความร้อนสู่ภายนอกที่บริเวณผิวของแผ่นไม้ ทำให้ภายในเกิดการหดตัวอย่างรุนแรงเมื่อระดับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานของไมโครเวฟสูงขึ้นดังรูปที่ 5.3 (ข) จึงทำให้ค่าความหนาแน่นมากขึ้นเป็นผลมาจากการกระตุ้นของคลื่นไมโครเวฟทำให้เกิดจากยุบของเนื้อเยื่อพาแรงไคมากรอบท่อลำเลียงและส่วนค่าปริมาตรการหดตัวจะสูงขึ้นตามมาของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน เมื่อน้ำถูกดึงออกจากวัสดุความไม่สมดุลของแรงดัน ซึ่งเกิดจากความแปรผันของความดันระหว่างด้านในของวัสดุและความดันภายนอก การหดตัวเกิดจากการสูญเสียความชื้นของเซล สำหรับการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ 4000 วัตต์ บางตำแหน่งของไม้เกิดจุดร้อน ทำให้เกิดการหดตัวที่รุนแรง มีผลทำให้แผ่นไม้ปาล์มน้ำมันบางส่วนเกิดการบิด และมีรอยไหม้ภายในเนื้อแผ่นไม้ บางครั้งการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้สีของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลเป็นตำแหน่ง โดยมีรอยไหม้ ซึ่งสอดคล้องกับความสว่างที่ลดลงของตารางที่ 5.1

5.3 สมบัติทางกลของแผ่นไม้ปาล์ม

ดังตารางที่ 5.2 แสดงสมบัติทางกล ได้แก่ ความเค้นดึงตั้งฉากเสี้ยน (Tensile Strength perpendicular to Grain) ความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน (Compressive Strength perpendicular to Grain) ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน (Shearing Strength Parallel to Grain) แรงดัด (Static Bending) และ ค่าความแข็ง(Hardness Strength) ด้วยความชื้นสมดุลที่ $10 \pm 2\%$ มาตรฐานแห้ง แผ่นไม้ปาล์มน้ำมันอบแห้งด้วยระบบลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ อบแห้งด้วยระบบลมร้อนมีความเค้นตั้งฉากกับเสี้ยน ค่าความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน แรงดัด และค่าความแข็งแรงและความแข็งลดลงเมื่ออุณหภูมิของอากาศร้อนเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งทำให้ค่าคุณสมบัติความแข็งแรงทางกลเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มกำลังการผลิตของคลื่นไมโครเวฟ ข้อสังเกตนี้สอดคล้องกับการหดตัวและความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากกำลังการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จากการเปรียบเทียบแผ่นไม้ปาล์มของการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ จะมีคุณสมบัติทางกลที่แข็งแรงกว่าของการอบแห้งแบบลมร้อน

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบสมบัติทางกลของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันที่ของการอบแห้งแบบลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟภายใต้สภาวะความชื้นที่กำหนดไว้

ลักษณะการอบแห้ง		Tension (MPa)	Compression (MPa)	Shear Strength (MPa)	Static Bending		Hardness Strength (kg)
					MOR (MPa)	MOE (MPa)	
ลมร้อน (องศาเซลเซียส)	50	0.2282	0.4108	0.4464	19.584	1145.457	43.1
	60	0.2035	0.3833	0.4226	14.761	933.315	37.8
	80	0.1788	0.2249	0.4026	12.146	904.727	19.5
	100	0.1463	0.1713	0.2884	6.591	698.809	13.6
คลื่นไมโครเวฟ (วัตต์)	200	0.2538	0.6226	0.5038	30.321	1163.098	22.8
	400	0.2819	0.7849	0.5174	31.459	1566.011	42.1
	1200	0.3347	0.9610	0.5302	32.529	2758.088	49.5
	4000	0.4222	1.5690	0.6640	76.840	8550.933	65.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

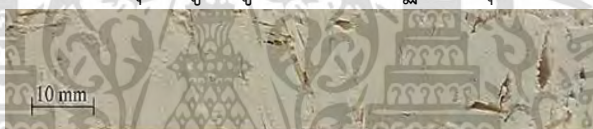
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลการทดลองของลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

รูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นถึงพื้นที่ตัดขวางและผิวด้านนอกของแผ่นไม้ปาเล็มที่เงื่อนไขการอบแห้งแบบลมร้อน ในรูปที่ 5.4 การอบแห้งด้วยลมร้อนทำให้เกิดโพรงและรอยแยก ซึ่งมีความสัมพันธ์ของอุณหภูมิความร้อน จะเกิดขึ้นมากที่ลมร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยแผ่นไม้ปาเล็มมีรูพรุน โพรง โดยโพรงมีขนาด 5-10 มิลลิเมตร ของรูปที่ 5.4(ง) ซึ่งที่อุณหภูมิของลมร้อนที่ต่ำลงจะทำให้เกิดช่องว่างที่น้อยลงไปด้วยดังรูปที่ 5.4 (ก-ค)

รูปที่ 5.5 แสดงภาพการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของแผ่นไม้ปาเล็มน้ำมัน ที่เงื่อนไขการอบแห้งแบบลมร้อนของอุณหภูมิต่างๆ ที่ 50, 60, 80 และ 100 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิความร้อนเพิ่มขึ้นจะเกิดรอยแยกระหว่างกลุ่มท่อลำเลียงและเซลล์เนื้อเยื่อของแผ่นไม้ปาเล็มน้ำมัน ซึ่งเด่นชัดมากที่สุดในรูปที่ 5.5 (ง)

สันนิษฐานว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน ทำให้ผิวด้านนอกของแผ่นไม้เกิดการสูญเสียความชื้นและมีการหดตัวที่ผิว ทำให้ความชื้นที่อยู่ภายในแพร่ออกมาได้ยาก จึงทำให้เกิดเนื้อเยื่อภายในฉีกขาดเป็นโพรงและเกิดรอยแยกระหว่างกลุ่มท่อลำเลียงกับเนื้อเยื่อเกิดรอยแยก เพื่อให้เกิดการคายน้ำจากด้านในสู่ผิวด้านนอกได้ โดยเฉพาะที่ลมร้อนอุณหภูมิที่สูงจะเกิดปรากฏการณ์รุนแรงมากขึ้น



(ก)



(ข)

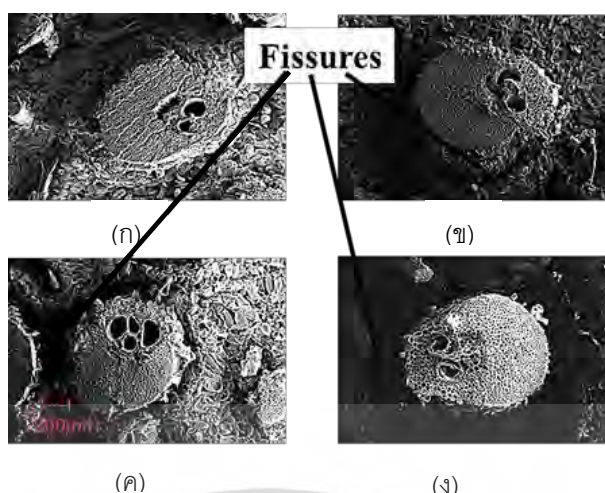


(ค)



(ง)

รูปที่ 5.4 ภาพตัดขวางของแผ่นไม้ปาเล็มน้ำมัน อบแห้งแบบลมร้อน ที่ (ก) 50, (ข) 60, (ค) 80 และ (ง) 100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.5 การส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกลุ่มท่อลำเลียงและเนื้อเยื่อของแผ่นไม้ปาล์ม ที่อบแห้งด้วยลมร้อน ที่ (ก) 50, (ข) 60, (ค) 80 และ (ง) 100 องศาเซลเซียส

ในรูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.7 ภายใต้รูปแบบการอบแห้งของ คลื่นไมโครเวฟ พบว่าแผ่นไม้ปาล์ม น้ำมันไม้พองอากาศภายในเนื้อและมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามระดับพลังงานของคลื่นไมโครเวฟ ตามรูปที่ 5.6(ก-ง) นอกจากนี้ยังพบว่ามี การเผาไหม้ภายในบางตำแหน่งที่ระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่ 4000 วัตต์ ดังรูปที่ 5.6(ง) ซึ่งสอดคล้องกับอัตราส่วนการหดตัวสูงสุด ผลการอบแห้งด้วยไมโครเวฟที่ 4000 วัตต์ ตามรูปที่ 5.6(ง) สอดคล้องกับสมบัติทางกายภาพ ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นประมาณ 10% และสมบัติทางกลสูงกว่ากำลังงานวัตต์ 1200 วัตต์ จากรูปที่ 5.7 แสดงภาพการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน ที่เงื่อนไขการอบแห้งแบบคลื่นไมโครเวฟจำนวน 200 400 1200 และ 4000 วัตต์ จะพบว่าไม่มีรอยแยกระหว่างกลุ่มท่อลำเลียงกับเนื้อเยื่อ ซึ่งเกิดการหดตัวสูงทำให้มีความหนาแน่นมากขึ้นเนื่องมาจากระดับพลังงานของคลื่นไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้น ทั้งรูปที่ 5.6 และ 5.7 เกิดจากคลื่นไมโครเวฟทำให้น้ำภายในเกิดการสั่นไปมา ทำให้เกิดความร้อนจากภายในและพยายามถ่ายเทความร้อนสู่ภายนอกที่บริเวณผิวของแผ่นไม้ เมื่อมีการคายน้ำอย่างรุนแรงจะทำให้เนื้อเยื่อมีการหดตัวอย่างรุนแรงเช่นกัน

5.5 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

แผ่นดูดซับเสียงที่ดีจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวน (NRC) ไม่น้อยกว่า 0.4 ซึ่งแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันมีความพรุนที่เกิดจากท่อลำเลียงและมีความหนาแน่นน้อยเหมาะแก่การผลิตเป็นแผ่นดูดซับเสียง ดังนั้นจึงทำการทดลองการอบแห้งแบบลมร้อนเปรียบเทียบกับ การอบแห้งแบบคลื่นไมโครเวฟ โดยหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงและค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวน ดังนี้



(ก)



(ข)

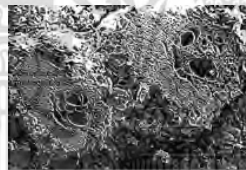


(ค)

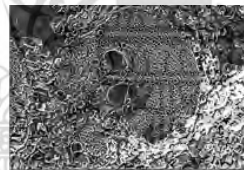


(ง)

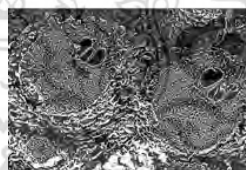
รูปที่ 5.6 ภาพตัดขวางของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน ออบแห้งแบบไมโครเวฟ ที่ (ก) 200, (ข) 400, (ค) 1200 และ (ง) 4000 วัตต์



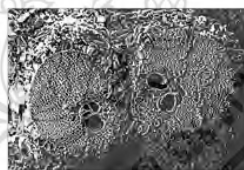
(ก)



(ข)



(ค)

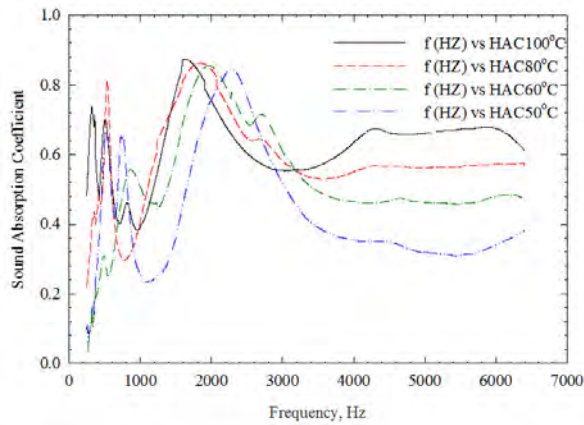


(ง)

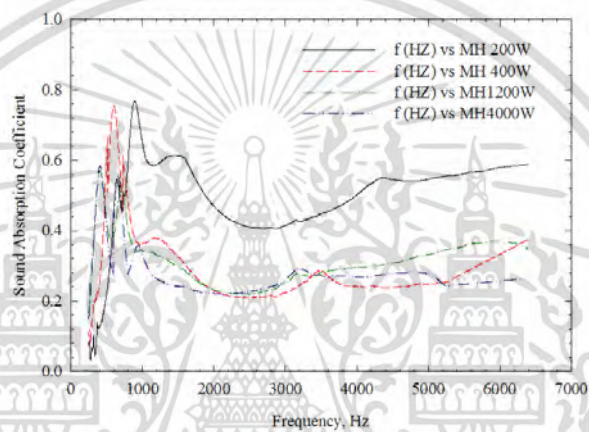
รูปที่ 5.7 การส่งกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกลุ่มท่อลำเสียงและเนื้อเยื่อของแผ่นไม้ปาล์ม ออบแห้งแบบไมโครเวฟ ที่ (ก) 200, (ข) 400, (ค) 1200 และ (ง) 4000 วัตต์

รูปที่ 5.8(ก) แสดงให้เห็นถึงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของการอบแห้งแบบลมร้อน มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่สูงอยู่ 2 ช่วง ความถี่ประมาณ 500 เฮิร์ตซ์ และความถี่ 2000 เฮิร์ตซ์ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงในช่วงแรกเกิดจากเนื้อของไม้ปาล์มน้ำมันมีท่อลำเสียง เป็นประเภทดูดซับเสียงแบบเมมเบรน โดยวัสดุเหล่านี้จะเกิดการสั่นตัวด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของเสียงที่ตกกระทบเกิดการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปเนื่องจากการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นเสียงไปเป็นพลังงานความร้อนให้แก่วัสดุนั้นๆ ซึ่งวัสดุนิดนี้จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงได้ดีที่ความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.8 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ของแผ่นไม้ปาล์ม ภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งแบบ: (ก)การอบแห้งแบบลมร้อน (ข) การอบแห้งแบบไมโครเวฟ

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงในช่วงที่สอง เกิดขึ้นจากพื้นผิวมีรอยแยกที่เกิดจากการอบแห้งแบบลมร้อน ซึ่งก็จะมีช่องโพรงอากาศภายในหลายช่อง มีขนาดเพิ่มขึ้นตามค่าของอุณหภูมิลมร้อนที่เพิ่มขึ้น ผลกระทบของอุณหภูมิที่สูงเหล่านี้ทำให้มีขนาดโพรงอากาศและรอยแตกที่มีความลึกระหว่างกลุ่มของหลอดท่อลำเลียงกับเนื้อเยื่อ ค่าเหล่านี้นำไปสู่การเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงประเภทวัสดุดูดซับเสียงประเภทเป็นโพรงหรือ Helmholtz resonator และประเภทวัสดุที่มีรูพรุน เกิดจากการสั่นตัวของปริมาตรอากาศในโพรงอากาศเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่เข้าออกของอากาศผ่านรูเปิดของโพรงอากาศ และเกิดการสั่นตัวภายในช่องว่างของวัสดุพรุน โดยมีความถี่ของการสั่นเท่ากับความถี่ของเสียงที่ตกกระทบ การสั่นตัวของโมเลกุลของอากาศนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเสียดทานและความหนืด การอบแห้งแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดประเภทของการดูดซับเสียงเป็นแบบวัสดุที่เป็นเมมเบรนมาใช้ร่วมกับวัสดุพรุน ทำให้สามารถดูดกลืนคลื่นเสียงที่มีช่วงความถี่กว้างได้ดีมากขึ้น และจะครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างมากขึ้น

ดังรูปที่ 5.8(ข) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน ที่ได้รับความร้อน เอกสารนี้เป็ชนิดคลื่นไมโครเวฟ วัสดุมีความหนาแน่นสูงเมื่อเทียบกับ การอบแห้งแบบลมร้อน ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซับเสียงสูงที่ย่านความถี่ช่วง 500 ถึง 1kเฮิรตซ์ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงเกิดจากเนื้อของไม้ปาล์มน้ำมันมีต่อลำเสียง เป็นประเภทดูดซับเสียงแบบเมมเบรน เช่น ไม้อัด กระดาษ ยิปซัมบอร์ด เป็นต้น โดยเนื้อขอไม้ปาล์มจะเกิดการสั่นตัวด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของเสียงที่ตกกระทบ และเนื่องจากวัสดุเหล่านี้ไม่สามารถยืดหยุ่นได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นสูงที่เกิดจากการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นจึงมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปเนื่องจากการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นเสียงไปเป็นพลังงานความร้อนให้แก่วัสดุชิ้นๆ ซึ่งวัสดุชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงได้ดีที่ความถี่ต่ำ ในขณะที่คลื่นความถี่สูงมักจะถูกสะท้อนออกจากเมมเบรน ทำให้มีการสูญเสียพลังงานให้กับเมมเบรนน้อยมากแต่อย่างไรก็ตาม

จากตารางที่ 5.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงสุดและค่าสัมประสิทธิ์การลดสัญญาณรบกวน (NRC) มากกว่า 0.4 ของชิ้นงานแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน โดยการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงสุด 0.87; 1624 Hz, 0.86; 1830 Hz, 0.85; 1961 Hz, 0.84; 2277 Hz ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง 0.4391, 0.4464, 0.5239, 0.5821 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียงมากกว่า 0.4 แสดงให้เห็นว่าแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบแห้งสามารถผลิตเป็นแผ่นดูดซับเสียงได้ โดยที่ผ่านการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง 0.5821 มากที่สุด ตามที่อธิบายในหัวข้อ 5.1-5.5 ส่วนการอบแห้งแบบคลื่นไมโครเวฟพบว่าที่ 200 วัตต์ มีค่าดีที่สุดในค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 0.76;894 Hz และค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง 0.3540 สามารถดูดซับเสียงได้บางส่วน

ตารางที่ 5.3 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงสุด (SAC) ที่ความถี่ต่างๆและค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวน (NRC) ของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน ภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งแบบลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ

ลักษณะการอบแห้ง		ค่าสูงสุดของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง @ ที่ความถี่(เฮิรตซ์)	ค่าสัมประสิทธิ์การลดสัญญาณรบกวน (NRC)
ลมร้อน (องศาเซลเซียส)	50	0.87; 1624 Hz	0.4391
	60	0.86; 1830 Hz	0.4464
	80	0.85; 1961 Hz	0.5239
	100	0.84; 2277 Hz	0.5821
คลื่นไมโครเวฟ (วัตต์)	200	0.76;894 Hz	0.3540
	400	0.75;599 Hz	0.3226
	1200	0.56;405 Hz	0.2929
	4000	0.55;412 Hz	0.2768

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาเงื่อนไขในการดำเนินการของกระบวนการอบแห้งที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงและค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวนของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน ได้มุ่งเน้นการผลิตแผ่นดูดซับเสียงที่ทำจากวัสดุธรรมชาติจากลำต้นปาล์มน้ำมัน ไม่ใช่สารเคมี ในการดูแลรักษา โดยหาวิธีการผลิตให้เป็นแผ่นดูดซับเสียงที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวน (NRC) ไม่น้อยกว่า 0.4 ดังนั้น จึงทำการทดลองการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 80 และ 100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบคลื่นไมโครเวฟ 200 400 1200 และ 4000 วัตต์ โดยหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงและค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวนและทำการศึกษาค่าคุณสมบัติต่างๆ ของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน เช่นคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกล แล้วส่งกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อดูกายภาพของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน เพื่ออธิบายปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง และค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงที่เกิดขึ้นของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน โดยสรุปดังนี้

6.1 สรุปผลการทดลอง

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงและค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวนของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันต้องมีคุณสมบัติ เช่น ความหนาแน่นต่ำ มีค่าความพรุนและโพรงหรือช่องว่างภายในเนื้อไม้มาก ปัจจัยเหล่านี้เกิดจากกระบวนการอบแห้งและระดับอุณหภูมิ จากการศึกษาพบว่า การอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 0.86 และค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงรบกวนสูงสุด 0.58 เกิดจากแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านเงื่อนไขการอบนี้ มีค่าความหนาแน่นน้อย มีค่าความพรุน โพรงหรือช่องว่างภายในเนื้อไม้จำนวนมาก เกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณผิวด้านนอกไปยังภายในของแผ่นไม้ โดยสันนิษฐานว่าที่จากการถ่ายเทความร้อนที่ผิวไปยังภายในของแผ่นไม้ ทำให้ผิวด้านนอกของแผ่นไม้เกิดการสูญเสียความชื้นและมีการหดตัวที่ผิว แต่ความชื้นภายในคายออกไม่ทันทำให้เกิดความดัน จึงเกิดรอยแยกระหว่างกลุ่มของท่อลำเลียงกับเนื้อเยื่อ และมีโพรงภายในแผ่นไม้ ซึ่งส่งผลให้การดูดซับเสียงดีขึ้น และเหมาะสมเป็นแผ่นดูดซับเสียงที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพสูง

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. แผ่นไม้ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็ก 200 x 200 หนา 20 มิลลิเมตร อาจจะมีการทดลองเพิ่มขนาดแผ่นไม้หรือเพิ่มความหนาของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมัน หรือนำลำต้นปาล์มน้ำมันที่ความสูงต่างๆ มาหาเงื่อนไขความร้อนที่เหมาะสม เพื่อผลิตเป็นแผ่นดูดซับเสียง
2. อาจจะมีการทดลองภายใต้การอบแห้งแบบผสมระหว่างลมร้อนกับคลื่นไมโครเวฟ แล้วเปรียบเทียบผลการทดลอง
3. ภายใต้การอบแห้งแบบลมร้อนควรจะมีการนำอากาศร้อนในห้องอบบางส่วนกลับมาให้ความร้อนและนำมาเข้าห้องอบอีกครั้ง เพื่อประหยัดพลังงานของการอบแห้ง
4. ภายใต้การอบแห้งแบบคลื่นไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 4000 วัตต์ บางตำแหน่งอาจเกิดจุดร้อนภายในแผ่นไม้ อาจทำให้เกิดการลุกลามของแผ่นไม้ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chen, C., Zhang, T., Sun, G., Wang, J., and Wang, G. "Windmill palm fiber/polyvinyl alcohol coated nonwoven mats with sound absorption characteristics," **BioResources** vol.11(2), 2016, pp.4212-4225.
- [2] Sa'adon, S. and Zafiah, A. "Utilization of oil palm trunk (elaeis guineensis) as foam composite for sound absorption," **Journal of Teknologi (Sciences & Engineering)**, vol.77:32, 2015, pp.75–82
- [3] Kerdongmee, P., Saleh, A., Eadkhong, T., and Danworaphong, S. "Investigating sound absorption of oil palm trunk panels using one-microphone impedance tube," **BioResources**. Vol.11(4), 2016, pp.8409-8418. DOI: 10.15376/biores.11.4.8409-8418
- [4] Cristina, C. F. G., Clara E. F.-G., Manuel F. V., Teresa, M. F. G., and Teresa G. O. "Acoustic and thermal evaluation of palm panels as building material," **BioResources** vol.12(4), 2017, pp.8047-8057.
- [5] Erwinsyah. **Improvement of oil palm wood properties using bioresin**. Institute for logging operations and forestry technology Faculty of Forest, Geo and Hydro Sciences Technical University of Dresden. 2008.
- [6] Schwarz, H. G. "Cement-bonded boards in Malaysia," **Proceedings of the. Fibre and particleboards bonded with inorganic binders**, Forest Products Research Society USA. 1985, pp.91-93.
- [7] Teck, C. L. and Ong, C. L. "Particleboard from oil palm trunk," **PORIM Bulletin**. vol.11, 1985, pp. 99-108.
- [8] Choon, K. K., Killmann, W., Choon, L. S., Mansor, H., Utilization, K., Shaari, K. C., and Khoo, A. R. M. A. "Characteristics of the Oil Palm Stem" **Forest Research Institute Malaysia**, Malaysia. 1991, pp.15-28.
- [9] Subiyanto, B., Subyakto, and Kawai, S. "Zero-emission processes of oil palm utilization case study of oil palm mill in PT. Kertajaya Lebak Banten province," in: **Proceedings of the Fourth International Wood Science Symposium**, Serpong, Indonesia. 2002, pp. 305-311.
- [10] Sulaiman, O., Salim, N., Nordin, N. A., Hashim, R., Ibrahim, M., and Sato, M. "The potential of oil palm trunk biomass as an alternative source for compressed wood," **BioResources** vol.7(2), 2012, pp.2688-2706. DOI: 10.15376/biores.7.2.2688-2706

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] Nadhari, W. N. A. W., Hashim, R., Sulaiman, O., Sato, M., Sugimoto, T., and Selamat, M. E. "Utilization of oil palm trunk waste for manufacturing of binderless particleboard: Optimization study," **BioResources**. Vol.8(2), 2013, pp.1675-1696. DOI: 10.15376/biores.8.2.1675-1696
- [12] Langrish, T. A. G. "Comparing continuous and cyclic drying schedules for processing hardwood timber: The importance of mechanosorptive strain," **Drying Technology** vol.31(10), 2013, pp.1091-1098. DOI: 10.1080/07373937.2013.769449
- [13] Sahbi, O., Lamine, H., Soufien, A., Sadoth, S. T., Ali, B., and Ahmed, K. "Modeling of combined microwave and convective drying of wood: Prediction of mechanical behavior via internal gas pressure," **Drying Technology**. Vol. 33(10), 2015, pp.1234-1242. DOI: 10.1080/07373937.2015.1022828
- [14] Vongpradubchai, S. and Rattanadecho, P. "Microwave and hot air drying of wood using a rectangular waveguide," **Drying Technology**. Vol.29(4), 2011, pp.451-460. DOI: 10.1080/07373937.2010.505312
- [15] Abdul Khalil, H.P.S., Amouzgar, P., Jawaid, M., Abdullah, C.K., Issam, A.M., Zainudin, E.S., Paridah, M.T., and Hassan A. "Physical and thermal properties of microwave-dried wood lumber impregnated with phenol formaldehyde resin," **Journal of Composite Materials** 2012, pp.1-7. DOI: 10.1177/0021998312467386
- [16] Lai, L. W. and Idris, A. "Disruption of oil palm trunks and fronds by microwave-alkali pretreatment," **BioResources**. Vol. 8(2), 2013, pp.2792-2804. DOI: 10.15376/biores.8.2.2792-2804
- [17] Jung, H. S., Eom, C. D., and So, B. J. "Comparison of vacuum drying characteristics of radiata pine timber using different heating methods," **Drying Technology**. Vol.22(5), 2004, pp.1005-1022. DOI: 10.1081/DRT-120038577
- [18] Ishita, B., Rajat, C., and Ranjana, C. "Intensification of freeze-drying rate of *Bacillus subtilis* MTCC 2396 using tungsten halogen radiation: Optimization of moisture content and α -amylase activity," **Drying Technology** vol.32(7), 2014, pp.801-812. DOI: 10.1080/07373937.2013.860459
- [19] Asdrubali, F. "Survey on the acoustical properties of new sustainable materials for noise control," **Euronoise**. Tampere, Finland. Vol.(30), 2006.
- [20] Hng, P. S., Wong, L. J., Chin, K. L., Tor, E. S., Tan, S. E., Tey, B. T., and Maminski, M. "Oil palm (*elaeis guineensis*) trunk as a resource of starch and other sugars," **Journal of Applied Sciences**. Vol.11(16), 2011, pp.3053-3057. DOI: 10.3923/jas.2011.3053.3057

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [21] Othman, S., Nurjannah, S., Noor, A. N., Rokiah, H., Mazlan, I., and Masatoshi, S. “The Potential Of Oil Palm Trunk Biomass As An Alternative Source For Compressed Wood,” **BioResources** vol.7(2), 2012, pp.2688-2706. DOI: 10.15376/biores.7.2.2688-2706
- [22] Sitti F. M. R., Othman S., Rokiah H., Takamitsu A., Akihiko K., Hisashi A., Yoshinori M., Yutaka M. “Characterization of parenchyma and vascular bundle of oil palm trunk as function of storage time.” **Lignocellulose Journal**. Vol 1, 2012.
- [23] A. Oloyede. , P. Groombridge. “The influence of microwave heating on the mechanical properties of wood.” **Journal of Materials Processing Technology**. Vol.100,2000, pp.67-73.
- [24] จรุงญ เจริญเนตรกุล, อัมพร หมัดแสละ. การนำไม้ปาล์มน้ำมันมาใช้ในการงานวิศวกรรม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 2551.
- [25] H.P.S. Abdul Khalil et al. “Optimization of bioresource material from oil palm trunk core drying using microwave radiation; a response surface methodology application.” **Bioresource Technology**. Vol.101, 2010, pp.8396–8401.
- [26] Vongpradubchai, S. and Rattanadecho, P. “The microwave processing of wood using a continuous microwave belt drier.” **Chemical Engineering and Processing**. 2009. pp.997-1003
- [27] Dangvilailux P., Charoensuk J., “The study of microwave and hot air drying on mechanical properties of oil palm timbers.”, **The 9th Thai Society of Agricultural Engineering Internatinal Conference**, 8-10 September 2016
- [28] Srivaro, S., Matan, N. and Lam, F. “Stiffness and strength of oil palmwood core sandwich panel under centerpoint bending.” **Materials and Design**, 2015. pp.154–162
- [29] Webb, J.D. “Noise Control in dusty.” **Sound Research Laboratories**. 1976.
- [30] ทวีสุข พันธุ์เพ็ง. การพัฒนากับปัญหาภาวะมลพิษทางเสียง การป้องกัน และการแก้ไข. ในรายงานการฝึกอบรมเรื่อง การจัดการด้านสิ่งแวดล้อม. กองวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. กรุงเทพมหานคร. 2529.
- [31] David, A. Harris. **Noise Control Manual**. New York. Van Nostrand Reinhold. Department of Environmental Review and Assessment. Rubberized Asphalt Traffic Noise Reduction Study. California: U.S.A. 1991.
- [32] Doelle L.L. and Arch.M. **Environmental Acoustic**. McGraw-Hill Book Company. 1972.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [33] Olivo, C.T. and T.P. Olivo. **Fundamentals of Applied Physics**. New York. Delmar Publishers. 1978.
- [34] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. **การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท** โครงการส่งเสริมการสร้างตำรา คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2540.
- [35] อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์. **การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการผลิตคอนกรีตมวลเบาสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย**. เพชรบูรณ์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. 2556.
- [36] Bachtiar, D., Sapuan, S.M., Zainudin, E.S., Khalina, A. and Dahlan, K.Z.M. “The Tensile Properties of Single Sugar Palm (Arenga Pinnata).” **Materials Science and Engineering** vol.11 (2), 2010.
- [37] Rudenberg, H Gunther and Rudenberg, Paul G. **Chapter 6 – Origin and Background of the Invention of the Electron Microscope: Commentary and Expanded Notes on Memoir of Reinhold Rüdberg**. Advances in Imaging and Electron Physics. Elsevier. 2010, ISBN 978-0-12-381017-5. doi:10.1016/S1076-5670(10)60006-7
- [38] Lars, H. **Microwave Treatment of Wood**. Doctoral Thesis, Luleå University of Technology, Skellefteå, Sweden. 2007.
- [39] Feng, H., Tang, J., Cavalier, R. P., and Plumb, O. A. “Heat and mass transport in microwave drying of porous materials in a spouted bed,” **AIChE Journal** vol.47(7), 2001, pp.1499-1512. DOI: 10.1002/aic.690470704



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.
บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The study of microwave and hot air drying on mechanical properties of oil palm timbers

Panya Dangvilailux, Jarruwat Charoensuk*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

Corresponding author Jarruwat Charoensuk. E-mail: jarruwat.ch@kmitl.ac.th

Abstract

Experiments of oil palm wood drying using microwave oven combine hot air, which oil palm wood was most doing not benefit. A chamber with the size of 500 × 1000 × 1000 mm³ is made of stainless steel type 316 using 4 magnetrons (100-1000w/unit). Materials preparation was oil palm wood, which is selected based on the timber from the stem up to 3 meters for over 20 years with the size of 5mm × 250mm, 2.5mm (thickness). The saw pattern oil palm stems were Cobweb saving. The sample of oil palm wood is hot air oven baked at 105°C for initial moisture content by control moisture content of oil palm wood is between 8 to 12% of a standard timber. The study was three methods of experiments with a microwave drying with at 1200, 1,600 and 2000W, hot air at the wind speed of 2.1 m/s, the temperature at 65 and 95 °C and fixed microwave power level at 1600W, hot air at the temperature of 65 and 95 °C .The result of fixed microwave drying, the temperature at 65 to 10±2%Db, the drying time 1,200 min, the highest temperature within 59.35°C, the results of mechanical properties have compressive parallel to grain, shear strength parallel and static bending properties, modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) were 17.01, 0.5437, 34.18 and 3437.56 MPa, respectively. The twist and shrink less. This timber can be used for interior or type of furniture.

Keywords: Oil Palm Wood, Microwave Drying, Hot Air Drying, Oil Palm Timber, Mechanical Properties

1 Introduction

Timber is very important in the wood products industry and commonly used structural engineering material. Wood is a renewable material that can be used in a wide variation of products and applications. To get the highest possible value out of the wooden products it is important, prior to the use, to be able to characterize and sort the wood according to its specific properties. The earlier a correct classification can be done the better the remaining production chain can be adapted to the specified end product.^[1] An incorrect moisture content can result in mold growth,^[2] checks, twisting, shrinkage or swelling^[3]. This research studied the effect of drying of oil palm timber (OPT) with microwave and hot air. The oil palm (*Elaeis guineensis*) is grown extensively in Southeast Asia and Equatorial Africa and it produces more oil per area than any other plant^[4] Lots of oil palm woods (OPW) are available annually because the oil palm trees lifespan is about 25 to 30 years. Basically, the producer countries have been facing a serious environmental

problem concerning to the solid biowaste handling of oil palm industry, particularly the oil palm trunk after replanting activity. It is predicted that more than 20 million cubic meter biomass from oil palm trunk are available annually.^[5] In Thailand, four methods of replanting have already been adopted, such as push-felled and windrow or burn, chip and windrow or burn, drops drilling chemicals and use to burn for electricity, is shown in Fig.1-4. The tree trunk usually takes between five to six years to decompose.^[6] These replanting methods were created to very significant air pollution. The total biomass of 95 million tons are generated annually.^[7]

The purpose of this research is the oil palm trunks used and add value by processing the timbers, our work will focus on the effect of microwave drying and hot air drying technologies on the kinetics rate and physical, mechanical of the oil palm timber.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากสภา

วิศวกรรมแห่งประเทศไทยทั้งห้าแห่ง มีให้ดาวน์โหลดเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงสภาวิศวกรทุกครั้ง



Figure 1 push-felled and windrow or burn



Figure 2 as push-felled chip and windrow or burn



Figure 3 drill to drops of chemicals



Figure 4 oil palm trunks to use of burn for electricity

2 Materials and Methods

2.1 Oil Palm Trunk Processing

In material preparation, all selected oil palm trees were felled manually using the chainsaw. In order to get the homogeneous lumbers, the bottom part of the trunk was marking of vascular bundles distribution at the transverse section. This was determined initially the oil palm wood zoning. Moreover, eight trees were sawn and processed into lumber. Oil palm trees were felled and the stems were cut shortly to 3.0 m long logs and transverse section of oil palm trunk (Fig.5). All of the trees were taken from replanting age (25-year-old) oil palm plantation in Chumphon, Thailand and the properties of the wood were shown in at table 1.

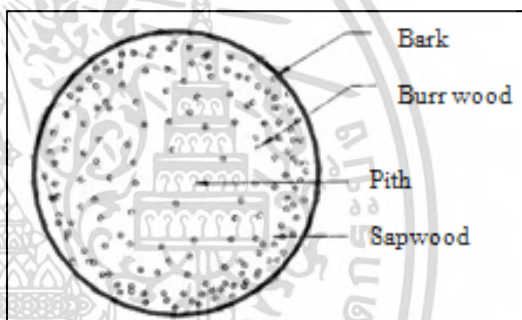
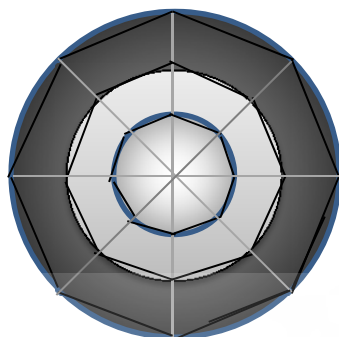


Figure 5: Oil palm trunk at transverse section consists of the main part of the trunk and the cortex and bark.^[5]

This study was to design of sawing the pattern by cobweb sawing, (Fig.6) depend on the trunk condition. Lumbering process of oil palm trunk using the chainsaw is presented.^[8] The specimen wood has the dimension of 5mm x 250mm, 2.5mm (thickness). They were soaked in hot water at 85°C for 20 min. The OPT was held at an initial temperature of 28°C and a moisture content of 197 ± 3.4% (dry basis).

Table 1. The properties of oil palm lumber^[8]

The properties of the lumber	value
Natural specific gravity	0.71-0.76
Dry specific gravity	0.39-0.41
Wet specific gravity	0.65-0.67
Moisture content	80-90%
Absorption	60-70%



Cob sawing(CS)

Figure 6 Sawing patterns were called cobweb sawing^[8]

2.2 Experimental Apparatus

The Chamber of drying with microwave drying and hot air is shown in Fig.7. It has the dimension of a 500 × 1,000 × 1,000 mm³ was made of stainless steel type 316, 1mm thick with 4 magnetrons and electrical heater. It had a microwave power level of the power output of 100 – 4,000W at the frequency of 2,450MHz. The electrical heater of hot air had a maximum power output of 5,000W but controlled at 40 to 180°C by a thermostat and equipped with a blower to create air speed of 2.00m/s. A circulating fan was installed, distributing hot air and waves in the heating chamber.

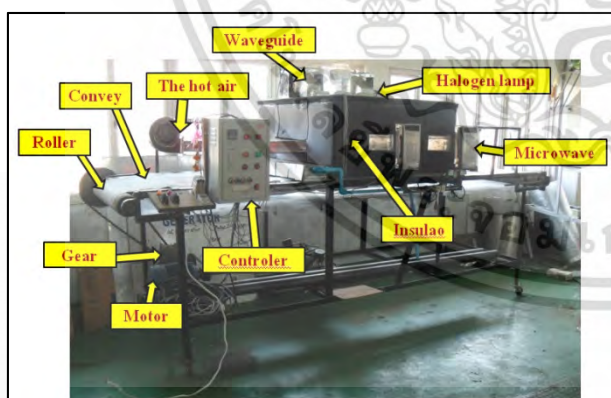


Figure 7 Apparatus of the chamber drier in this study

2.3 Method of OPT Specimens Test Conditions

The test conditions were 1200W, 1600W and 2,000W for microwave heating mode, 65°C and 95°C for the hot air and 1600W at 65°C and 1600W at 95 for combined Microwave and hot air at. One batch of OPT had 9 pieces. One heating cycle was completed when the final moisture content reached 10 ± 2% db.

The test in the drying of the OPT involved examination of the effects on various parameters on drying kinetics. The results are divided into; physical properties of moisture content recommended by ASTM D 2395-14 (Standard methods of testing density and specific gravity of wood and wood-based materials),^[9] mechanical properties (compressive parallel to grain, shear strength parallel and static Bending) recommended by ASTM D143-14 (Standard methods of testing small clear specimens of timber).^[10]

The moisture Content (MC) of the OPT was calculated using this formula equation (1)^[11]

$$MC(\%) = \frac{M_{ini} - M_o}{M_o} \times 100 \quad (1)$$

where MC, M_{ini} , and M_o are the average moisture content of specimen at the time of the test (kg water/ kg dry mass), initial mass, oven-dry mass, respectively.

3 Results and Discussion

The drying of OPT can be a time-consuming process. The timber industry has been using several methods to reduce the drying time of timber for many years; these include drying the wood at elevated temperatures in conventional ovens or kilns, drying in radio frequency or microwave ovens, or a combination of the two. Little attention has been given to quantifying the effect of drying method on the mechanical properties of the wood, especially where this involves microwave energy with its interior to exterior heating characteristics. In this study, oil palm timber was dried to pre-determined moisture contents using several drying methods.

3.1 Desorption Rate and Temperature in Wood During Drying

During drying process in the conventional oven at 105°C about 72 hour, the sample of OPT was initial moisture content 190 ± 3.4%db is reduced down to 8 to 12% Db (standard).

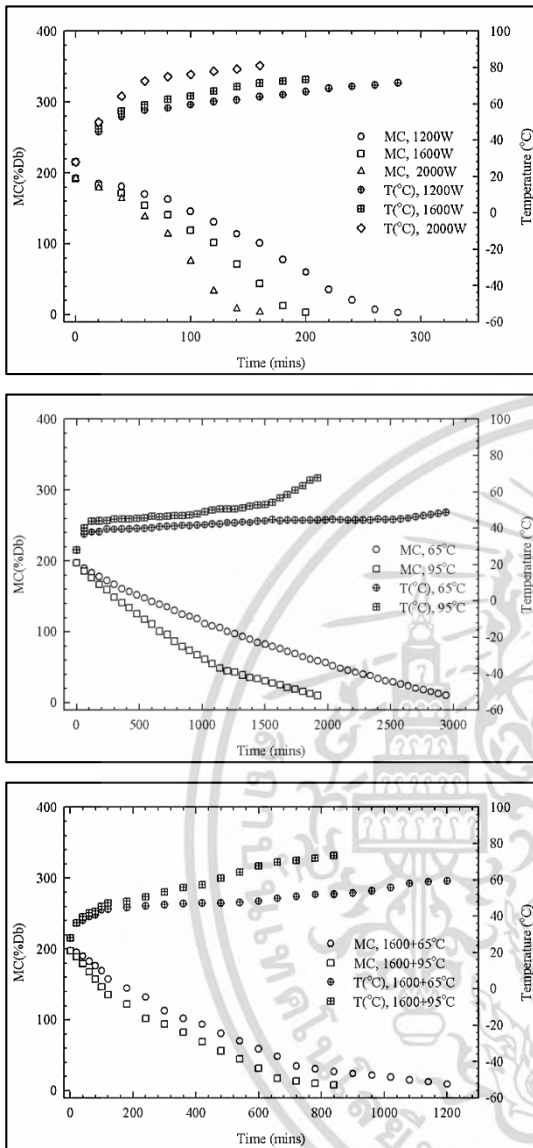


Figure 8 Moisture content and temperature with time of (a) Microwave drying (b) Hot air drying and (c) Microwave combined with hot air drying

Figure 8 shows the moisture content profiles and temperature profiles with respect to elapsed times as parameters of the microwave, hot air and Microwave combined with hot air.

Fig.8a found that at a high microwave power level, the moisture content profile of decreases fastest and temperature profile of the OPT continuously rises faster than that in the case of low microwave power level. The temperature profiles within the OPT rise up rapidly to 71.6°C, 73.36°C and 81.23°C for powers of 1200, 1600 and 2000 W, respectively, during 0 to 280 min. The moisture

content profile of decreases fast to 10±2%Db, the drying time 280, 200 and 160 min for powers of 1200, 1600 and 2000W, respectively. For microwave power level at 2000W has burn and shrinkage increased of OPT.

Fig.8b found that at a high hot air, the moisture content profile of decreases fastest and temperature profile of the OPT continuously rises faster than that in the case of low hot air. The temperature profiles within the OPT rise up slower to 48.65°C and 67.66°C for the temperature of hot air at 65°C and 95°C, respectively, during 0 to 2,940 min. The moisture content profile of decreases slow to 10 ± 2% Db, the drying time 2,940 and 1,920 min for the temperature of hot air at 65°C and 95°C, respectively.

Fig.8c found that in the case of fixed microwave power level at 1600W, parameters of hot air temperature at 65°C and 95°C, that at a combine microwave power and high hot air, the moisture content profile of decreases fastest and temperature profile of the OPT continuously rises faster than that in the case of fixed microwave power and low hot air to 59.35°C and 73.39°C for material temperature of fixed microwave power level at 1600W, hot air temperature at 65°C and 95°C, respectively, during 0 to 1,200 min. The moisture content profile of decreases slow to 10 ± 2% Db, the drying time 1,200 and 840 min for the temperature of hot air at 65°C and 95°C, respectively.

3.2 Impact of Drying Method on the Mechanical Properties of OPB

Considering the effect on the strength of specimens from these three methods, it was found that the combined of microwave drying and hot air to higher mechanical strength than microwave drying and hot air, respectively. Table 2 shows the results of compressive parallel to grain, shear strength parallel and static bending of dried OPT. The results show that an increase in microwave power level effect to internal burn and reduces the strength of the dried timber. The dried specimens in hot air at high temperature have higher of shrinkage as compared with those obtained from the hot air at low temperature, raise the strength of the dried

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ตามประการ

นี้เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้นักศึกษามีความเข้าใจในกระบวนการผลิตและต้องอ้างอิงถึงเอกสารต้นฉบับ

timber. Finally, the specimen found that in the case of the combine of microwave drying and hot air present the best mechanical properties compared to microwave drying and hot air. Table 2 summarized the mechanical properties of OPT according to the conditions of combine of microwave drying and hot air at fixed microwave power level at 1600W, hot air temperature at 65°C, compressive parallel to grain, shear strength parallel and static Bending of MOR and MOE were 17.01, 0.5437, 34.18 and 3437.56 MPa, respectively.

Table 2 Effect of using heat technique experimenter on OPB for Mechanical Properties

Incident power level (W)	hot air (°C)	Compressive parallel to grain (MPa)	Shear strength parallel (MPa)	Static Bending	
				MOR (MPa)	MOE (MPa)
1200	-	13.57	0.4302	16.28	1062.35
1600	-	18.98	0.5207	16.48	1995.22
2000	-	11.12	0.5140	14.05	1726.67
-	65	9.62	0.2208	11.55	1201.28
-	95	6.185	0.3741	16.46	1523.95
1600	65	17.01	0.5437	34.18	3437.56
	95	9.82	0.4938	27.85	3275.96

4 Conclusions

The experiment of microwave drying, hot air and combine of microwave drying and hot air drying has been using the OPT with the size of 5mm x 250mm, 2.5 mm (thickness). The following paragraph summarizes the conclusion of this study.

1. The effects of high microwave power level, the moisture content profile of decreases fast and temperature profile of the OPT continuously rises fast. This is because in the case of dielectric properties of wood, which would correlate to microwave energy absorbed and depends on the changing in the configuration of the electric field in the OPT due to the variation of moisture contents.^[12]

2. The effects of high hot air, the moisture content profile of decreases fast and temperature profile of the OPT continuously rises fast. This is because, in hot air drying, the drying rate was more in the beginning of the

procedure when the air stream easily evaporates moisture from the OPT.

3.The effects of fixed microwave power level, at temperature 65, the moisture content profile of decreases slow and temperature profile of the OPT continuously rises slowly. The reason is high hot air temperature, convective drying is strong while the microwave energy is still supplied. For the moisture content profile, in the early stages of drying, the large moisture content corresponds to a higher dielectric loss factor. A majority of the microwave can be absorbed within OPT.^[13]

4.The effect on the strength of specimens from OPT, it was found that the combined of microwave drying at 1600W and hot air at 65C to highest mechanical strength than microwave drying and hot air, respectively.

This knowledge is fundamental to understanding the drying process using combined microwave energy and convection in understanding the basis of drying in porous media of oil palm timber. The twist and shrink less. This timber can be used for interior or type of furniture.

5 Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the financial support provided by the Office of National Research Council of Thailand (NRCT) and King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, and knowledge of analyzing properties oil palm wood provided under Research Center of Microwave Utilization in Engineering at Thammasat University.

6 References

- S. Grundberg, An X-ray LogScanner – a Tool for Control of the Sawmill Process, Lule University of Technology, Skellefte (1999).
- S. Geving, J. Holme. The drying potential and risk for mold growth in compact wood frame roofs with built-in moisture, J. Build. Phys. Pp 249 (2010).
- B. Esping, Tr torkning grunder torkning, Stockholm.Effects on microwave measurements and simulations when collecting data close to edges of wooden boards (1992).



- Poku, K.. Small-scale palm oil processing in Africa. FAO agricultural services bulletin, 148 (2002).
- Erwinsyah. Improvement of Oil PalmWood Properties Using Bioresin, Institute for logging operations and forestry technology Faculty of Forest, Geo and Hydro Sciences Technical University of Dresden (2008).
- Biomass Now - Sustainable Growth and Use Edited by Miodrag Darko Matovic, ISBN 978-953-51-1105-4, 552 pages, Publisher: InTech (2013).
- MPOB, 2012 Malaysia Palm Oil Board (MPOB) Overview of the Malaysian oil palm industry (2012). http://econ.mpob.gov.my/economy/Overview_2011_update.pdf (assessed 2 July 2016)
- J.Charoenatkul, A.madsalae, The use of Palm Wood in the work engineering. Rajamangala University of technology Srivijaya (2008).
- ASTM-Standard. Annual book of American Standard Testing Methods (ASTM-Standards), Designation: D2395 – 14, Standard test methods for density and specific gravity (relative density) of wood and wood-based materials, ASTM, USA, 1–13 (2014).
- ASTM-Standard. Annual book of American Standard Testing Methods (ASTM-Standards), Designation: D143 – 14, Standard test methods for small clear specimens of timber. ASTM, USA, 1–31 (2014).
- Sahbi, O.; Lamine, H.; Soufien, A.; Sadoth, S. T.; Ali, B.; Ahmed, K. Modeling of combined microwave and convective drying of wood: Prediction of mechanical behavior via internal gas pressure. *Drying Technology*, 33, 1234–1242 (2015)
- Ratanadecho, P.; Aoki, K.; Akahori, M. Influence of irradiation time, particle sizes and initial moisture content during microwave drying of multi-layered capillary porous materials. *ASME Journal Heat Transfer*, 124(1), 151–161 (2002).
- Rattanadecho, P.; Vongpradubchai, S.. Microwave and Hot Air Drying of Wood Using a Rectangular Waveguide. *Drying Technology*, 29: 451–460 (2011)



The Study of Halogen Lamps and Microwave Drying on Mechanical Properties of Oil Palm Timbers

Panya Dangvilailux¹, and Jarruwat Charoensuk^{1*}

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

Corresponding author: Jarruwat Charoensuk. E-mail: jarruwat.ch@kmitl.ac.th

Abstract

Utilization of oil palm trunk waste for production of timber was studied to comparison was made on drying kinetics and mechanical properties of oil palm timber (OPT) obtained from; i) halogen heaters ii) microwave drying and combine between halogen heaters and microwave drying. A chamber with a size of 500 × 1000 × 1000 mm³ was made of stainless steel type 316. Materials preparation was OPT, which was selected based on the timber from the stem up to 3 meters for 26 years with a size of 25 × 50 × 250 mm³. The saw pattern oil palm stems were cobweb sawing. The initial moisture content of fresh disc was approximately 197 ± 3.4% on dry basis (db), while the moisture content of oil palm wood was between 10-12% of a standard timber. The drying process involving microwave power level at 1200, 1600 and 2000 W, and halogen heaters at 2000 W by controlling temperature at 50, 70 and 90°C were compared with the process that combined the microwave power at 1600 W with the halogen heater at 70 and 90°C. It was found that by applying the microwave power of 1,600 W with halogen heater at 70 °C for 400 minutes, compressive parallel to grain, shear strength parallel and static Bending of MOR and MOE 19.43, 0.64, 36.43 and 4474.85 MPa, respectively. The OPT had shown little sign of twist and shrinkage, thus used for interior decoration or furniture fabrication.

Keywords: Oil palm trunk, Oil Palm Wood, Oil Palm Timber, Microwave Drying, Halogen heater.

1. Introduction

Oil palm (*Elaeis guineensis*) is grown widely in Southeast Asia, South America and Africa near Equatorial. In total, more than 97% of the volumes of palm derivatives sourced from Indonesia, Malaysia Brazil, Colombia, Guatemala, Papua New Guinea and Thailand. It produces more oil per area than any other plant [1,2]. Oil palm is the most important plant from Thailand. It has helped to change the economy. Industrial oil palm had been used for producing oil (crude palm oil, kernel palm oil) and biomass from empty fruit bunches (EFB), palm pressed fibers (PPF), palm shells, oil palm trunks (OPT), and oil palm fronds (OPF) [3-4]. The oil palm trees useful life is about 25 to 30 years, making them to be very high and expensive to the harvest. Basically, the producer countries have been facing a serious environmental problem concerning to the solid bio-waste handling of oil palm industry, particularly the oil palm trunk after replanting activity. It is predicted that more than 20 million cubic

meter biomass from oil palm trunk are available annually [5].

Timber is widely used in many industrial and household products. Wood is very important renewable material that can be converted to products for various applications. Commercial wood is expensive and hard to find nowadays, such as hardwood and softwood because of scarcity of wood from natural forests or planting trees. The specific properties can be monitored in order to improve the production chain appropriate to the specified end product [6]. However, careless reduction in moisture content can result in mold growth [7], checks of wood properties, twisting, shrinkage or swelling [8].

In Thailand, old palm trees have been cut down with four methods of re-plantation such as 1.push-felled and windrow or burn 2.chip and windrow or burn 3.drilling and injection of chemicals and 4.move to burn for electricity, is shown in Fig.1-4. The third method, the old palm trees usually takes between five to six years to decompose [9].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



All methods created air pollution which is the important issue for the environment.



Figure 1. Push-felled and windrow or burn.



Figure 2. Push-felled chip and windrow or burn.



Figure 3. Oil palm trees, drilled and injected with chemicals before being cut down for re-plantation.



Figure 4. Oil palm trunks for generating electricity.

As far as heating is concerned, a tungsten halogen heater provides near infrared radiation. It will infiltrate into

product deeper than the mid-infrared radiation thus resulting in drying time saving [10]. The recent technological advancement concerned with drying hardwood and softwood with microwave [11,12].

This research focused on evolution of physical and acoustic properties of OPT undergoing moisture content reduction with halogen heaters and microwave drying. Oil palm woods (OPW) were selected from the oil palm tree at the age about 25 to 30 years old. It was expected that the oil palm trunks could have better value added by processing it into timbers. The effect of halogen heaters and microwave drying technologies on the kinetics rate and physical, mechanical property of the OPT will be reported in this paper.

2. Materials and Methods

2.1 Oil Palm Trunk Processing.

This research has been prepared OPT for experimental at planted in Chumphon, Thailand. Oil palm tree was 26 years old, the stems were cut the long log of oil palm trunk not more than 3.0 m in shown figure 5.



Figure 5. The stems cut long not more than 3.0 m.

The lower part of oil palm trunk contains vascular bundles distributed at sapwood. In order to get the homogeneous lumber, the bottom part of the trunk was the high-density part as shown in cross-sectional cut in figure 6. This was determined initially in the oil palm wood zoning step. Moreover, eight segments were sawn and processed into lumber as shown figure 7.

After being sawed into pattern by cobweb (Fig.8), oil palm trunk was further cut by chainsaws into slices according to the conditions being set in the experiment [13]. The specimen has the dimension of $50 \times 250\text{mm}^2$, with 25mm in thickness as shown in figure 9. They were



boiled in hot water at 85°C for 20 min. OPT was used in experiments with the initial temperature of 28°C, the moisture content of 197 ± 3.4% on the dry basis (db) and the properties of the wood were given in table 1.



Figure 6. Oil palm trunk at transverse section consists of the main part of the trunk, cortex and bark.



Figure 7. Sawing patterns were called cobweb sawing.



Figure 8. The trunk was sawed into pieces by cobweb.



Figure 9. Timber of dimension of 50 x 250, 25mm (thickness).

Table 1. The initial properties of OPT^[13]

The properties of timber	value
Natural specific gravity	0.71-0.76
Dry specific gravity	0.39-0.41
Wet specific gravity	0.65-0.67
Moisture content(%db)	197 ± 3.4%
initial temperature	28°C

2.2 Experimental Apparatus.

The chamber of drying with halogen heater and microwave drying is shown in Fig.10. It has the dimension of a 500 × 1,000 × 1,000 mm³ was made of stainless steel type 316, 1mm thick, cover insulator, 4 x halogen heaters and 4 x magnetrons (Fig.11). Halogen heater has the power output 500W, controlled at 40 to 180°C by a thermostat and equipped with a blower to create air speed of 2.00 m/s. Microwave magnetrons has the power level of 100 – 1,000W at the frequency of 2,450MHz. A circulating fan was installed, distributing hot air and waves in the heating chamber.

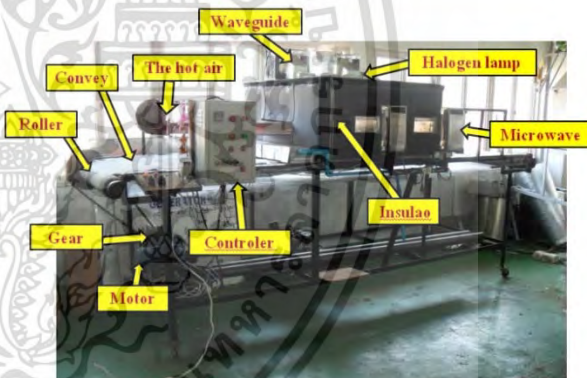


Figure 10. Apparatus of the chamber drier in this study.

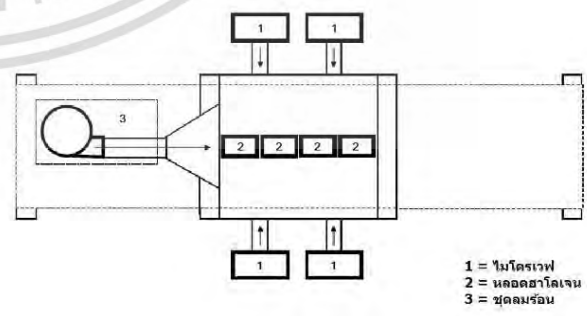


Figure 11. Top view of the chamber drier.

2.3 Method of OPT Specimens Test Conditions.

This drying process apply microwave power level at 1,200 1,600 and 2,000W, and halogen heaters by controlling the temperature at 50, 70 and 90°C and combine micro-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

wave power level at 1600W with the halogen heater at 70 and 90°C. One batch of OPT had 40 pieces and serial number. One heating cycle brought out a sample for measurement until the final moisture content reached 10 ± 2% on the dry basis (db).

The OPT has demanded a physical, mechanical properties examination of the effects on various parameters on drying kinetics. The results are divided into, physical properties of moisture content recommended by ASTM D 2395-14 (Standard methods of testing density and specific gravity of wood and wood-based materials)^[14], mechanical properties (compressive parallel to grain, shear strength parallel and static Bending) recommended by ASTM D143-14 (Standard methods of testing small clear specimens of timber)^[15].

The moisture Content (MC) of the OPT was calculated using this formula^[16]

$$MC(\%) = \frac{W_{ini} - W_o}{W_o} \times 100 \quad (1)$$

Where :

MC, is moisture content of specimen (kg water/ kg dry mass),

W_{ini} is Weight of initial specimen

W_o is Weight of oven-dry mass

3. Results and Discussion

OPT have very high moisture content. The timber industry has been using several methods to reduce the drying time of timber with variety of applications available, these include drying the wood at elevated temperatures with hot air or kilns, drying in radio frequency or microwave ovens, or a combination of these drying methods. Little attention has been given to quantifying the effect of drying method on the mechanical properties of the timber, especially where this involves microwave energy and halogen heater with its interior to exterior heating characteristics. In this study, OPT was dried from pre-determined moisture contents using several drying methods.

3.1 Kinetic rate and temperature in wood during drying.

Initial moisture content used the conventional oven at 105°C about 72 hour, the sample of OPT had initial

moisture content of 190 ± 3.4% on dry basis (db) which was reduced down to 8 to 12% on the dry basis (db) (standard).

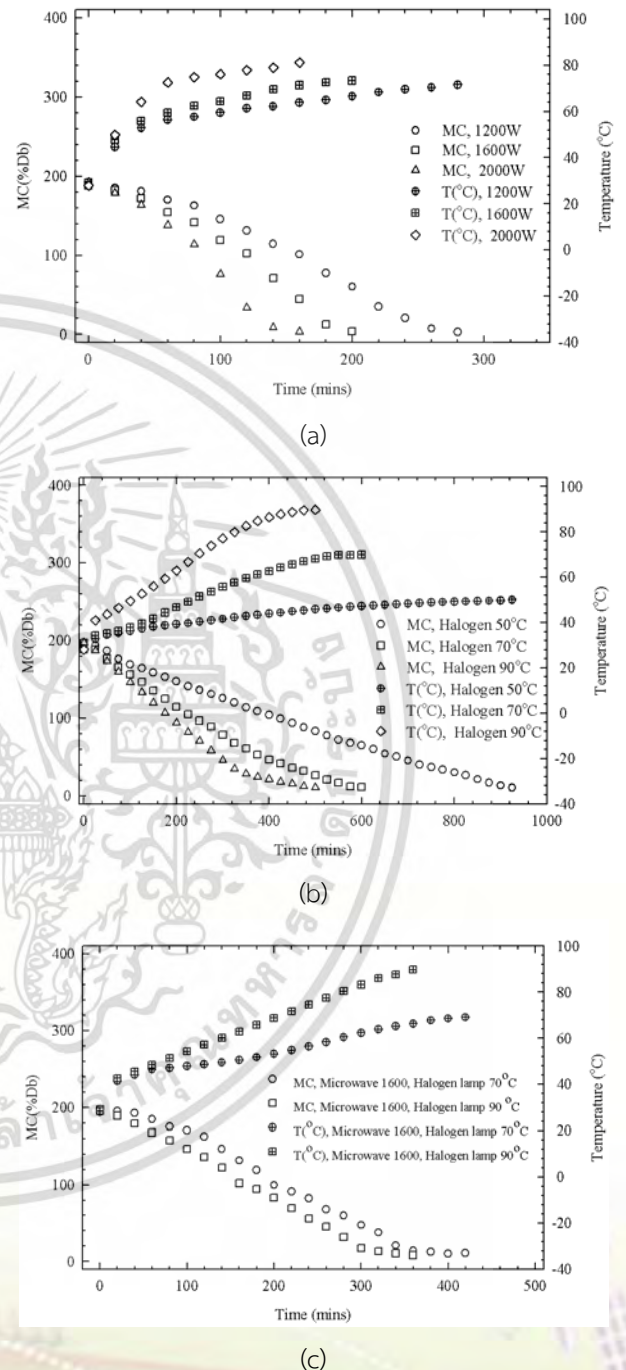


Figure 12. Moisture content and temperature with time of (a) Microwave drying (b) Halogen heater and (c) Microwave drying combined with Halogen heater.

Weight loss of timber in all types of drying corresponded to a decrease in moisture content profiles and an increase temperature profiles with time. The



increase in temperature did significantly increase the weight loss of timber (Fig. 12).

Fig.12a suggests that an increase in microwave power level increased the weight loss which is an index of moisture loss. The moisture content profile decreases fastest and temperature profile of the OPT continuously rises faster than that in the case of low microwave power level. The moisture content decreases to $10\pm 2\%$ on dry basis (db), with the drying time 280, 200 and 160 min for powers of 1200, 1600 and 2000 W, respectively. The temperature profiles within the OPT rise up rapidly to 71.6°C , 73.36°C and 81.23°C for powers of 1200, 1600 and 2000 W, respectively, during 280 min of drying process. For microwave power level at 2000W, significant burned and shrinkage was found on OPT.

Fig.12b suggests greater rate of temperature increase by halogen lamp causing greater rate of weight loss which is an index of moisture loss. This was due to the subjection of samples to radiation in the presence of halogen heater. The moisture content profile had decreased to $10\pm 2\%$ on dry basis (db), the drying time was 925, 600 and 500 min for halogen heater at controlled temperature of 50, 65 and 90°C , respectively.

Fig.12c suggests that the microwave at 1600W and halogen heater at control temperature at 70 and 90°C , the higher the weight loss was observed in (Fig. 12(c)). As can be seen that the weight loss was the highest for timber with microwave 1600 w and halogen heater at controlled temperature of 90°C during 0 to 360 min. This indicates that when combining microwave with halogen heater moisture can be removed more effectively than the halogen heater alone.

3.2 Impact of Drying Method on the Mechanical Properties of OPT.

The effect on physical properties such as the strength of the specimen used to halogen heater microwave drying and the combination of both methods. The strength of the timber was found to depend on microwave drying and halogen heater with time. Table 2 shows the results of compressive strength parallel to grain, shear strength parallel and static bending of dried OPT. The results show that an increase in microwave power level at 2000W had

resulted in internal burn and reduction in strength of the dried timber.

Table 2 Effect of using heating techniques on OPT mechanical properties.

Microwave power level (W)	Halogen ($^{\circ}\text{C}$)	Compressive strength parallel to grain (MPa)	Shear strength parallel (MPa)	Static Bending	
				MOR (MPa)	MOE (MPa)
1200	-	13.57	0.43	16.28	1062.35
1600	-	18.98	0.52	16.48	1995.22
2000	-	11.12	0.51	14.05	1726.67
-	50	11.86	0.38	12.07	1053.02
-	70	16.65	0.51	17.37	4470.67
-	90	14.73	0.46	15.61	3165.58
1600	70	19.43	0.64	36.43	4474.85
	90	16.24	0.49	29.37	4294.96

The dried specimens by halogen at high temperature have higher percentage of shrinkage as compared with those obtained from the halogen heater at low temperature, raising the strength of the dried timber. Finally, it was found that in the case of combined microwave drying and halogen heater yields the best mechanical properties compared to microwave drying and halogen heater alone. Table 2 summarized the mechanical properties of OPT according to the conditions of combined microwave drying and halogen heater at fixed microwave power level of 1600W, halogen heater at temperature of 70°C . The compressive strength parallel to grain, shear strength parallel and static Bending of MOR and MOE were 19.43, 0.64, 36.43 and 4474.85 MPa, respectively.

4. Conclusions

In this paper, the effects of different drying methods on quality of OPT were compared. The combination of microwave drying at 1600W and halogen heater at 70°C had significantly shortened the drying time of OPT and significantly yielding higher rehydration ratio and increase the strength of specimens. Therefore, these methods were recommended for drying of OPT which can be used in the furniture industry. In addition, microwave drying combined with Halogen heater can be recommended to be used if the moisture content of the product is required to be reduced to very low values. Summarize major findings,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



opinion and resolution of the author which can be drawn from the work.

5. Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the financial support provided by the Office of National Research Council of Thailand (NRCT) and King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, and knowledge of analyzing properties oil palm wood provided under Research Center of Microwave Utilization in Engineering at Thammasat University.

6. References

L'Oréal., 2015. Palm oil progress report, The L'ORÉAL Committed, France.

Poku, K. 2002. Small-scale palm oil processing in Africa. FAO agricultural services bulletin, 148.

Abdullah, N., and Sulaiman, F. 2013. The Oil Palm Wastes in Malaysia, InTech, ISBN 978-953-51-1105-4.

Sheil, D., Casson, A., et al. 2009. The impacts and opportunities of oil palm in Southeast Asia, Indonesia Printer, Jakarta, ISBN 978-979-1412-74-2.

Erwinskyah. 2008. Improvement of oil palm wood properties using bioresin, Institute for logging operations and forestry technology Faculty of Forest, Geo and Hydro Sciences Technical University of Dresden.

Grundberg, S. 1999. An X-ray LogScanner—a Tool for Control of the Sawmill Process, Lule University of Technology, Skellefte.

Geving, S., Holme, J. 2010. The drying potential and risk for mold growth in compact wood frame roofs with built-in moisture, J. Build. Phys. pp 249.

Vikberg, T., Hansson, L., Schajer, G.S. and Oja, J. 1992. Effects on microwave measurements and simulations when collecting data close to edges of wooden boards.

Miodrag Darko Matovic. 2013. Biomass Now, ISBN 978-953-51-1105-4, 552 pages, Publisher: InTech.

G. Sumnu, E., Turabi and Oztop, M. 2005. Drying of carrots in microwave and halogen lamp-microwave combination ovens, Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, Vol. 38, pp. 549-553.

Vongpradubchai, S., Rattanadecho, P. 2011. Microwave and hot air drying of wood using a rectangular waveguide, Drying Technology, 29, 451-460.

Sahbi, O., Lamine, H., Soufien, A., Sadoth, S. T., Ali, B., Ahmed, K. 2015. Modeling of combined microwave and convective drying of wood: Prediction of mechanical behavior via internal gas pressure. Drying Technology, 33, 1234-1242.

Charoenatkul, J., Madsalae, A. 2008. The use of Palm Wood in the work engineering. Rajamangala University of technology Srivijaya.

ASTM-Standard. Annual book of American Standard Testing Methods (ASTM-Standards), Designation: D2395 – 14, 2014. Standard test methods for density and specific gravity (relative density) of wood and wood-based materials, ASTM, USA, 1-13.

ASTM-Standard. Annual book of American Standard Testing Methods (ASTM-Standards), Designation: D143 – 14, 2014. Standard test methods for small clear specimens of timber. ASTM, USA, 1-31.

Sahbi, O., Lamine, H., Soufien, A., Sadoth, S. T., Ali, B., Ahmed, K. 2015. Modeling of combined microwave and convective drying of wood: Prediction of mechanical behavior via internal gas pressure. Drying Technology, 33, 1234-1242.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effects of Convection and Microwave Drying Schemes on the Characteristics and Sound Absorption of Acoustic Oil Palm Boards

Panya Dangvilailux and Jarruwat Charoensuk *

This research aimed to develop economical, high-performance acoustic oil palm boards (OPB) using the convection (CV) and microwave (MW) wood drying technologies under variable thermal conditions. The results revealed that the CV and MW oven temperatures were positively correlated with moisture desorption but inversely correlated with drying time. The CV heating temperatures were inversely and positively correlated with the density and volumetric shrinkage, respectively, and the MW power output was positively correlated with density and shrinkage. Thus, the MW-treated OPB specimens exhibited stronger mechanical characteristics than the CV-treated OPB specimens. Importantly, the CV-treated OPB specimens acoustically outperformed the MW-treated counterparts, as evidenced by the former's higher noise reduction coefficients (NRC). This phenomenon was attributed to the abundance of fissures between the vascular bundles and the parenchyma. Thus, the CV technology was more operationally and economically suited to the high-performance acoustic OPB.

Keywords: Convective drying; Microwave drying; Oil palm board; Sound absorption coefficient; Noise reduction coefficient

Contact information: Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand;

** Corresponding author: jarruwat.ch@kmitl.ac.th*

INTRODUCTION

Oil palm trees (*Elaeis guineensis* Jacq.), which belong to the Liliopsida class (monocotyledonous) of the Areaceae family (Moreno and Romero 2015), are an important economic crop, especially the palm oil, which is processed into edible oils and biofuels (Sanderson 2011; Johari *et al.* 2015). According to Potts *et al.* (2014), Indonesia, Malaysia, and Thailand collectively account for a large proportion of global oil palm cultivation. The economic lifespan of an oil palm tree is 25 years, after which the yields decrease significantly, and the tree height presents an operational challenge to the oil palm growers (*i.e.*, difficulty harvesting the fruits). The oil palm trees are thus typically felled once the retirement age is reached.

According to Erwinsyah (2008), felled oil palm trees generated roughly 20 million m³ of oil palm biomass globally. The oil palm trunks (OPT), which are high in moisture (70% to 80% wet basis) with 65% to 80% holocellulose and 18% to 21% lignin, generate a particularly large amount of oil palm biomass (Hng *et al.* 2011). Currently, oil palm trunks are processed and used independently or collectively in the production of paper products, bio-composites, reconstituted boards, plywood, cement-bonded particleboard, and medium-density fiberboard (MDF) (Schwarz 1985; Teck and Ong 1985; Choon *et al.* 1991; Subiyanto *et al.* 2002; Sulaiman *et al.* 2012; Nadhari *et al.* 2013).

Commonly used hardwood and softwood drying technologies include the solar kiln drying (Langrish 2013), convective drying (Ouertani *et al.* 2015), microwave drying (Vongpradubchai and Rattanadecho 2011; Abdul Khalil *et al.* 2012; Lai and Idris 2013), radio frequency vacuum drying (Elustondo *et al.* 2004; Jung *et al.* 2004), and freeze drying methods (Bhattacharya *et al.* 2014). These drying methods are diverse in their operational complexity and investment cost. Thus, operational requirements, costs, and benefits should be taken into consideration in the selection and adoption of a wood-drying technology. Given the unique nature of oil palm trunks, this experimental research adopted the convection (CV) and microwave (MW) drying technologies. MW drying consumes 50% less energy and produces substantially less volatile organic compounds emissions, compared to the CV drying method (Du *et al.* 2005). Furthermore, due to the minimal operational complexity and subsequent maintenance costs of both technologies, the end product (*i.e.*, oil palm acoustic board) would be more affordable at the commercialization stage. More importantly, the conversion from oil palm trunks to acoustic boards would be a boon to the environment, as the open burning of retired oil palm trees could be somewhat averted. Given high toxicity of fibrous rock/glass and foam plastics in the conventional acoustic boards (Asdrubali 2006), OPB is thus a greener and more environmentally sustainable alternative.

According to Arenas and Crocker (2010), sound barrier materials should absorb most sound energy and reflect minimal noise. Previous research on sound (acoustic) absorption materials using agricultural waste materials included acoustic materials fashioned from naturally-dried coir fibers (Fouladi *et al.* 2011), pure *Arenga pinnata* dried fibers (Ismail *et al.* 2010), oil palm mesocarp (Latif *et al.* 2015), oil palm empty fruit bunch (Or *et al.* 2016; Or *et al.* 2017), and perforated oil palm trunk treated with infrared (Kerdongmee *et al.* 2016).

This research aims to develop economical and high-performance acoustic oil palm boards (OPB) using retired oil palm trunks. To that end, the convection (CV) and microwave (MW) wood drying technologies were deployed, and the hot-air temperatures and microwave power outputs were varied between 50 °C, 60 °C, 80 °C, and 100 °C and 100 W, 400 W, 1200 W, and 4000 W, respectively. In CV drying, moisture is transported to the surface mainly due to capillary forces where evaporation occurs. The demarcation between the dry zone and an inner moist zone moves toward the center of the wood during convective drying. Meanwhile, previous research on MV drying has experimented with OPT using an input power range of 660 to 3300 W (Amouzgar *et al.* 2010; Abdul Khalil *et al.* 2012). In MW drying, the MW absorption is initially high, as evidenced by elevated drying rates, and decreases as large volumes of moisture (*i.e.* dielectric) are expelled. The CV-treated and MW-treated OPB specimens were subsequently assessed in terms of their drying kinetics (moisture-temperature kinetics relative to time), physical and mechanical properties, and sound absorption performance.

EXPERIMENTAL

The anatomical structure of OPT consists of hardwoods (vascular bundles and parenchyma cells) and softwoods (cells of fibers, tracheids, vessels parenchyma, and ray parenchyma cells) (Sulaiman *et al.* 2012), as shown in Fig. 1. The average population of vascular bundles at the inner is 26 vascular bundles/cm² and the fiber has the average

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

dimensions of about 30 μm in diameter and 1.24 mm in length (Erwinsyah 2008). The experimental oil palm trees were the cultivar Tenera from a plantation in Thailand's southern province of Chumphon. The trees were 26 years old and thus were push-felled, given their normal retiring age of 25 years. To obtain homogeneous vascular bundles and density, the felled trees were cut into stumps of 2 m in height (length) measuring from the trunk base prior to transformation into OPT discs.

The transversal-cut OPT discs were 50 to 65 cm in diameter and 20 mm in thickness, with an initial moisture content of $287\% \pm 0.5\%$ dry basis (db). The discs were soaked in hot water at 85 $^{\circ}\text{C}$ for 20 min prior to centrally processing into pre-thermally treated oil palm boards (OPB) with 200 mm \times 200 mm \times 20 mm (W \times L \times T) in dimension. Specifically, the pre-treated OPB was extracted from the OPT center, given the low density suitable for sound absorbing applications, and underwent the non-chemical hot water process to remove abundant glucose and other fermentable sugars in the sap and prevent mold growth. Prior to the thermal treatment, the temperature and moisture content of the fresh OPBs were maintained at 28 $^{\circ}\text{C}$ and $350\% \pm 2.7\%$ (db). The density of the soaked OPB specimens was in the range of 1000 to 1,100 kg/m^3 . Four experimental OPB specimens were fabricated under each thermal condition: 50 $^{\circ}\text{C}$, 60 $^{\circ}\text{C}$, 80 $^{\circ}\text{C}$, and 100 $^{\circ}\text{C}$ CV temperatures and 100 W, 400 W, 1200 W, and 4000 W MW power outputs, producing a total of 32 OPB specimens. Each OPB specimen was placed 200mm apart from one another and 200 mm from the chamber walls.

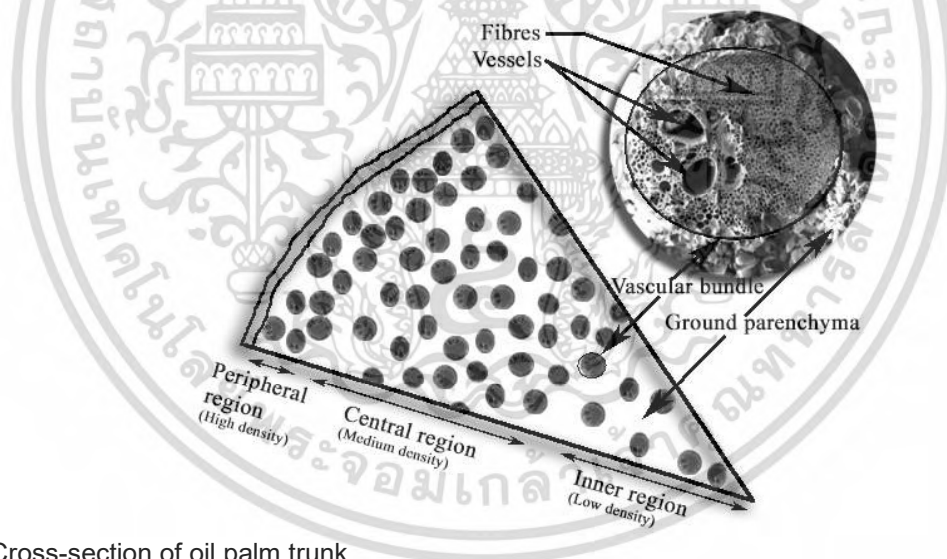


Fig. 1. Cross-section of oil palm trunk

The geometry of the experimental convection-microwave drying system was as follows: the drying chamber had dimensions of 1000 mm \times 1000 mm \times 500 mm (W \times L \times H), was composed of stainless steel type 316, and was outfitted with one convective electrical heater and four microwave magnetrons. The heater had a maximum power output of 5000 W and was thermostat-controlled, with a blower to generate an air speed of 2.00 m/s. Inlet drying air and OPB were measured by thermocouples (Type K, Chromel–Alumel) connected to a data logger with an accuracy of ± 2 $^{\circ}\text{C}$. The temperatures of thermally-treated OPB specimens were taken at a 10 mm depth at the four corners and center of the specimens and averaged. The in-chamber microwave power was 100 to 4000

W (2450 MHz) using waveguides. In addition, a circulating low-speed fan was used to evenly distribute the in-chamber hot air and microwave energy.

The hot-air temperatures and microwave power outputs (*i.e.*, the thermal conditions) were varied between 50 °C, 60 °C, 80 °C, and 100 °C and 100 W, 400 W, 1200 W, and 4000 W, respectively. The heating cycles were terminated once the moisture content reached an equilibrium moisture of 10% ± 2% db (from originally 350 % ± 2.7% db). The effects of the convection (CV) and microwave (MW) drying technologies under variable thermal conditions (50 °C, 60 °C, 80 °C, and 100 °C and 100 W, 400 W, 1200 W, and 4000 W) on the OPB specimens were determined with regard to drying kinetics (moisture-temperature kinetics relative to time), physical and mechanical properties, and sound absorption performance. Specifically, the analysis of the OPBs' physical properties, including oven-dry density, volumetric shrinkage, and color, was carried out in accordance with ASTM D2395-14. The mechanical properties were determined according to ASTM D143-14, including tension strength perpendicular to grain (using 5x20x200mm samples at a cross-head speed of 1.0 mm/min), compression strength parallel to grain (using 20x20x100mm samples at a cross-head speed of 0.3 mm/min), shear strength parallel to grain (using 20x20x60mm samples at a cross-head speed of 0.6 mm/min), static bending (using 20x20x200mm samples at a cross-head speed of 1.35 mm/min), and hardness (using 50x20x150mm samples at a cross-head speed of 6 mm/min with a 10 mm (diameter) ball). Furthermore, scanning electron microscopy (SEM) was used to determine the morphology and sound absorption performance of the OPB specimens.

In this research, the moisture content (M) and the moisture content ratio (MR) were calculated with Eq. 1 and Eq. 2, respectively (Ouertani *et al.* 2015).

$$M(\%) = \frac{M_{ini} - M_o}{M_o} \times 100 \quad (1)$$

$$MR = \frac{M}{M_{ini}} \quad (2)$$

where M is the average moisture content of the specimen at the time of the test (kg water/kg dry mass), M_{ini} is the initial mass, and M_o is the oven-dry mass.

The oven-dry density (ρ_o) was calculated as,

$$\rho_o = \frac{M_o}{V_o} \quad (3)$$

where M_o is the oven-dry mass and V_o is the oven-dry volume of the specimen (m^3).

The volumetric shrinkage (S_v) was calculated as,

$$S_v(\%) = \frac{V_g - V_o}{V_g} \times 100 \quad (4)$$

where V_g is the volume of specimen in fresh (pre-thermally treated) condition and V_o is the oven-dry volume of the specimen (m^3) in the x, y, and z directions.

In the color analysis, measurements were first taken on the individual OPB specimens (32 specimens) at five locations (the center and each of the four corner-edges) using the Minolta CR-400 Chroma Meter (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan). The measurements associated with each thermal condition were then summed and averaged. The results were expressed as the whiteness/blackness (L^*), redness/greenness (a^*), yellowness/blueness (b^*) and hue angle (Hue).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นอญญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

The mechanical properties of the thermally treated OPB specimens were assessed with regard to the tension strength perpendicular to grain, compression strength parallel to grain, shear strength parallel to grain, static bending, and hardness. The measurements were taken using a texture analyzer (TA Plus texture analyzers, Lloyd Instruments, West Sussex, England) with a 1 kN static load cell.

The morphology and acoustic (sound-absorbing) performance of the CV-treated and MW-treated OPB specimens under variable thermal conditions were analyzed by scanning electron microscopy (SEM) with a 50x magnification and a 10 kV accelerating voltage (ZEISS-MERLIN Compact, Oberkochen, Germany).

The sound absorption coefficients (SAC) of the thermally-treated OPB specimens (Fig. 2) were determined *via* the impedance tube method in accordance with ISO 10534-2, using two tube sizes of 30 mm and 100 mm in diameter (Sa'adon 2015). The smaller tube was used for absorption testing at high frequency (1000 Hz to 6400 Hz) and the larger tube was used for absorption testing at low frequency (0.0 Hz to 1000 Hz). The noise reduction coefficients (NRC) of the OPB specimens under both drying technologies were determined according to the ASTM C423-09 standard, whereby the NRC is the average value of the sound absorption coefficients (SAC) at 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, and 2000 Hz, where α_i is the sound absorption coefficient for that particular frequency. The NRC values of the OPB specimens were calculated with Eq. 5:

$$NRC = \frac{[(\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1,000} + \alpha_{2,000})]}{4} \quad (5)$$

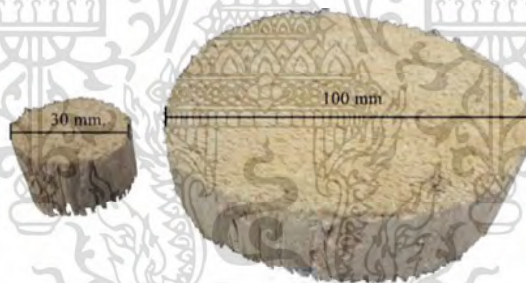


Fig. 2. The diameter of OPB specimens as determined by the impedance tube method at 30 mm and 100 mm

RESULTS AND DISCUSSION

The OPB Drying-temperature Kinetics

As previously stated, the pre-thermally treated moisture content and temperature of the OPB specimens were $350\% \pm 2.7\%$ (db) and $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the target moisture content was $10\% \pm 2\%$ db. Figure 3a illustrates the moisture-temperature kinetics relative to time associated with the convection (CV) drying scheme under the $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ thermal conditions. Under the $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ condition, the target moisture content of $10\% \pm 2\%$ db was achieved after 4000 min with an average OPB temperature of $41.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Meanwhile, the heating cycle was terminated after 1690 min and 700 min with the OPB temperatures of $46.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $58.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ under the $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ conditions, respectively. Under the $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ condition, the target moisture content was reached after 480 min with an

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

OPB temperature of 62.1 °C. The findings indicated that heating temperature was positively correlated with moisture desorption rate but inversely correlated with drying time. In other words, the higher the heating temperature, the more efficient the moisture expulsion and the shorter the drying period. At 80 and 100° C CV drying, moisture is transported to the surface where evaporation occurs. The internal moisture content decreases with elongated drying time, generating numerous pores of variable sizes.

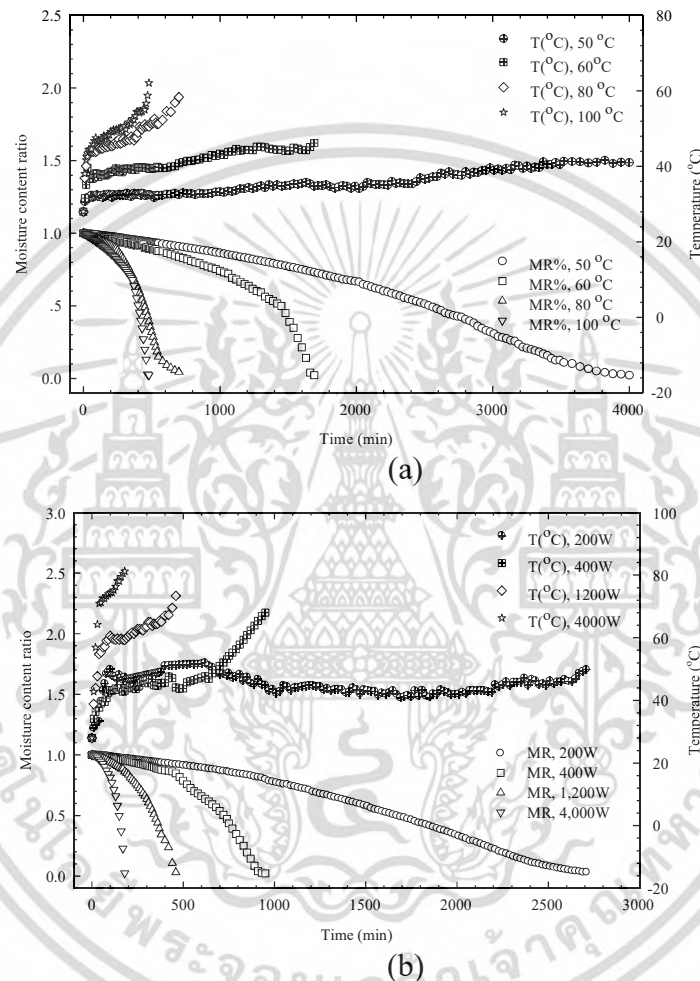


Fig. 3. The moisture-temperature kinetics relative to time: (a) convection drying schemes (b) microwave drying schemes

Figure 3b depicts the moisture-temperature kinetics relative to time of the microwave (MW) drying scheme under the 200 W, 400 W, 1200 W, and 4000 W thermal conditions. Under the 200 W MW condition (the lower extreme), the target moisture content was reached after 2770 min with an OPB temperature of approximately 50 °C. Under the 4000 W condition (the upper extreme), the MW heating was terminated after 180 min with an OPB temperature of 81.2 °C. Under the 400 W and 1200 W conditions, the heating was terminated after 950 min and 450 min with the OPB temperatures of 67.9 °C and 73.4 °C, respectively. By comparison, the MW drying periods both the extreme and moderate conditions were considerably shorter than those of the CV scheme. This finding could be attributed to internal heat generation resulting from MW-induced mass transfer and subsequent rapid moisture desorption. Given the high moisture content of the OPB

specimens, the microwave energy was effectively absorbed and converted into sensible heat. The uneven internal wood temperature was induced by the electromagnetic field distribution and the power penetration depth, *i.e.*, the higher the MW output power, the less the power penetration (Lars 2007).

Further analysis revealed that the relative dielectric constant (ϵ'), the loss factor (ϵ''), and the loss tangent ($\tan\delta$) of the pre-treated OPB specimens (*i.e.* the fresh OPB) were 5.61, 0.96, and 0.17, respectively, given the average 2250 MHz resonant frequency, using the Dielectric Measurement kit μ WaveAnalyser of PÜSCHNER Microwave Power Systems. Given the high loss factor (ϵ'') of 0.96 of the fresh OPB specimens, the microwave energy was almost completely absorbed by the specimens over the course of thermal treatment. Nonetheless, the microwave absorption decreased with time as the moisture content decreased, as shown in Fig. 3b. The MW-induced internal heat generation contributes to accumulative internal pressures, which in turn enables the pressure-driven moisture migration. As the moisture decreases, the loss factor and drying-rate ratio decrease. According to Feng *et al.* (2001), the electromagnetic field contributed to the vibration of water molecules and the subsequent changes in the configuration of the electric field in the wood.

Physical Properties of OPB

Table 1 compares the physical characteristics at the target moisture content of 10% \pm 2% db of the OPB specimens associated with the convection (CV) and microwave (MW) drying schemes under variable thermal conditions. Under the CV scheme, the heating temperatures were strongly inversely correlated with oven-dry density and positively associated with volumetric shrinkage. Specifically, with increase in temperature from 50 °C (lower extreme) to 100 °C (upper extreme), OPB density decreased from 265 kg/m³ to 247 kg/m³ as fissures developed between the OPB vascular bundles and the parenchyma tissues, and the volumetric shrinkage increased from 15.42% to 23.94%. In addition, the OPB color changed as L^* decreased from 82.8 to 71.72, a^* increased from 1.77 to 6.49, b^* increased from 22.61 to 27.01, and Hue decreased from 87.31 to 76.48. The color of the OPB became light reddish with increased heating temperature, whereas the color of the pre-treated (fresh) OPB was yellowish (Table 1).

Table 1. Comparison of the Physical Characteristics of the OPB Specimens of the Convection and Microwave Drying Schemes under Variable Thermal Conditions

Drying Treatment		Oven-dry Density (kg/m ³)	Volumetric Shrinkage (%)	L^*	a^*	b^*	Hue
Convection	50 °C	265	15.42	82.8	1.77	22.61	87.31
	60 °C	262	18.38	77.76	1.15	24.51	85.53
	80 °C	259	21.92	77.64	3.11	21.27	81.68
	100 °C	247	23.94	71.72	6.49	27.01	76.48
Microwave	200W	352	44.42	79.5	1.69	21.50	85.5
	400W	385	48.72	75.17	3.80	21.49	79.98
	1200W	416	53.69	59.01	6.15	25.06	76.20
	4000W	458	65.90	48.58	6.19	21.55	73.97
OPB Specimen		900 to 1100		70.55	1.88	26.13	85.88

Essentially, the higher convection oven temperatures contributed to a more rapid desorption rate, a lower density, and a higher volumetric shrinkage. Under the microwave drying scheme, the moisture desorption was substantially accelerated as a result of the MW-induced mass transfer and subsequent internal heat generation. The MW power output was positively correlated with the oven-dry density and volumetric shrinkage of the OPB specimens. The OPB density and the volumetric shrinkage rose from 352 kg/m³ to 485 kg/m³ and from 44.42% to 65.90% under the 200 W (lower extreme) and 4000 W (upper extreme) conditions, respectively.

The greater density was attributed to the MW-induced excitation of parenchyma tissues and the subsequent higher shrinkage and greater compactness of the MW-treated OPB specimens. As moisture is expelled from the product, a pressure imbalance (*i.e.* variation in pressure between the inner of the material and the external pressure) occurs, producing contracting stresses that lead to material shrinkage or breakdown and deformation. Moreover, the OPB color changed from yellowish to brownish with sporadic burn marks, corresponding to a decrease in brightness (Table 1).

Mechanical Properties of OPB

Table 2 presents the mechanical properties, including the tension strength perpendicular to grain, compression strength parallel to grain, shear strength parallel to grain, static bending, and hardness, at the target moisture content of 10 ± 2% db of the OPB specimens associated with the convection (CV) and microwave (MW) drying schemes under variable thermal conditions. Specifically, under the CV scheme, the tension strength perpendicular to grain, compression strength parallel to grain, shear strength parallel to grain, static bending, and hardness decreased as the hot-air temperatures increased.

Table 2. Comparison of the Mechanical Properties of the OPB Specimens Associated with the Convection and Microwave Drying Schemes under Variable Thermal Conditions

Drying Treatment		Tension (MPa)	Compression (MPa)	Shear Strength (MPa)	Static Bending		Hardness Strength (kg)
					MOR (MPa)	MOE (MPa)	
Convection	50 °C	0.2282	0.4108	0.4464	19.584	1145.457	43.1
	60 °C	0.2035	0.3833	0.4226	14.761	933.315	37.8
	80 °C	0.1788	0.2249	0.4026	12.146	904.727	19.5
	100 °C	0.1463	0.1713	0.2884	6.591	698.809	13.6
Microwave	200 W	0.2538	0.6226	0.5038	30.321	1163.098	22.8
	400 W	0.2819	0.7849	0.5174	31.459	1566.011	42.1
	1200 W	0.3347	0.9610	0.5302	32.529	2758.088	49.5
	4000 W	0.4222	1.5690	0.6640	76.840	8550.933	65.9

In contrast, under the MW scheme, mechanical strength increased with increasing MW power outputs. This observation was consistent with the increased shrinkage and density as MW power increased. By comparison, the MW-treated OPB specimens exhibited stronger mechanical characteristics than those of the CV scheme.

Morphology and Scanning Electron Micrographs

Figures 4 and 5, respectively, illustrate the cross-sectional areas of the CV-treated and MW-treated OPB specimens under various thermal conditions. In Fig. 4, under the CV scheme, the abundance of pores and fissures and the heating temperature were positively related. Specifically, at 100 °C, the OPB specimens became visibly porous with the presence of numerous cavities of 5 mm to 10 mm in diameter (Fig. 4d), vis-à-vis under the lower hot-air temperatures (Figs.4a-c).

In Fig. 5, under the MW drying scheme, the OPB specimens exhibited no cavity and became denser as the MW power output increased. In addition, at 4000 W, sporadic burn marks (hotspots) were observed (Fig. 5d) corresponding to the highest shrinkage ratio. By comparison, the density of the 4000W MW specimen was increased by about 10% and also the mechanical properties enhanced, compared with the 1200W MW specimen. Given that the hotspots on the 4000W MW specimen possess poor mechanical strength, measurements were thus carried out at non-hotspot areas.

Figure 6 illustrates the SEM images of the CV-treated OPB specimens under the various hot-air temperatures of 50 °C, 60 °C, 80 °C, and 100 °C. As heating temperatures increased, fissures developed between the vascular bundles and parenchyma cells of the OPB specimens, which was most pronounced in Fig. 6(d).

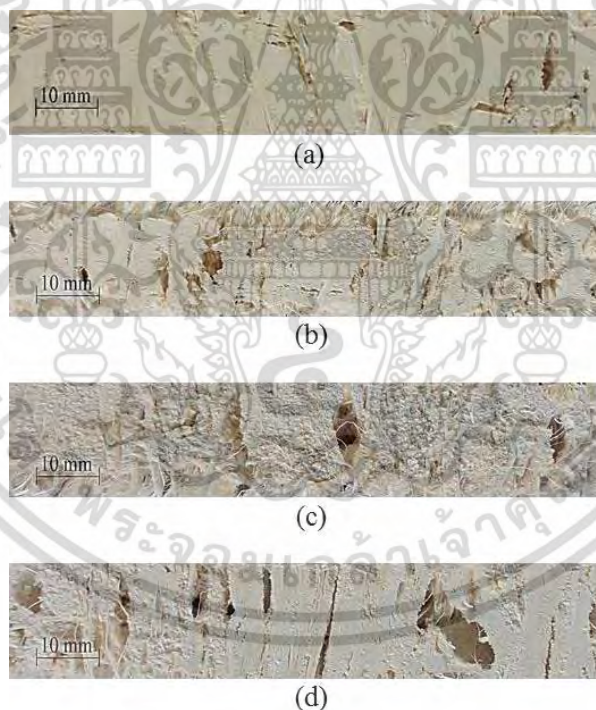


Fig. 4. The cross-sectional view of the CV-treated OPB specimens at (a) 50 °C, (b) 60 °C, (c) 80 °C, and (d) 100 °C

Figure 7 depicts the SEM images of the MW-treated OPB specimens under the various microwave power outputs of 200 W, 400 W, 1200 W, and 4000 W. Interestingly, no fissure emerged in the MW-treated OPB specimens as the microwave power output increased. In fact, the vascular bundles and parenchyma cells became denser as MW power output increased.

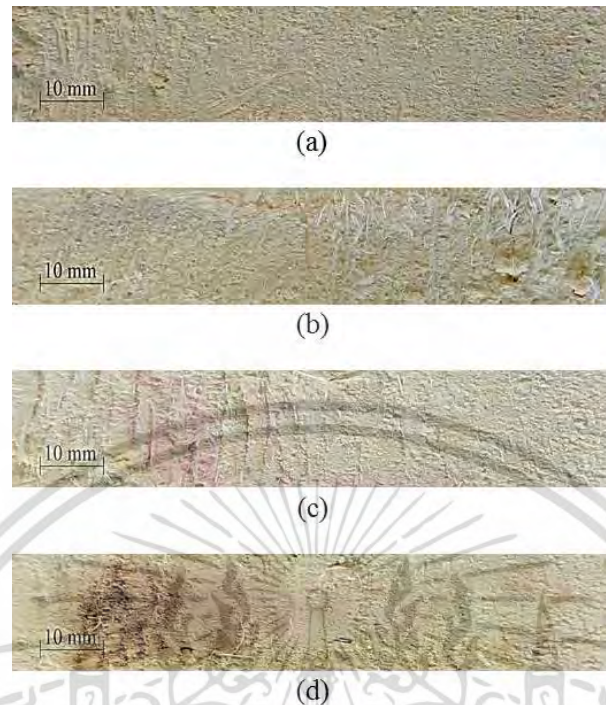


Fig. 5. The cross-sectional view of the MW-treated OPB specimens at (a) 200 W, (b) 400 W, (c) 1200 W, and (d) 4000 W

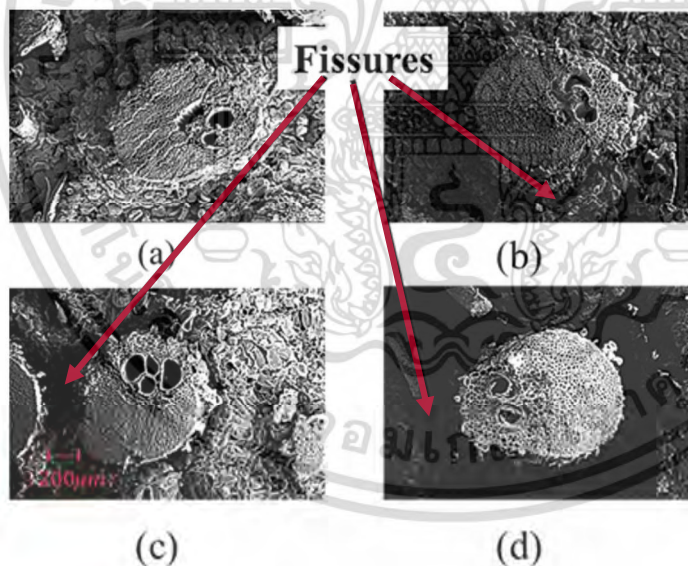


Fig. 6. SEM images of the vascular bundles and the parenchyma tissues of the CV-treated OPB specimens at (a) 50 °C, (b) 60 °C, (c) 80 °C, and (d) 100 °C

Sound Absorption Coefficient (SAC)

Figure 8a illustrates the sound absorption coefficient (SAC) of the CV-treated specimens. In the figure, the substantially high SACs were realized at around 500 Hz and 2000 Hz. The first peak was attributable to abundant vascular bundles, fissures and cavities (Helmholtz resonator) while the second peak to abundant fibers and porosity. Figure 8b illustrates the SAC of the MW-treated OPB specimens. Due to very high density of the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

MW specimens, the highest SAC was achieved once in the 500 to 1000 Hz frequency range, depending on MW output power.

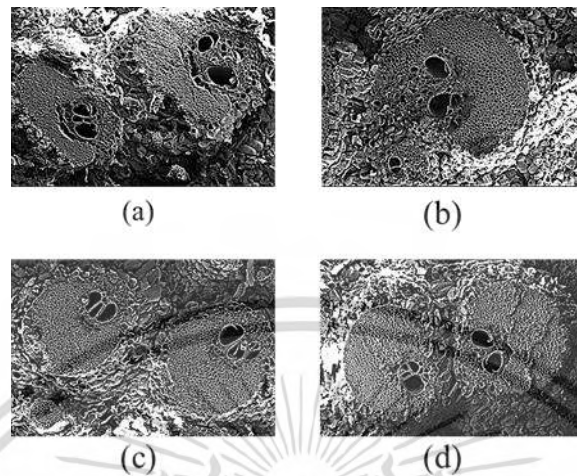
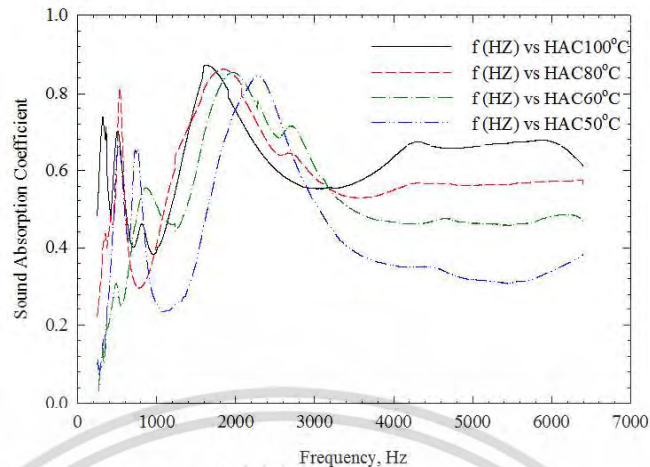


Fig. 7. SEM images of the vascular bundles and the parenchyma tissues of the MW-treated OPB specimens at (a) 200 W, (b) 400 W, (c) 1200 W, and (d) 4000 W

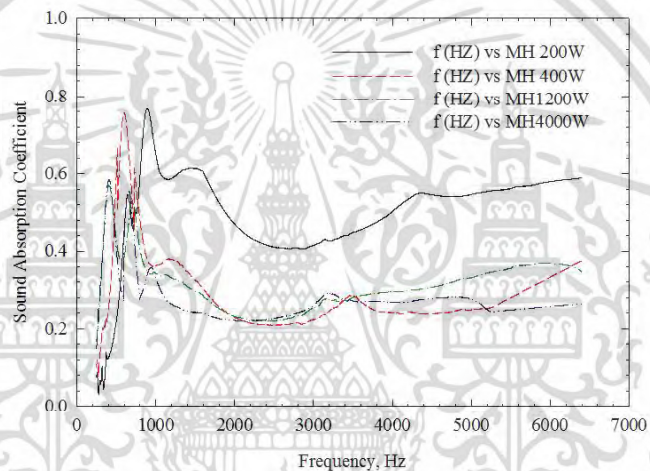
Table 3 tabulates the maximum SACs and the noise reduction coefficients (NRC) of the OPB specimens. NRC is the average of the sound absorption coefficients (SAC) at 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, and 2000 Hz. The NRCs of the CV-treated specimens were higher than those of the MW-treated specimens due to the former's abundant surface-fissures and internal cavities. The CV-treated OPB specimens acoustically outperformed the MW-treated counterparts as evidenced by the former's higher NRCs under all thermal conditions. This phenomenon could be attributed to the abundance of fissures between the vascular bundles and the parenchyma in the CV-treated OPB specimens, which in turn contributed to better sound absorption performance. In fact, as the vascular bundles were considerably stronger than the parenchyma cells, the hot air accelerated the water desorption of the parenchyma and the vascular bundles acted as a piping network to transfer the internal water to the specimen surface.

In addition, the NRCs associated with the microwave drying technology were lower than those of the convection scheme. These results could be explained by the OPB's characteristic vascular bundles embedded in the parenchyma tissues. Thus, at a sufficiently high shrinkage ratio, the stress on the parenchyma is transferred to the vascular bundles, strengthening the OPB. In addition, the very high porosity of the parenchyma, particularly in the fresh (pre-thermally treated) condition, enables it to absorb large quantities of water vis-à-vis the vascular bundles (Norralakmam 2007; Abdullah *et al.* 2012). Once the parenchyma tissues were dehydrated and uniformly shrunk with the vascular bundle, a dense material was formed.

According to Cowan (1994), an acoustic material whose NRC is in excess of 0.4 is regarded as a high-quality, high-performance acoustic material. In light of the NRCs of the CV-treated OPB specimens (*i.e.* > 0.4), the convection drying technology is operationally and economically suited to the high-performance sound absorption oil palm boards (OPB). Specifically, the ideal convection-drying condition was 100 °C (Table 3). However, such is not the case with the microwave drying scheme as the NRCs are below the 0.4 threshold.



(a)



(b)

Fig. 8. The SAC of the OPB specimens treated with: (a) convection drying schemes (b) microwave drying schemes

Table 3. Maximum Sound Absorption Coefficients (SAC) at Various Frequencies and Noise Reduction Coefficients (NRC) of the CV- and MW-Treated OPB Specimens under Variable Thermal Conditions

Drying Treatment		Maximum SAC @ Frequency	Noise Reduction Coefficient (NRC)
Convection	50 °C	0.87; 1624 Hz	0.44
	60 °C	0.86; 1830 Hz	0.45
	80 °C	0.85; 1961 Hz	0.52
	100 °C	0.84; 2277 Hz	0.58
Microwave	200 W	0.76; 894 Hz	0.35
	400 W	0.75; 599 Hz	0.32
	1200 W	0.56; 405 Hz	0.29
	4000 W	0.55; 412 Hz	0.28

CONCLUSIONS

1. Under both the CV and MW schemes, oven temperatures were positively correlated with moisture desorption but inversely correlated with drying time. By comparison, the drying periods of the MW scheme were considerably shorter than those of the CV scheme. This was attributed to internal heat generation as a result of MW-induced mass transfer and subsequent rapid moisture desorption. In addition, given the high moisture content of the OPB specimens, the microwave energy was effectively absorbed and converted into sensible heat.
2. Under the CV drying scheme, heating temperatures were inversely correlated with oven-dry density and positively associated with volumetric shrinkage. Specifically, higher oven temperatures contributed to faster desorption rates, lower density, and higher volumetric shrinkage. The MW power output was positively correlated with oven-dry density and volumetric shrinkage of the OPB specimens as the moisture desorption was substantially accelerated as a result of MW-induced mass transfer and subsequent internal heat generation.
3. Under the CV scheme, the tension strength perpendicular to grain, compression strength parallel to grain, shear strength parallel to grain, static bending, and hardness decreased as the hot-air temperatures increased. In contrast, under the MW scheme, the mechanical strength increased with increasing MW power outputs, consistent with the increased shrinkage and density as the MW power increased. By comparison, the MW-treated OPB specimens exhibited stronger mechanical characteristics than those of the convection scheme.
4. As hot-air temperatures increased, the SEM images showed an abundance of fissures between the vascular bundles and parenchyma cells of the CV-treated OPB specimens. In contrast, no fissures emerged in the MW-treated OPB specimens as microwave power output increased. In fact, the vascular bundles and parenchyma cells became denser as MW power output increased.
5. The CV-treated OPB specimens acoustically outperformed the MW-treated counterparts as evidenced by the former's higher noise reduction coefficients (NRC) under all experimental thermal conditions. This phenomenon could be attributed to the abundance of fissures between the vascular bundles and the parenchyma in the CV-treated OPB specimens, which in turn contributed to better sound absorption performance.
6. Given the NRCs of the CV-treated OPB specimens (*i.e.* > 0.4), the convection drying technology is operationally and economically suited to the high-quality and high-performance acoustic OPB. Moreover, the ideal convection-drying condition is 100 °C. However, due to its lower NRC values (< 0.4), the microwave drying option is less operationally and economically viable.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to extend deep gratitude to the Office of the National Research Council of Thailand (NRCT) and King Mongkut's Institute of Technology

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Ladkrabang (KMITL) for their financial assistance. Sincere appreciation also goes to Thammasat University's Research Center of Microwave Utilization in Engineering for their technical assistance in the analysis of the microwave-treated oil palm woods.

REFERENCES CITED

- Abdul Khalil, H. P. S., Amouzgar, P., Jawaid, M., Abdullah, C. K., Issam, A. M., Zainudin, E. S., Paridah, M. T., and Hassan A. (2012). "Physical and thermal properties of microwave-dried wood lumber impregnated with phenol formaldehyde resin," *Journal of Composite Materials* 47(28), 3565-3571. DOI: 10.1177/0021998312467386
- Abdullah, C. K., Jawaid, M., Abdul Khalil, H. P. S., Zaidon, A., and Hadiyane, A. (2012). "Oil palm trunk polymer composite: Morphology, water absorption, and thickness swelling behaviours," *BioResources* 7(3), 2948-2959. DOI: 10.15376/biores.7.3.2948-2959
- Amouzgar, P., Abdul Khalil, H. P. S., Salamatinia, B., Abdullah, A. Z., and Issam, A. M. (2010). "Optimization of bioresource material from oil palm trunk core drying using microwave radiation; a response surface methodology application," *Bioresource Technology* 101(21), 8396-8401. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.05.061
- Arenas, J. P. and Crocker, M. J. (2010). "Recent trends in porous sound-absorbing materials," *Sound and Vibration* 44, 12-17.
- Asdrubali, F. (2006). "Survey on the acoustical properties of new sustainable materials for noise control," *Euronoise* (30), 30 May-1 June 2006, Tampere, Finland.
- Bhattacharya, I., Chakraborty, R., and Chowdhury, R. (2014). "Intensification of freeze-drying rate of *Bacillus subtilis* MTCC 2396 using tungsten halogen radiation: Optimization of moisture content and α -amylase activity," *Drying Technology* 32(7), 801-812. DOI: 10.1080/07373937.2013.860459
- Choon, K. K., Killmann, W., Choon, L. S., Mansor, H., Utilization, K., Shaari, K. C., and Khoo, A. R. M. A. (1991). *Characteristics of the Oil Palm Stem*, Forest Research Institute Malaysia, Malaysia, pp.15-28.
- Cowan, J. P. (1994). *Handbook of Environmental Acoustics*, Wiley Publishing, Hoboken, NJ, USA.
- Du, G., Wang, S., and Cai, Z. (2005). "Microwave drying of wood strands," *Drying Technology* 23, 1-16.
- Elustondo, D., Avramidis, S., and Shida, S. (2004). "Predicting thermal efficiency in timber radio frequency vacuum drying," *Drying Technology* 22(4), 795-807. DOI: 10.1081/DRT-120034263
- Erwinsyah. (2008). *Improvement of Oil Palm Wood Properties using Bioresin*, Ph.D. Dissertation, Technische Universität Dresden, Dresden, Germany.
- Feng, H., Tang, J., Cavalier, R. P., and Plumb, O. A. (2001). "Heat and mass transport in microwave drying of porous materials in a spouted bed," *AIChE Journal* 47(7), 1499-1512. DOI: 10.1002/aic.690470704
- Fouladi, M. H., Ayub, M., and Nor, M. J. M. (2011). "Analysis of coir fiber acoustical characteristics," *Applied Acoustics* 72(1), 35-42. DOI: 10.1016/j.apacoust.2010.09.007

- Hng, P. S., Wong, L. J., Chin, K. L., Tor, E. S., Tan, S. E., Tey, B. T., and Maminski, M. (2011). "Oil palm (*elaeis guineensis*) trunk as a resource of starch and other sugars," *Journal of Applied Sciences* 11(16), 3053-3057. DOI: 10.3923/jas.2011.3053.3057
- Ismail, L., Ghazali, M. I., Mahzan S., and Zaidi, A. M. A. (2010). "Sound absorption of *Arenga pinnata* fiber," *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering* 4(7), 438-440.
- Johari, A., Nyakuma, B. B., Nor, S. H. M., Mat, R., Hashim, H., Ahmad, A., Zakaria, Z. Y., and Abdullah, T. A. T. (2015). "The challenges and prospects of palm oil based biodiesel in Malaysia," *Energy* 81, 255-261. DOI: 10.1016/j.energy.2014.12.037
- Jung, H. S., Eom, C. D., and So, B. J. (2004). "Comparison of vacuum drying characteristics of radiata pine timber using different heating methods," *Drying Technology* 22(5), 1005-1022. DOI: 10.1081/DRT-120038577
- Kerdongmee, P., Saleh, A., Eadkhong, T., and Danworaphong, S. (2016). "Investigating sound absorption of oil palm trunk panels using one-microphone impedance tube," *BioResources* 11(4), 8409-8418. DOI: 10.15376/biores.11.4.8409-8418
- Lai, L. W., and Idris, A. (2013). "Disruption of oil palm trunks and fronds by microwave-alkali pretreatment," *BioResources* 8(2), 2792-2804. DOI: 10.15376/biores.8.2.2792-2804
- Langrish, T. A. G. (2013). "Comparing continuous and cyclic drying schedules for processing hardwood timber: The importance of mechanosorptive strain," *Drying Technology* 31(10), 1091-1098. DOI: 10.1080/07373937.2013.769449
- Lars, H. (2007). *Microwave Treatment of Wood*, Doctoral Thesis, Luleå University of Technology, Skellefteå, Sweden.
- Latif, H. A., Yahya, M. N. B., Rafiq, M. N., and Hatta, M. N. M. (2015). "A preliminary study on acoustical performance of oil palm mesocarp natural fiber," *Applied Mechanics and Materials* 773-774, 247-252. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.247
- Moreno, L. P., and Romero, H. M. (2015). "Phenology of the reproductive development of *Elaeis oleifera* (Kunth) cortes," *Agronomia Colombiana* 33(1), 36-42. DOI: 10.15446/agron.colomb.v33n1.47199
- Nadhari, W. N. A. W., Hashim, R., Sulaiman, O., Sato, M., Sugimoto, T., and Selamat, M. E. (2013). "Utilization of oil palm trunk waste for manufacturing of binderless particleboard: Optimization study," *BioResources* 8(2), 1675-1696. DOI: 10.15376/biores.8.2.1675-1696
- Norralakmam, S. Y. (2007). "Particleboards," in: *Turning Oil Palm Residues into Products (Research Pamphlets No.127)*, Forest Research Institute Malaysia (FRIM), Kepong, Malaysia.
- Or, K. H., Putra, A., Nor, M. J. M., Selamat, M. Z., and Ying, L. Z. (2016). "Sound absorption performance of oil palm empty fruit bunch fibers," 23rd International Congress on Sound & Vibration," The 23rd International Congress of Sound and Vibration, ICSV23, Athens (Greece)
- Or, K. H., Putra, A., and Selamat, M. Z. (2017). "Oil palm empty fruit bunch fibres as sustainable acoustic absorber," *Applied Acoustics* 119, 9-16. DOI: 10.1016/j.apacoust.2016.12.002.
- Ouertani, S., Hassini, L., Azzouz, S., Torres, S. S., Belghith, A., and Koubaa, A. (2015). "Modeling of combined microwave and convective drying of wood: Prediction of mechanical behavior via internal gas pressure," *Drying Technology* 33(10), 1234-1242. DOI: 10.1080/07373937.2015.1022828

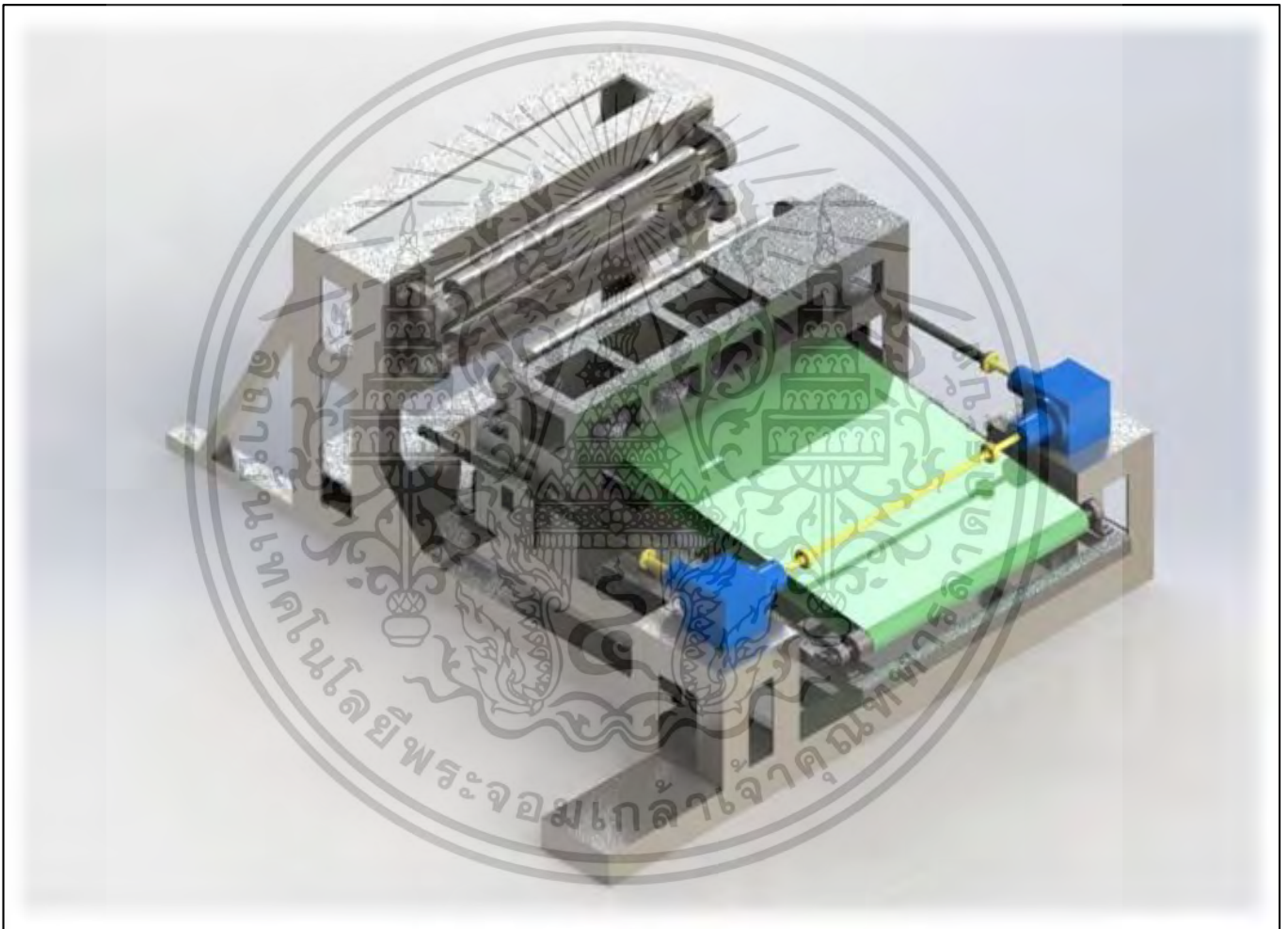
- Potts, J., Lynch, M., Wilkings, A., Huppé, G. A., Cunningham, M., and Voora, V. (2014). *The State of Sustainability Initiatives Review 2014 Standards and the Green Economy*, IISD, Manitoba, Canada.
- Sa'adon, A. Z. M. (2015). "Utilization of oil palm trunk (*Elaeis guineensis*) as foam composite for sound absorption," *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)* 77(32) 75-82.
- Sanderson, K. (2011). "Lignocellulose: A chewy problem," *Nature* 474(7352), 12-14. DOI: 10.1038/474S012a
- Schwarz, H. G. (1985). "Cement-bonded boards in Malaysia," Proceedings of the. Fibre and particleboards bonded with inorganic binders, *Forest Products Research Society USA*, 91-93.
- Subiyanto, B., Subyakto, and Kawai, S. (2002). "Zero-emission processes of oil palm utilization case study of oil palm mill in PT. Kertajaya Lebak Banten province," in: *Proceedings of the Fourth International Wood Science Symposium*, Serpong, Indonesia, pp. 305-311.
- Sulaiman, O., Salim, N., Nordin, N. A., Hashim, R., Ibrahim, M., and Sato, M. (2012). "The potential of oil palm trunk biomass as an alternative source for compressed wood," *BioResources* 7(2), 2688-2706. DOI: 10.15376/biores.7.2.2688-2706
- Teck, C. L. and Ong, C. L. (1985). "Particleboard from oil palm trunk," *PORIM Bulletin* 11, 99-108.
- Vongpradubchai, S. and Rattanadecho, P. (2011). "Microwave and hot air drying of wood using a rectangular waveguide," *Drying Technology* 29(4), 451-460. DOI: 10.1080/07373937.2010.505312

Article submitted: July 9, 2017; Peer review completed: October 10, 2017; Revised version received and accepted: November 30, 2017; Published: December 6, 2017. DOI: 10.15376/biores.13.1.929-944



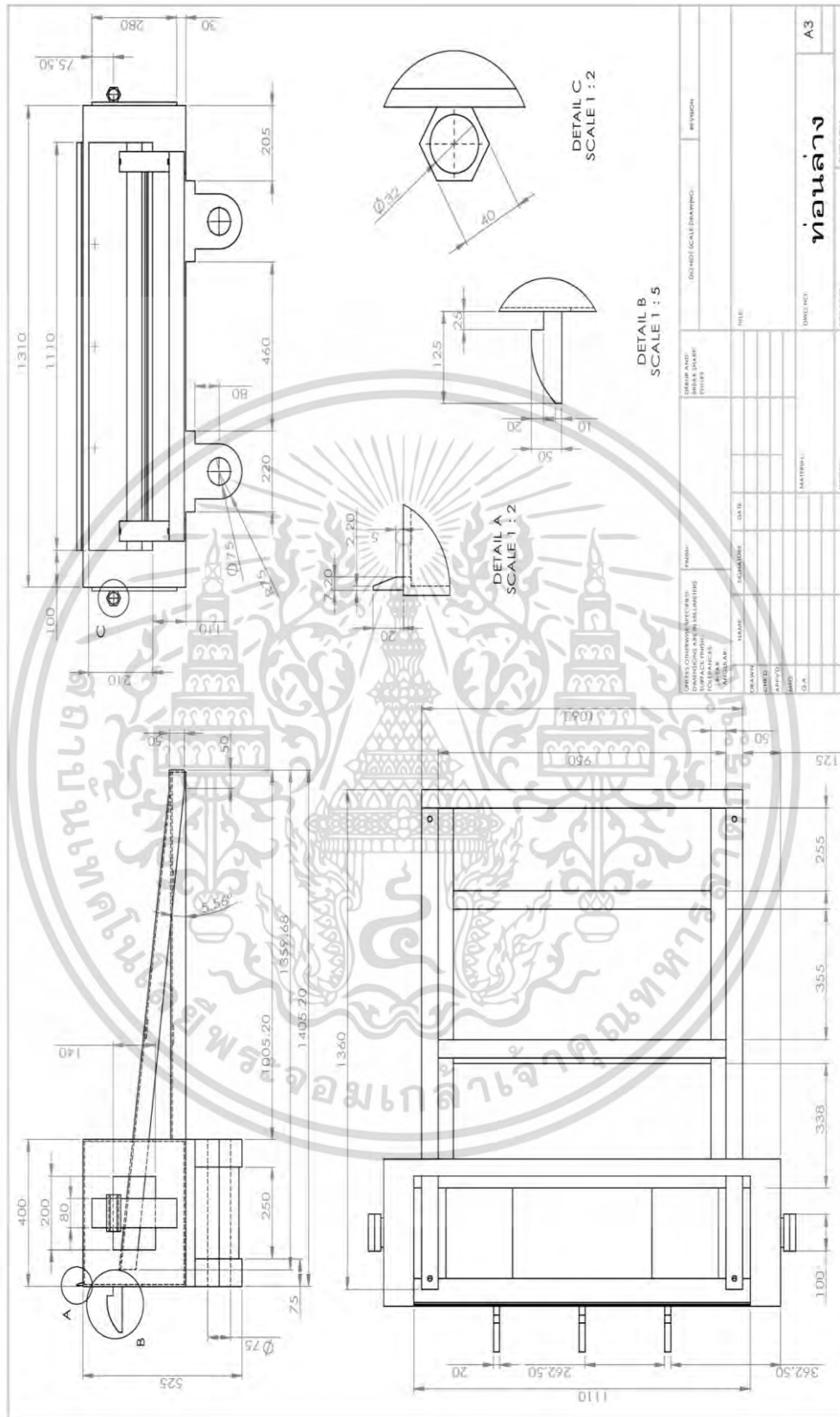
ภาคผนวก ข.
แบบชิ้นส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



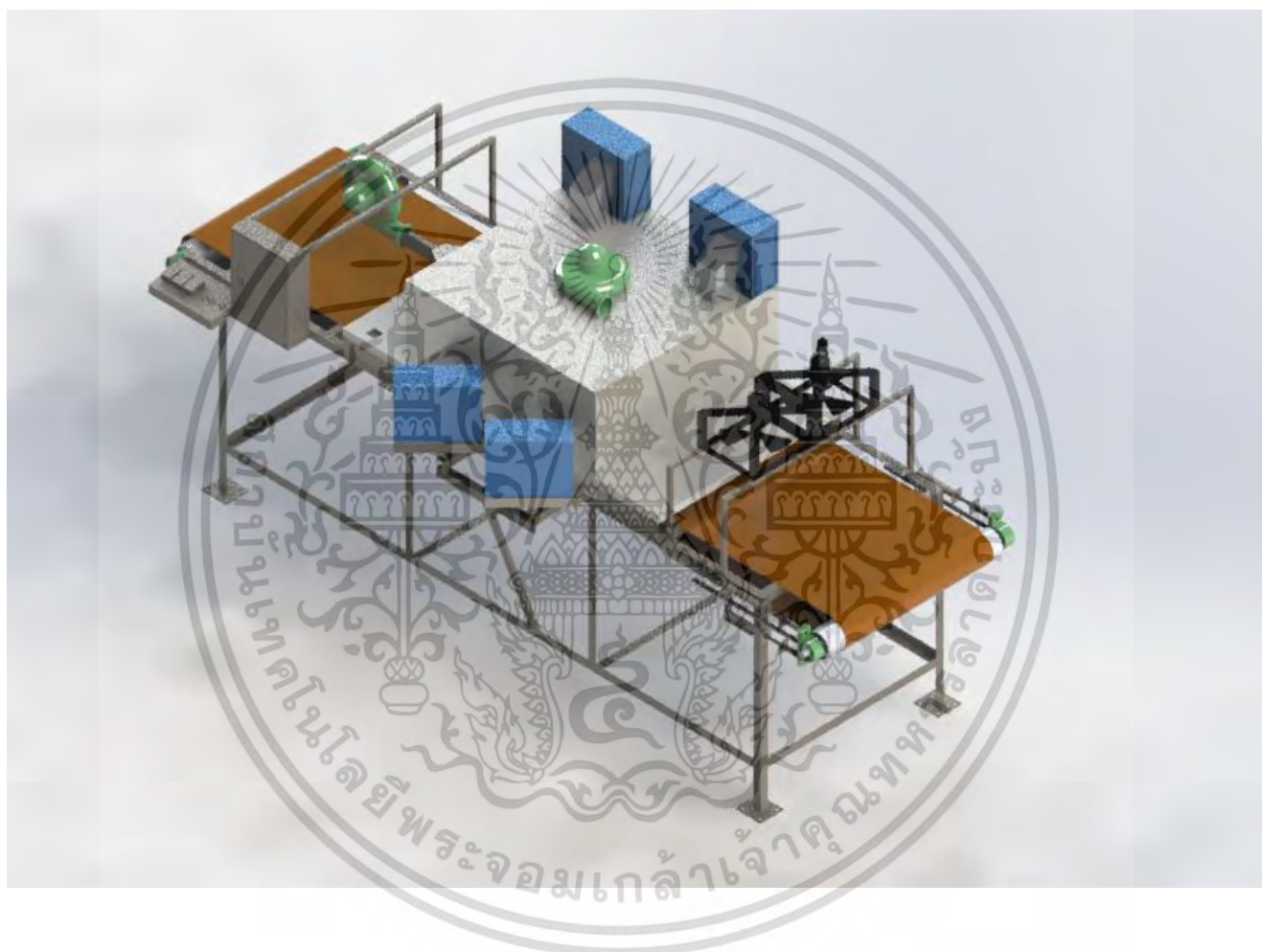
รูปที่ ข.1 แบบเครื่องปอกไม้บาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



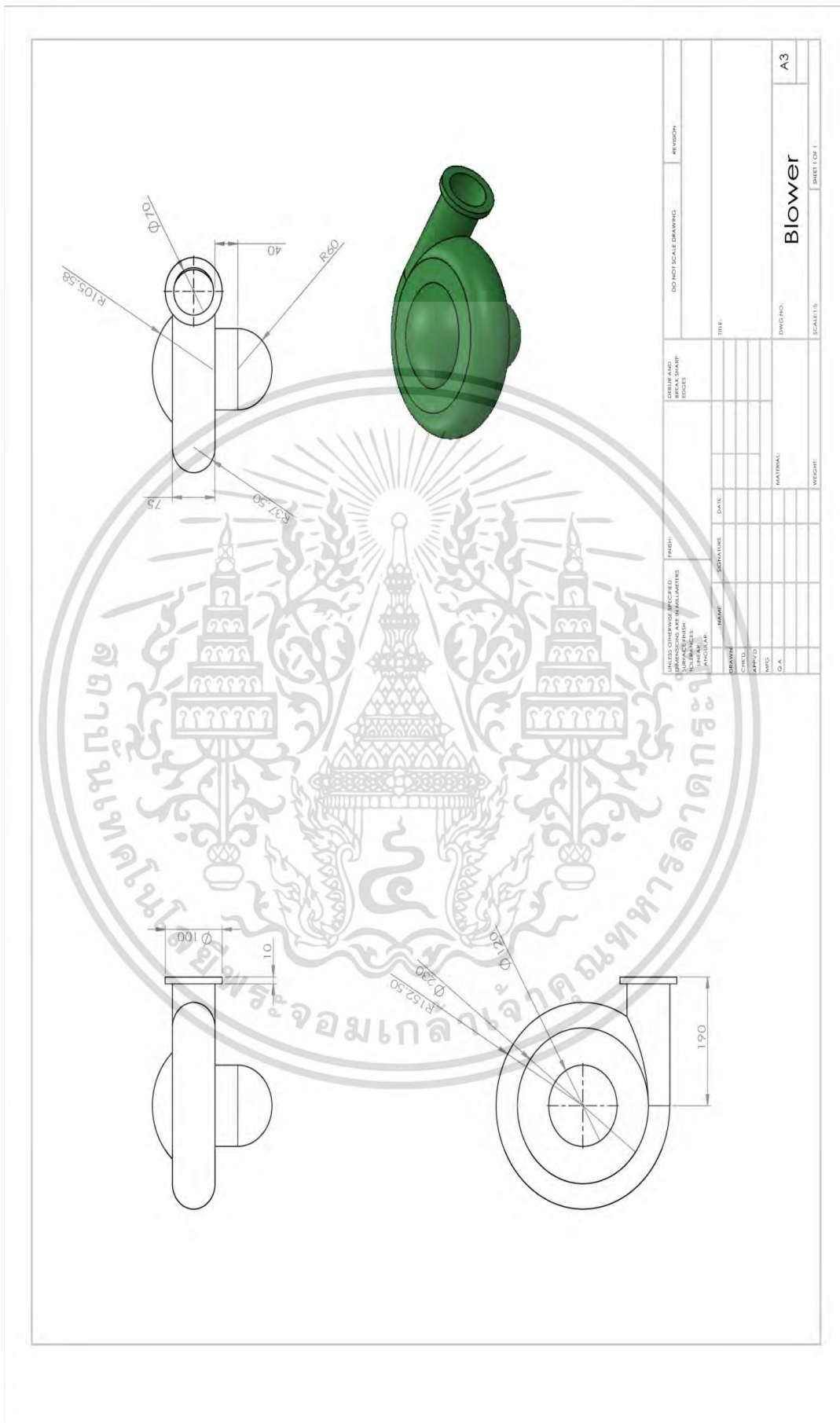


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ข.5 แบบมิดปอก
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



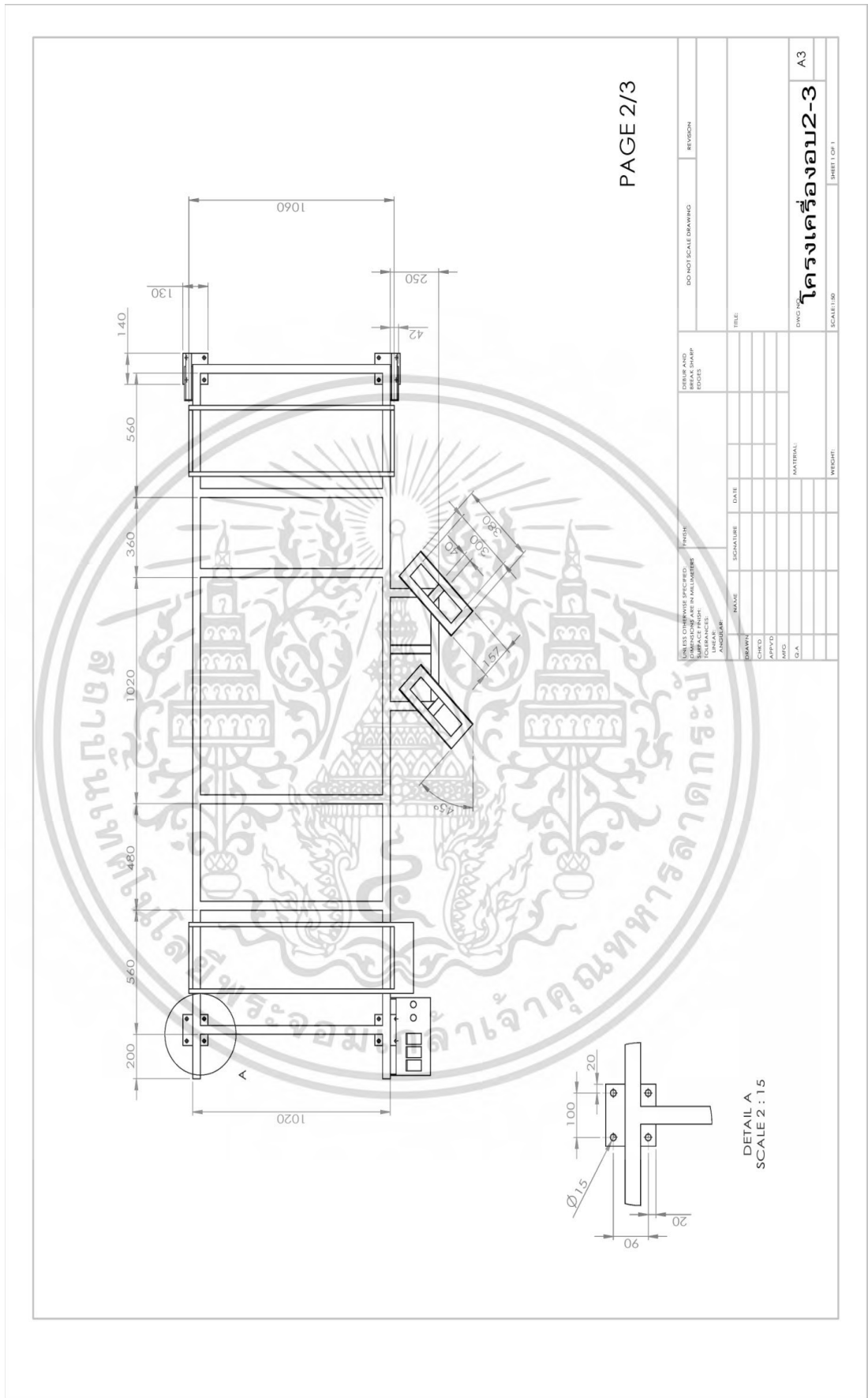
รูปที่ ข.6 แบบเครื่องอปไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อน ชนิดสายพานลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

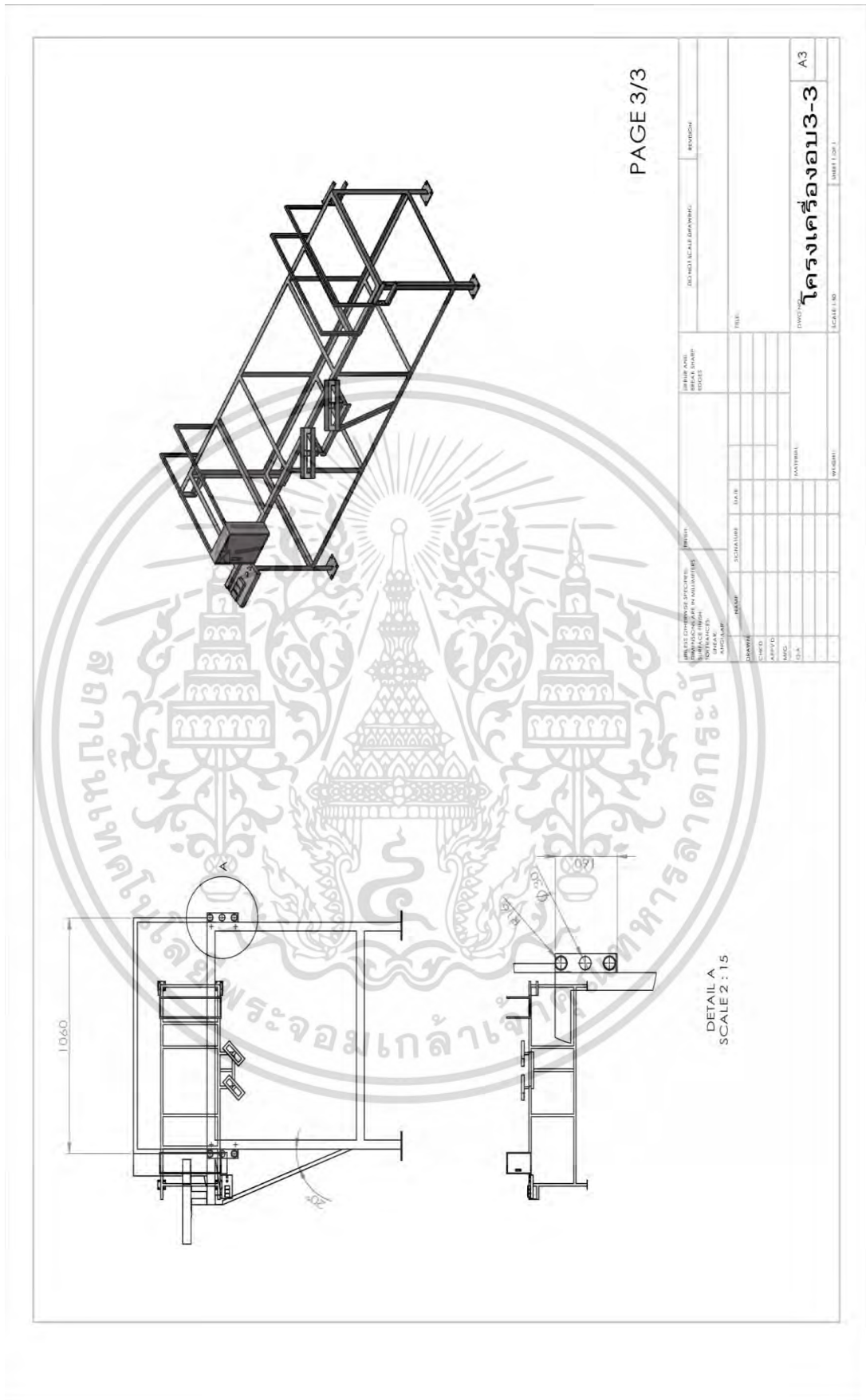


DRAWN		CHECKED		APPROVED		DATE		MATERIAL		WEIGHT	
NAME	SIGNATURE	NAME	SIGNATURE	NAME	SIGNATURE	DATE	DATE	MATERIAL	WEIGHT	REVISION	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS										DO NOT SCALE DRAWING	
TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED										TITLE	
FRACTIONS										DWG. NO.	
DECIMALS										SCALE 1:1	
ANGLES										SHEET OF 1	
										Blower	
										A3	

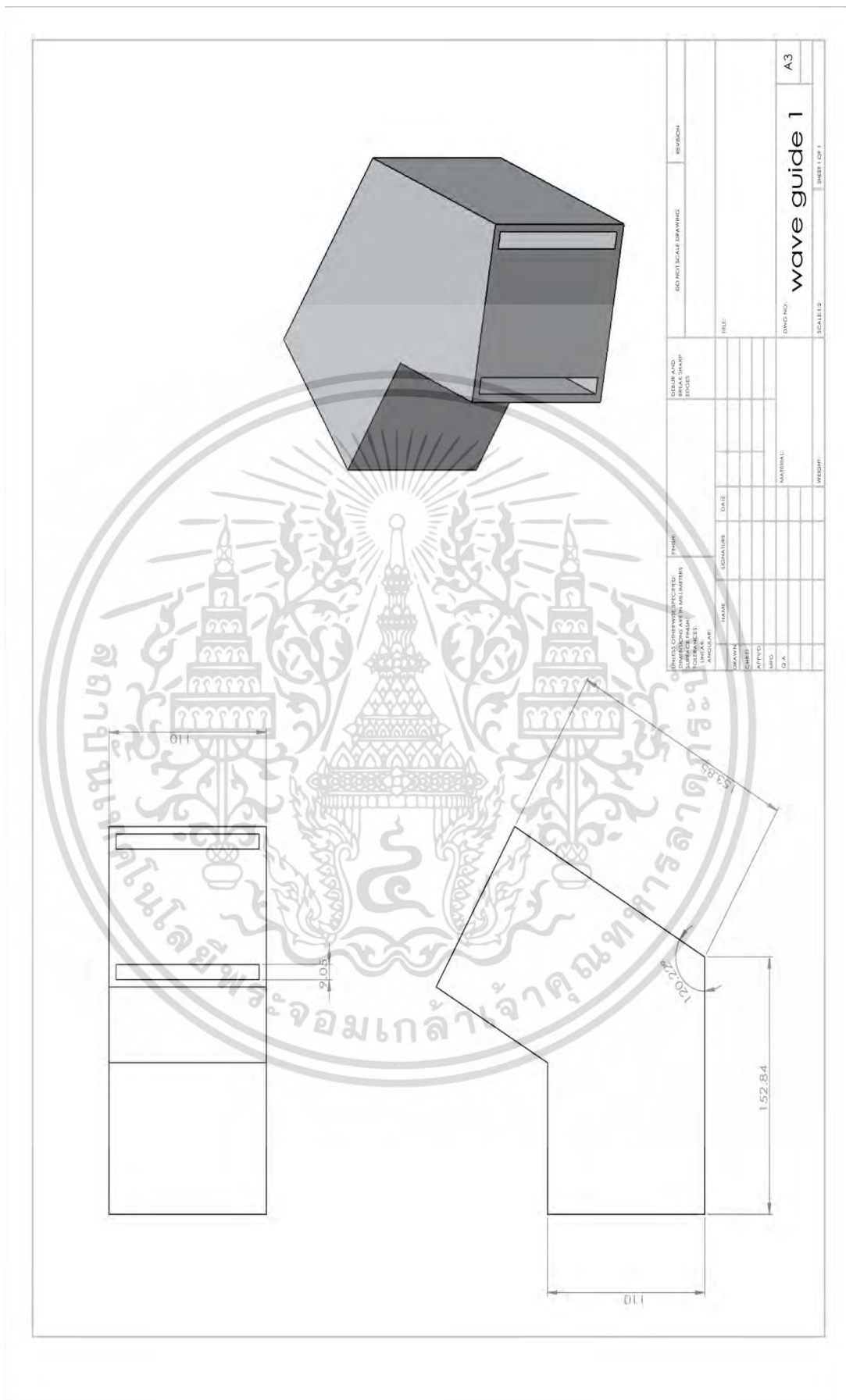
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ข.7 แบบBlower
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้แบบเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ข.9 แบบโครงเครื่องอบด้านบน
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ ข.10 แบบโครงเครื่องอบด้านหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะที่ออกให้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ผู้อื่นใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	ผศ.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์
วัน เดือน ปีเกิด	5 เมษายน 2517 ที่นครศรีธรรมราช
ที่อยู่	17/1 ม.6 ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160 โทร. 086-754-6234
ประวัติการศึกษา	2540 (เกียรตินิยม อันดับ 2) วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสยาม 2543 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.การออกแบบเครื่องจักรกลการเกษตร เทคโนโลยีปาล์ม น้ำมัน และพืช น้ำมัน เทคโนโลยียาง เทคโนโลยีไม้ พลังงานทดแทน 2. Graphic Design, CAD CAM CAE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้