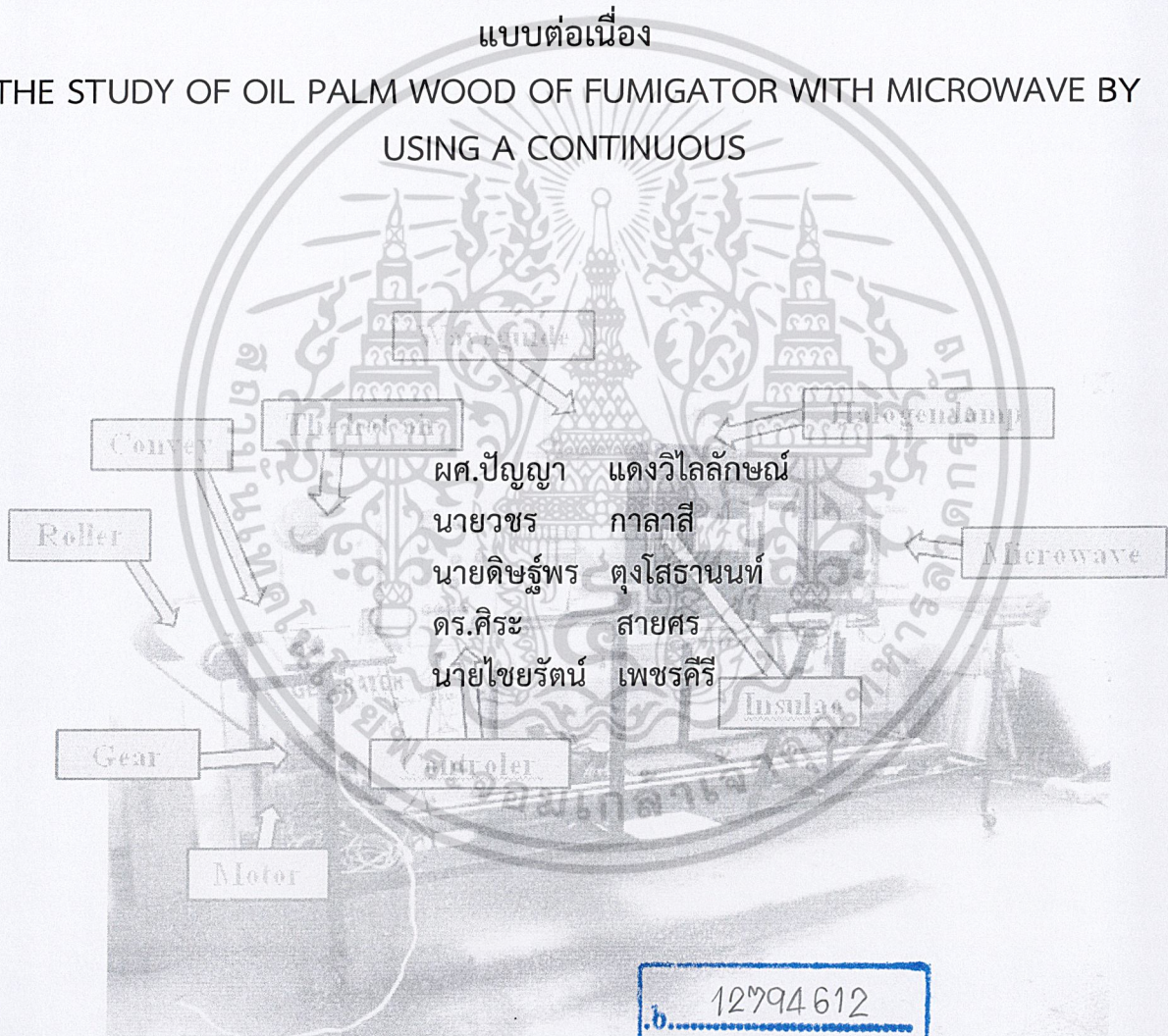




รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาผลการอบแห้งไม้ปาล์มน้ำมันโดยคลื่นไมโครเวฟแบบสายพานลำเลียง  
แบบต่อเนื่อง

THE STUDY OF OIL PALM WOOD OF FUMIGATOR WITH MICROWAVE BY  
USING A CONTINUOUS



ผศ.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์  
นายวชร กาลาสี  
นายดิษฐ์พร ตุงโสธานนท์  
ดร.ศิระ สายศร  
นายไชยรัตน์ เพชรคีรี

12794612

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 143557  
วัน,เดือน,ปี..... 17 ต.ค. 2559

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) .....การศึกษาผลการอบแห้งไม้ปาล์มน้ำมันโดยคลื่นไมโครเวฟแบบสายพาน  
ลำเลียงแบบต่อเนื่อง

แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน.....

ประจำปีงบประมาณ ..... 2555 ..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน ..... 573,000 ..... บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย ..... 1 ..... ปี ตั้งแต่ ..... ต.ค.54 ..... ถึง ..... ก.ย.55.....

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

หัวหน้าโครงการ	ผศ.ปัญญา	แดงวิไลลักษณ์	วิทยาเขตชุมพร
ผู้ร่วมโครงการวิจัย	นายวชร	กาลาสี	วิทยาเขตชุมพร
	นายดิษฐ์พร	ตุงโสธานนท์	วิทยาเขตชุมพร
	ดร.ศิระ	สายศร	วิทยาเขตชุมพร
	นายไชยรัตน์	เพชรศิริ	วิทยาเขตชุมพร

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลการทดลองอบไม้ปาล์มน้ำมันด้วยเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน เพื่อเป็นการนำไม้ปาล์มน้ำมัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่ไม่ได้ใช้ประโยชน์จึงทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยออกแบบห้องอบให้มีขนาด  $50 \times 100 \times 100$  ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำด้วยสแตนเลสชนิด 316 ใช้คลื่นไมโครเวฟจากไมโครเวฟ 4 ตัว ความร้อนจากหลอดฮาโลเจน 4 หลอด และความร้อนจาก Heater 1 ชุด โดยการทดลองนี้จะทำการตัดไม้ปาล์มแล้วเลือกทดลองไม้จากโคนต้นสูงขึ้นไป 3 เมตร อายุ 20 ปีขึ้นไป โดยจะแช่น้ำก่อนอบ และตัดไม้ให้มีขนาด  $1.5 \times 2 \times 10$  ลูกบาศก์นิ้ว แล้วนำไปอบด้วย Hot Air Oven ที่อุณหภูมิ  $105^{\circ}\text{C}$  เพื่อหาความชื้นเริ่มต้นและอบด้วยเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน โดยแบ่งการทดลองเป็น 5 แบบ คือ ทดลองอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ ที่ 1,600W อบด้วยหลอดฮาโลเจนที่ความร้อน 50,70,90 องศาเซลเซียส อบด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s ความร้อน 65 และ 95 องศาเซลเซียส การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ 1,600W ร่วมกับหลอดฮาโลเจนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 9 ชั่วโมง ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นสูงสุด แต่ไม้ปาล์มเกิดการบิดตัวและหดตัว และการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ 1,600W ร่วมกับลมร้อนความเร็ว 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 13 ชั่วโมง จากการทดลองสรุปผลได้ว่าการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ  $90^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลาในการอบน้อย เกิดการบิดตัวและหดตัวน้อยมาก มีค่าความต้านทานแรงดัดมอดูลัสยืดหยุ่นสูงสุด และใช้หน่วยไฟฟ้าน้อยที่สุด คือ 16.8 หน่วย และสามารถนำไปใช้งานประเภทตกแต่งภายในหรืองานเฟอร์นิเจอร์ที่ต้องการ

คำสำคัญ : ไม้ปาล์มน้ำมัน, ไมโครเวฟ, หลอดฮาโลเจน, ลมร้อน, การอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Research Title:** .....THE STUDY OF OIL PALM WOOD OF FUMIGATOR WITH MICROWAVE BY USING A CONTINUOUS.....

**Researcher:** Asst.Panya Daungviluilux, Mr. Wachara Kalasee, Mr.Ditsaporn Tongsoatanoon, Dr.Sira Saisorn and Mr.Chairat Petkeree

**Faculty:** Chumphon Campus.....**Department:** Engineering.....

### ABSTRACT

Experiments with a wood oil palm wood by microwave oven with halogen lamps and hot air to the palm wood, which most do not benefit, so makes maximum benefit. By designing a room the size of  $50 \times 100 \times 100 \text{ cm}^3$ . Made of stainless steel type 316 microwave 4, heat from halogen lamps 4 lamps and heat from Heater 1 set by this experiment will cut palm wood and select the timber from base to 3 meters. Age 20 years up. Will soaked in water before baking. And cut wood to size  $1.5 \times 2 \times 10$  cubic inches and bring to a Hot Air Oven bake at  $105^\circ\text{C}$  for initial moisture content and drying with palm wood by microwave with halogen lamps and hot air. The study was divided into five types of experiments with a microwave bake with at 1,600 W, halogen lamp to heat  $50, 70$  and  $90^\circ\text{C}$ , hot air at wind speed of  $2.1 \text{ m/s}$   $65$  and  $95^\circ\text{C}$ . microwave 1,600 W with halogen lamp at  $90^\circ\text{C}$  for 9 hours to bake the maximum modulus flexibility. But Palm was twisting and shrinkage. And microwave 1,600 W with hot air speed of  $2.1 \text{ m/s}$  at  $95^\circ\text{C}$  for 13 hours to bake. The experimental results baking microwave 1,600W with halogen lamp 2,000W at a temperature  $90^\circ\text{C}$  takes a times minimum. The twist and shrink less. The flexure modulus maximum flexibility. And use is 8.16 units less electricity and can be used for interior or type of furniture you want.

**Keywords :** Oil Palm Wood, Microwave, Halogen lemp, Hot air, Drying

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้คงไม่อาจสำเร็จได้ด้วยดีหากไม่ได้รับการสนับสนุนงบประมาณ และความร่วมมือจากหลายฝ่ายด้วยกัน หน่วยงานแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้งานวิจัยเรื่องนี้แล้วเสร็จลงได้ดี การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคือสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(NRPM) และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุน เงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555 และขอบคุณหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (RCME) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ช่วยเหลือด้านการทดสอบคุณสมบัติการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟของไม้ปาเล็ม และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายต่างๆ เช่นฝ่ายงานวิจัย ฝ่ายงานพัสดุ ฝ่ายงานแผนที่ช่วยสนับสนุนงานวิจัย ทั้งเรื่องขออนุมัติ เรื่องตั้งเบิกซื้อของ และอื่นๆ

ขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้าได้มีวันนี้ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักอย่างยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆ ด้าน อันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ผศ.ปัญญา	แดงวิไลลักษณ์
นายวชร	กาลาสี
นายดิษฐ์พร	ตุงโสธานนท์
ดร.ศิริระ	สายศร
นายไชยรัตน์	เพชรศิริ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตการดำเนินการ.....	2
1.4 วัสดุอุปกรณ์.....	2
1.5 ลักษณะการดำเนินงาน.....	3
<b>บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์</b> .....	<b>4</b>
2.1 ลักษณะกายภาพของปาล์มน้ำมัน.....	4
2.2 งานวิจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง.....	6
<b>บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b> .....	<b>14</b>
3.1 ไมโครเวฟ.....	14
3.2 คลื่น.....	14
3.3 การแผ่รังสีของคลื่น.....	16
3.4 ลักษณะของคลื่นไมโครเวฟ.....	16
3.5 หลักการพื้นฐานในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ.....	17
3.6 กลไกการระเหยของน้ำออกจากวัสดุที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟ.....	17
3.7 แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ.....	18
3.8 แมกนีตรอน.....	19
3.9 โครงสร้างของแมกนีตรอน.....	19
3.10 หลักการทำงานของแมกนีตรอน.....	20
3.11 ข้อควรระวังในการใช้เตาไมโครเวฟ.....	24
3.12 ระบบทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ.....	25
3.13 หลอดทังสเตนฮาโลเจน.....	27
3.14 หลักการทำงานของหลอดฮาโลเจน.....	28
3.15 ข้อควรระวังในการใช้หลอดฮาโลเจน.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.16 ความร้อน.....	29
3.17 ความจุความร้อน.....	29
3.18 การถ่ายเทความร้อน.....	30
3.19 ฮีตเตอร์.....	31
3.20 ลูกกรงฟาราเดย์.....	30
3.21 สายพานลำเลียง.....	33
3.22 การใช้งานและข้อจำกัด.....	34
3.23 ความกว้างสายพานและความเร็วสายพาน.....	35
3.24 การกำหนดแรงตึงสายพาน และกำลังม้า.....	36
3.25 ค่าต่างๆสำหรับแพคเตอร์น้ำหนักรุ่นและน้ำหนักรุ่นสายพาน.....	39
3.26 ความชื้นในวัสดุ.....	40
<b>บทที่ 4 การออกแบบและวิธีการดำเนินงาน.....</b>	<b>41</b>
4.1 การออกแบบ.....	41
4.2 หลักการทำงานของเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียง.....	47
4.3 การทดลองอบไม้ปาล์มด้วยเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจนและลมร้อน.....	48
<b>บทที่ 5 ผลการทดลอง.....</b>	
5.1 ผลการทดลองอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ หลอดฮาโลเจน และลมร้อน.....	52
5.2 ผลการทดลองอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจนและลมร้อน.....	56
5.3 วิเคราะห์ภาพไม้ที่ผ่านการอบ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป.....	57
<b>บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>62</b>
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	62
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	63
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>64</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>66</b>
ภาคผนวก ก การทดลองอบไม้ด้วยเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจนและลมร้อน.....	67
ภาคผนวก ข. หน่วยไฟฟ้า เครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน.....	81

ภาคผนวก ค. การทดสอบเชิงกลของไม้ปาเล่มน้ำมัน ที่อบด้วยเครื่องอบไม้ปาเล่มน้ำมันด้วยคลื่นไมโครเวฟ หลอดฮาโลเจน และลมร้อน.....	83
ภาคผนวก ง. Drawing เครื่องอบไม้ปาเล่มน้ำมันด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน.....	104
ประวัตินักวิจัย.....	110
วารสารที่ได้รับการตีพิมพ์.....	119



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ก.1 ผลการอบด้วย Hot Air Oven ที่ 105 °C เพื่อหาความชื้นเริ่มต้น	68
ก.2 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟในตู้อบทุก ๆ 20 นาที พลังงาน 1,600 W (หัวละ 400 W)	69
ก.3 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยหลอดฮาโลเจนในตู้อบทุก ๆ 1 ชั่วโมง ที่พลังงาน 2,000 W (ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส)	70
ก.4 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยหลอดฮาโลเจนในตู้อบทุก ๆ 1 ชั่วโมง ที่พลังงาน 2,000 W (ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส)	72
ก.5 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยหลอดฮาโลเจนในตู้อบทุก ๆ 1 ชั่วโมง ที่พลังงาน 2,000 W (ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส)	74
ก.6 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยลมร้อนในตู้อบทุก ๆ 1 ชั่วโมง ที่ความเร็วลม 2.1 m/s (ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส)	75
ก.7 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยลมร้อนในตู้อบทุก ๆ 1 ชั่วโมง ที่ความเร็วลม 2.1 m/s (ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส)	77
ก.8 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ (1600W) ทุก ๆ 20 นาที ร่วมกับ หลอดฮาโลเจน (2,000W) ในตู้อบทุก ๆ 1 ชั่วโมง (ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส)	79
ก.9 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ (1600W) ทุก ๆ 20 นาที ร่วมกับ ลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s ในตู้อบทุก ๆ 1 ชั่วโมง (ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส)	80
ข.1 เวลาและหน่วยยูนิตในการอบไม้ปาล์มด้วยเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับ หลอดฮาโลเจนและลมร้อน	82
ค.1 ผลการทดสอบการต้านแรงตัดและมอดุลัสยืดหยุ่น	84
ค.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดแนวขนานเสี้ยน	89
ค.3 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเสี้ยน	94
ค.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน	99

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การทำลายต้นปาล์มที่โคนกิ่งด้วยรถแม็คโครหรือเลื่อยยนต์	1
1.2 การเผาต้นปาล์มที่โคนกิ่ง เพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูก	1
1.3 การทำลายต้นปาล์มที่อายุมากด้วยการเจาะต้นหยอดยาฆ่าหญ้า	2
2.1 ภาพตัดขวางของปาล์มน้ำมัน	5
2.2 เครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียง	8
2.3 ตำแหน่งการติดตั้งหัวแมกนีตรอนในการทดลอง	9
2.4 รูปแบบการเลื่อยไม้เนื้ออ่อน	11
2.5 ภาพประกอบการใช้ไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน	12
2.6 ไม้ปาล์มน้ำมัน a. ไม้สดก่อนอบ b. ไม้ใหม่หลังการอบ c. ไม้บิดและหดตัวหลังการอบ d. ไม้แห้งสภาพดีหลังการอบ	12
3.1 แลปสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	14
3.2 ความสูงของคลื่น	14
3.3 การเรียงตัวของสภาพเชิงขั้วภายในวัสดุไดอิเล็กตริกเมื่อไม่มีสนามไฟฟ้า	17
3.4 การเรียงตัวของสภาพเชิงขั้วภายในวัสดุไดอิเล็กตริกเมื่อมีสนามไฟฟ้า	17
3.5 ภายในของแมกนีตรอน	19
3.6 ขั้วแอโนด	20
3.7 เมื่อมีกระแสผ่านแควิตี (Cavity)	20
3.8 ทางเดินของอิเล็กตรอนจากแคโทดไปยังแอโนด	21
3.9 การวางแม่เหล็กพร้อมกับแกนไดโอด	21
3.10 การวิ่งของอิเล็กตรอนที่โดนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เบี่ยงเบน	21
3.11 การเหนี่ยวนำเอาประจุบวกของอิเล็กตรอน	22
3.12 การเหนี่ยวนำของกระแสสลับในระหว่าง Anode Cavities	22
3.13 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นกลุ่ม	23
3.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง Depth, Heating, Degree, Frequency	23
3.15 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ	25
3.16 แสดงลักษณะของหลอดฮาโลเจน	27
3.17 แสดงโครงสร้างของหลอดฮาโลเจน	27
3.18 แสดงหลักการทำงานของหลอดฮาโลเจน	28
3.19 เครื่องตรวจจับการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Leakage Detector)	33
3.20 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ทำความสะอาด	34
4.1 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 แผนภาพของเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน	41
4.3 ห้องอบไมโครเวฟ	42
4.4 ตำแหน่งการวางไมโครเวฟและWaveguide	42
4.5 ตำแหน่งการวางหลอดฮาโลเจน	43
4.6 โคมฟลัดไลท์และหลอดฮาโลเจน	43
4.7 ตำแหน่งการวางชุดเป่าลมร้อน	43
4.8 แผ่นครีบอลูมิเนียม	44
4.9 สายพานลำเลียง	44
4.10 ชุดลูกกลิ้งขับเคลื่อนสายพานลำเลียง	44
4.11 ชุดขับเคลื่อนสายพานลำเลียง	45
4.12 ช่องระบายไอน้ำ	45
4.13 แผ่นฟรอยด์ป้องกันคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล (ด้านใน)	46
4.14 แผ่นฟรอยด์ป้องกันคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล (ด้านนอก)	46
4.15 ท่อน้ำช่วยดูดคลื่นคลื่นที่รั่วไหลออกจากห้องอบไมโครเวฟ	46
4.16 ตู้ Control ควบคุมสายพานลำเลียง มอเตอร์ หลอดฮาโลเจน ชุดเป่าลมร้อน และจอแสดงค่าอุณหภูมิภายในตู้อบ	47
4.17 ตัดต้นปาล์มจากโคนสูงขึ้นไปไม่เกิน 3 เมตร	48
4.18 ลักษณะการเลื่อยแบบ Cobweb Sawing	48
4.19 การแช่ไม้ก่อนการทดลอง	48
4.20 ไม้ขนาด 1.5x2x10 ลูกบาศก์นิ้ว ที่ใช้ทดลอง	49
4.21 การอบไม้เพื่อหาความชื้นเริ่มต้น	49
4.22 ชั่งน้ำหนักไม้ก่อนการอบ	49
4.23 การอบไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟ	50
4.24 การอบไม้ด้วยคลื่นหลอดฮาโลเจน	50
4.25 การอบไม้ด้วยลมร้อน	50
4.26 การลำเลียงไม้เข้าเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ หลอดฮาโลเจน และลมร้อน	51
4.27 วัตถุดิบที่ผิวไม้	51
5.1 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วย ที่พลังงาน 1,600 W (หัวละ 400 W)	52
5.2 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยหลอดฮาโลเจนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	52
5.3 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยหลอดฮาโลเจนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	53
5.4 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยหลอดฮาโลเจนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	53
5.5 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยด้วยลมร้อน อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส	54
5.6 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยด้วยลมร้อน อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.7 ความชื้นเฉลี่ยต่อเวลาในการอบไม้ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจนและลมร้อน	55
5.8 อุณหภูมิต่อเวลาในการอบไม้ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจนและลมร้อน	55
5.9 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับหลอดฮาโลเจน อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	56
5.10 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับลมร้อน อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส	56
5.11 ความชื้นเฉลี่ยต่อเวลาในการอบไม้ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน	57
5.12 ท่อลำเลียงน้ำหลังจากการอบ (ไมโครเวฟ)	57
5.13 ลักษณะเสี้ยนไม้หลังจากการอบ (ไมโครเวฟ)	58
5.14 ท่อลำเลียงน้ำหลังจากการอบ (หลอดฮาโลเจน)	58
5.15 ลักษณะเสี้ยนไม้หลังจากการอบ (หลอดฮาโลเจน)	58
5.16 ท่อลำเลียงน้ำหลังจากการอบ (ลมร้อน)	59
5.17 ไม้ที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ ที่พลังงาน 1600 W (หัวละ 400 W)	59
5.18 ไม้ที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W (หลอดละ500 W) ที่อุณหภูมิ 50°C	59
5.19 ไม้ที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W (หลอดละ500 W) ที่อุณหภูมิ 70°C	60
5.20 ไม้ที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W (หลอดละ500 W) ที่อุณหภูมิ 90°C	60
5.21 ไม้ที่อบด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s อุณหภูมิ 65°C	60
5.22 ไม้ที่อบด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s อุณหภูมิ 95°C	60
5.23 ไม้ที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ1,600W ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90°C	61
5.24 ไม้ที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ1,600W ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95°C	61
ค.1 การต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น	84
ค.2 การต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W	85
ค.3 การต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	85
ค.4 การต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.5 การต้านแรงตัดและมอดูลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	86
ค.6 การต้านแรงตัดและมอดูลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส	87
ค.7 การต้านแรงตัดและมอดูลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส	87
ค.8 การต้านแรงตัดและมอดูลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	88
ค.9 การต้านแรงตัดและมอดูลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับลมร้อนความเร็ว 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส	88
ค.10 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเสี้ยน	89
ค.11 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W	90
ค.12 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	90
ค.13 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	91
ค.14 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	91
ค.15 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส	92
ค.16 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส	92
ค.17 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	93
ค.18 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับลมร้อนความเร็ว 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส	93
ค.19 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเสี้ยน	94
ค.20 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W	95
ค.21 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	95

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.22 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	96
ค.23 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	96
ค.24 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส	97
ค.25 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส	97
ค.26 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	98
ค.27 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับลมร้อนความเร็ว 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส	98
ค.28 การทดสอบความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน	99
ค.29 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W	100
ค.30 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	100
ค.31 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	101
ค.32 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	101
ค.33 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส	102
ค.34 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส	102
ค.35 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	103
ค.36 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับลมร้อนความเร็ว 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการ

ปาล์มน้ำมัน (oil palm) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Elaeisguineensis Jacq* อยู่ในวงศ์ Areacaceae หรือ Palmae เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวชนิดหนึ่ง ปาล์มน้ำมันกำเนิดในทวีปแอฟริกา ชาวโปรตุเกสได้นำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกในทวีปเอเชีย โดยเริ่มปลูกที่ประเทศอินโดนีเซียเป็นแห่งแรกและแพร่กระจายไปยังประเทศมาเลเซีย ต่อมาปี พ.ศ. 2472 จึงนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยเป็นครั้งแรก โดยปลูกเป็นปาล์มประดับที่สถานีทดลองยางคองหงส์ จ.สงขลา และสถานีกสิกรรมพลั่ว จ.จันทบุรี จากตัวเลขของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (ส.ศ.ก.) กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่า ในปี 2555 ประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกปาล์มรวม 3,982,623 ไร่ ใน 50 จังหวัด ผลผลิตรวมคาดว่าจะได้ 11,619,350 ตัน ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 2,918 กิโลกรัมต่อไร่ ปัจจุบันจังหวัดที่มีการปลูกปาล์มมากที่สุดในเขตภาคใต้เป็นหลัก โดยเฉพาะที่จังหวัด สุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นอกจากนี้ยังขยายพื้นที่ไปยังจังหวัดในภาคตะวันออก ได้แก่ ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง จันทบุรี ตราด และในภาคกลาง ภาคอีสาน จากข้อมูลข่าวการเกษตรไทยรัฐ 2555

อายุของต้นปาล์มน้ำมันที่เริ่มให้ผลผลิตจะอยู่ที่ 2 – 3 ปี ชาวสวนสามารถเก็บผลผลิตได้ไปจนหมดอายุของต้นปาล์มน้ำมันซึ่งอยู่ที่ประมาณ 25 ปีขึ้นไปหลังจากนี้ต้นปาล์มน้ำมันจะให้ผลผลิตน้อยลง ประกอบกับความสูงของต้นปาล์มทำให้ยากต่อการเก็บผลผลิต ชาวสวนจึงต้องตัดต้นปาล์มน้ำมันที่มีอายุมากทิ้งเพื่อที่จะปลูกต้นปาล์มน้ำมันรุ่นต่อไป ซึ่งต้นปาล์มน้ำมันที่ถูกตัดทิ้งนี้ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์อย่างใดนอกจากทำปุ๋ยหมัก และการเผาทำลายดังรูปที่ 1-3



รูปที่ 1.1 การทำลายต้นปาล์มที่โค่นทิ้งด้วยรถแม็คโครหรือเลื่อยยนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสาร **รูปที่ 1.2** การเผาต้นปาล์มที่โค่นทิ้ง เพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูกหันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 การทำลายต้นปาล์มที่อายุมากด้วยการเจาะต้นหยอดยาฆ่าหญ้า

การวิจัยเรื่องนี้ทำการศึกษาเพื่อการนำไม้ปาล์มน้ำมันมาใช้ประโยชน์จำเป็นต้องทำให้ไม้มีความชื้นที่เหมาะสม เพื่อลดโอกาสที่จะเกิดตำหนิจากลักษณะทางกายภาพของไม้และเพื่อป้องกันการเกิดราในเนื้อไม้ ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดที่ว่าถ้าหากนำไม้ปาล์มน้ำมันมาอบโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟสามารถลดปริมาณความชื้นในเนื้อไม้ให้ลดลงได้เร็วกว่าการอบด้วยวิธีอื่นๆ ทั้งนี้เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่าสูงสุด และเพื่อลดการพึ่งพาหรือนำเข้าไม้จากต่างประเทศ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาออกแบบห้องอบแห้งไม้ปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมที่สุดด้วยการจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม COMSO
2. เพื่อศึกษาหลักการอบแห้งไม้ปาล์มน้ำมันด้วยไมโครเวฟ ถึงคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความแข็งแรง ความแน่นเนื้อ ความคงทน
3. เพื่อศึกษาผลของการอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ ความร้อนจากหลอดฮาโลเจน และความร้อนลมร้อน ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเนื้อไม้ปาล์มน้ำมัน
4. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบด้วยเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน

## 1.3 ขอบเขตการดำเนินการ

1. ใช้พลังงานจากเครื่องไมโครเวฟ SAMSUNG รุ่น MS103HCE ความถี่ 2.45 GHz จำนวน 4 เครื่อง ความร้อนจากหลอดฮาโลเจน 500 W จำนวน 4 หลอด และลมร้อนจาก Heater 5,000 W
2. ขนาดไม้ปาล์ม หนา 1.5 นิ้ว กว้าง 2 นิ้ว ยาว 10 นิ้ว
3. ความชื้นในเนื้อไม้หลังการอบอยู่ระหว่าง 12 - 20 %
4. ใช้ไม้บริเวณลำต้นจากโคนสูงขึ้นไปไม่เกิน 3 เมตร อายุ 20 ปีขึ้นไป

## 1.4 วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องไมโครเวฟ SAMSUNG รุ่น MS103HCE ความถี่ 2.45 GHz
2. คอมพลีตไลท์ ยี่ห้อ Micron M-113 500W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลอด Tungsten Halogen ยี่ห้อ PHILIPS Halogen 500W จำนวน 4 หลอด
4. ชุด Heater 5,000 วัตต์ จำนวน 1 ชุด
5. พัดลมโบลเวอร์ MANDA MDYA-80 จำนวน 1 เครื่อง
6. ชุดเกียร์ทด Type TKB70 Ratio 1 : 60
7. มอเตอร์ 3 เฟส ยี่ห้อ CAE, Type Y100L1-4, 3 HP, 2.2 KW, 50 Hz , 1420 rev/min.
8. สายพานลำเลียงวัสดุสายพานเป็นมุ้งลวดอลูมิเนียม
9. ชุดลูกกลิ้ง

### 1.5 ลักษณะการดำเนินงาน

1. เริ่มดำเนินการศึกษาไม้ปาล์มน้ำมัน
2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. ทดสอบอบไม้ปาล์มในห้องปฏิบัติการ
4. คำนวณและออกแบบชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน
5. พัฒนาเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน
6. ทดสอบเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน
7. สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### วรรณกรรมปริทรรศน์

#### 2.1 ลักษณะกายภาพของปาล์มน้ำมัน

##### 2.1.1 ลำต้นปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีอายุหลายปี จัดอยู่ในวงศ์ (Family)Palmaeหรือ Arecaceaeซึ่งเป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์เดียวกับปาล์ม ได้แก่ มะพร้าว ตาล จาก หมาก ระกำ เป็นต้น อยู่ในสกุล (Genus) Elaeis ซึ่งประกอบด้วยปาล์มน้ำมัน 3 ชนิด แต่ปาล์มน้ำมันชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและนิยมปลูกเพื่อเป็นการค้าในปัจจุบันคือ ElaeisguineensisJacq ซึ่งสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานกว่า 25 ปี

ลำต้นปาล์มน้ำมันมีหน้าที่ช่วยค้ำตั้งส่วนอื่นๆของลำต้นให้ตั้งตรงและช่วยลำเลียงน้ำและอาหารไปยังส่วนต่างๆ ลักษณะลำต้นปาล์มน้ำมันเป็นลำต้นเดี่ยว ตั้งตรง ไม่มีกิ่งแขนงมีรูปร่างทรงกระบอก มีตายอดอยู่ตรงปลายสุดของลำต้นซึ่งเป็นจุดกำเนิดของใบ ลำต้นประกอบขึ้นจากเนื้อเยื่อเส้นใย มีข้อและปล้องที่ถี่มาก ในระยะ 3 ปีแรกหลังจากปลูกต้นปาล์มน้ำมันจะพัฒนาทางด้านกว้างโดยลำต้นจะขยายส่วนฐานให้ใหญ่ขึ้น ในระยะนี้จะสังเกตเห็นทางใบอยู่ติดลำต้นมากกว่า 40 ทางใบ พอหลังจากต้นปาล์มน้ำมันอายุ 3 ปีขึ้นไป ปล้องของลำต้นจะยึดตัวมากขึ้น และทำให้การเจริญเติบโตทางด้านกว้างหยุดไปหรือมีน้อยมาก เพราะไม่มีเนื้อเยื่อเจริญในระบบท่อน้ำท่ออาหารเช่นเดียวกับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่วไป ส่วนการเพิ่มความสูงลำต้นโดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นปีละประมาณ 35 – 60 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและพันธุกรรม ตามธรรมชาติแล้วต้นปาล์มน้ำมันจะมีความสูงมากกว่า 30 เมตร และมีอายุยืนมากกว่า 100 ปี แต่การปลูกปาล์มน้ำมันเป็นการค้าจะต้องการต้นปาล์มน้ำมันที่มีความสูงไม่เกิน 15 – 18 เมตร และเก็บเกี่ยวผลผลิตจนถึงอายุได้ 25 ปีเท่านั้น ลำต้นปาล์มน้ำมันจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 – 75 เซนติเมตร

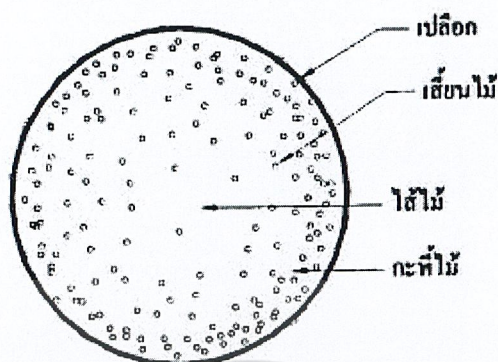
การจัดเรียงตัวของทางใบบนลำต้นจะมีทิศทางบิดเป็นเกลียววนตามแกนลำต้นรอบละ 8 ทาง ใบโดยมีทิศทางวน 2 ทาง คือ วนเวียนซ้ายและเวียนขวา เมื่อต้นปาล์มมีอายุมากขึ้นและเริ่มมีการตัดแต่งทางใบจะสังเกตเห็นฐานทางใบที่เป็นรอยตัดแต่งติดอยู่รอบๆลำต้นจำนวนมาก สำหรับปล้องและข้อจะปรากฏให้เห็นก็ต่อเมื่อต้นปาล์มน้ำมันมีอายุได้ 12 ปีหรือมากกว่า ซึ่งจะเห็นเป็นรอยหลังจากโคนใบหลุดไปจากลำต้นโดยจะเริ่มหลุดจากล่างขึ้นไป แต่ภายในลำต้นจะไม่มีขอบเขตแบ่งแยกระหว่างปล้องที่อยู่ติดกัน

สำหรับระบบท่อลำเลียงภายในต้นปาล์มน้ำมันจะกระจายอยู่เป็นกลุ่มๆเช่นเดียวกับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอื่นๆ แต่ละท่อลำเลียงจะประกอบไปด้วยท่อน้ำท่ออาหารเป็นกลุ่มๆมีแนววนเวียนเป็นเกลียวขึ้นสู่ลำต้นแนวท่อจะพาดผ่านใจกลางลำต้นไปยังแนวโดนทางใบซึ่งอยู่รอบนอกแล้วหักมวกกลับผ่านใจกลางลำต้นไปยังรอบนอกอีกด้านหนึ่งไปเรื่อยๆ เมื่อท่อลำเลียงมาถึงบริเวณรอบนอกของลำต้นจะมีการแตกสาขาออกมามากมายไปสู่ใบ ช่อดอก หรือเชื่อมต่อกับท่อลำเลียงกลุ่มอื่นๆ จึงทำให้ท่อลำเลียงของปาล์มน้ำมันที่บริเวณใจกลางลำต้นมีอยู่น้อย แต่ท่อลำเลียงจะอยู่หนาแน่นบริเวณรอบนอกของลำต้น

##### 2.1.2 ลักษณะของไม้ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันมีการเจริญเติบโตในทางแนวยาวขึ้นเรื่อยๆ การเติบโตทางด้านข้างมีน้อยมาก ลักษณะของเนื้อไม้จะมีเส้นใย (Vascular) ซึ่งจะมีความแข็งและสีที่เข้มตามอายุและจะมีจำนวนเส้นใยมากบริเวณกระพี้ของลำต้น โดยจะมีจำนวนเส้นใยค่อยๆลดลงเรื่อยๆจนบริเวณไส้ไม้ปาล์มน้ำมันมีการค้าไม่พบบริเวณนี้เลย อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นตรงไม่มีการแตกกิ่งก้านสาขาเหมือนต้นไม้ชนิดอื่น และไม่มีตาไม้ซึ่งเป็นตำหนิของไม้ซึ่งสิ่งเหล่านี้แตกต่างกับพืชใบเลี้ยงคู่ทั่วไป



รูปที่ 2.1 ภาพตัดขวางของปาล์มน้ำมัน

### 2.1.3 คุณสมบัติทางกายภาพของไม้

ไม้จัดเป็นอินทรีย์วัตถุ (Cellular organic material) ประกอบขึ้นด้วยสารสำคัญ 2 ชนิดคือ เซลลูโลส (Cellular) เป็นส่วนผนังของไม้มีประมาณ 60% และลิกนิน (Lignin) เป็นตัวยึดประมาณเส้นใยไม้เข้าด้วยกันมีประมาณ 28% นอกจากนั้นเป็นน้ำตาลและสารประกอบอย่างอื่นประมาณ 12%

**2.1.3.1 ลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้** ไม้ประกอบขึ้นด้วยเส้นใยเล็กๆหลายอัน ประกอบเข้าด้วยกัน เส้นใยเหล่านี้มีความยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร กำลังทางสมบัติเชิงกลของไม้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นใย แต่ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของตัวประสานเส้นใย ถ้าเรานำท่อนซุงมาผ่าออกตามขวางจะพบว่าลำต้นของไม้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- ใ้ไม้ (Pith) อยู่บริเวณกลางลำต้น มีสีเข้มมาก ใช้เป็นไม้ก่อสร้างไม้ได้เพราะให้กำลังต่ำ
- ไม้แก่น (Heartwood) เป็นส่วนของเซลล์ที่ไม่ทำงานแล้วเมื่อต้นไม้เจริญเติบโต จะสร้างเซลล์ใหม่รอบๆ ใ้ไม้ออกมา เซลล์เหล่านี้ทำหน้าที่ส่งและสะสมอาหาร ต่อมาต้นไม้ขยายตัวออกไปเรื่อยๆ เซลล์ส่วนในที่อยู่ใกล้ใ้ไม้จะหยุดการทำงานและทำหน้าที่เพียงเป็นแกนให้ความแข็งแรงกับต้นไม้เท่านั้น ไม้แก่นเป็นส่วนหนึ่งของเนื้อไม้ที่มีสมบัติเชิงกลดีกว่าส่วนอื่น ให้กำลังสูงและเป็นไม้ก่อสร้างที่ดี
- กระจังไม้ (Sapwood) เป็นส่วนหนึ่งของเซลล์ที่ยังคงทำงานส่งและสะสมอาหาร มีสีอ่อนกว่าไม้แก่นและอยู่ถัดออกมา โดยทั่วไปแล้วกระจังไม้มีสมบัติเชิงกลเหมือนกับไม้แก่น แต่มีความทนทานต่อดินฟ้าอากาศน้อยกว่าทำให้มีอายุการใช้งานสั้น จึงเป็นไม้ก่อสร้างที่คุณภาพด้อยกว่าไม้แก่น
- เปลือกไม้ (Bark) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มลำต้นไว้ นำไปใช้เป็นไม้ก่อสร้างไม้ได้
- วงปี (Annual) เป็นวงแสดงการเจริญเติบโตที่ไม่เท่ากันของต้นไม้ในรอบปี ต้นไม้ในเขตที่มีการเปลี่ยนแปลงของอากาศมากจะแสดงวงปีได้ชัดเจนกว่าต้นไม้ในเขตที่อากาศเปลี่ยนแปลงน้อย จำนวนวงปีจะบอกอายุของต้นไม้ได้

**2.1.3.2 ปริมาณความชื้น (Moisture Content)** ค่าปริมาณความชื้นในไม้คือ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของน้ำเนื้อไม้เมื่อเทียบจากน้ำหนักของไม้แห้งที่อบด้วยเตาอบ การอบไม้ในเตาอบใช้อุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส และใช้เวลานาน 24 ชั่วโมง เมื่อไม้ถูกทำให้แห้งน้ำที่อยู่ในโพรงของเส้นใยจะระเหยออกก่อน ในขณะที่น้ำซึ่งอยู่ผนังของเส้นใยยังคงอยู่ เมื่อไรก็ตามที่น้ำในโพรงของเส้นใยระเหยออกไปหมดน้ำในผนังของเส้นใยยังคงอึดตัวอยู่ เราเรียกไม้สภาพนี้ว่า มีความชื้นที่จุดเส้นใยอึดตัว (Fiber Saturation Point) ซึ่งมีความชื้นประมาณ 30% ไม้ที่นำมาใช้งานจะดูดหรือคายความชื้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบรรยากาศรอบตัว จนกระทั่งไม้มีความชื้นได้สมดุลกับความชื้นในอากาศ เราเรียกไม้ในสภาพนี้ว่า มีความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content)

**2.1.3.3 น้ำหนักและความถ่วงจำเพาะ (weight and Specific Gravity)** ไม้ซึ่งมีน้ำหนักมากและมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง จะทำให้กำลังสูงกว่าไม้ซึ่งมีน้ำหนักน้อยและความถ่วงจำเพาะต่ำ

**2.1.3.4 การหดตัว (Shrinkage)** ไม้จะมีการหดตัวเมื่อสูญเสียความชื้น ในทางตรงกันข้ามไม้แห้งจะมีการขยายตัวเมื่อเปียกน้ำหรือดูดความชื้นจากบรรยากาศ การหดตัวจะเกิดเฉพาะทางด้านตั้งฉากกับเส้นไม้หรือด้านกว้างและด้านหน้า ส่วนการหดตัวขนานกับเส้นไม้หรือด้านยาวของไม้จะมีค่าน้อยมาก การหดตัวและการขยายตัวมีผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลของไม้ ไม้จะหดตัวเมื่อค่าความชื้นในไม้มีค่าอยู่ระหว่างศูนย์กับค่าความชื้นที่จุดเส้นไม้อิมมัตว อัตราการหดตัวของไม้จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับอัตราการสูญเสียความชื้นไม้

**2.1.3.5 ตำหนิของเนื้อไม้ (Wood Defects)** ตำหนิของเนื้อไม้เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเองจากธรรมชาติ เช่น ตาไม้ ตาหลุด ตาตุ รุมอดรอยแตก หรือรอยแยกตามแนวเส้นและตามขวางเส้น ตำหนิเหล่านี้เป็นตัวลดกำลังสมบัติเชิงกลของไม้

**2.1.3.6 ความทนทาน (Durability)** โครงสร้างไม้ที่ดีควรมีความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ สิ่งแวดล้อม จึงจะมีอายุการใช้งานที่ยืนยาว ไม้แก่นมีความทนทานดีกว่าไม้กระพี้ แต่ไม้กระพี้ซึ่งผ่านการอบน้ำยาก็จะทน ทานเหมือนกัน การใช้ไม้ในสภาพที่แห้งหรือเปียกตลอดเวลาจะรักษาเนื้อไม้ไว้ได้นาน นอกจากการเปลี่ยนแปลงของอากาศจะลดอายุการใช้งานของไม้แล้วแมลงหรือสัตว์บางจำพวกยังมีส่วนในการทำลายเนื้อไม้ทำให้ไม้ลดกำลังและผุพังได้ แต่สามารถแก้ไขได้โดยใช้น้ำยาเคมี

## 2.2 งานวิจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

จามร วสุรัตน์มณี [1] ศึกษา “การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยในการอบไม้ยางพาราเพื่อลดความชื้นในเนื้อไม้ที่เหมาะสม” โดยปัจจัยที่มีผลต่อการอบไม้ยางพาราให้ได้ความชื้นในเนื้อไม้ที่เหมาะสมนั้นมี 3 ปัจจัยคือ ความเร็วลม อุณหภูมิและระยะไม้คั่นโดยทดลองอบที่ความเร็วลม 900, 575 และ 250 ฟุตต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 และ 40 องศาเซลเซียสระยะไม้คั่น 3/4 นิ้ว และ 1 นิ้ว โดยไม้ยางพาราที่มีความชื้น 60 % ให้ลดลงเหลือ 12% ซึ่งพบว่าที่ความเร็วลม 900 ฟุตต่อนาทีอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสระยะไม้คั่น 1 นิ้ว และที่ความเร็วลม 575 ฟุตต่อนาทีอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสระยะไม้คั่น 1 นิ้วใช้เวลาในการอบใกล้เคียงกัน แต่ที่ความเร็วลม 575 ฟุตต่อนาทีใช้พลังงานน้อยกว่าจึงเลือกใช้ความเร็วลม 575 ฟุตต่อนาทีอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสและระยะไม้คั่น 1 นิ้วโดยไม้ไม่เกิดการบิดงอ การโค้งงอ การโค้งงอด้านหน้าของไม้ การโค้งงอด้านข้างของไม้ การแตกที่ผิวไม้ การเกิดรา และไม้ที่ได้มีคุณภาพตามต้องการ

จริญญา เจริญเนตรกุล และ อัมพร หมดแสละ [2] ศึกษา “การนำไม้ปาล์มน้ำมันมาใช้ในงานวิศวกรรม” โดยการศึกษาการนำไม้ปาล์มน้ำมันมาใช้ในงานวิศวกรรมเพื่อเป็นการนำไม้ปาล์มน้ำมันมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ แล้วนำผลการทดสอบมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการนำไม้ปาล์มน้ำมันมาทดลองออกแบบสร้างเป็นชิ้นงานที่ได้จากไม้ปาล์มน้ำมัน จากการศึกษาพบว่าไม้ปาล์มน้ำมันไม่เหมาะที่จะนำมาเป็นโครงสร้างหลักของอาคารแต่มีความเป็นไปได้ที่จะไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาเป็นส่วนประกอบของอาคารที่ไม่ใช่โครงสร้างหลักเช่น พื้นไม้ ราวกันตก และจากการทดลอง ออกแบบแล้วสร้างชิ้นงานเป็นโคมไฟประดับบ้านเรือน และแจกัน พบว่าสามารถสร้างเป็นชิ้นงานที่มีความสวยงาม ด้วยเหตุผลคือคุณสมบัติของไม้ปาล์มที่มีปริมาณเพียงพอมีสวดลายของเนื้อไม้สวยงาม มีความแข็งแรง สามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรเครื่องมือได้

นภัทร วจนเทพินทร์ [3] ศึกษา “การพัฒนาชุดกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมสำหรับห้องปฏิบัติการ” การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม เพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ และนำมาทดสอบผลของการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เปรียบเทียบกันระหว่างแสงอาทิตย์เทียมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น และจากแสงอาทิตย์ธรรมชาติ ผู้วิจัยเลือกใช้หลอดทั้งสแตน-ฮาโลเจนเป็น แหล่งกำเนิดแสง มีชุดควบคุมความเข้มของแสงอาทิตย์เทียม ปรับความเข้มของแสงได้ 10 ระดับ ผลการวิจัยพบว่า ชุดกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม ให้ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ต่างจากค่าที่คาดหวัง เล็กน้อย มีค่าผิดพลาดเฉลี่ยร้อยละ 7.28 เมื่อนำชุดกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมไปใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แสงอาทิตย์เทียม ที่มีความเข้มของแสงเท่ากับแสงอาทิตย์ ธรรมชาติ จะผลิตไฟฟ้าได้ต่ำกว่าแสงอาทิตย์จากธรรมชาติ ที่ค่าเฉลี่ย 2.37 เท่า

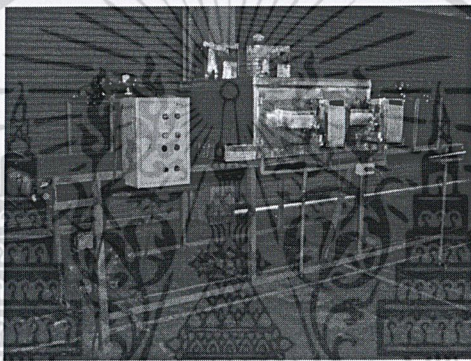
เพชรรัตน์ ใจบุญ และคณะ [4] ศึกษา “การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งลำไยด้วยเทคนิคต่าง ๆ” งานวิจัยนี้ศึกษาการนำรังสีอินฟราเรดไกลเข้ามาช่วยในการอบแห้งเนื้อ ลำไยด้วยลมร้อนและป้ม ความร้อนเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนและป้มความร้อนเพียงอย่างเดียว ในด้าน ลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงาน คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส สวอเตอร์แอกทิวิตี และ โครงสร้างระดับจุลภาค โดยทำการอบแห้งเนื้อ ลำไยจากความชื้น เริ่มต้น 550-670 %d.b. (84-86 %w.b.) จนเหลือความชื้น สุดท้ายประมาณ 20 %d.b. (18 %w.b.) ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 55°C สำหรับป้มความร้อนและ 65°C สำหรับลมร้อน ความเร็วลม 0.3 m/s การอบแห้งด้วยลมร้อนมีส่วน การนำอากาศร้อนหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ 80 % กำลังไฟฟ้าที่ให้กับหลอดรังสีอินฟราเรดคือ 250, 350 และ 450 W ผลการทดลองพบว่า การนำรังสีอินฟราเรดไกลเข้ามาช่วยในการอบแห้งเนื้อ ลำไย ด้วยลมร้อนหรือป้มความร้อนช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งและลดเวลาในการอบแห้งลง ผลของรังสี อินฟราเรดไกลทำให้เนื้อ ลำไยมีรูพรุนและมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อกำลังไฟฟ้าที่ให้กับหลอดรังสีอินฟราเรด ไกลมีค่าเพิ่มขึ้น รูพรุนที่เกิดขึ้น ส่งผลให้เนื้อ ลำไยมีค่าความแข็งและความหยุ่นตัวน้อยกว่าเนื้อลำไยที่ อบแห้งด้วยลมร้อนหรือป้มความร้อนเพียงอย่างเดียว การอบแห้งร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลใช้พลังงาน จำเพาะรวมน้อยลงเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้กับหลอดรังสีอินฟราเรดไกล การอบแห้งด้วยป้มความร้อน ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลใช้พลังงานจำเพาะรวมน้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด ไกล

ไพฑูรย์ จุลนวล และคณะ [5] ศึกษา “เครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพาน ลำเลียง” การทดลองอบไม้ปาล์มน้ำมันด้วยเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียง เพื่อเป็นการนำไม้ปาล์มน้ำมันซึ่งโดยส่วนใหญ่ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดย ออกแบบห้องอบให้มีขนาด 50 × 100 × 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำด้วยสแตนเลสชนิด 316 ใช้ ไมโครเวฟ 4 ตัวในการอบ โดยการทดลองนี้จะทำการตัดไม้ปาล์มแล้วเลือกทดลองไม้จากโคนต้นสูงขึ้นไป 3 เมตร อายุ 20 ปีขึ้นไป โดยจะตัดไม้ก่อนเข้าอบให้มีขนาด 1 × 2 × 10 ลูกบาศก์นิ้ว แล้วนำไปอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย Hot Air Oven ที่อุณหภูมิ 105°C เพื่อหาความชื้นเริ่มต้น และอบด้วยเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียง โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 แบบ คือ ทดลองอบ 20 นาที สลับกับการนำไม้วางพักไว้ 20 นาที และทดลองอบ 20 นาที สลับกับการนำไปตากพัดลม 20 นาที โดยไม้ที่ผ่านการอบต้องมีความชื้นอยู่ระหว่าง 12 - 20 % ตามมาตรฐานในการอบไม้ จากการทดลองพบว่าที่ระดับพลังงาน 1200 W, 1600 W และ 2000 W แบบอบ 20 นาที สลับกับการนำไม้วางพักไว้ 20 นาที ใช้เวลาในการอบ 250, 180 และ 140 นาที ตามลำดับ และแบบอบ 20 นาที สลับกับการนำไปตากพัดลม 20 นาที ใช้เวลาในการอบ 220, 170 และ 130 นาที ตามลำดับ โดยที่ระดับพลังงาน 2000 W ทำให้ไม้เสียรูป เกิดการบิดตัว และยุบตัวมาก ที่ระดับพลังงาน 1600 W และ 1200 W ได้ลักษณะไม้ที่เหมือนกันคือมีการบิดตัว และยุบตัวน้อย จากการทดลองสรุปได้ว่าการอบที่พลังงาน 1600 W แบบอบ 20 นาที สลับกับการนำไปตากพัดลม 20 นาที ได้ลักษณะไม้ที่ไม่เสียรูป มีการบิดตัวน้อย การยุบตัวน้อย สามารถนำไปใช้งานได้จริง และเวลาที่ใช้ในการอบน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับระดับพลังงานอื่นๆที่ได้ลักษณะไม้เหมือนกัน



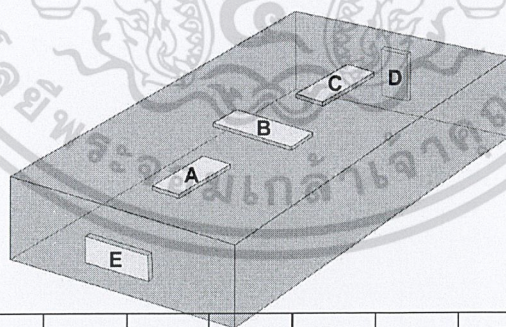
รูปที่ 2.2 เครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียง

ยุทธนา ภูริระวณิชกุล และคณะ [6] ศึกษา “การอบแห้งขนุนด้วยพลังงานความร้อนร่วมของรังสีอินฟราเรด/ไมโครเวฟ และลมร้อน : จลนพลศาสตร์ คุณภาพและการทดสอบประสาทสัมผัส” วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาปัจจัยของสภาวะในการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์ และคุณภาพของขนุนแห้งสายพันธุ์ ทองประเสริฐ ด้วยสภาวะการทดลองอบแห้งที่แตกต่างกัน 4 เงื่อนไข ได้แก่ การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด การอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมระหว่างรังสีอินฟราเรดและลมร้อน การอบแห้งแบบสองขั้นตอนด้วย ไมโครเวฟและลมร้อน และสุดท้ายคือการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว โดยในทุกการทดลองที่อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดจะใช้กำลังเท่ากับ 1,000 W และกำลังของไมโครเวฟที่ 90 W (โดยใช้เวลาอบแห้ง 3 นาที) สำหรับกรณีที่ใช้ลมร้อนจะใช้ความเร็วของอากาศเท่ากับ 1.1 m/s และทุกเงื่อนไขของการอบแห้ง จะทดลองอบแห้งขนุนในช่วงอุณหภูมิ 40-60°C โดยมีค่าความชื้นเริ่มต้นของขนุนอยู่ในช่วง 300-400% dry-basis (d.b.) และอบแห้งจนค่าความชื้นสุดท้ายของขนุนอยู่ในช่วง 12-19% dry-basis จากผลการทดลอง พบว่า อัตราการอบแห้งขนุนขึ้นกับอุณหภูมิอบแห้งอย่างมากเมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้นของ ตัวอย่าง สำหรับการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งชั้นบางของขนุน พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งขนุน แบบชั้นบางโดยใช้สมการแบบ Logarithmic, Approximation of Diffusion และ Modified Page สามารถใช้อธิบายพฤติกรรม การอบแห้งขนุนด้วยรังสีอินฟราเรด การอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมระหว่างรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอนด้วยคลื่นไมโครเวฟกับลมร้อนได้เป็นอย่างดี

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแหล่งพลังงานที่ใช้ พบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานอื่นๆ นอกจากนี้ พบว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำที่สูงจะมีความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่ากรณีการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การหดตัว สี และความยอมรับในการบริโภค พบว่า เมื่ออุณหภูมิต่ำสูงขึ้น ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) เพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงสีรวม ( $\Delta E^*$ ) เพิ่มขึ้น ในทางตรงข้าม พบว่า ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) และการหดตัวมีค่าลดลง นอกจากนี้ การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการชิมและความยอมรับได้ในการบริโภคในแต่ละสภาวะอบแห้ง พบว่าขนมอบแห้งทุกเงื่อนไขการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดย ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิต่ำ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) และร้อยละของการหดตัวของผลิตภัณฑ์

วิฑูรย์ อบรม และคณะ [7] ศึกษา “อิทธิพลของตำแหน่งการป้อนคลื่นไมโครเวฟที่มีผลต่อการกระจายตัวของความร้อนภายในโหลดที่วางอยู่ในกล่องสี่เหลี่ยม” ทำการวิเคราะห์เชิงทดลองสำหรับปัญหาการกระจายตัวของความร้อนในตัวไมโครเวฟ เริ่มจากการสร้างตู้ไมโครเวฟขนาด  $45 \times 45 \times 90$  เซนติเมตร ทำจากแผ่นสแตนเลสและติดตั้งหัวแมกนีตรอนพร้อมชุดควบคุมเพื่อจ่ายคลื่นไมโครเวฟเข้าในกล่องไมโครเวฟที่สองตำแหน่งพร้อมกัน ในทำนองเดียวกันสามารถที่จะเลือกเปิดปิดตำแหน่งใดก็ได้ และสามารถปรับกำลังได้ โดยที่แมกนีตรอนแต่ละตัวมีกำลังสูงสุดขนาด 1200 W ที่ความถี่ 2.45 GHz โดยจะออกแบบให้การกระจายตัวของคลื่นไมโครเวฟเป็นลักษณะหลายโหมด จะแบ่งการทดลองออกเป็น 8 ชุด แต่ละชุดติดตั้งหัวแมกนีตรอนที่ตำแหน่งต่างๆกันจะทำการเปลี่ยนโหลดในการทดลองเป็นน้ำและน้ำเกลือโดยใช้เวลาในการทดลอง 15 นาที ทำการทดลองโดยใช้โหลดครึ่งละ 1 ประเภท โหลดที่ใช้ในการทดลองจะบรรจุในแก้วพลาสติก(pp) ซึ่งคลื่นไมโครเวฟสามารถผ่านได้โดยไม่ทำอันตรายต่อภาชนะ น้ำและน้ำ เกลือจะถูกบรรจุไว้ในแก้วจำนวน 100 mL หัวแมกนีตรอนที่ติดตั้งจะใช้ชุดเดิมโดยการถอดเปลี่ยนตำแหน่งกันไปตลอดการทดลองโดยใช้สกรูจับยึด



ชุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8
ตำแหน่ง	AB	AC	AD	AE	BE	BD	CE	CD

รูปที่ 2.3 ตำแหน่งการติดตั้งหัวแมกนีตรอนในการทดลอง

การกระจายตัวของความร้อนที่ดีที่สุดโดยการติดตั้งหัวแมกนีตรอนที่ตำแหน่ง CE ตำแหน่งของการติดตั้งแมกนีตรอนส่งผลต่ออัตราการดูดกลืนพลังงานและการเกิด Over Heating ในตัวแมกนีตรอนเอง โดยที่การติดตั้งแมกนีตรอนในลักษณะ Symmetry Mode จะทำให้เกิด Decoupling ส่งผลต่ออายุใช้งานของแมกนีตรอน หากติดตั้งแมกนีตรอนในลักษณะ Unsymmetry Mode ส่งผลต่ออัตราการดูดกลืนพลังงานเพิ่มขึ้นและการเกิด Over Heating ในตัวแมกนีตรอนลดลง โดยกรณีใช้น้ำเกลือเป็นการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High Lossy Material ปรากฏการณ์ที่พบจะมีแนวโน้มคล้ายกับกรณีใช้น้ำเป็นตัวทดสอบ เพียงแต่ อุณหภูมิของน้ำเกลือสูงกว่าทั้งนี้เพราะน้ำ เกลือมีค่า Loss Factor ที่สูงกว่าน้ำทำให้อัตราการดูดกลืน คลื่นสูงตาม

อำไพศักดิ์ ทิบุญมา และ ศักชัย จงจำ [8] ศึกษา “การอบแห้งชิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับ อินฟราเรด” งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งชิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับ อินฟราเรด และหาสมการการอบแห้งชิงบาง ที่เหมาะสมสำหรับทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งชิง โดยทำการทดลองอบแห้งภายใต้เงื่อนไขความดันสัมบูรณ์ 5, 10 และ 15 กิโลปาสกาล และอุณหภูมิ อบแห้ง 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษา คืออัตราส่วน ความชื้น อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อลดความ- ดันสัมบูรณ์หรือเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงาน จำเพาะลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าสมการของ Modified Hen-derson and Pabis สามารถทำนาย จลนพลศาสตร์การอบแห้งชิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดได้ดีที่สุด โดยให้ค่า  $R^2$  มากที่สุด และ RMSE น้อยที่สุด

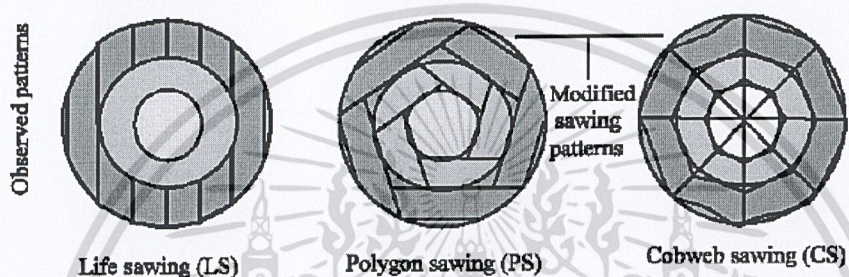
A.Oloyede, P.Groombridge [9] ศึกษา “The Influence of Microwave Heating On The Mechanical Properties of Wood” โดยการศึกษานี้จะใช้ไม้สนคาริเบียนมาใช้ในการอบแห้ง โดยจะอบแห้ง 3 แบบคือ อบแห้งด้วยอากาศ อบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน และอบแห้งด้วยไมโครเวฟ การอบแห้งด้วยอากาศนั้นจะต้องเตรียมตัวอย่างไม้วางเป็นชั้นๆ สูงประมาณ 1.5 เมตร จากพื้น จะชั่ง น้ำหนักทุก 24 ชั่วโมง จนกระทั่งได้ความ ชื้นภายในตามต้องการ การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อน จะอบ ให้มีความชื้น 12- 20% โดยใช้อุณหภูมิ 50, 103 องศาเซลเซียส จะเปิดช่วงระบายอากาศเพื่อช่วยใน การไหลของอากาศและช่วยระเหยความชื้นออกจากเตาอบโดยอุณหภูมิเริ่มต้นของเตาอบ 20 องศา เซลเซียส การอบแห้งด้วยไมโครเวฟจะอบให้มีความชื้น 12- 20% โดยใช้ไมโครเวฟที่มีช่องแมกนีตรอน 2 ช่อง เตาอบมีกำลังสูงสุด 1.6 kW ทดลองโดยใช้กำลังในการอบ 50% และ 100% โดยขึ้นไม้จะให้ ความร้อนเป็นเวลา 30 วินาที และจะถูกวางให้เย็น 3 นาที ที่อุณหภูมิ ห้อง ก่อนจะถูกนำไปให้ความ ร้อนอีก 30 วินาที จนกว่าจะเหลือความชื้นที่ต้องการ โดยไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอบแล้วจะนำไปทดลอง รับโหลดแรงดึงเพื่อหาคุณสมบัติทางกลซึ่งพบว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟระยะ เวลาในการอบจะสั้น กว่าที่การอบด้วยวิธีอื่นๆ แต่ทำให้ความแข็งแรงลดลง 60%

D.T.C. Ang , S.N. Gan [10] ศึกษา “Novel approach to convert non-self drying palm stearin alkyds into environmental friendly UV curable resins” ริงส์อัลตราไวโอเล็ต ใน การช่วยลดการสูญเสียและรักษาคุณสมบัติในวัสดุจากธรรมชาติหลังจากสารอินทรีย์ระเหย ออกไป และ สอดคล้องกับโลกปัจจุบันในการรักษาสมดุลธรรมชาติ วัตถุประสงค์โครงการนี้คือ ใช้ริงส์อัลตราไวโอเล็ต รักษาเรซินโดยการรวมกลุ่มของสารประกอบ (MAH) ไม่อิ่มตัวในโซ่หลักมากยิ่งขึ้นเป็นตัวยึด โดยเป็น แนวทางใหม่ที่ประสบความสำเร็จในด้านการอบแห้งโดยใช้ริงส์อัลตราไวโอเล็ตที่ทำให้เรซินมีความ แข็งแรง ความยืดเกาะ และทนแรงดันน้ำได้ดี ผลปรากฏว่าเรซินสามารถใช้เป็นสารเคลือบผิวโลหะ ใช้ ระยะเวลารอบอย่างรวดเร็วยุทธของสารเคลือบ น้อยกว่า 90 วินาที จะทำให้กระบวนการผลิตรวดเร็วขึ้นและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มมุมมองทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้ความสามารถของผลิตภัณฑ์จาก UV ในระยะเวลาอันสั้น ลดการปล่อยก๊าซพิษสู่สิ่งแวดล้อม

E.Bakar et al. [11] ศึกษา “Polygon Sawing : An Optimum Sawing Pattern Oil Palm Stems” โดยรูปแบบการเลื่อยต้นปาล์มมีอยู่ 3 รูปแบบคือ เลื่อยชีวิต (Life sawing) เลื่อยหลายเหลี่ยม (Polygon sawing) และเลื่อยใยแมงมุม (cobweb sawing) โดยรูปแบบการเลื่อยที่เหมาะสมสำหรับการเลื่อยต้นปาล์มน้ำมันคือ รูปแบบการเลื่อยแบบใยแมงมุม (Cobweb sawing) เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นไม้เนื้ออ่อน การเลื่อยโดยรูปแบบใยแมงมุมจะทำให้สามารถใช้ประโยชน์สูงสุดจากเนื้อไม้ที่อยู่บริเวณโดยรอบแกนกลางของลำต้น

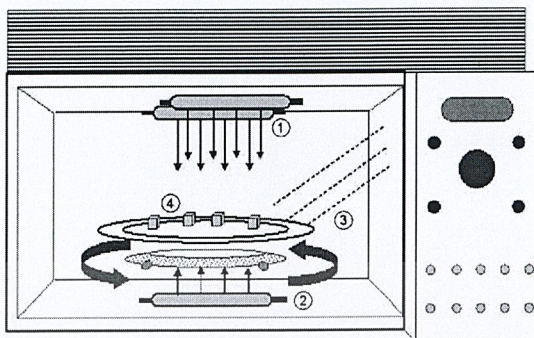


รูปที่ 2.4 รูปแบบการเลื่อยไม้เนื้ออ่อน

G.P. Sharma, S. Prasad [12] ศึกษา “Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave-hot air combination” การอบแห้งกลีบกระเทียมด้วยลมร้อนร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ วิธีการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนเป่าร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ ได้ดำเนินการทดลองกับกลีบกระเทียม 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 และ 2.0 m / s ใช้พลังงานจากไมโครเวฟอย่างต่อเนื่องที่ 40W สำหรับการเปรียบเทียบ การอบแห้งขนาดตัวอย่างเดียวกันถูกนำสำหรับการทดลองและการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนและความเร็วลมเป็น 60 และ 70 องศาเซลเซียส และ 2.0 m / s ตามลำดับ ความเข้มของสี ความแข็ง และรสของกลีบกระเทียมแห้งผ่านการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของไมโครเวฟร่วมกับความร้อนจากลมร้อน และกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนธรรมดา การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับการเป่าลมร้อนช่วยลดเวลาในการอบแห้งลง 80-90% จากการเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนธรรมดาและเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นอีกด้วย

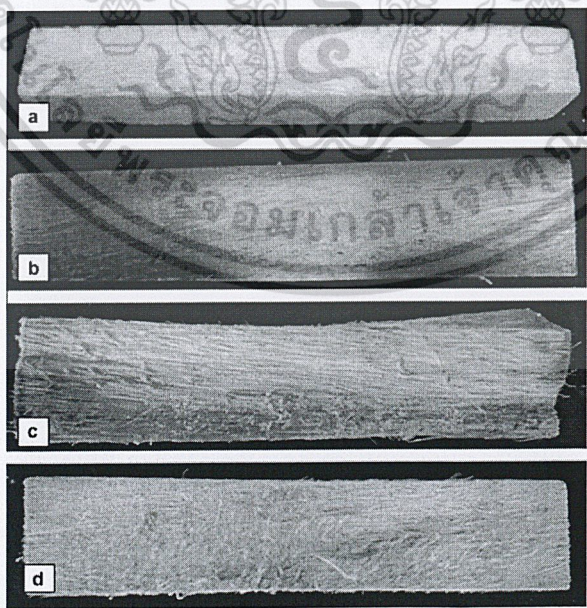
G. Sumnu et al. [13] ศึกษา “Bread baking in halogen lamp-microwave combination oven” วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาเพื่อนำผลของการอบด้วยไฟจากหลอดฮาโลเจนร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ กับการอบด้วยไฟจากหลอดฮาโลเจนและเปรียบเทียบกับการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อคุณภาพของขนมปัง โดยวัดการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาตรจำเพาะ ความแน่นของเนื้อขนมปัง และสีของขนมปัง ถูวัด เป็นพารามิเตอร์ที่มีคุณภาพ การอบด้วยแสงไฟจากหลอดฮาโลเจนร่วมกับคลื่นไมโครเวฟจะลดเวลาลง จากการอบแบบธรรมดา 75% ความร้อนจากไมโครเวฟพบว่าเป็นกลไกที่โดดเด่นในการรวมกับไฟ จากหลอดฮาโลเจนในแง่ของผลกระทบต่อการใช้พลังงาน การพัฒนาเนื้อขนมปัง และค่า DE ของขนมปังใน การอบขนมปังกับเตาอบจากไฟหลอดฮาโลเจน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่วมกับคลื่นไมโครเวฟมีปริมาณที่เฉพาะเจาะจง และมีสีใกล้เคียงกับขนมปังอบดั้งเดิม แต่การสูญเสีย น้ำหนักและความแน่นของเนื้อขนมปังยังคงสูง



รูปที่ 2.5 ภาพประกอบการใช้ไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน

H.P.S. Abdul Khalil et al. [14] 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) ศึกษาภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดและได้รับการออกแบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบซอฟต์แวร์ ผลการศึกษาพบประสิทธิภาพของการอบแห้งโดยคลื่นไมโครเวฟในการลดเวลาและการกำจัดความชื้นที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการอบด้วยเตาอบแห้งที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 2.6 ไม้ปาล์มน้ำมัน a. ไม้สดก่อนอบ b. ไม้ใหม่หลังการอบ c. ไม้บดและหั่นหลังการอบ d. ไม้แห้งสภาพดีหลังการอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

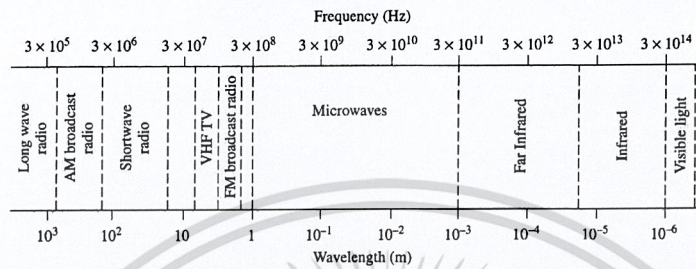
S. Kaya et al. ศึกษา [15] “Hot air and sun drying of grape leather (pestil)” ผลไม้แห้งที่รู้จักกันดีในประเทศตุรกีที่ทำจากน้ำองุ่นต้มและผสมแป้งโดยใช้เทคนิคแบบดั้งเดิม การอบแห้ง pestil ดำเนินการโดยอบแห้งด้วยลมร้อนและตากแดด ศึกษาการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 55, 65 และ 75 องศาเซลเซียส ที่ความหนาตัวอย่างที่ 0.71, 1.53, 2.20 และ 2.86 มิลลิเมตร และที่ความเร็วลม 0.86, 1.27 และ 1.82 m/s ผลของการอบแห้งที่เวลา อุณหภูมิ และ ความหนาแผ่น เมื่อความชื้นของการอบแห้งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ความเร็วลมมีผลต่อทุกตัวอย่าง และเวลาในการตากแดดจะเสียเวลากว่าการอบด้วยลมร้อน การอบด้วยลมร้อนจะมีความเสี่ยงต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 3.1 ไมโครเวฟ

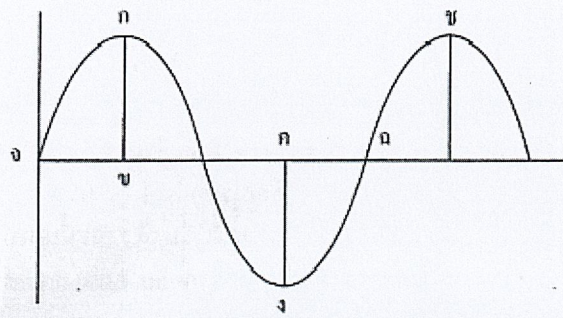


รูปที่ 3.1 แถบสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงย่านความถี่ไดอิเล็กตริกและไมโครเวฟค่อนข้างเป็นที่สับสนและการกำหนดให้เข้าใจตรงกันได้โดยการทำความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านของไดอิเล็กตริก (Dielectric heating) สามารถประยุกต์ใช้ได้กับทุกย่านความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอย่างน้อยที่สุดก็ครอบคลุมแถบสเปกตรัมของอินฟราเรด (Infrared spectrum) โดยระบบความถี่ที่ต่ำกว่าที่ใช้งานได้ออย่างน้อยคือช่วงความถี่สูง (High Frequency; HF) ซึ่งมีความถี่ในช่วง 3MHz ถึง 30 MHz และช่วงความถี่สูงมาก (Very High Frequency; VHF) ซึ่งมีความถี่ในช่วง 30 MHz ถึง 300 MHz ช่วงของย่านความถี่ที่ยอมรับในการทำความร้อนของไดอิเล็กตริกคือ 1 ถึง 100 MHz ในขณะที่ไมโครเวฟใช้ย่านความถี่ 300 MHz ถึง 300 GHz

### 3.2 คลื่น

คลื่น (WAVE) เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติชนิดหนึ่งซึ่งจะเกิดขึ้นได้ต้องมีแหล่งกำเนิดคลื่นแล้วค่อยแผ่กระจายคลื่นออกจากแหล่งกำเนิดออกไปเป็นวงกว้าง โดยจะมีขนาดลดลงไปเรื่อยๆ ยิ่งห่างจากแหล่งกำเนิดมากขนาดจะยิ่งเล็กลงในที่สุดจะหายไป คลื่นทุกชนิด ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ



รูปที่ 3.2 ความสูงของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1 ความสูงของคลื่น (AMPLITUDE)

ปกติเวลาเราเขียนเส้นแทนรูปคลื่น เราจะเขียนได้ดังรูปที่ 3.2 ความสูงของคลื่น โดยจะมีเส้นแบ่งกึ่งกลางคลื่น ความสูงของคลื่นจะวัดจากระดับกึ่งกลางคลื่นขึ้นไปหาหรือลงไปหายอดคลื่นในรูป คือ ระยะ  $g$  ไป  $x$  และ  $c$  ไป  $g$

### 3.2.2 ความยาวของคลื่น (WAVE LENGTH)

ความยาวของคลื่น คือระยะห่างระหว่างยอดคลื่นหนึ่งไปยังอีกยอดคลื่นหนึ่ง ในรูปที่ 3.2 คือ ระยะจาก  $g$  ไป  $x$  แต่ในทางปฏิบัติเรามักวัดจากระดับกึ่งกลางของคลื่นที่จุดเริ่มต้นของคลื่นซีกบวกไปจนถึงจุดกึ่งกลางที่คลื่นซีกลบและไปบรรจบในรูปที่ 3.2 คือระยะจาก  $g$  ถึง  $ฉ$  ระยะนี้เราเรียกว่า ความยาวคลื่น เนื่องจากสะดวกในการพิจารณาและวัดคำนวณระยะจาก  $g$  ถึง  $ฉ$  เราให้คำจำกัดความว่าเป็น 1 ลูกคลื่น หรือ 1 ความยาวคลื่น หรือ 1 รอบคลื่น (CYCLE) “ $\lambda$ ” อ่านว่า แลมด้า (LAMBDA)

ยังมีค่าที่เกี่ยวข้องกับคลื่นอีกอย่าง คือ ความถี่ (FREQUENCY) เป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นเทียบกับเวลา โดยกำหนดหน่วยของความถี่เป็นเฮิร์ตซ์ (HERTZ) ตัวย่อเขียนเป็น “Hz” โดยให้คำจำกัดความไว้ว่า “1 เฮิร์ตซ์ (Hz) คือการที่คลื่น 1 ลูก หรือ 1 รอบ เคลื่อนที่ผ่านจุดอ้างอิง โดยใช้เวลา 1 วินาที” ดังนั้นถ้าบอกว่าความถี่ 1,000 เฮิร์ตซ์ (Hz) หมายความว่า มีลูกคลื่น 1,000 ลูกเคลื่อนที่ผ่านจุดอ้างอิงได้ภายในเวลา 1 วินาที เมื่อนำส่วนต่างๆของคลื่นและความถี่มาสัมพันธ์กันสร้างสมการสูตรดังนี้

$$F = \frac{V}{\lambda} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $F$  = ความถี่ (FREQUENCY) มีหน่วยเป็น เฮิร์ตซ์ (Hz)

$V$  = ความเร็วของคลื่นในอวกาศ (VELOCITY)

ซึ่งเท่ากับความเร็วแสง คือ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที ( $m/s$ )

$\lambda$  = แลมด้า เท่ากับความยาวคลื่น (WAVE LENGTH) มีหน่วยเป็นเมตร (m)

ดังนั้น ถ้าเราทราบความถี่ของคลื่นก็สามารถหาความยาวของคลื่นได้ และในทางกลับกันถ้าเราทราบความยาวคลื่นก็สามารถหาความถี่ของคลื่นได้เช่นกัน เช่นเราทราบความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในเตาไมโครเวฟเท่ากับ 2,450 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) สามารถหาความยาวคลื่นได้ตามสมการที่

$$F = \frac{V}{\lambda}$$

เมื่อ  $V = 3 \times 10^8$  (300,000,000) เมตรต่อวินาที ( $m/s$ )

$F = 2,450$  เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) = (2,450,000,000)

แทนค่า  $\lambda = \frac{3 \times 10^8 (m/s)}{2,450 (MHz)} = \frac{300,000,000}{2,450,000,000}$

ดังนั้นความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) = 0.1224 เมตร หรือ 12.24 เซนติเมตร

### 3.3 การแผ่รังสีของคลื่น

เราสามารถแบ่งการแผ่รังสีของคลื่นตามความถี่ได้เป็น 2 แบบ

#### 3.3.1 การแผ่รังสีแบบไม่ทำให้อะตอมภายในสสารแตกตัว

การแผ่รังสีแบบไม่ทำให้อะตอมภายในสสารแตกตัว ได้แก่ คลื่นวิทยุ โทรทัศน์ ไมโครเวฟ เรดาร์อินฟราเรด และแสงที่ตามองเห็น ซึ่งคลื่นเหล่านี้เป็นอันตรายกับสิ่งมีชีวิตน้อย

#### 3.3.2 การแผ่รังสีแบบทำให้อะตอมของสสารแตกตัว

การแผ่รังสีแบบทำให้อะตอมของสสารแตกตัว ได้แก่ แสงอัลตราไวโอเล็ต รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ ซึ่งคลื่นเหล่านี้ทำอันตรายกับสิ่งมีชีวิตได้ถ้ารับรังสีในปริมาณมากๆ เช่น การฉายรังสีแกมมาเพื่อกำจัดเซลล์มะเร็งจะทำให้เซลล์ของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนหรือตายไป

คลื่นไมโครเวฟจัดเป็นคลื่นที่ปลอดภัยไม่มีสารกัมมันตภาพรังสีตกค้างอยู่บนอาหารหรือคนที่ได้รับคลื่นไมโครเวฟแต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าคลื่นไมโครเวฟจะไม่มีสารกัมมันตภาพรังสีตกค้างอยู่คลื่นไมโครเวฟก็ยังมีอันตราย หากได้รับคลื่นไมโครเวฟปริมาณมากๆ และนานๆ ้วยะต่างๆ อาจจะสูงและใช้การไม่ได้ ถ้าโดนดวงตา ตาอาจบอดได้ หากได้รับคลื่นไมโครเวฟที่มากกว่า 5 เมกะวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

### 3.4 ลักษณะของคลื่นไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟมีลักษณะประจำอยู่ 3 ลักษณะ คือ

3.4.1 การสะท้อนของคลื่น (Reflection) คลื่นไมโครเวฟเมื่อส่งไปโดนโลหะจะสะท้อนออกคลื่นไม่สามารถทะลุผ่านโลหะไปได้

3.4.2 การทะลุผ่านของคลื่น (Penetration) คลื่นไมโครเวฟจะสามารถทะลุผ่านวัสดุบางชนิดที่คล้ายกระจกสองหน้าต่างที่ยอมให้แสงธรรมดาส่องผ่านตัวมันได้ วัสดุที่รู้จักกันแพร่หลายของการทะลุผ่านของคลื่น คือ แก้วทั่วไป แก้วทนความร้อน เครื่องกระเบื้องเคลือบ เครื่องถ้วย ชามเคลือบ กระดาษและพลาสติก เป็นต้น ดังนั้นเมื่อนำวัสดุเหล่านี้มาทำเป็นวัสดุบรรจุอาหาร ตัววัสดุเองจะไม่ร้อนจะร้อนเฉพาะอาหารเท่านั้น

3.4.3 การดูดกลืนของคลื่น (Absorption) คลื่นไมโครเวฟสามารถดูดกลืนไว้โดยอาหารหรือวัสดุที่มีส่วนผสมของน้ำอยู่ทำให้กำลังงานของคลื่นลดลงไป ซึ่งกำลังที่ถูกดูดกลืนไว้จะเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของอนุภาคของน้ำและไขมันในอาหาร ทำให้เกิดการสั่นไหวของอนุภาคเหล่านี้ ซึ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้นในอาหาร การสั่นไหวนี้ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอนุภาคเหล่านี้ขึ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้วัสดุร้อนขึ้น วัตถุที่ดูตกดินคลื่น นอกจากจะเป็นอาหารและน้ำยังประกอบด้วยพวกเครื่องปั้นดินเผาที่ไม่ได้เคลือบทั้งหมด เนื่องจากเหตุที่ว่าเครื่องปั้นดินเผาที่ไม่ได้เคลือบจะมีรูพรุนมากมายทำให้วัสดุมีความชื้นหรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือมีละอองน้ำแทรกเข้าไปอยู่ในรูพรุนเหล่านั้นเมื่อนำมาใช้ในเตาไมโครเวฟตัวละอองน้ำจะร้อนส่งผลให้วัสดุร้อนไปด้วย

3.5 หลักการพื้นฐานในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

วัสดุไดอิเล็กตริก (Dielectric materials) หมายถึงวัสดุที่ฉนวนที่มีโครงสร้างพื้นฐานทางจุลภาคที่มีลักษณะเป็นขั้วทางไฟฟ้า (Dipoles) ความถี่คลื่นของไมโครเวฟ 0.3 - 300 MHz หรือในช่วงความยาวคลื่น 30 เซนติเมตร ถึง 0.3 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.3 การเรียงตัวของสภาพเชิงขั้วภายในวัสดุไดอิเล็กตริกเมื่อไม่มีสนามไฟฟ้า

รูปที่ 3.4 การเรียงตัวของสภาพเชิงขั้วภายในวัสดุไดอิเล็กตริกเมื่อมีสนามไฟฟ้า

3.6 กลไกการระเหยของน้ำออกจากวัสดุที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟ

ความเร็วในการระเหยน้ำออกจากวัสดุที่จะอบแห้งนั้นจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันระหว่างน้ำหรือความชื้นภายในวัสดุที่จะอบแห้งกับภายนอก กล่าวคือถ้าความดันของน้ำภายในวัสดุสูงกว่าความดันภายนอกวัสดุ การระเหยก็จะขึ้นอย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้ไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ค่อนข้างสูง จะทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อวัสดุที่จะอบแห้งไปสั่นโมเลกุลของน้ำอย่างรุนแรงด้วยความถี่เท่ากับความถี่ไมโครเวฟ เมื่อสสารกลับตัวไปมาตามความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ 2450 เมกะเฮิรตซ์โมเลกุลจะกลับตัวในช่วงคลื่นไมโครเวฟช่วงบวกเข้ามา 2450 ล้านครั้งต่อวินาทีและเมื่อช่วงลบของคลื่นไมโครเวฟเข้ามา โมเลกุลจะกลับตัวอีกครั้งเป็นจำนวน 2450 ล้านครั้งต่อวินาที ซึ่งจะส่งผลให้เกิดเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรวดเร็วของโมเลกุลของน้ำทำให้ได้รับความร้อนเนื่องจากการเสียดสีของไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลของน้ำ ส่งผลให้น้ำมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น และเมื่อมีความดันสูงกว่าภายนอกเป็นเหตุให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว

### 3.7 แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ

ในธรรมชาติแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟมาจากดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานขนาดใหญ่ แต่มนุษย์เองยังไม่สามารถควบคุมกำลังงานไมโครเวฟที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์ อันจะนำไปสู่การนำเอาพลังงานไมโครเวฟทางธรรมชาตินี้ไปใช้ได้ ดังนั้นหากจะนำพลังงานไมโครเวฟไปใช้ประโยชน์ จึงต้องสร้างคลื่นไมโครเวฟมาใช้เอง ตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟถูกสร้างมาจากอุปกรณ์ 2 แบบ คือ

3.7.1 แบบหลอดสุญญากาศ(Microwave Tube) แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟแบบสุญญากาศนี้ให้กำลังงานคลื่นไมโครเวฟออกมาสูงมากกว่าแบบโซลิตสเตท แม้ว่าจะใช้วงจรความถี่สูงๆ กำลังงานที่ได้จะตกลงไปไม่มากสามารถแบ่งหลอดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟออกเป็น 3 แบบ คือ

3.7.1.1 หลอดโคลสตรอน(Klystron) เป็นหลอดแบบแรกที่เกิดขึ้น ใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟมีการใช้งานอยู่ 2 แบบ คือใช้เป็นตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟและเป็นตัวขยายคลื่นใช้ในย่านความถี่ 300 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 30 เมกะเฮิรตซ์จะใช้หลอดนี้ในภาคขยายสุดท้ายส่งออกอากาศของสถานีภาคพื้นดินของดาวเทียม

3.7.1.2 หลอดแทรกเวลลิ่งเวฟ(Travelling Wave Tube) เป็นหลอดที่พัฒนามาจากหลอดโคลสตรอน อันเนื่องจากว่าในหลอดโคลสตรอนมีแบนด์วิธของคลื่นแคบมากประมาณ 1 – 8 เปอร์เซนต์เท่านั้น เมื่อพัฒนามาเป็นหลอดแทรกเวลลิ่งเวฟมีแบนด์วิธกว้างขึ้น ในเครื่องรับไมโครเวฟในย่านเอ็กซ์แบนด์ใช้ขยายสัญญาณในสถานีทวนสัญญาณของระบบโทรคมนาคมและภาคเอ็กซ์แบนด์ใช้ขยายกำลังภาคสุดท้ายในระบบสื่อสารดาวเทียมและเรดาร์

3.7.1.3 หลอดแมกนีตรอน(Magnetron Tubes) เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟอีกชนิดหนึ่งที่ให้กำลังงานออกมาสูงสุด ปัจจุบันหลอดแมกนีตรอนสามารถให้กำลังงาน Out Put ได้สูงสุดถึง 40 เมกะวัตต์ ที่ระดับความต่างศักย์ 50 กิโลโวลต์ ณ ความถี่ 10 เมกะเฮิรตซ์ เนื่องจากชุดของแมกนีตรอนมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพที่สูง เช่นใช้ในเตาไมโครเวฟและใช้เป็นตัวส่งคลื่นเรดาร์ออกไป

3.7.2 แบบโซลิตสเตท(Solid State Microwave Sources) เนื่องจากสารกึ่งตัวนำมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาเมื่อมีการพัฒนาจนสามารถใช้งานได้ดีที่ความถี่ไมโครเวฟแล้ว สารกึ่งตัวนำเหล่านี้จึงถูกนำไปแทนที่หลอดไมโครเวฟในส่วนที่ใช้กับกำลังงานต่ำจนถึงกำลังงานปานกลาง เช่นใช้กับกัณนีไดโอด(Gunn Diode) เป็นตัวกำเนิดความถี่ไมโครเวฟแทนหลอดโคลสตรอน แต่ให้กำลังออกมาต่ำประมาณ 10 เมกะวัตต์จนถึง 1 วัตต์ ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง กัณนีไดโอดถูกนำไปประยุกต์ใช้เป็นวงจรกำเนิดความถี่ไมโครเวฟ ในการส่งรับคลื่นไมโครเวฟกำลังงานต่ำ เช่นเรดาร์ของตำรวจ เนื่องจากกัณนีไดโอดมีประสิทธิภาพต่ำ ใช้งานที่ต้องการเอาท์พุทสูงไม่ได้ จึงมีการพัฒนาขึ้นมาเป็นอิมแพทไดโอด(Impact Diode) ทำให้ได้เอาท์พุทสูงถึง 4 – 5 วัตต์ ในย่านความถี่เอ็กซ์แบนด์ หลังพัฒนาไดโอดก็มาสู่การ

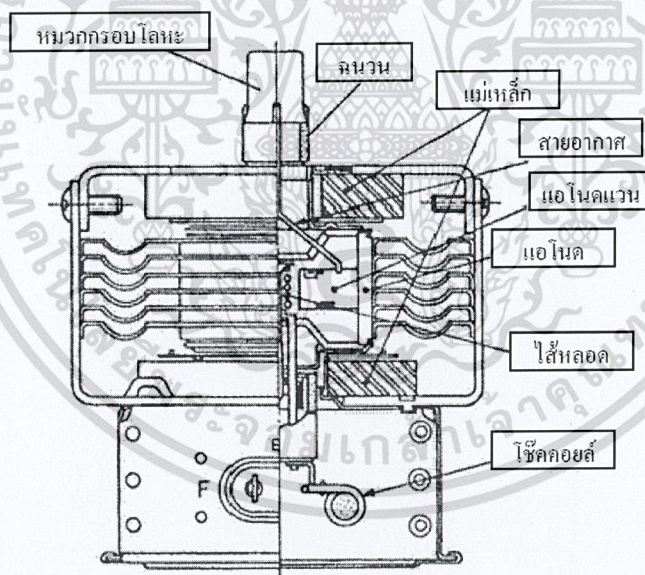
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัฒนาทรานซิสเตอร์ที่ใช้งานในย่านไมโครเวฟทำให้มีการขยายกำลังงานทางด้านเอาต์พุตออกไปได้สูงขึ้น อีกนำไปใช้ในวงจรอื่นๆในย่านความถี่ไมโครเวฟได้มากขึ้นเช่น นำไปใช้ในวงจรมอดูเลเตอร์ (Modulator) วงจรดีมอดูเลเตอร์ (Demodulator) วงจรมิกเซอร์ (Mixer) วงจรดีเทคเตอร์ (Detector)

### 3.8 แมกนีตรอน(Magnetron)

แมกนีตรอนเป็นตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟชนิดหนึ่งนิยมใช้อยู่ในเตาไมโครเวฟและเรดาร์ การที่ผู้ผลิตเตาไมโครเวฟทุกยี่ห้อเลือกใช้แมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟเนื่องจากคุณสมบัติที่ดีหลายประการ คือมีขนาดเล็กแต่ให้ประสิทธิภาพสูง มีเสถียรภาพในการทำงานที่ความถี่ที่ต้องการดี ในปัจจุบันเตาไมโครเวฟทุกยี่ห้อตัวแมกนีตรอนจะสร้างความถี่  $2450 \pm 50$  เมกะเฮิรตซ์เมื่อโหลดมีการตั้ง กระแสสูงหรือตั้งกระแสต่ำมาก ตัวแมกนีตรอนยังคงสร้างความถี่ค่อนข้างคงที่ จะเห็นได้ว่าการเกิดคลื่น ผิดพลาดน้อยมาก เมื่อเทียบกับส่วนความถี่หลักที่สร้างขึ้นอาจผิดพลาดเพียง  $\pm 50$  เมกะเฮิรตซ์ เท่านั้น ซึ่งการผิดพลาดของความถี่นี้มีผลน้อยมากต่อการปรุงอาหาร ข้อดีของแมกนีตรอน คือสร้างง่าย ราคาถูก อันเนื่องจากอุปกรณ์ภายในน้อยมาก

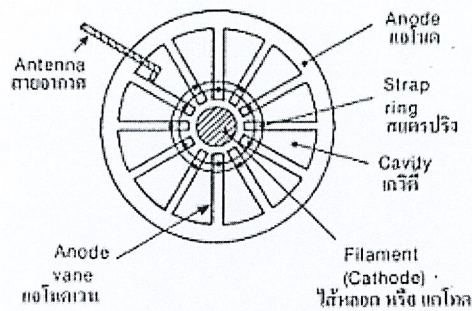
### 3.9 โครงสร้างของแมกนีตรอน



รูปที่ 3.5 ภายในของแมกนีตรอน

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

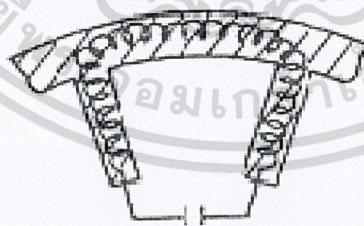
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ขั้วแอนโนด

จากรูปที่ 3.6 ขั้วแอนโนด ซึ่งทำเป็นครีบละหัดต่อกับขั้วแอนโนดด้านนอกพุ่งไปหาแคโทดในตรงกลางเราเรียกครีบละหัดนี้ว่า แอนโนดเวน (Anode Vane) ปกติมักจะมีจำนวนครีบละหัดเป็นจำนวนเลขคู่ โดยมีช่องระหว่างครีบละหัดเรียกว่าเควิตี้ (Cavity) ภายในหลอดแมกนีตรอนนี้เป็นสุญญากาศ ตัวสายอากาศถูกต่ออยู่ที่ครีบละหัดส่วนหนึ่งและออกสู่ภายนอกโดยผ่านยอดกลม (Dome) ซึ่งทำเป็นแนวกันสายอากาศช้อตกับตัวถังของแมกนีตรอน ในที่นี้ก็คือ ขั้วแอนโนด ฉนวนตัวนี้มักทำด้วยเซรามิคต่อจากปลายของสาย อากาศเหนือแนวขึ้นไป จะทำเป็นหมวกทรงกระบอกมาครอบอีกครั้งหนึ่ง

ไส้หลอด (Filament) จะเห็นว่าขั้วขาไส้หลอดด้านนอกต่อผ่านโช้คคอยล์ (ChokeCoil) และระหว่างขั้วขาไส้หลอดทั้ง 2 ขา จะมีสายต่อผ่านคอนเดนเซอร์ชนิดฟีดทรู (FeedThrough) ค่าประมาณ 470 – 500 พิร็อพเพอร์ตีเพอร์เฟค ทั้งคอนเดนเซอร์และโช้คคอยล์มีหน้าที่ป้องกันคลื่นไมโครเวฟจากวิทยุและทีวี ซึ่งอาจมีปะปนมากับไฟฟ้าเอซี (AC) เข้ามารบกวนแมกนีตรอนให้ทำงานผิดพลาดได้



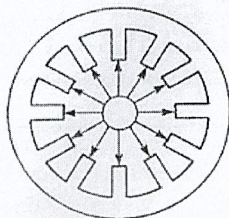
รูปที่ 3.7 เมื่อมีกระแสผ่านเควิตี้ (Cavity)

จากรูปที่ 3.7 เมื่อมีกระแสผ่านเควิตี้ (Cavity) ตัวครีบละหัดจะทำการกลายเป็นขดลวดและช่องเปิดระหว่างครีบละหัด 2 ครีบละหัด จะทำคล้ายคอนเดนเซอร์ เมื่อจับทั้งขดลวด (L) ต่อขนานกับคอนเดนเซอร์ (C) ทำให้เกิดวงจรแท็งค์ (Tank Circuit) ซึ่งสร้างความถี่ตามที่ต้องการได้

### 3.10 หลักการทำงานของแมกนีตรอน

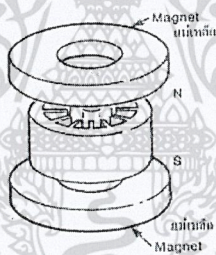
การทำงานของแมกนีตรอนเริ่มจากไส้หลอด (Filament) ซึ่งอยู่ตรงกลางของแมกนีตรอนได้ รับแรงไฟฟ้าประมาณ 3.3 โวลท์เอซี ทำให้ไส้หลอดหรือแคโทด (Cathode) ร้อนขึ้นและส่งผลการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กตรอนอิสระหลุดออกจากแคโทด เนื่องจากขั้วแคโทดต่อกับขั้วลบของแรงดันประมาณ 4000 โวลต์ และขั้วบวกของแรงดัน 4000 โวลต์ต่อไว้กับแอโนด (Anode) ของแมกนีตรอน ตัวอิเล็กตรอนเองมีประจุเป็นลบ ดังนั้นเมื่อต่อขั้วลบที่แคโทด จะเกิดการผลักขั้วเหมือนกันออกไป อิเล็กตรอนที่ถูกผลักออกมานี้จะถูกดูดเข้าหาขั้วบวกที่แอโนด



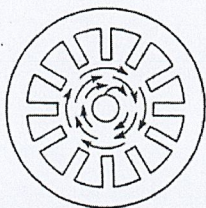
รูปที่ 3.8 ทางเดินของอิเล็กตรอนจากแคโทดไปยังแอโนด

จากรูปที่ 3.8 ทางเดินของอิเล็กตรอนจากแคโทดไปยังแอโนด หัวลูกศรแสดงอิเล็กตรอนซึ่งปกติจะวิ่งออกจากแคโทดเป็นเส้นตรงไปหาแอโนดเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 5600 โวลต์ ก่อให้เกิดความต่างศักย์ แต่ในตัวหลอดไดโอดของแมกนีตรอนยังมีสนามแม่เหล็กมาเกี่ยวข้องโดยโรงงาน จะใส่แม่เหล็กเป็นรูปวงกลมแบนวางที่ด้านบนและล่างร่วมแกนกับหลอดไดโอดดังรูปที่ 3.9 การวางแม่เหล็กร่วมกับไดโอด



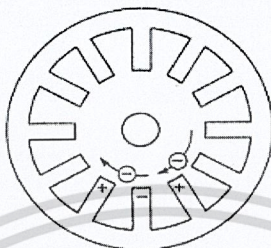
รูปที่ 3.9 การวางแม่เหล็กร่วมกับแกนไดโอด

โดยขั้วแม่เหล็กระหว่างตัวบนและตัวล่างตรงข้ามกันเพราะมีสนามแม่เหล็กมาเกี่ยวข้องด้วย อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากแคโทดที่จะวิ่งตรงไปหาแอโนดกลับโดนสนามแม่เหล็กเบี่ยงเบนไปในทิศทางขวาตามกฎของเฟลมมิ่ง คือกำมือขวาแล้วยกหัวแม่มือขึ้น ถ้าทิศทางของนิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วนางและนิ้วก้อยที่ชี้ไปเป็นทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่ออิเล็กตรอนวิ่งผ่านจะถูกเบี่ยงเบนไปในทิศทางที่นิ้วหัวแม่มือชี้ไป ดังนั้นอิเล็กตรอนในแมกนีตรอนจึงวิ่งไปทางขวา ดังรูปที่ 3.10 การวิ่งของอิเล็กตรอนที่โดนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เบี่ยงเบน ในที่สุดอิเล็กตรอนก็จะวิ่งไปถึงแอโนด



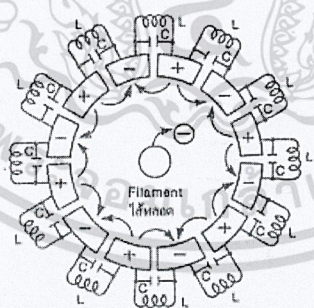
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3.10 การวิ่งของอิเล็กตรอนที่โดนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เบี่ยงเบน ๕ ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหมุนวนเป็นวงกลมของอิเล็กตรอนก่อให้เกิดกระแสกลับขึ้นในโพรง Cavity ของแอโนด เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนตัวเข้าใกล้ส่วนใดส่วนหนึ่งระหว่าง 2 Cavity อิเล็กตรอนจะเหนี่ยวนำเอาประจุบวกจากแอโนดเวน (Anode Vane) ดังแสดงในรูปที่ 3.11 การเหนี่ยวนำเอาประจุบวกของอิเล็กตรอน



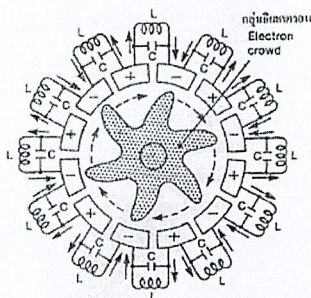
รูปที่ 3.11 การเหนี่ยวนำเอาประจุบวกของอิเล็กตรอน

เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ห่างออกไปประจุบวกบนแอโนดเวนจะลดลงในขณะเดียวกับที่อิเล็กตรอนกำลังเหนี่ยวนำประจุบวกในแอโนดเวนอันถัดไปทำให้เกิดขั้วบวกและขั้วลบสลับกันไปและเกิดเป็นกระแสกลับขึ้น การเหนี่ยวนำของกระแสกลับในระหว่างแอโนดเควิตี้สามารถอธิบายด้วยการแสดงในรูปวงจรแท็งก์ (Tank Circuit) หรือเรียกว่าวงจรเรโซแนนท์ (Resonant Circuit) ที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ตามรูปที่ 3.12 การเหนี่ยวนำของกระแสกลับในระหว่าง Anode Cavities



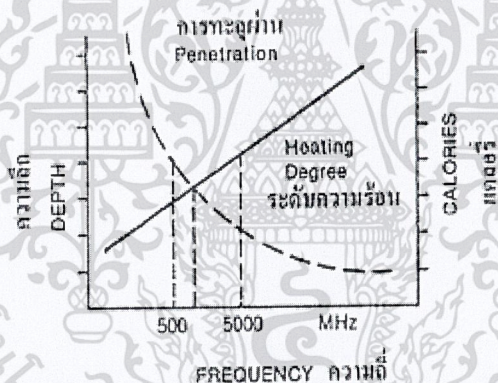
รูปที่ 3.12 การเหนี่ยวนำของกระแสกลับในระหว่าง Anode Cavities

ในการทำงานจริงๆของแมกนีตรอนและอิเล็กตรอนไม่ได้เคลื่อนที่เพียงตัวเดียวแต่เคลื่อนที่เป็นกลุ่มเป็นรูปลักษณะการหมุนเป็นวงคล้ายกังจักรดังรูปที่ 3.13 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นกลุ่ม ด้วยอิทธิพลจากความต่างศักย์สูงระหว่างแคโทดกับแอโนดและสนามแม่เหล็กมีกำลังสูง เมื่อกลุ่มอิเล็กตรอนเคลื่อนที่หมุนรอบๆแอโนดเวนและในที่สุดก็ถึงตัวเควิตี้ส่งผลให้เกิดการกำเนิดความถี่ตามวงจรเรโซแนนท์ ซึ่งความถี่ที่ได้มีกำลังงานสูงถูกนำส่งออกไปจากเควิตี้ภายในชุดแมกนีตรอน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นกลุ่ม

คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นที่มีความถี่ตั้งแต่ 300 – 10000 เมกะเฮิรตซ์ซึ่งเป็นย่านที่กว้างมาก จากการวิจัยคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ตั้งแต่ 500 – 5000 เมกะเฮิรตซ์มีประสิทธิภาพเหมาะสมในการนำมาใช้กำเนิดความร้อน แต่ในเครื่องไมโครเวฟใช้ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์เนื่องจากการวิจัยความถี่นี้สามารถทำให้อาหารส่วนใหญ่สุกได้รวดเร็วและลึกเข้าไปถึงภายในในระดับความลึกพอดี (Penetration Depth) ดังนั้นในเครื่องไมโครเวฟทั่วไปจึงสร้างให้มีความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์



รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง Depth, Heating, Degree, Frequency

จากรูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง Depth, Heating, Degree, Frequency ความลึกของการทะลุผ่านระดับของอุณหภูมิของความร้อนและความถี่จะพบว่าความถี่ต่ำกว่าจะมีการทะลุผ่านของคลื่นได้ดีลึกกว่า แต่เวลาปรุงอาหารจะเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความร้อนต่ำกว่าที่ความสูงกว่าเวลาในการปรุงอาหารจะเร็วกว่าเนื่องจากได้รับความร้อนมากกว่า แต่การทะลุผ่านจะตื้น

### 3.11 ข้อควรระวังในการใช้เตาไมโครเวฟ

- ยื่อนำสิ่งของที่ติดไฟได้ง่ายวางไว้ใกล้ๆหรือข้างในเตาไมโครเวฟโดยเด็ดขาดเพราะอาจจะทำให้เกิดการระเบิดได้ง่าย

- ควรใช้ประโยชน์จากเตาไมโครเวฟภายในขอบเขตที่ระบุไว้ในคู่มือเท่านั้นห้ามนำวัตถุเคมีที่สามารถเผาผลาญได้มาใช้กับไมโครเวฟ ห้ามนำเตาไมโครเวฟไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการโดยเด็ดขาด

- ยื่อนำกระดาษดอกไม้แห้ง ผ้า หรือวัสดุติดไฟอบในเตาไมโครเวฟโดยเด็ดขาด ไม่ควรให้เครื่องทำงานตามลำพัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีกระดาษพลาสติกหรือวัสดุติดไฟายเป็นส่วนประกอบในการทำอาหาร

- ผู้ปกครองไม่ควรปล่อยให้เด็กใช้เตาไมโครเวฟโดยลำพัง ทั้งนี้คุณควรคอยให้คำแนะนำและดูแลอย่างใกล้ชิด

- ไม่ควรนำวัตถุที่เป็นโลหะทุกชนิดเข้าไปในเตาไมโครเวฟ

- ถ้าวัตถุที่อยู่ภายในเตาไมโครเวฟติดไฟครั้งแรกควรรีบปิดสวิทช์เครื่องและห้ามเปิดฝาคูเรือนั้นให้สัมผัสสะพานไฟเพื่อไม่ให้กระแสไฟฟ้าวิ่งไปตามไมโครเวฟ

- ข้อควรระวังในการปรุงของเหลว คือของเหลวนั้นๆจะไม่เดือดให้เห็น ถึงแม้ว่าของเหลวนั้นจะเดือดเกินจุดเดือดแล้วก็ตาม ซึ่งควรปฏิบัติตามข้อแนะนำดังต่อไปนี้

- หลีกเลี่ยงการใช้ภาชนะปากแคบ

- คนของเหลวก่อนนำเข้าไปในเตาไมโครเวฟและไม่ควรทิ้งช้อนไว้ในเตาไมโครเวฟ

- หลังจากการปรุงอาหารทิ้งไว้พักหนึ่งแล้วควรกวนอีกครั้งหนึ่งก่อนนำภาชนะออกจากเตาไมโครเวฟ

- ไม่ควรนำเอาไข่ดิบทั้งฟองปรุงในเตาไมโครเวฟ

- ยื่อนำอาหารที่ถูกบรรจุในภาชนะออกจากเตาไมโครเวฟซึ่งอาจเกิดการระเบิดได้

- ไม่ควรปรุงอาหารที่มีความหนาแน่นของน้ำน้อย อาทิ เช่น น้ำมัน ซ็อกโกแลต และขนมพาย

- ไม่ควรตั้งเวลาปรุงอาหารเกินเวลาที่ระบุไว้ในคู่มือ

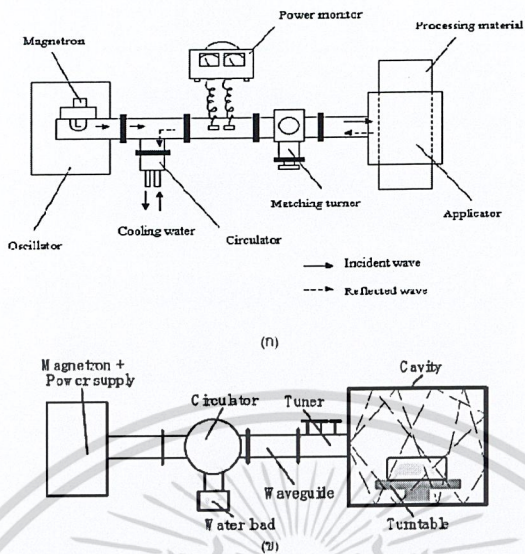
- ควรอ่านคู่มือเตาไมโครเวฟก่อนใช้งาน

- หลังจากการอุ่นอาหารสำหรับเด็กแล้วคุณควรคนทิ้งไว้ให้หายร้อนก่อนจึงให้เด็กรับประทาน

- ยื่อนำฝาจุกนมเด็กเข้าไปในเตาไมโครเวฟเพราะอาจละลายได้

- ควรใส่ถุงมือทุกครั้งเมื่อนำเอาภาชนะออกจากเตาไมโครเวฟ

### 3.12 ระบบทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ



รูปที่ 3.15 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ

จากรูปที่ 3.15 แมกนีตรอน (Magnetron) ที่ติดตั้งบนท่อนำคลื่น (Waveguide) ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟหรือสร้างพลังงานไมโครเวฟไมโครเวฟจะเคลื่อนที่ผ่านท่อนำคลื่นไปยังวัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการที่อยู่ภายในคาวิตี (Cavity) หรือแอปพลิเคเตอร์ (Applicator) เมื่อพลังงานไมโครเวฟเข้าสู่วัสดุแล้วส่วนที่นอกเหนือจากการดูดซับ (Absorbed Wave) โดยตัววัสดุจะมีบางส่วนที่ทะลุผ่าน (Transmitted Wave) วัสดุและจะมีบางส่วนที่สะท้อนกลับ (Reflected wave) ไปซึ่งอัตราพลังงานไมโครเวฟที่สะท้อนกลับจะขึ้นอยู่กับค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก (Dielectric Properties) ของวัสดุและคุณลักษณะประจำตัวของวัสดุเองคลื่นสะท้อนที่เกิดจากการสะท้อนกลับของคลื่นไมโครเวฟขณะชนกับวัสดุอาจทำให้ตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟเสียหายได้ (โดยเฉพาะระบบที่ใช้ไมโครเวฟกำลังสูง) ดังนั้นโดยทั่วไประบบไมโครเวฟจะติดตั้งตัวดักคลื่นหรือที่เรียกทั่วไปว่าเซอร์คูเลเตอร์ (Circulator) (อุปกรณ์ทำให้คลื่นไมโครเวฟเดินได้ทางเดียว) ระหว่างตัวกำเนิดคลื่นและท่อนำคลื่นเพื่อป้องกันการเสียหายดังกล่าวนอกจากนั้นยังติดตั้งอุปกรณ์ปรับแต่งคลื่นเพื่อที่จะลดพลังงานสะท้อนกลับนี้โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Matching Tuner มาติดตั้งระหว่างท่อนำคลื่นและบริเวณทำความร้อนอุปกรณ์ตัวนี้ทำหน้าที่ปรับให้คลื่นไมโครเวฟมีการดูดซับในตัววัสดุได้ดีขึ้นโดยการสะท้อนของคลื่นที่ผิววัสดุลดลงส่งผลทำให้ระบบไมโครเวฟทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุด

ปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

$$Q = \omega \epsilon_0 \epsilon_r'' E^2 = 2\pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r' (\tan \delta) E^2 \tag{3.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Q$  = ปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

$E$  = สนามไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง

$f$  = ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ

$\omega$  = ความเร็วเชิงมุมของคลื่นไมโครเวฟ

$\epsilon_r$  = relative dielectric constant ซึ่งบอกถึงคุณสมบัติของวัสดุใดๆที่อธิบายถึง

ความสามารถในการดูดซับส่งผ่าน และสะท้อนพลังงานจากส่วนที่เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ

$\epsilon_0$  = Dielectric Constant ของอากาศ = 1

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

แปรเปลี่ยนพลังงานที่วัสดุดูดซับเป็นพลังงานความร้อน

ค่าความลึกในการทะลุทะลวงหรือระยะทางที่สนามไฟฟ้าทะลุเข้าไปได้

$$D_p = \frac{1}{\frac{2\pi f}{v} \sqrt{\frac{\epsilon_r \left( \sqrt{1 + \left( \frac{\epsilon_r}{\epsilon_0} \right)^2} - 1 \right)}{2}}} = \frac{1}{\frac{2\pi f}{v} \sqrt{\frac{\epsilon_r \left( \sqrt{1 + (\tan\delta)^2} - 1 \right)}{2}}} \quad (3.3)$$

$v$  = ความเร็วแสง ( $3 \times 10^8$  m/s)

$f$  = ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ

$\epsilon_r$  = relative dielectric constant

$\tan\delta$  = Dielectric Loss Tangent Coefficient

ตัวอย่างการคำนวณ

$$D_p = \frac{1}{\frac{(2\pi)(2.45 \times 10^9)}{3 \times 10^8} \sqrt{\frac{(5.61264) \left( \sqrt{1 + 0.1725^2} - 1 \right)}{2}}}$$

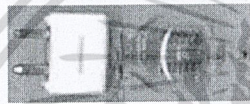
$$= 0.09572 \text{ เมตร}$$

$$= 9.572 \text{ เซนติเมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

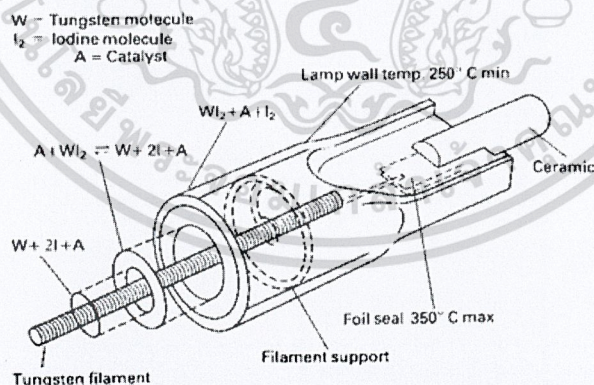
### 3.13 หลอด Tungsten Halogen

เป็นหลอดที่อาศัยการกำเนิดแสงจากความร้อนโดยการให้กระแสไหลผ่านไส้หลอดที่ทำด้วยทังสเตนจนร้อน แล้วเปล่งแสงออกมา เช่นเดียวกับหลอด incandescent ต่างกันตรงที่มีการบรรจุสารตระกูลฮาโลเจน ได้แก่ ไอโอดีน คลอรีน , โบรมีนและฟลูออรีนลงในหลอดแก้วที่ทำด้วยควอทซ์ สารที่เติมเข้าไปนี้จะป้องกันการระเหิดตัวของไส้หลอด ซึ่งทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 3000-3400 องศาเซลวิน ช่วยให้หลอดมีอายุยาวนานขึ้นกว่าหลอด incandescent ราว 2-3 เท่า คือ 1500-3000 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอด incandescent ประมาณ 12 - 22 lm/w และสีของลำแสงขาวกว่าคือมีอุณหภูมิสีประมาณ 2800 องศาเซลวิน ทำให้มีค่าดัชนีความถูกต้องของสีสูงถึง 100% ปกติหลอดจะมีลักษณะยาวตรง แต่ก็มีการรูปร่างอื่นเพื่อให้เหมาะกับลักษณะงานที่ต่างกัน เช่นหลอดที่ใช้ใน เครื่องฉายภาพข้ามศีรษะ หรือเครื่องฉายสไลด์ เป็นต้น



รูปที่ 3.16 แสดงลักษณะของหลอดฮาโลเจน

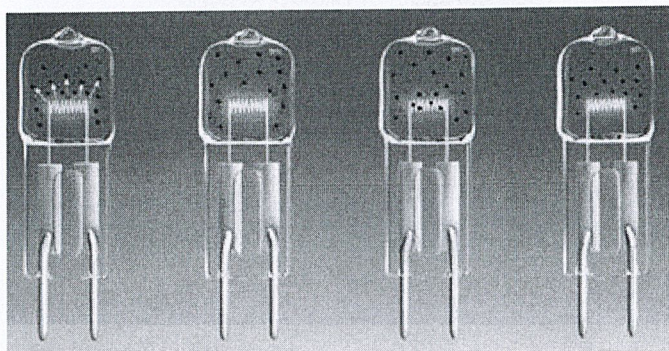
การใช้งานต้องติดตั้งภายในดวงโคมสำหรับหลอดฮาโลเจนโดยเฉพาะ เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับกระเปาะแก้ว ทั้งจากความชื้นและการสัมผัสกระเปาะแก้วโดยตรง ดวงโคมที่พบเห็นทั่วไปแสดงดังรูป ซึ่งไม่ว่าจะเป็นโคมรุ่นใด โครงสร้างภายใน แทบไม่ต่างกันโดยเฉพาะใช้กับหลอดชนิดยาวตรง



รูปที่ 3.17 แสดงโครงสร้างของหลอดฮาโลเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.14 หลักการทำงานของหลอดฮาโลเจน



รูปที่ 3.18 แสดงหลักการทำงานของหลอดฮาโลเจน

1. เมื่อมีกระแสไหลผ่านไส้หลอด ทั้งสแตนท์จะทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 3000 องศาเซลเซียส ภายในหลอดแก้วควอทซ์ ที่มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 470 องศาเซลเซียส ทำให้อนุภาคของทั้งสแตนท์ระเหิดออกจากไส้หลอด

2. ระหว่างที่อนุภาคของทั้งสแตนท์ซึ่งร้อน เคลื่อนที่ห่างจากไส้หลอด ก็จะรวมตัวกับอนุภาคหรือโมเลกุลของสารฮาโลเจน เมื่อเคลื่อนที่เข้าใกล้ผนังแก้วควอทซ์มากขึ้น ก็จะรวมตัวกับอนุภาคของสารฮาโลเจนมากยิ่งขึ้น

3. โมเลกุลที่เกิดจากการรวมกันของอนุภาคทั้งสแตนท์และสารฮาโลเจน เมื่ออุณหภูมิต่ำลงจะกลายเป็นโมเลกุลที่ไม่มีเสถียรภาพ และวิ่งเข้าหาไส้หลอด ระหว่างที่วิ่งเข้าหาไส้หลอดอนุภาคของสารฮาโลเจนจะแยกตัวออกจากโมเลกุลใหญ่เนื่องจากความร้อน

4. เมื่อเข้าใกล้หลอดมากขึ้น อนุภาคของสารฮาโลเจนก็จะแยกตัวออกไปจนหมด เหลือแต่อนุภาคของทั้งสแตนท์ วิ่งไปจับที่ไส้หลอด

อย่างไรก็ตามพบว่า การกลับมาเกาะที่ไส้หลอดของอนุภาคทั้งสแตนท์เป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ ทำให้ไส้หลอดมีขนาดไม่เท่ากัน ส่วนที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีความต้านทานสูงกว่าส่วนอื่น อุณหภูมิ ณ จุดนั้นก็สูงกว่า การระเหิดจึงมากกว่า จนไส้หลอดขาดจากกัน ข้อดีของหลอดชนิดนี้คือ มีค่าดำรง

ลูเมนตลอดอายุการใช้งานสูงกว่าหลอด incandescent ทั่วไป โดยมีค่า LLD ประมาณ 0.98 ที่ 90% ของอายุการใช้งาน หรือประมาณ 0.94 - 0.95 ที่อายุการใช้งานที่กำหนด

### 3.15 ข้อควรระวังในการใช้หลอดฮาโลเจน

1. หลอดฮาโลเจนทุกประเภท ห้ามใช้มือเปล่าจับตัวหลอดเด็ดขาด ถ้าจับแล้วต้องใช้ผ้าแห้งสะอาดชุบแอลกอฮอล์เช็ดให้ทั่ว แล้วปล่อยให้แห้ง จึงสามารถเปิดใช้งานได้ มิฉะนั้นกระเปาะแก้วจะเกิดคราบสีดำ ปิดกั้นแสง ไม่สามารถใช้ได้อีกต่อไป

2. ห้ามจับหลอดขณะใช้งานเนื่องจากอุณหภูมิสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลอดฮาโลเจนแรงดันต่ำที่ใช้แรงดัน 12 หรือ 120 โวลท์ จำเป็นต้องใช้หม้อแปลง ถ้าแรงดันที่หลอดได้รับจากหม้อแปลงสูงกว่าที่กำหนด จะทำให้หลอดอายุสั้น
4. โคม downlight สำหรับหลอดฮาโลเจนแรงดันต่ำที่ไม่มีหม้อแปลงติดตั้งมาพร้อมจากโรงงาน หากผู้ติดตั้งวางหม้อแปลง บนฝ้าเพดานและไม่มีกรงป้องกันที่ตีพอ โดยอาจรู้เท่าไม่ถึงการณ์อาจทำให้เกิดอัคคีภัยได้
5. อย่าติดตั้งหลอดฮาโลเจนใกล้กับวัสดุไวไฟเช่น ทินเนอร์, เบนซิน หรือวัสดุที่ไวต่อความร้อน
6. หลีกเลี่ยงการสัมผัสงานสะท้อนแสงของหลอดฮาโลเจน เพื่อป้องกันไม่ให้สาร Dichroic เสียหาย
7. การใช้อุปกรณ์หรือไฟกับหลอดฮาโลเจนอาจทำให้หลอดอายุสั้นลง ทั้งนี้หาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากแต่ละบริษัท ที่อาจมีข้อกำหนด การใช้อุปกรณ์หรือไฟต่างกัน

### 3.16 ความร้อน

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งสามารถถ่ายโอนจากแหล่งที่มีอุณหภูมิที่ไปยังแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำ พลังงานความร้อนอาจเปลี่ยนจากพลังงานรูปอื่น และในทางกลับกัน พลังงานความร้อนสามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนได้

### 3.17 ความจุความร้อน

สารต่างชนิดกันมีความสามารถรับหรือคายพลังงานความร้อนได้ต่างกัน และเราเรียกค่าพลังงานความร้อนที่ทำให้สารชนิดหนึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 หน่วยว่า ความจุความร้อน(heat capacity “C”) ของสารชนิดนั้นตามที่ใช้ในระบบเอสไอเป็นจุดต่อเคลวิน (J/K) โดยที่ค่าความจุความร้อนของสารดังกล่าวนี้ นอกจากจะต่างกันไปตามชนิดของสารแล้วยังขึ้นกับขนาดคือปริมาตรหรือมวล รวมถึงจำนวนโมลอีกด้วย ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะใช้ค่าความจุความร้อนของสารเพื่อเป็นเกณฑ์สำหรับเปรียบเทียบ เรามักจะพิจารณาสารหลายชนิดเปรียบเทียบกัน โดนใช้ค่าความจุความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวลของสารแทน และเรียกปริมาณดังกล่าวนี้ว่า ความจุความร้อนจำเพาะ (specific heat capacity “c”) ของสารนั้น โดยมีหน่วยในระบบเอสไอเป็นจุดต่อ (กิโลกรัม-เคลวิน) “J/kg-K” แต่บางทีก็กล่าวถึงในนาม ความร้อนจำเพาะ (specific heat “c”) ซึ่งก็คือปริมาณเดียวกันนั่นเอง นอกจากนี้ ในกรณีที่ต้องการกล่าวให้สัมพันธ์กับจำนวนโมล (n) ของสาร ก็จะใช้ค่าความจุความร้อนต่อโมล โดยเรียกว่า ความจุความร้อนโมลาร์ (molar heat capacity “C”) ของสารนั้นก็คือ C/n และมีหน่วยเป็นจุดต่อโมล (J/mole) ในระบบเอสไอ

ถ้าสารชนิดหนึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $\Delta T$  เคลวิน โดยมีพลังงานความร้อนที่ได้รับเป็น Q จูล จะได้

$$Q = C (\Delta T) = mc (\Delta T) = nC (\Delta T) \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.18 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิโดยความร้อนจะเคลื่อนที่จากที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำ ความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน จึงเรียกผลต่างของอุณหภูมินี้ว่า แรงขับเคลื่อน (driving force) ปริมาณความร้อนหรืออัตราการถ่ายเทความร้อนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงขับเคลื่อน และเป็นสัดส่วนผกผันกับความต้านทานต่อการถ่ายเทความร้อน

กลไกการเคลื่อนที่ของความร้อนจากจุดๆ หนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งแบ่งได้เป็น 3 วิธีคือ การนำ การพา และการแผ่รังสี โดยกระบวนการถ่ายเทความร้อนทุกกระบวนการอาจเกิดจากการถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียวหรือหลายวิธีรวมกันก็ได้

3.18.1 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer) การนำความร้อนเป็นวิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ในตัวกลางเนื่องจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิตัวกลางนี้อาจเป็นตัวกลางเดียวกัน หรือตัวกลางต่างชนิดที่อาจอยู่ติดกัน การนำความร้อนเกิดขึ้นในระดับโมเลกุล ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของสสารจากโมเลกุลหนึ่งไปยังโมเลกุลถัดไป

3.18.2 การพาความร้อน (Convection Heat Transfer) เมื่อของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันก็จะมีเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างของไหลกับวัตถุ กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้เรียกว่า การถ่ายเทความร้อนโดยการพา หรือการพาความร้อน การถ่ายเทความร้อนโดยการพา หรือการพาความร้อนนี้ แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การพาความร้อนแบบอิสระ (free convection) แรงที่ทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนไหวของการพาความร้อนแบบอิสระนั้นเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในก้อนของไหลเนื่องมาจากการที่ของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน จนทำให้เกิดแรงลอยตัวขึ้น ตัวอย่างของการพาความร้อนแบบอิสระนี้ ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังหรือหลังคาบ้านที่เกิดขึ้นในวันที่ไม่มี ลมพัด การพาความร้อนภายในกาต้มน้ำที่มีขดลวดให้ความร้อน หรือการถ่ายเทความร้อนจากผิวของตัวเก็บความร้อนที่ได้มาจากดวงอาทิตย์ในช่วงที่ไม่มีลมพัด

2. การพาความร้อนแบบบังคับ (force convection) การพาความร้อนแบบบังคับจะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อนกว่าหรือเย็นกว่า เนื่องจากการไหลของการพาความร้อนแบบบังคับมีความเร็วที่สูงกว่าแบบอิสระ ดังนั้นถ้าหากความแตกต่างของอุณหภูมิมิขนาด เท่าๆ กันแล้ว การพาความร้อนแบบบังคับก็จะมีอัตราการพาความร้อนที่สูงกว่า แต่ไม่ว่าจะเป็นพาความร้อนแบบไหนก็ตาม ต่างมีสมการสำหรับหาอัตราการพาความร้อนที่อยู่ในรูปของ กฎการเย็นตัวของนิวตัน (*Newton's law of cooling*)

3.18.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer) การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีต่างไปจากการนำ (conduction) และการพาความร้อน (convection) เพราะไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง การถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีนี้มีบทบาทสำคัญในกระบวนการทำแห้งรวมถึงกระบวนการให้ความร้อนและหล่อเย็นในทางอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.19 ฮีตเตอร์ (Heater)

เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานในโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้หลักการจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำ (ตัวความต้านทาน R) ซึ่งส่งผลให้ลวดตัวนำมีความร้อนเกิดขึ้น โดยแหล่งจ่ายไฟสามารถใช้ได้กับแรงดัน 220VAC และ 380VAC ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานฮีตเตอร์ (Heater) ได้ง่ายและสะดวก เนื่องจากการใช้งานฮีตเตอร์ (Heater) นั้นสามารถเข้าใจหลักการทำงานได้ง่าย ซึ่งในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมหันมาใช้ฮีตเตอร์ (Heater) มากยิ่งขึ้น เนื่องจากราคาถูก และส่งขนาดรูปทรง และวัตต์ได้ตามความต้องการ โดยส่วนประกอบส่วนใหญ่ของฮีตเตอร์ (Heater) มีดังนี้

3.19.1 ฉนวนแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) คุณสมบัติมีค่าความนำทางไฟฟ้าต่ำ แต่นำความร้อนได้ดีมาก ซึ่งทำหน้าที่กั้นกลางระหว่างลวดตัวนำฮีตเตอร์ (Heater) กับปลอกโลหะ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระแสรั่ว (Leak Current) จากลวดฮีตเตอร์ออกไปยังผิวโลหะ จุดสำคัญคือห้ามมีความชื้นในฉนวนเด็ดขาด เนื่องจากจะทำให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงขึ้น วิธีการแก้ไขคือการนำฮีตเตอร์ (Heater) ไปอบในเตาอบเพื่อไล่ความชื้น

3.19.2 แสตนเลส (Stainless) ที่นำมาใช้ในการผลิตฮีตเตอร์ (Heater) มีอยู่หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ดังนี้

- Stainless 304: ใช้ในงานที่ต้องการขึ้นรูปเพื่อการตกแต่งให้สวยงาม สามารถป้องกันสนิมได้เป็นอย่างดี

- Stainless 316: ถูกออกแบบให้ป้องกันสนิมได้เป็นอย่างดี สามารถใช้ในงานอุตสาหกรรมหนัก และสถานที่ใกล้ทะเลที่มีความเป็นกรด-ด่างสูง

- Stainless 430: เป็นแสตนเลสที่ใช้โครเมียมเป็นส่วนประกอบ 100% และมีโอกาสเกิดสนิมน้อยกว่าเบอร์ 300 ซึ่งแสตนเลสแบบนี้นิยมนำมาตกแต่งภายใน

3.19.3 ลวดฮีตเตอร์ (Heater) ซึ่งเรียกว่า ลวด Nikrothal 80 หรือ R80 โดยมีส่วนผสมของนิเกิล 80% และโครเมียม 20% ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 1400 องศาเซลเซียส โดยมีคุณสมบัติเหนียว และทนความร้อนได้สูงถึง 1400 องศาเซลเซียส ฮีตเตอร์ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันดังนี้

- ฮีตเตอร์แท่ง (Cartridge Heater) ใช้ให้ความร้อนกับวัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็ก และโลหะต่างๆ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานบรรจุหีบห่อ งานขึ้นรูปพลาสติก

- ฮีตเตอร์ครีบ (Finned Heater) และ ฮีตเตอร์ท่อกลม ใช้ให้ความร้อนกับอากาศ เช่น ใช้ในห้องอบแห้ง ในเตาอบ

- ฮีตเตอร์จุ่ม (Immersion Heater) หรือบางที่เรียกว่า ฮีตเตอร์ต้มน้ำใช้ให้ความร้อนกับของเหลวทุกชนิด ตัวอย่างการใช้งานเช่น งานต้มน้ำ - ต้มน้ำมัน งานผสมสาร

- บอบบินฮีตเตอร์ (Bobbin Heater) ใช้ให้ความร้อนของเหลวเหมือนฮีตเตอร์จุ่ม

- ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater) ใช้ให้ความร้อนกับวัตถุโดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง ไม่

เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะมันวาวเนื่องจากวัตถุมันวาวจะมีคุณสมบัติสะท้อนแสง ทำให้ไม่สามารถดูดซับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงอินฟราเรดได้อย่างเต็มที่ใช้ติดตั้งในเตาอบ หรือ เหนือคอนเวเยอร์ได้

- ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band Heater) ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวที่อยู่ในท่อหรือถังรูปทรงกระบอก โดยรัดจากด้านนอก

- ฮีตเตอร์แผ่น (Strip Heater) ใช้ให้ความร้อนโดยแนบกับวัตถุโดยตรงสามารถออกแบบให้เป็นรูปทรงใดๆก็ได้

สมการคำนวณขนาดของขดลวดความร้อน (Heater)

$$Q \doteq mc_p \Delta T \quad (3.5)$$

สมการคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวล ( $\dot{m}$ )

$$\dot{m} = \rho v A \quad (3.6)$$

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

$Q$  = อัตราการถ่ายเทความร้อน (วัตต์)

$\dot{m}$  = อัตราการไหลเชิงมวล (กิโลกรัมต่อวินาที)

$\Delta T$  = ผลต่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

$\rho$  = ค่าความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

$c_p$  = ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส)

$T_f$  = อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)

$T_w$  = อุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศ (องศาเซลเซียส)

$T_\infty$  = อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างการคำนวณ

$$T_f = \frac{85 + 27}{2} \quad T_f = 56 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\dot{m} = \rho v A$$

$$= (1.067)(18.4) \left( \frac{\pi}{4} 0.0635^2 \right)$$

$$\dot{m} = 0.06217 \text{ kg/s}$$

แทนค่า

$$Q = (0.06217)(1.009)(85 - 27)$$

$$= 3.6383 \text{ kJ/s}$$

$$Q = 3638.3 \text{ W}$$

ขนาดของขดลวดความร้อนที่ต้องใช้มีขนาดเท่ากับ 5 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.20 ลูกกรงฟาราเดย์

ลูกกรงฟาราเดย์ ลูกกรงทำด้วยสารตัวนำไฟฟ้ามีไว้เพื่อป้องกันไม่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหลุดลอดออกมาภายนอกได้ เนื่องจากช่องของตาข่ายลูกกรงนี้มีขนาดความกว้างของช่องเล็กกว่าความยาวคลื่นไมโครเวฟ คลื่นจึงไม่สามารถลอดผ่านออกมาและไม่สามารถเจาะทะลุทะลวงผ่าน โดยได้มีการกำหนดค่าขีดจำกัดความปลอดภัยของระดับความเข้มของกำลังงานการรั่วไหลของไมโครเวฟ คือ ไม่ควรเกิน  $1 \text{ mW/cm}^2$  และต้องไม่เกิน  $5 \text{ mW/cm}^2$  โดยวัดที่ระยะห่าง 5 เซนติเมตรจากผิวนอกของเตาอบไมโครเวฟ



รูปที่ 3.19 เครื่องตรวจจับสนามแม่เหล็กของคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Leakage Detector)

### 3.21 สายพานลำเลียง

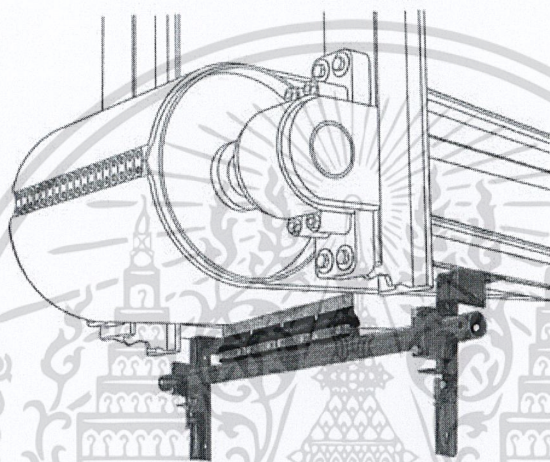
สายพานลำเลียงเป็นสายพานที่เคลื่อนที่ต่อเนื่องตลอดเวลาใช้งานโดยปลายทั้งสองข้างของสายพานจะต่อชนเข้าด้วยกัน ใช้สำหรับขนถ่ายวัสดุทั้งในแนวราบและแนวลาดเอียง (ขึ้นและลง) ตัวอย่างการจัดวางสายพานลำเลียง ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก 5 ส่วนได้แก่

1. สายพาน (Belt) เป็นส่วนรองรับวัสดุขนถ่ายและทำให้วัสดุขนถ่ายที่อยู่บนสายพานนั้นเคลื่อนที่ตามสายพานไปด้วย
2. ลูกกลิ้ง (Idlers) เป็นตัวรองรับสายพานอีกทีหนึ่ง ลูกกลิ้งนี้จะมี 2 ชนิด คือ
  - 2.1 ลูกกลิ้งด้านลำเลียงวัสดุ (Carrying Idlers)
  - 2.2 ลูกกลิ้งด้านสายพานกลับ (Return Idlers)
3. ล้อสายพาน (Pulleys) เป็นตัวรองรับ ชับสายพานและควบคุมแรงตึงในสายพาน
4. ชุดขับ (Drive) เป็นตัวส่งกำลังขับให้กับล้อสายพานเพื่อขับสายพานและวัสดุขนถ่ายให้เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โครงสร้าง (Structure) เป็นส่วนรองรับและรักษาแนวของลูกกลิ้ง (Idlers) และล้อสายพาน (Pulleys) และรองรับเครื่องขับสายพาน นอกจากส่วนประกอบหลักๆของระบบสายพานลำเลียงดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีอุปกรณ์ช่วยอีกได้แก่

- อุปกรณ์ปรับความตึงสายพาน (Belt take - ups) ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบใช้คนปรับ
- อุปกรณ์ทำความสะอาด
- ชุดป้องกันสายพานเสียหายได้รางป้อนวัสดุ (Tramp - Iron Protection)
- ตัวส่งวัสดุออก (Trippers) และเครื่องกวาด (Plows)
- ระบบป้องกันสภาพอากาศ (Weather Protection)



รูปที่ 3.20 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ทำความสะอาด

### 3.22 การใช้งานและข้อจำกัด

สายพานลำเลียงจะมีประโยชน์ในการขนถ่ายวัสดุประเภทผง (Pulverized) เมล็ด (Granular) และวัสดุก้อน (Lumpy) ก็ต่อเมื่อปริมาณวัสดุขนถ่ายมีมากพอถึงจุดคุ้มทุนและเส้นทางในการขนถ่ายอยู่ในแนวระนาบหรือลาดเอียง (ขึ้นและลง) ข้อจำกัดของสายพานลำเลียง ได้แก่

- อุณหภูมิต้องไม่สูงนักจนทำให้สายพานไหม้
- ความลาดเอียงต้องไม่ชันเกินไปจนทำให้วัสดุเลื่อนไหลลง
- ระยะทางของจุดศูนย์กลาง (Center's Distance) จะต้องอยู่ภายในช่วงยึดตัวของสายพานที่

ใช้

การคิดค้นดัดแปลงสายพานลำเลียงเพื่อใช้สำหรับวัตถุประสงค์พิเศษและการนำสายพานลำเลียงเข้าใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นจะทำให้สายพานลำเลียงมีประโยชน์กว้างขวางขึ้นซึ่งเห็นได้ชัดในงานอุตสาหกรรมก่อสร้างและอุตสาหกรรมเหมือง หากการออกแบบถูกต้องเหมาะสมและพิจารณาข้อจำกัดแล้วการวางตัวของวัสดุอย่างเหมาะสมบนสายพานลำเลียงจะแตกต่างกันน้อยมากไม่ว่าจะเป็นสายพานลำเลียงในแนวราบแนวเอียงขึ้น ลาดลงหรือแบบผสม ที่จุดส่งวัสดุออก วัสดุจะต้องถูกส่งลงบน

อุปกรณ์ลำเลียงชนิดอื่นถูกส่งเข้าไปยังอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตบางประเภทหรือถูกส่งเข้าสถานที่เก็บรักษาอย่างเหมาะสม

การออกแบบส่วนประกอบและการจัดวางของสายพานลำเลียงมีหลักการปฏิบัติที่ค่อนข้างแน่นอน อย่างไรก็ตามการออกแบบการป้อนวัสดุ การส่งวัสดุออกและการเปลี่ยนการทำงานที่จะประสบความสำเร็จได้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ ความช่างสังเกตและความช่างคิดประดิษฐ์ของผู้ออกแบบถ้าจะให้สายพานลำเลียงทำงานอย่างมีประสิทธิภาพแล้วจะต้องให้ตำแหน่งรับน้ำหนักบรรทุกอยู่ที่กลางสายพาน และในอัตราที่สม่ำเสมอซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในภายหลังเพื่อให้การลำเลียงมีรูปแบบที่ถูกต้องจึงต้องมีเครื่องป้อนวัสดุและการจัดวางเครื่องป้อนวัสดุหลายๆชนิด โดยส่วนใหญ่แล้วระบบสายพานลำเลียงจะมีจุดรับวัสดุตายตัว ซึ่งจะรับวัสดุมาจากอุปกรณ์ขนถ่ายชนิดอื่นเช่นรถบรรทุก (Trucks) หรือรถไฟ (Trains) อุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นตัวเชื่อมต่อการขนส่งระหว่างแหล่งวัสดุกับระบบสายพานลำเลียงเมื่อการส่งวัสดุไปยังสายพานลำเลียงเป็นแบบไม่ต่อเนื่องจึงจำเป็นต้องจัดหาถังเก็บ (Surge hopper) และเครื่องป้อนวัสดุบางชนิดไว้เพื่อให้การส่งวัสดุไปยังสายพานลำเลียงเป็นไปอย่างต่อเนื่องและมีอัตราความเร็วสม่ำเสมอ ปัญหาที่ยากที่สุดสำหรับผู้ออกแบบระบบสายพานลำเลียงมักประสบ คือ การออกแบบจุดส่งถ่าย (Transferpoints) ที่เหมาะสมในการออกแบบสายพานควรคำนึงถึงระยะการให้ตัว การยืดหยุ่น เนื่องจากแรงที่ไปขับสายพาน จะทำให้สายพานเกิดการกระชาก ที่สำคัญสายพานควรมีความแข็งแรงพอที่จะขับเคลื่อนให้สายพานหมุน หรือลำเลียงวัสดุดิบและสิ่งของต่างๆได้

### 3.23 ความกว้างสายพานและความเร็วสายพาน

ความกว้างของสายพานโดยทั่วไปจะมีหน่วยเป็นนิ้วหรือมิลลิเมตรความกว้างของสายพานลำเลียงที่ผลิตในสหรัฐอเมริกาและแคนาดามีขนาด 14, 16, 18, 20, 24, 30, 36, 42, 54, 60, 72, 84, 96 และ 108 นิ้ว ในยุโรปความกว้างสายพานตามมาตรฐาน (DIN 22107) มีดังนี้ 400, 500, 650, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800 และ 3000 มิลลิเมตร โดยทั่วไปสำหรับความเร็วที่กำหนดค่าหนึ่งความกว้างสายพานเพิ่ม จะทำให้อัตราขนถ่ายเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามความกว้างสายพานอาจจะขึ้นอยู่กับขนาดของวัสดุขนถ่ายสายพานจะต้องกว้างพอที่จะลำเลียงทั้งวัสดุก้อนและวัสดุผงได้ โดยวัสดุจะไม่อยู่ใกล้ขอบสายพานจนเกินไปโดยเฉพาะขนาดด้านในของรางป้อนวัสดุ (Loading Chutes) และระยะระหว่างแผ่นกัน (Skirtboards) ต้องมากพอที่วัสดุขนาดต่างๆจะผ่านไปได้ ขนาดวัสดุมีผลต่อรายละเอียดของสายพาน และการเลือกลูกกลิ้งด้านลำเลียงวัสดุ (Carrying Idlers) เช่นเดียวกับความกับความสัมพันธ์ระหว่างขนาดวัสดุกับความกว้างสายพาน

คำแนะนำขนาดวัสดุใหญ่สำหรับความกว้างสายพานมีความเร็วสายพานที่เหมาะสมกับความกว้างสายพาน

- วัสดุก้อน 10 เปอร์เซ็นต์และวัสดุผง 90 เปอร์เซ็นต์ขนาดวัสดุใหญ่ที่สุดคือ 1 ต่อ 3 ของความกว้างสายพาน (B/3)

- วัสดุก้อนทั้งหมดไม่มีวัสดุผง ขนาดวัสดุใหญ่ที่สุดคือ 1 ต่อ 5 ของความกว้างสายพาน (B/5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของสายพานลำเลียงที่เหมาะสมส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่จะขนถ่ายอัตราขนถ่ายที่ต้องการ และแรงดึงในสายพาน วัสดุที่เป็นผงควรขนถ่ายด้วยความเร็วต่ำเพื่อให้ฝุ่นน้อยที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุดป้อนวัสดุและจุดปล่อยวัสดุวัสดุประเภทนี้ต้องจำกัดความเร็วด้วยเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายที่จุดป้อนวัสดุและจุดปล่อยวัสดุขณะที่สายพานวัสดุกำลังเคลื่อนที่อยู่เหนือลูกกลิ้งสายพาน วัสดุหนักและคมควรใช้ความเร็วสายพานพอประมาณเนื่องจากขอบคมจะทำให้ผิวของสายพานสึกหรอมากเกินไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าความเร็วของการป้อนวัสดุในทิศทางเคลื่อนที่ของสายพานต่ำกว่าความเร็วของสายพานความเร็วที่ใช้กันทั่วไปของสายพานลำเลียง

ภายใต้สภาพการรับและเคลื่อนย้ายวัสดุสำหรับสายพานแฉ่งที่กว้างกว่า 36 นิ้ว หรือ 900 มิลลิเมตร ใช้ความเร็วมากกว่า 1000 ฟุตต่อวินาที (5.1 เมตรต่อวินาที) (แม้ว่าอายุการใช้งานของยางหุ้มสายพานจะลดลง) สำหรับวัสดุผงทรายเปียกถ่านหินดินก้อนไม่ใหญ่นัก และหินบดกำลังที่ใช้ในการขบสายพานและน้ำหนักบรรทุกเป็นอีกส่วนหนึ่งที่จะต้องพิจารณาที่น้ำหนักบรรทุกที่ยอมรับได้ (ต้นต่อชั่วโมง TPH) กำลังที่ใช้ขบสายพานขณะบรรทุกจะมากกว่ากำลังที่ใช้ขบสายพานเปล่ามากส่วนการเพิ่มความเร็วยสายพานเล็กน้อยจะมีผลในการเพิ่มกำลังขบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

### 3.24 การกำหนดแรงดึงสายพาน และกำลังม้า

มหาวิทยาลัยและบริษัทต่างๆทั่วโลกได้พัฒนาสมการสำหรับการคำนวณแรงดึงสายพานโดยกำหนดเป็นฟังก์ชันของน้ำหนักบรรทุก ความเร็ว ความยาว เป็นต้น บางสมการได้ใช้เป็นมาตรฐานแล้ว ได้แก่ DIN # 22101 ของเยอรมัน และ CEMA ของอเมริกา ซึ่งต่างก็มีข้อดีข้อเสียอยู่ในตัวและการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับความต้องการของท้องถิ่นหรือการระบุมาตรฐาน อย่างไรก็ตามสมการดังกล่าวทั้งหมด ประกอบด้วยกำลัง 4 อย่างรวมกัน คือ

- กำลังที่ใช้ขบสายพานเปล่าให้เคลื่อนที่โดยเอาชนะความเสียดทานขณะไม่มีภาระ
- กำลังที่ใช้ขบสายพานขณะบรรทุกให้เคลื่อนที่โดยเอาชนะความเสียดทานขณะบรรทุก
- กำลังขณะเพิ่มหรือลดน้ำหนักบรรทุก
- ความเสียดทานจากอุปกรณ์สนับสนุน เช่น แผ่นกั้น (Skirts) คราด (Scrapers) Trippers เป็นต้น

สมการทั้งหมดยังรวมแฟกเตอร์ความเสียดทานสำหรับหมุนลูกกลิ้งและการแอนตัวของสายพานต่อน้ำหนักบรรทุก ซึ่งค่าดังกล่าวยังมีความเห็นแตกต่างกันว่าควรจะเป็นค่าคงที่หรือฟังก์ชันของความเร็วสายพานการรับน้ำหนักบรรทุก หรือความยาวสายพาน

## สมการกำลังของ CEMA

$$BeltHP = \{L[k_t + (K_x + K_y W_b + 0.015W_b)] + K_x LW_m + HW_m\} \times \frac{S}{33000} \quad (3.8)$$

- เมื่อ
- L = ความยาว (ฟุต)
  - H = ระยะยกของสายพาน (ฟุต)
  - W<sub>b</sub> = น้ำหนักของสายพาน (ปอนด์ต่อความยาวสายพาน 1 ฟุต)
  - W<sub>m</sub> = น้ำหนักของวัสดุขนถ่าย (ปอนด์ต่อความยาวสายพาน 1 ฟุต)
  - S = ความเร็วสายพาน (ฟุตต่อนาที)
  - K<sub>t</sub> = แฟคเตอร์อุณหภูมิ (ไม่มีหน่วย)
  - K<sub>x</sub> = แฟคเตอร์ความต้านทานการหมุนลูกกล
  - K<sub>y</sub> = แฟคเตอร์ความต้านทานการเคลื่อนที่ของสายพานและวัสดุ (ไม่มีหน่วย)

CEMA ได้จัดทำแผนภูมิและตารางค่าแฟคเตอร์ K<sub>t</sub>, K<sub>x</sub> และ K<sub>y</sub> ไว้ในหนังสือ Belt Conveyors for Bulk Materials

สมการกำลังม้าของสายพาน (Belt Horsepower) ตามมาตรฐาน DIN 22101 คือ

$$N = \frac{CfL}{270} (3.6G_m V + Q_t) + \left( -\frac{Q_r H}{270} \right) \quad \text{หน่วย กำลังม้าเมตริก (PS)} \quad (3.9)$$

- เมื่อ
- C = แฟคเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับความยาวสายพาน
  - f = ค่าความเสียดทานลูกกลิ้ง
  - L = ความยาวสายพาน (เมตร)
  - G<sub>m</sub> = น้ำหนักสายพานทั้งหมดบวกน้ำหนักลูกกลิ้งทั้งหมด (กิโลกรัมต่อสายพาน 1 เมตร)
  - V = ความเร็วสายพาน (เมตรต่อวินาที)
  - Q<sub>t</sub> = ปริมาณขนถ่าย (ตันต่อชั่วโมง)
  - H = ระยะยกของสายพาน (เมตร)

โดย  $C = \frac{L + L_0}{L}$  สมการของ DIN จะคล้ายกับสมการ Goodyear

$$BeltHP = \frac{f(L + L_0)}{270} \times (3.6G_m V + Q_t) + \left( -\frac{Q_r H}{270} \right) \quad \text{หน่วยเมตริก} \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$BeltHP = \frac{f(L + L_0)}{990} \times (0.03G_m V + Q_r) + \left( -\frac{Q_r H}{990} \right) \text{หน่วยอังกฤษ} \quad (3.11)$$

$L_0$  เป็นค่าแฟคเตอร์ความยาวเทียบเท่าหน่วยฟุตซึ่งได้รวมความเสียดทานคงที่ของล้อสายพานไว้ด้วยแล้ว เนื่องจากไม่สามารถนำตารางและกราฟ สำหรับค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานต่างๆที่ใช้ในการแก้สมการกำลังของ CEMA และ DIN นำมาบรรจุไว้ในที่นี้ได้ แต่จะพิจารณาการหาลำเลียงสายพานและแรงดึงสายพานโดยใช้วิธีของ Goodyear Handbook of Conveyor and Elevator Belting ซึ่งใช้ตารางข้อมูลน้อยกว่ามากผู้ผลิตสายพานลำเลียงจำนวนมาก จะใช้คอมพิวเตอร์ในการแก้สมการแรงดึงและสมการกำลังขับเพื่อลดความยุ่งยากในการคำนวณสำหรับวิศวกรสนามจำเป็นต้องมีการคำนวณหาแรงดึงสายพานอย่างคร่าวๆดังนั้น Goodyear จึงได้พัฒนาวิธีพลอตกราฟหาแรงดึงตามความยาวของสายพานขึ้น ซึ่งจะได้ออกค่าถึงสมการของ Goodyear โดยละเอียดต่อไปนี้

### สมการ Goodyear

$$\text{กำลังม้า} = \frac{T_E \times S}{33000} + \text{Accessories} \quad (3.12)$$

- เมื่อ
- $T_E$  = แรงดึงใช้งานหรือแรงดึงสายพานที่ล้อสายพานขับ (ปอนด์)
  - $C$  = แฟคเตอร์ความเสียดทาน
  - $L$  = ความยาวสายพานลำเลียง(ฟุต) (คิดความยาวระหว่าง จุดศูนย์กลางของล้อสายพาน)
  - $L_0$  = ความยาวเทียบเท่า (ฟุต)
  - $Q$  = แฟคเตอร์น้ำหนัก(ปอนด์ต่อระยะขนถ่าย 1 ฟุต) แสดงถึงน้ำหนักของส่วนที่เคลื่อนที่ของสายพานลำเลียง
  - $T$  = อัตราขนถ่าย(Short Tons ต่อชั่วโมง หรือ 2000 ปอนด์ต่อชั่วโมง)
  - $S$  = ความเร็วสายพาน(ฟุตต่อนาที)
  - $H$  = ระยะยกขึ้นของการลำเลียง(ฟุต)

$$\frac{100T}{3 : S} = \text{น้ำหนักของวัตถุที่บรรทุกอยู่บนสายพาน (ปอนด์ต่อฟุต)}$$

สำหรับหน่วยเมตริก

- $T$  = ตันต่อชั่วโมง
- $Q$  = กิโลกรัมต่อเมตร
- $H, L$  = เมตร
- $S$  = เมตรต่อวินาที
- $T_E$  = กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น สมการของ Goodyear จึงกลายเป็น

$$T_E = C(L + L_0) \left( Q + \frac{T}{3.6S} \right) + \left( -\frac{T}{3.6S} \right) \quad (3.13)$$

$$N(HP) = \frac{T_E \times S}{75} + Accessories$$

### 3.25 ค่าต่างๆสำหรับแฟคเตอร์น้ำหนักและน้ำหนักสายพาน

ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสายพาน ( $B_w$ ) และแฟคเตอร์น้ำหนัก ( $Q$ ) สำหรับความกว้างสายพานแบบชั้น (Ply - Type) ขนาดต่างๆดังตารางที่ ก.2 แสดงค่าเฉลี่ยสำหรับสายพานแบบชั้น ดังนั้นค่าเหล่านี้จึงไม่ควรนำไปใช้กับสายพานแบบลวดเหล็ก (Steel Cable) เนื่องจากทั้งค่า ( $B_w$ ) และ  $Q$  โดยทั่วไปจะสูงเกินไป การคำนวณค่า  $Q$  ที่ถูกต้องจะต้องได้รับการพิจารณาก่อนเสมอในทุกๆกรณีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีต่อไปนี้

- ระดับของอุปกรณ์ขนถ่ายที่ซึ่งทำให้แรงดึงสายพานและกำลังม้าที่เกิดขึ้นในช่วงแรกเนื่องจากความเสียดทาน
- ความกว้างสายพานที่ทำให้ค่าประมาณของ  $Q$  และ  $B_w$  เปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่แท้จริงมาก
- ในกรณีที่น้ำหนักจริงของสายพานที่เลือกใช้แตกต่างจากน้ำหนักเฉลี่ยข้างต้นเกินกว่า 20 % ให้เปลี่ยนค่า  $Q$  และคำนวณค่าแรงดึงสายพานใหม่
- อุปกรณ์ขนถ่ายที่ใช้สายพานลวดเหล็ก (Steel Cable)

ค่า  $Q$  สามารถคำนวณค่าสำหรับใช้กับสายพานและลูกกลิ้งได้ดังนี้

$$Q = 2B_w + \left( \frac{W_1}{I_1} \right) + \left( \frac{W_2}{I_2} \right) \quad (3.14)$$

- เมื่อ
- $Q$  = แฟคเตอร์น้ำหนัก (ปอนด์ต่อฟุต)
  - $B_w$  = น้ำหนักสายพาน (ปอนด์ต่อฟุต)
  - $W_1, W_2$  = น้ำหนักของชิ้นส่วนที่หมุนของลูกกลิ้งลำเลียงและลูกกลิ้งด้านกลับ (ปอนด์)
  - $I_1, I_2$  = ระยะห่างของลูกกลิ้งลำเลียงและลูกกลิ้งด้านกลับแต่ละชุด (ฟุต)

### 3.26 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้น คือปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ ปริมาณความชื้นในวัสดุ สามารถแสดงได้ 2 แบบคือ

3.26.1 ความชื้นมาตรฐานเปียก  $M_{wb}$  โดยทั่วไปปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุอบแห้งจะนิยมในรูปของอัตราส่วนของน้ำต่อมวลทั้งหมดนั่นคือใช้มวลของวัสดุขึ้นเป็นมาตรฐานของการคำนวณหาค่าความชื้นซึ่งเป็นการหาความชื้นมาตรฐานเปียก

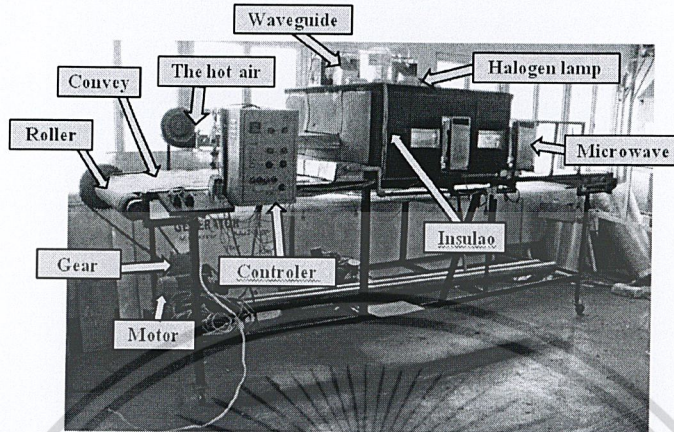
$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก} = \frac{\text{น้ำหนักวัสดุก่อนอบ} - \text{น้ำหนักวัสดุหลังอบ}}{\text{น้ำหนักวัสดุก่อนอบ}} \times 100 \quad (3.15)$$

3.26.2 ความชื้นมาตรฐานแห้ง  $M_{db}$  ความชื้นมาตรฐานแห้งคือมวลของความชื้นในวัสดุต่อหน่วยมวลของเนื้อวัสดุแห้งในกระบวนการอบแห้งมวลของวัสดุขึ้นจะเปลี่ยนค่าอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงเป็นการสะดวกกว่าที่จะใช้มวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานในการคำนวณหาความชื้นมาตรฐานแห้ง ความชื้นในมาตรฐานเปียกจะมีค่าไม่เกินร้อยละเปอร์เซ็นต์เสมอนิยมใช้กันทั่วไปทางการเกษตรและวงการค้าแต่ความชื้นแบบมาตรฐานแห้งอาจจะมีค่าเกินร้อยละได้นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งในทางทฤษฎี

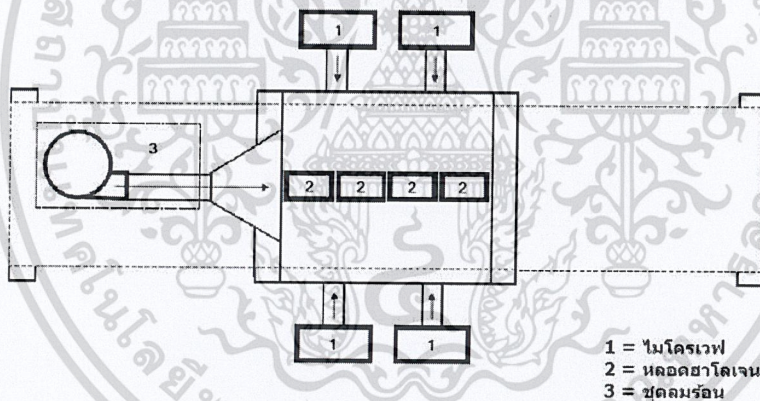
$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักวัสดุก่อนอบ} - \text{น้ำหนักวัสดุหลังอบ}}{\text{น้ำหนักวัสดุหลังอบ}} \times 100 \quad (3.16)$$

## บทที่ 4

### การออกแบบและวิธีการดำเนินงาน



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอบไม้อัล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจนและลมร้อน



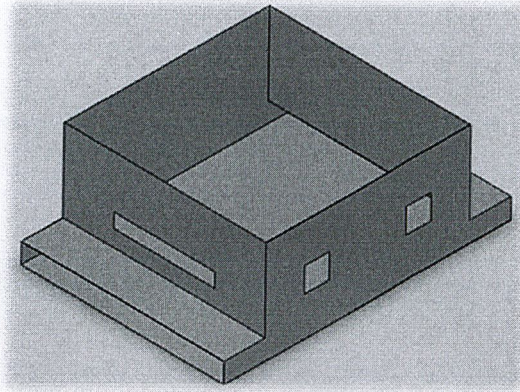
รูปที่ 4.2 แผนภาพของเครื่องอบไม้อัล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน

#### 4.1 การออกแบบ

##### 4.1.1 ห้องอบไมโครเวฟ

ออกแบบห้องอบไมโครเวฟเป็นห้องสี่เหลี่ยมขนาด  $50 \times 100 \times 100$  ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำจาก สแตนเลสชนิด 316 หนา 1 มิลลิเมตร โดยต้องเจาะช่องสี่เหลี่ยมขนาด  $12 \times 12$  เซนติเมตร ที่ด้านข้าง 2 ช่อง และฝา 2 ช่อง เพื่อติดตั้งเครื่องไมโครเวฟ โดยทางเข้าออกห้องอบมีความสูง 10 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ห้องอบไมโครเวฟ

#### 4.1.2 ไมโครเวฟ

ใช้เครื่องไมโครเวฟ ยี่ห้อ SAMSUNG รุ่น MS103HCE จำนวน 4 เครื่อง ความถี่ 2450 MHz โดยติดตั้งไมโครเวฟด้านข้าง 2 เครื่อง และด้านบน 2 เครื่อง เพื่อให้คลื่นกระจายได้ทั่วถึง โดยออกแบบ Waveguide เพื่อใช้เป็นท่อนำคลื่นระหว่างเครื่องไมโครเวฟเข้าสู่ห้องอบไมโครเวฟ

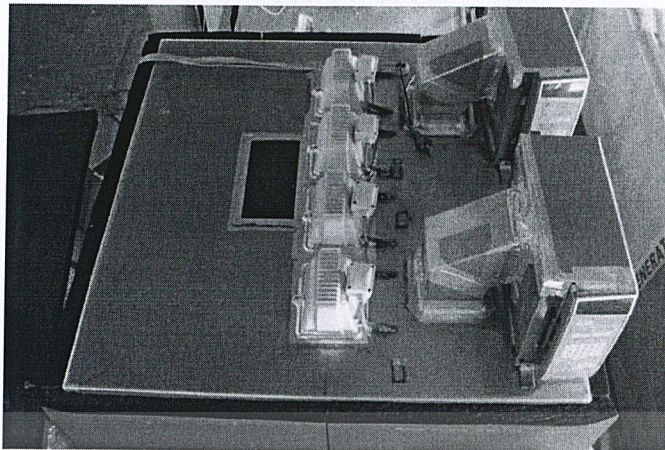


รูปที่ 4.4 ตำแหน่งการวางไมโครเวฟและWaveguide

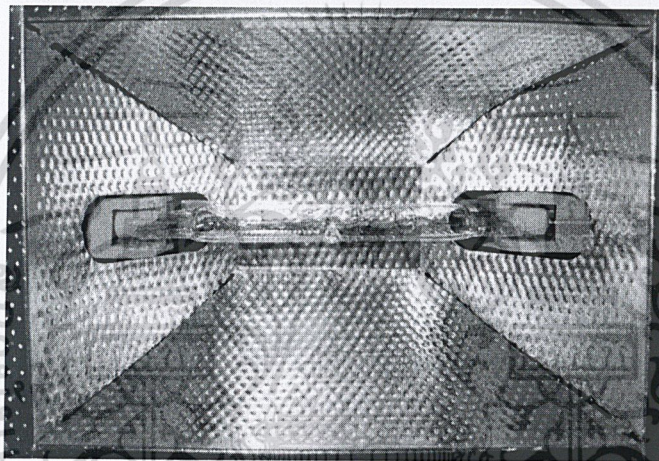
#### 4.1.3 หลอดฮาโลเจน

ใช้คอมพลัดไลท์ ยี่ห้อ Micron M-113 500W ติดหลอด Tungsten Halogen ยี่ห้อ PHILIPS Halogen 500W จำนวน 4 หลอด พลังงาน 500 W โดยติดตั้งหลอดฮาโลเจนด้านบนกลางตู้อบ เพื่อให้ความร้อนจากหลอดกระจายทั่วตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



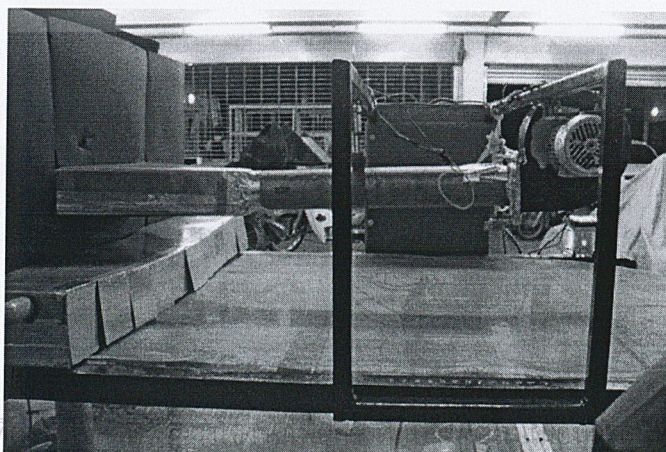
รูปที่ 4.5 ตำแหน่งการวางหลอดฮาโลเจน



รูปที่ 4.6 โคมฟลัดไลท์และหลอดฮาโลเจน

#### 4.1.4 ชุดเป่าลมร้อน

ชุดเป่าลมร้อน ใช้ Heater ขนาด 5000W ติดตั้งในท่อขนาด 2.5 นิ้ว ต่อกับโบลเวอร์ ยี่ห้อ MANDA MDYA-80 ปลายท่อเป็นทรงพีระมิดสี่เหลี่ยมทำจากแผ่นสแตนเลสหนา 1 มิลลิเมตร เพื่อให้กระจายความร้อนทั่วตู้อบ และติดแผ่นครีบเพื่อให้ไม้ที่อบได้รับความร้อนจากลมมากขึ้น

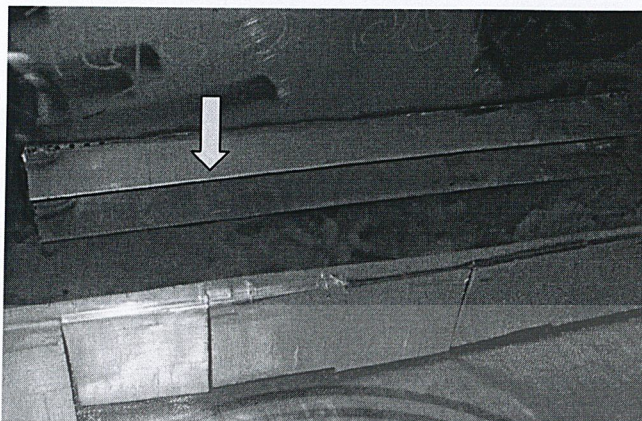


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่

นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### รูปที่ 4.7 ตำแหน่งการวางชุดเป่าลมร้อน



รูปที่ 4.8 แผ่นcribอลูมิเนียม

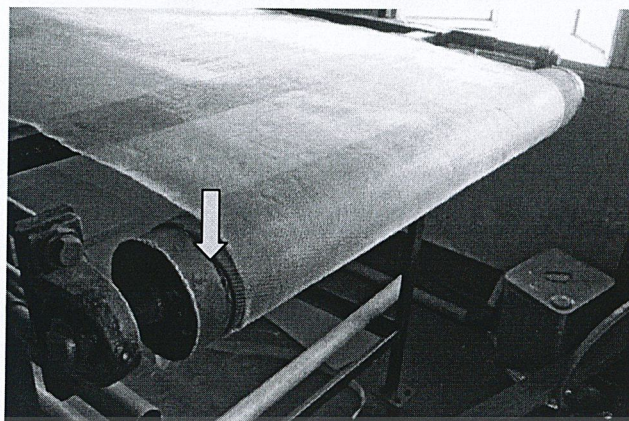
#### 4.1.5 สายพานลำเลียง

สายพานลำเลียงจะเป็นตัวลำเลียงไม้เข้าสู่ห้องอบ โดยสายพานลำเลียงที่ใช้ทำจากมุงลวดอลูมิเนียมมีขนาดหน้ากว้าง 90 เซนติเมตร ซึ่งสามารถนำเข้าไมโครเวฟได้และทนความร้อนจากหลอดไฟฮาโลเจนได้ดีกว่าสายพานในลอนสีฟ้า โดยชุดลูกกลิ้งขับเคลื่อนสายพานลำเลียงมีขนาดพื้นที่หน้าตัด 4 นิ้ว เพลาลูกกลิ้งที่เชื่อมต่อกับตลับลูกปืนมีขนาด 32 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.9 สายพานลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ชุดลูกกลิ้งขับเคลื่อนสายพานลำเลียง

#### 4.1.6 ชุดขับเคลื่อนสายพาน

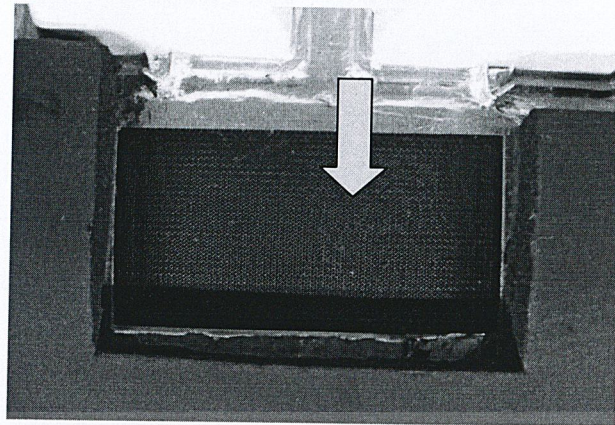
ใช้มอเตอร์ 3 เฟส ยี่ห้อ CAE, Type Y100L1-4, 3 HP, 2.2 KW, 50 Hz, 1420 rev/min เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนผ่านพูลี่และสายพานร่อนวีเข้าสู่เกียร์ทดรอบ Type TKB70 Ratio 1:60 จากเฟืองเกียร์ทดรอบ 14 ฟัน เข้าสู่เฟืองของลูกกลิ้ง 46 ฟัน โดยใช้โซ่เป็นตัวขับเคลื่อน โดยจากการทดรอบทั้งหมดจะทำให้ลูกกลิ้งขับเคลื่อนสายพานลำเลียงมีความเร็ว 5 rev/min ซึ่งสามารถควบคุมให้สายพานลำเลียงเคลื่อนที่ไปทางซ้ายและขวาได้โดยใช้ Magnetic Contactor ควบคุมการกลับทิศทางของมอเตอร์



รูปที่ 4.11 ชุดขับเคลื่อนสายพานลำเลียง

#### 4.1.7 ช่องระบายไอน้ำ

ได้ทำการเจาะเป็นช่องสี่เหลี่ยมที่ฝาของตู้อบไมโครเวฟเพื่อใช้ระบายไอน้ำที่ระเหยจากกระบวนการอบ โดยจะนำแผ่นลูกกรงฟาราเดย์มาปิดตรงช่องเพื่อไม่ให้คลื่นรั่วออกสู่ภายนอก



รูปที่ 4.12 ช่องระบายไอน้ำ

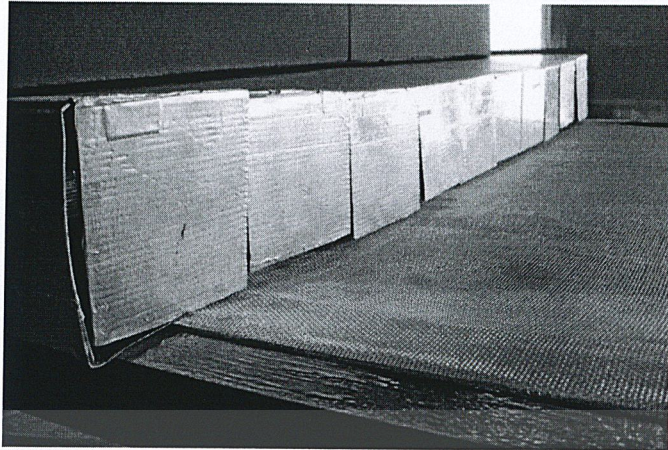
#### 4.1.8 อุปกรณ์ช่วยป้องกันการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟออกสู่ภายนอก

ออกแบบโดยใช้แผ่นพรอยด์ (ด้านใน) ปิดกั้นทางเข้าออกของตู้ไมโครเวฟโดยแผ่นพรอยด์สามารถปิด/เปิดได้เมื่อมีการลำเลียงไม้เข้าออก และจะนำแผ่นพรอยด์มาติดไว้ที่ด้านนอกของทางเข้าออกอีกชั้นหนึ่งเพื่อป้องกันคลื่นที่เล็ดลอดผ่านพรอยด์ด้านในออกมา โดยระหว่างแผ่นพรอยด์จะติดตั้งท่อน้ำเพื่อบรรจุน้ำซึ่งช่วยดูดคลื่นคลื่นไมโครเวฟที่รั่วออกมา โดยท่อน้ำเป็นวัสดุที่ยอมให้คลื่นไมโครเวฟทะลุผ่านได้

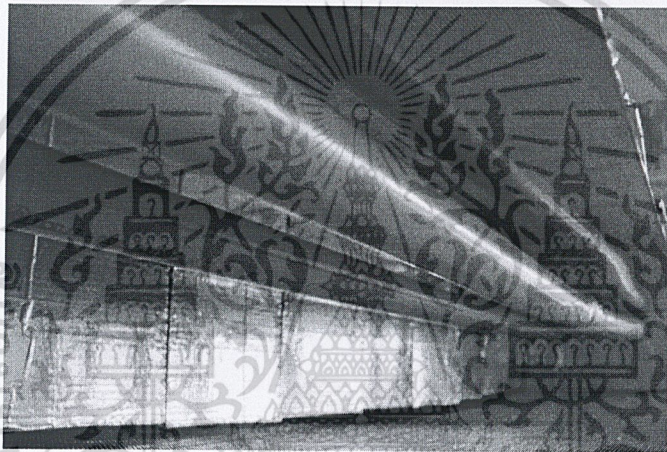


รูปที่ 4.13 แผ่นพรอยด์ป้องกันการคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล (ด้านใน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แผ่นพรอยด์ป้องกันคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล (ด้านนอก)

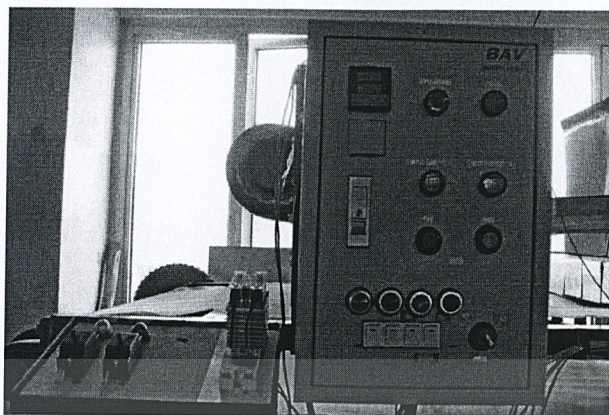


รูปที่ 4.15 ท่อน้ำช่วยดูดคลื่นคลื่นที่รั่วไหลออกจากห้องอบไมโครเวฟ

#### 4.2 หลักการทำงานของเครื่องอบไม้ป่าลมด้วยคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียง

- 1.วางไม้ตรงทางเข้าของเครื่อง
- 2.กดสวิตซ์ให้สายพานลำเลียงไม้เข้าภายในตู้อบ เมื่อไม้เข้าสู่ตู้อบในตำแหน่งที่ต้องการแล้วกดสวิตซ์หยุดสายพาน
- 3.ปรับระดับพลังงานที่ใช้อบและเวลาที่ต้องการอบไม้
  - 3.1การอบด้วยไมโครเวฟ ปรับระดับพลังงานไมโครเวฟและเวลาที่ต้องการอบที่เครื่องไมโครเวฟ จากนั้นกดปุ่ม STARTเมื่อไมโครเวฟทำงานเสร็จจะส่งเสียงเตือน
  - 3.2การอบด้วยหลอดฮาโลเจน ปรับระดับอุณหภูมิที่ต้องการอบบนตู้ Control กดเปิดไฟจะมีไฟแสดงหลอดฮาโลเจนทำงาน
  - 3.3การอบด้วยลมร้อน ปรับระดับอุณหภูมิที่ต้องการอบบนตู้ Control เปิดสวิตซ์ควบคุมโบลเวอร์
- 4.เมื่อทำการอบเสร็จแล้ว กดสวิตซ์ให้สายพานลำเลียงไม้ออกจากตู้อบ
- 5.อบไม้จนกว่าจะได้ไม้ที่มีความชื้นอยู่ระหว่าง 12 – 20 %

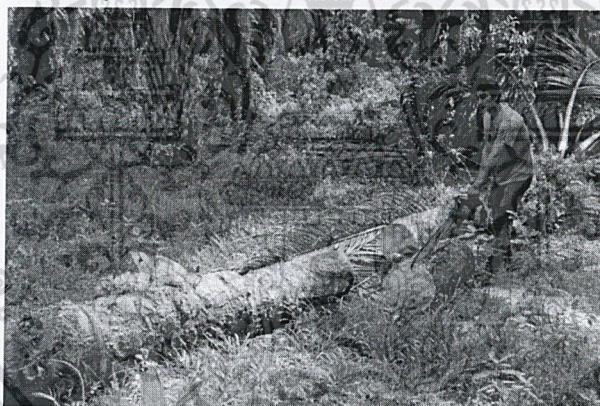
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ตู้ Control ควบคุมสายพานลำเลียง มอเตอร์ หลอดฮาโลเจน ชุดเป่าลมร้อน และจอแสดงค่าอุณหภูมิภายในตู้อบ

#### 4.3 การทดลองอบไม้ปาถ์มด้วยเครื่องอบไม้ปาถ์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน

1. ตัดต้นปาถ์มจากโคนสูงขึ้นไปไม่เกิน 3 เมตร



รูปที่ 4.17 ตัดต้นปาถ์มจากโคนสูงขึ้นไปไม่เกิน 3 เมตร

2. เลื่อยไม้ในลักษณะ cobweb sawing



รูปที่ 4.18 ลักษณะการเลื่อยแบบ Cobweb Sawing

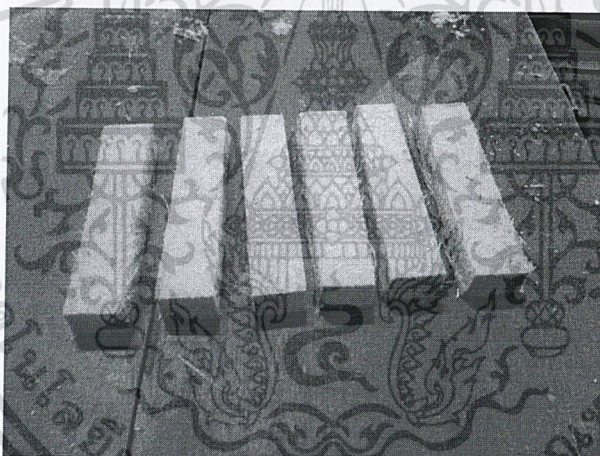
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แช่น้ำก่อนการทดลอง



รูปที่ 4.19 การแช่ไม้ก่อนการทดลอง

4. เลื่อยไม้ให้ได้ขนาด  $1.5 \times 2 \times 10$  ลูกบาศก์นิ้ว ก่อนนำเข้าอบ



รูปที่ 4.20 ไม้ขนาด  $1.5 \times 2 \times 10$  ลูกบาศก์นิ้ว ที่ใช้ทดลอง

5. อบไม้ด้วย Hot Air Oven ที่อุณหภูมิ  $105^{\circ}\text{C}$  72 ชั่วโมง เพื่อหาความชื้นเริ่มต้นของไม้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 4.21 การอบไม้เพื่อหาความชื้นเริ่มต้น กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. ชั่งน้ำหนักไม้ก่อนการอบ



รูปที่ 4.22 ชั่งน้ำหนักไม้ก่อนการอบ

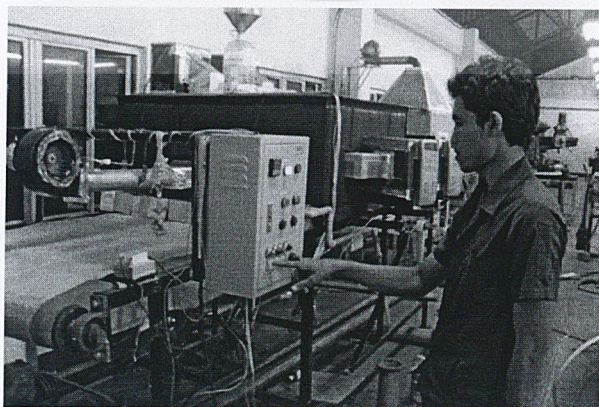
## 7. อบไม้ด้วยเครื่องอบไม้ป่าลัมด้วยคลื่นไมโครเวฟ หลอดฮาโลเจน และลมร้อน

7.1 อบไม้ป่าลัมด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600 W (หัวละ 400W) ทุกๆ 20 นาที ทำการชั่งน้ำหนัก และวัดอุณหภูมิที่ผิวไม้



รูปที่ 4.23 การอบไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟ

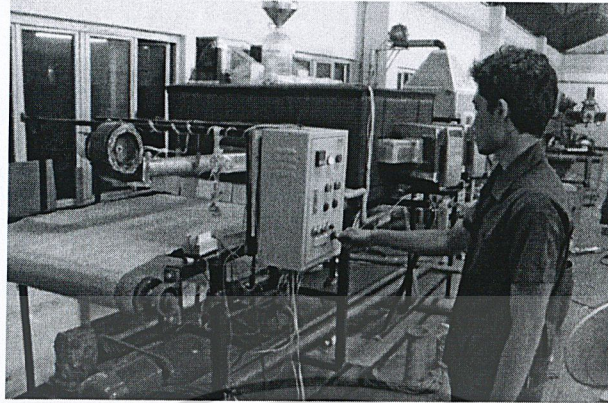
7.2 อบไม้ป่าลัมด้วยหลอดฮาโลเจนที่อุณหภูมิ 50, 70, 90 °C ตามลำดับ ทุกๆ 1 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักและวัดอุณหภูมิที่ผิวไม้



รูปที่ 4.24 การอบไม้ด้วยคลื่นหลอดฮาโลเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 ออบไม้ปาล์มด้วยลมร้อนความเร็วลม 2.2 m/s ที่อุณหภูมิ 65, 70, 90 °C ตามลำดับ ทุกๆ 1 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักและวัดอุณหภูมิที่ผิวไม้



รูปที่ 4.25 การอบไม้ด้วยลมร้อน



รูปที่ 4.26 การลำเลียงไม้เข้าเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ หลอดฮาโลเจน และลมร้อน

8. วัดอุณหภูมิที่ผิวไม้และชั่งน้ำหนักหลังอบ โดยให้ไม้มีความชื้นหลังอบอยู่ระหว่าง 12 - 20 %



รูปที่ 4.27 วัดอุณหภูมิที่ผิวไม้

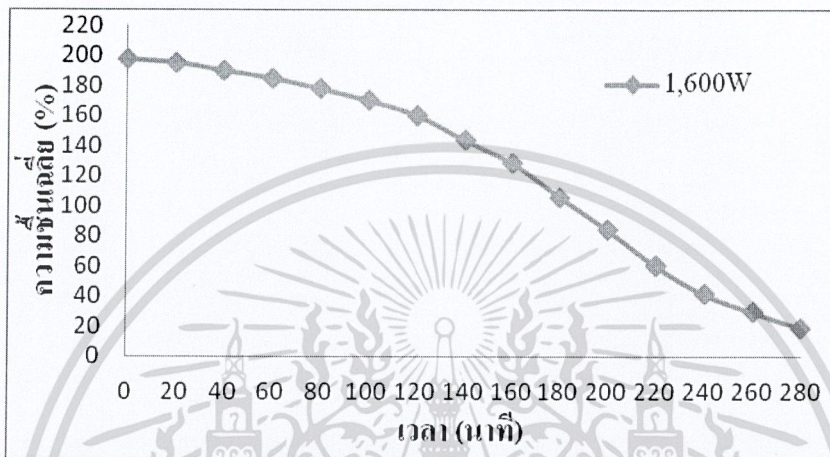
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

#### 5.1 ผลการทดลองอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ หลอดฮาโลเจน และลมร้อน

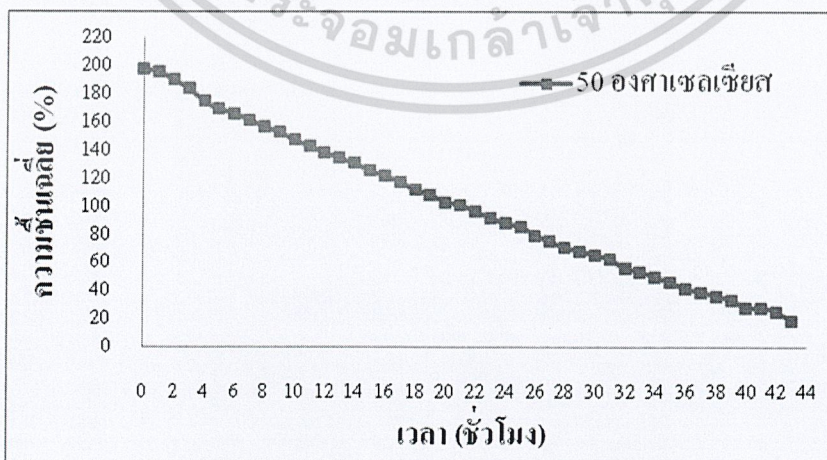
##### 5.1.1 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 5.1 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วย ที่พลังงาน 1,600 W (หัวละ 400 W)

จากรูปที่ 5.1 เมื่อทำการชั่งน้ำหนัก ทุกๆ 20 นาที พบว่าความชื้นของไม้จะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งที่เวลา 120-240 นาที ความชื้นของไม้จะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยที่เวลา 280 นาที ความชื้นของไม้มีค่าอยู่ระหว่าง 12-20%

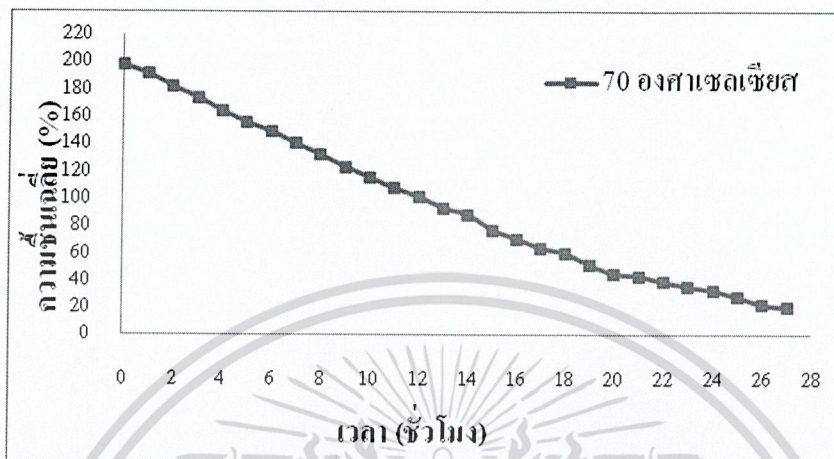
##### 5.1.2 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยหลอดฮาโลเจน



รูปที่ 5.2 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยหลอดฮาโลเจนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

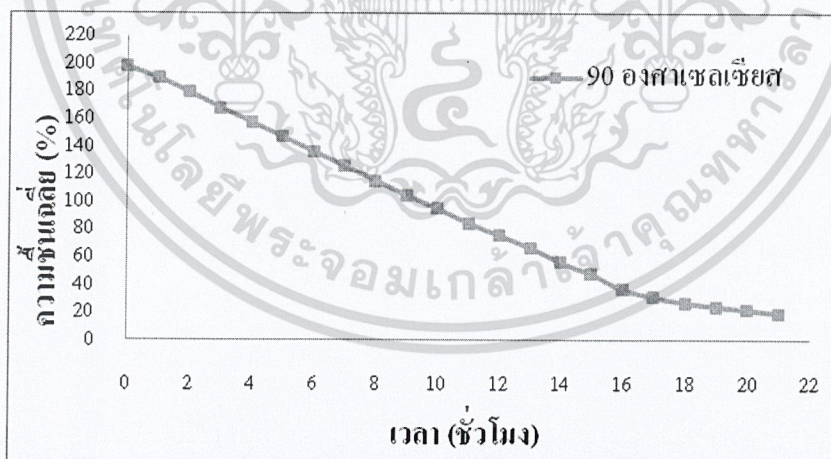
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.2 เมื่อทำการชั่งน้ำหนัก ทุกๆ 1 ชั่วโมง พบว่าความชื้นของไม้จะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งที่เวลา 4-5 ชั่วโมง ความชื้นของไม้จะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยที่เวลา 43 ชั่วโมง ความชื้นของไม้มีค่าอยู่ระหว่าง 12-20%



รูปที่ 5.3 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยหลอดฮาโลเจนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

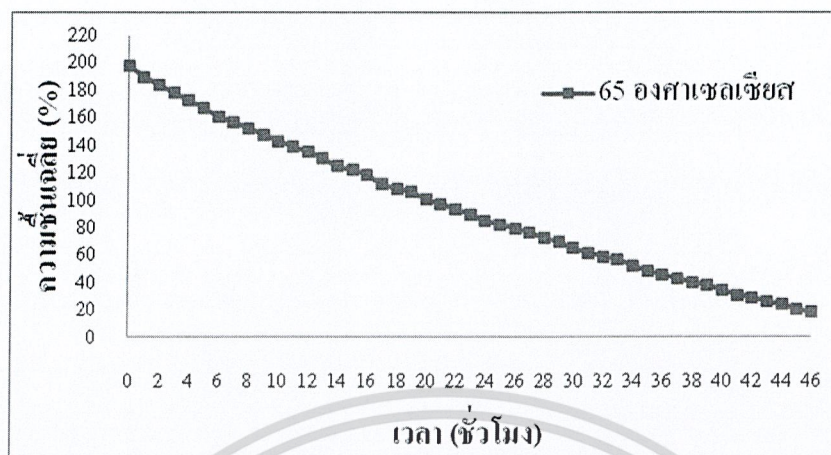
จากรูปที่ 5.3 เมื่อทำการชั่งน้ำหนัก ทุกๆ 1 ชั่วโมง พบว่าความชื้นของไม้จะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งที่เวลา 3-4 ชั่วโมง ความชื้นของไม้จะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยที่เวลา 27 ชั่วโมง ความชื้นของไม้มีค่าอยู่ระหว่าง 12-20%



รูปที่ 5.4 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยหลอดฮาโลเจนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

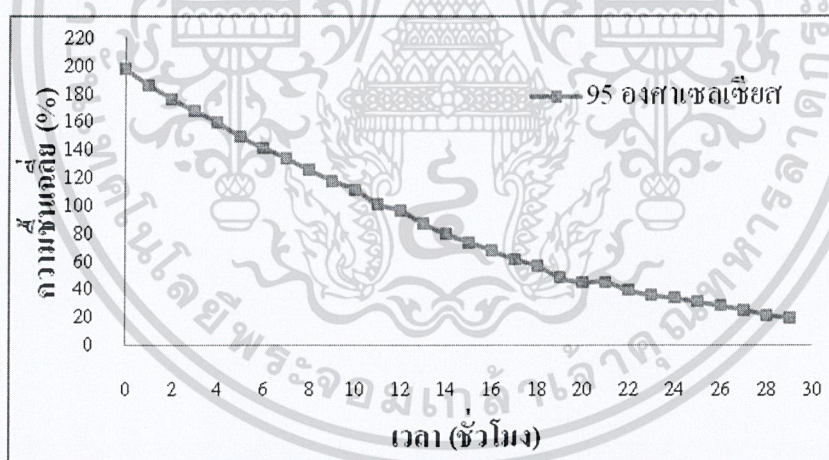
จากรูปที่ 5.4 เมื่อทำการชั่งน้ำหนัก ทุกๆ 1 ชั่วโมง พบว่าความชื้นของไม้จะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งที่เวลา 7-8 ชั่วโมง ความชื้นของไม้จะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยที่เวลา 21 ชั่วโมง ความชื้นของไม้มีค่าอยู่ระหว่าง 12-20%

### 5.1.3 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยลมร้อน ที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที



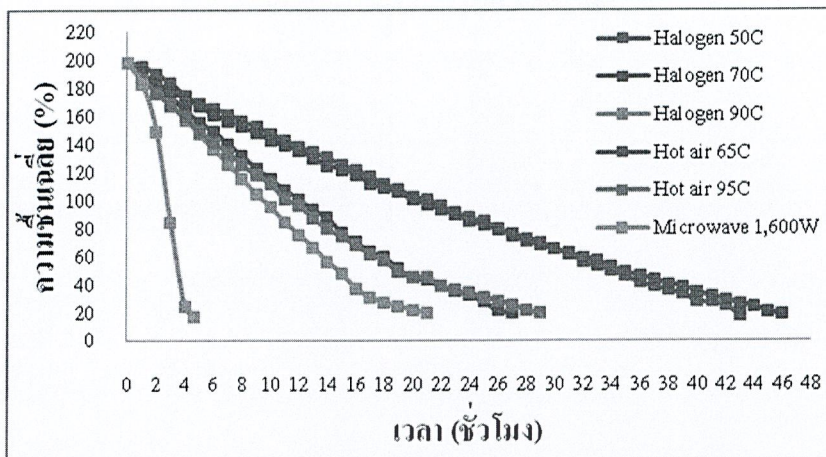
รูปที่ 5.5 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยลมร้อน อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 5.5 เมื่อทำการชั่งน้ำหนัก ทุกๆ 1 ชั่วโมง พบว่าความชื้นของไม้จะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งที่เวลา 5-6 ชั่วโมง ความชื้นของไม้จะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยที่เวลา 46 ชั่วโมง ความชื้นของไม้มีค่าอยู่ระหว่าง 12-20%



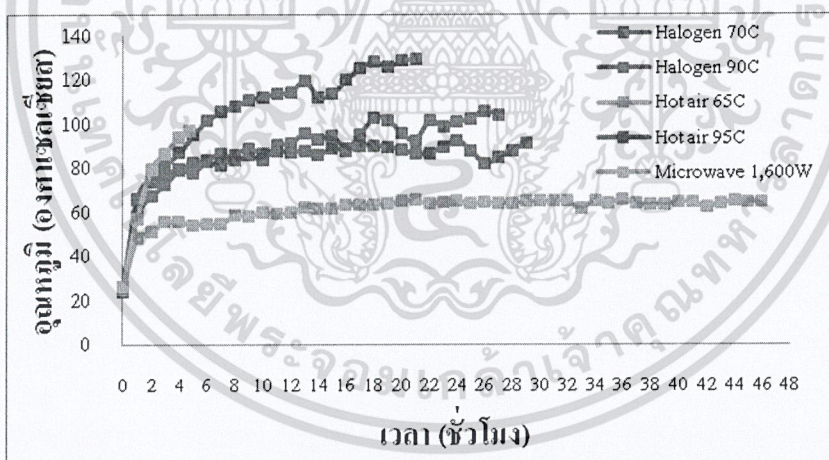
รูปที่ 5.6 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยลมร้อน อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 5.6 เมื่อทำการชั่งน้ำหนัก ทุกๆ 1 ชั่วโมง พบว่าความชื้นของไม้จะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งที่เวลา 4-5 ชั่วโมง ความชื้นของไม้จะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยที่เวลา 29 ชั่วโมง ความชื้นของไม้มีค่าอยู่ระหว่าง 12-20%



รูปที่ 5.7 ความชื้นเฉลี่ยต่อเวลาในการอบไม้ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน

รูปที่ 5.7 การอบด้วยเครื่องอบไม้ป่าลัมด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน จนได้ความชื้นเฉลี่ยที่ 12-20% การอบด้วยไมโครเวฟใช้เวลา 4.40 ชั่วโมง การอบด้วยหลอดฮาโลเจน 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียสใช้เวลา 43, 27 และ 21 ชั่วโมง ตามลำดับและการอบด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 65 และ 95 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบที่ 46 และ 29 ชั่วโมง ตามลำดับ

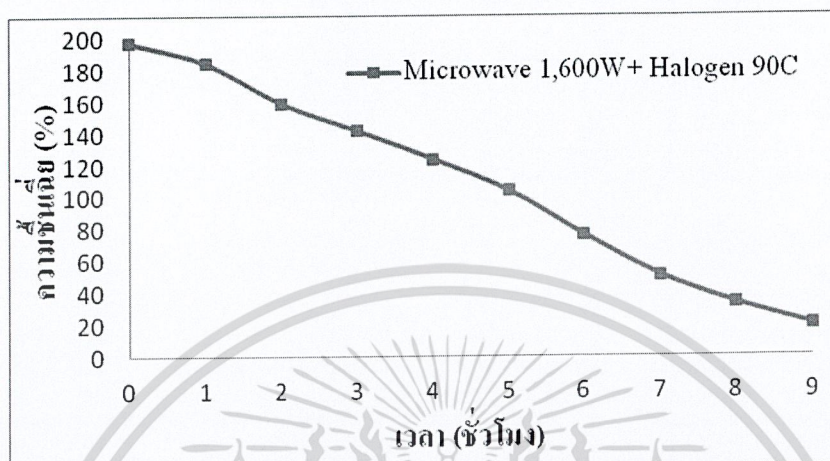


รูปที่ 5.8 อุณหภูมิต่อเวลาในการอบไม้ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน

รูปที่ 5.8 การอบไม้ป่าลัมด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน โดยการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวไม้เพิ่มสูงขึ้น โดยใช้เวลาน้อยกว่าการอบด้วยหลอดฮาโลเจน และการอบด้วยลมร้อน

## 5.2 ผลการทดลองอบไม้ปาถ์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน

### 5.2.1 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน

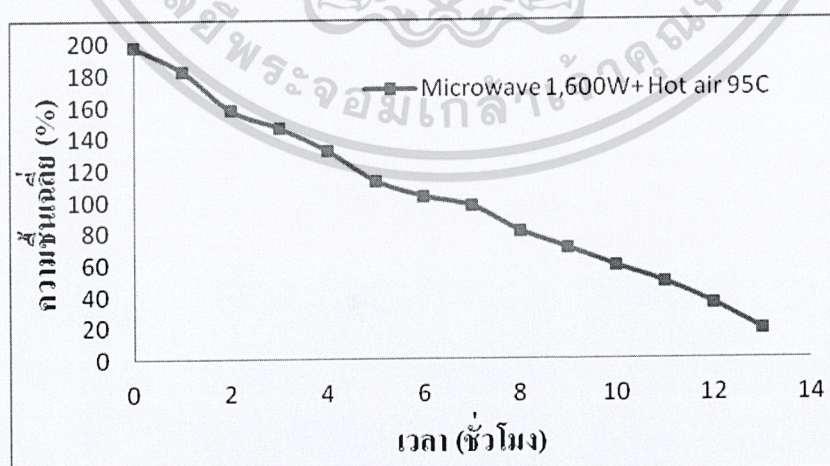


รูปที่ 5.9 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับหลอดฮาโลเจน

อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 5.9 เมื่อทำการชั่งน้ำหนัก ทุกๆ 1 ชั่วโมง พบว่าความชื้นของไม้จะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งที่เวลา 1-2 ชั่วโมง ความชื้นของไม้จะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยที่เวลา 9 ชั่วโมง ความชื้นของไม้มีค่าอยู่ระหว่าง 12-20%

### 5.2.2 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

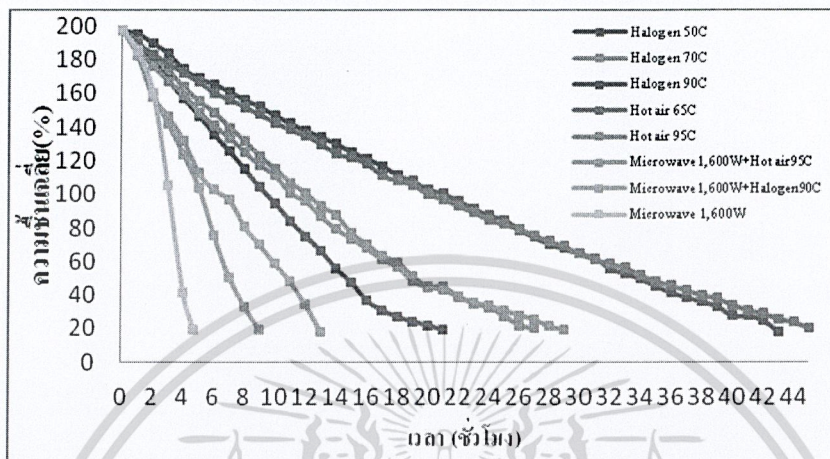


รูปที่ 5.10 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบในตู้อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับลมร้อน

อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.10 เมื่อทำการชั่งน้ำหนัก ทุกๆ 1 ชั่วโมง พบว่าความชื้นของไม้จะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งที่เวลา 1-2 ชั่วโมง ความชื้นของไม้จะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยที่เวลา 13 ชั่วโมง ความชื้นของไม้มีค่าอยู่ระหว่าง 12-20%

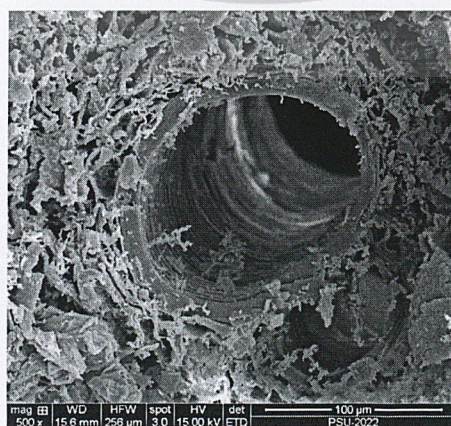


รูปที่ 5.11 ความชื้นเฉลี่ยต่อเวลาในการอบไม้ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน

รูปที่ 5.11 การอบด้วยเครื่องอบไม้ป่าล้มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน จนได้ความชื้นเฉลี่ยที่ 12-20% การอบด้วยไมโครเวฟที่ความถี่ 1,600W ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 9 ชั่วโมง และการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 1,600W ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบที่ 14 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการอบทั้งหมด

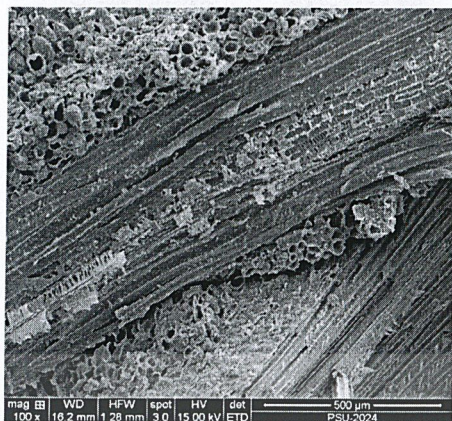
### 5.3 วิเคราะห์ภาพไม้ที่ผ่านการอบ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM)

#### 5.3.1 ภาพจากไม้ที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W



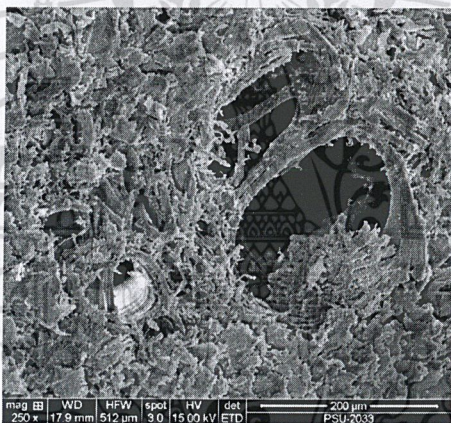
รูปที่ 5.12 ท่อลำเลียงน้ำหลังจากการอบ (ไมโครเวฟ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 ลักษณะเส้นไม้หลังจากการอบ (ไมโครเวฟ)

### 5.3.2 ภาพจากไม้ที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.14 ท่อลำเลียงน้ำหลังจากการอบ (หลอดฮาโลเจน)



รูปที่ 5.15 ลักษณะเส้นไม้หลังจากการอบ (หลอดฮาโลเจน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.2 ภาพจากไม้ที่อบด้วย Hot air oven อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส

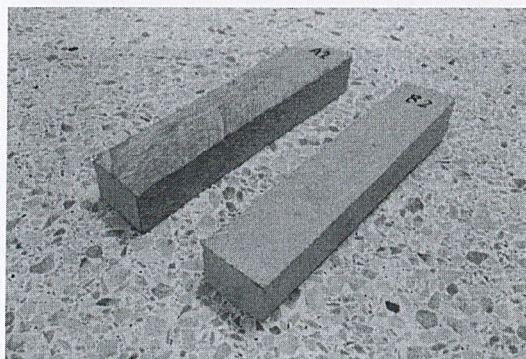


รูปที่ 5.16 ท่อลำเลียงน้ำหลังจากการอบ (ลมร้อน)

จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) เส้นของไม้ที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ และ Hot air oven บิดเบี้ยวไป จึงทำให้ไม้ที่อบหดตัว และบิดงอ แต่เส้นไม้ที่ผ่านการอบด้วยหลอดฮาโลเจนยังคงสภาพเดิม ไม่เกิดการบิดงอ จึงทำให้ไม้ที่อบด้วยหลอดฮาโลเจนไม่เกิดการบิดงอ และมีสภาพสวยงาม

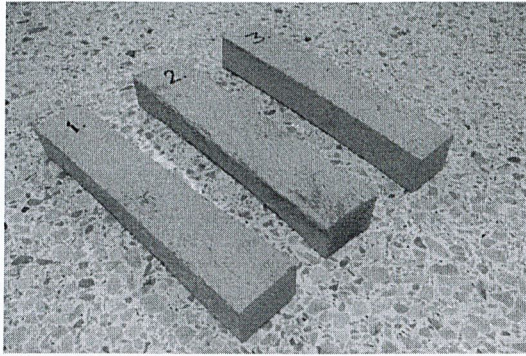


รูปที่ 5.17 ไม้ที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ ที่พลังงาน 1600 W (หัวละ 400 W)

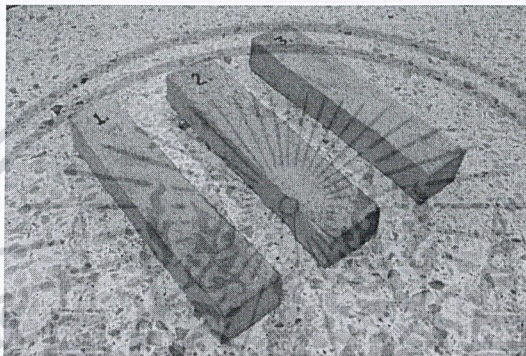


รูปที่ 5.18 ไม้ที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W (หลอดละ 500 W) ที่อุณหภูมิ 50°C

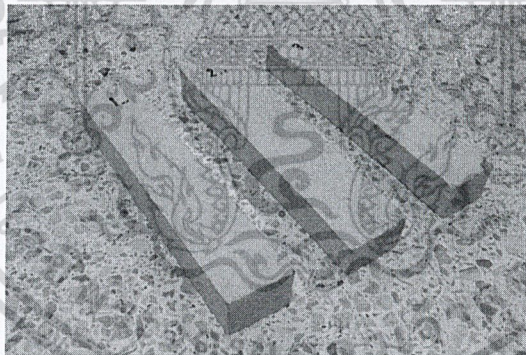
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



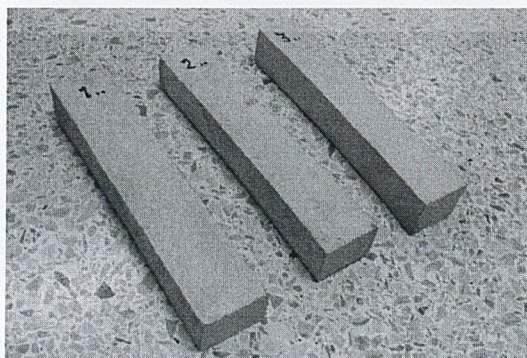
รูปที่ 5.19 ไม้ที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W (หลอดละ500 W) ที่อุณหภูมิ 70°C



รูปที่ 5.20 ไม้ที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W (หลอดละ500 W) ที่อุณหภูมิ 90°C

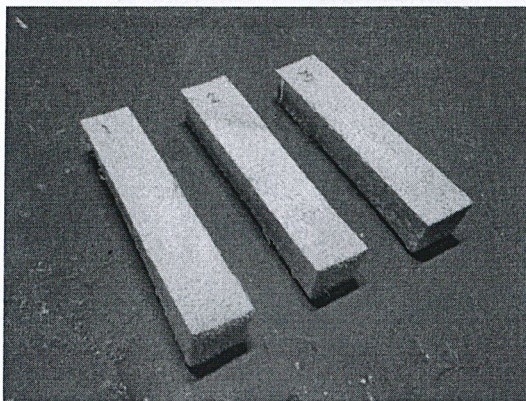


รูปที่ 5.21 ไม้ที่อบด้วยลมร้อนที่ความความเร็วลม 2.1 m/s อุณหภูมิ 65°C



รูปที่ 5.22 ไม้ที่อบด้วยลมร้อนที่ความความเร็วลม 2.1 m/s อุณหภูมิ 95°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.23 ไม้ที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ1,600W ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90°C



รูปที่ 5.24 ไม้ที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ1,600w ร่วมกับลมร้อนที่ความความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ95°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองและสังเกตลักษณะภายนอกไม้ปาล์มหลังการอบ พบว่าการอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 1,600W ใช้เวลาในการอบ 280 นาที ทั้งนี้เนื่องจากการอบที่ระดับพลังงานน้อยกว่านี้จะใช้เวลาในการอบนาน และที่ระดับพลังงานมากกว่านี้ทำให้เนื้อไม้ใหม่ลักษณะภายนอกมีการบิดตัวและหดตัว เนื่องจากเกิดการคายความชื้นภายในเนื้อไม้อย่างรวดเร็วกว่าผิว นอก สีของไม้ปาล์มคงเดิม การอบไม้ปาล์มด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90°C จะใช้เวลาในการอบไม้ปาล์มน้อยที่สุด โดยใช้เวลา 21 ชั่วโมง ลักษณะภายนอกไม้ปาล์มเกิดการบิดตัวและหดตัวน้อยมาก สีของไม้ปาล์มเป็นสีน้ำตาลอ่อนแถมแดง การอบไม้ปาล์มด้วยลมร้อนความเร็วลม 2.1m/s ที่อุณหภูมิ 95°C จะใช้เวลาในการอบน้อยที่สุด โดยใช้เวลา 29 ชั่วโมง ลักษณะภายนอกไม้เกิดการบิดตัวและหดตัวน้อยมาก สีของไม้ปาล์มคงเดิม การอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90°C ใช้เวลาในการอบ 9 ชั่วโมง ลักษณะภายนอกไม้เกิดการบิดตัวและหดตัวน้อยมาก สีของไม้ปาล์มเป็นสีน้ำตาลอ่อนแถมแดง และการอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับลมร้อนความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95°C ใช้เวลาในการอบ 13 ชั่วโมง ลักษณะภายนอกไม้เกิดการบิดตัวและหดตัวน้อยมาก สีของไม้ปาล์มคงเดิม

จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลโดยการทดสอบการต้านแรงดัดมอดูลัสยืดหยุ่นพบว่าการอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90°C มีค่าการต้านแรงดัดมอดูลัสยืดหยุ่นสูงสุด คือ 4474.846MPa การทดสอบการต้านแรงอัดแนวนานเสี้ยน พบว่าการอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 1,600W มีค่าการต้านแรงอัดแนวนานเสี้ยนสูงสุด คือ 18.983616MPa การทดสอบการต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเสี้ยนพบว่าการอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 1,600W มีค่าการต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเสี้ยนสูงสุด คือ 3.01MPa และการทดสอบการต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยน พบว่าการอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 1,600W มีค่าการต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนสูงสุด คือ 18.983616MPa

ดังนั้น จากการทดลองสรุปผลได้ว่าการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90°C ใช้เวลาในการอบน้อย เกิดการบิดตัวและหดตัวน้อยมาก มีค่าความต้านทานแรงดัดมอดูลัสยืดหยุ่นสูงสุด และใช้หน่วยไฟฟ้าน้อยที่สุด คือ 16.8 หน่วย เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองอื่นๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ในงานประเภทตกแต่งภายในหรืองานเฟอร์นิเจอร์ที่ต้องการ การรับแรงดัด เช่น ราวบันได หรือ ชั้นบันได ส่วนไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W เพียงอย่างเดียวจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลพบว่าสามารถรับแรงอัดในแบบต่างๆสูงเมื่อเทียบกับการทดลองในแบบอื่นๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ในงานประเภทโครงสร้างของเฟอร์นิเจอร์ เช่น โครงสร้างของตู้ไม้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ไม้ที่ใช้ในการอบควรมีอายุมากๆ เพราะจะทำให้ไม่เกิดการบิดงอได้ยาก
2. ไม้ที่อบควรมานำไม้เป็นท่อนใหญ่ๆ เข้าอบก่อน จากนั้นจึงนำมาแปรรูปให้ได้ขนาดตามต้องการ หรือ อบครั้งละหลายชิ้น เพื่อประหยัดค่าไฟในการอบไม้ปาล์มน้ำมัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] จามร วสุรัตน์มณี. “การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยในการอบไม้ยางพาราเพื่อลดความชื้นในเนื้อไม้ที่เหมาะสม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2552.
- [2] จรุญ เจริญเนตรกุล, อัมพร หมัดแสละ. “การนำไม้ปาล์มน้ำมันมาใช้ในการวิศวกรรม.” คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 2551.
- [3] นภัทร วัฒนเทพินทร. “การพัฒนาชุดกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมสำหรับห้องปฏิบัติการ.” คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, 2554.
- [4] เพชรรัตน์ ใจบุญ และคณะ. “การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งลำไยด้วยเทคนิคต่าง ๆ.” คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2550.
- [5] ไพฑูรย์ จุลนวล และคณะ. “เครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียง.” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร, 2554.
- [6] ยุทธนา ภูริระวณิชย์กุล และคณะ “การอบแห้งขนุนด้วยพลังงานความร้อนร่วมของรังสีอินฟราเรด/ไมโครเวฟ และลมร้อน : จลนพลศาสตร์ คุณภาพและการทดสอบประสาทสัมผัส.” ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2555.
- [7] วิฑูรย์ อบรม, และคนอื่นๆ. “อิทธิพลของตำแหน่งการป้อนคลื่นไมโครเวฟที่มีผลต่อการกระจายตัวของความร้อนภายในโหลดที่วางอยู่ในกล่องสี่เหลี่ยม.” หน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [8] อำไพศักดิ์ ทีบุญมา, ศักชัย จงจำ “การอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด.” ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2553.
- [9] A. Oloyede. , P. Groombridge. “The influence of microwave heating on themechanical properties of wood.” Journal of Materials Processing Technology. 100 (2000) : 67-73.
- [10] D.T.C. Ang , S.N. Gan. “Novel approach to convert non-self drying palm stearin alkyds into environmental friendly UV curable resins.” Progress in Organic Coatings. 73(2012) : 409-414.
- [11] E. Bakar. et. al. “Polygon Sawing : An Optimum Sawing Pattern for Oil Palm Stems.” Journal of Biological Sciences. 6(2006) : 744-749.
- [12] G.P. Sharma, S. Prasad. “Drying of garlic (Allium sativum) cloves by microwave-hot air combination.” Journal of Food Engineering. 50(2001) : 99-105.
- [13] G. Sumnu et al. “Bread baking in halogen lamp–microwave combination oven.”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


- [14] 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*. 101(2010) : 8396–8401.
- [15] S. Kaya et al. “Hot air and sun drying of grape leather (pestil).” *Journal of Food Engineering*. 54(2002) : 81–88.
- [16] ไทยรัฐออนไลน์. จัดการน้ำ-ปุ๋ยอย่างพอเพียง สู่ปาล์มน้ำมันเงินล้าน..ไชยา. [online]. แหล่งที่เข้าถึง : <http://www.thairath.co.th/edu/agri> [16 กรกฎาคม 2555]
- [17] งานติดตั้งไฟฟ้า. หลอด Tungsten Halogen. [online]. แหล่งที่เข้าถึง : [http:// montri.rmutl.ac.th/old/electrical2009/light/halogen/halogen.html](http://montri.rmutl.ac.th/old/electrical2009/light/halogen/halogen.html) [17 กรกฎาคม 2555]
- [18] ฮีตเตอร์. อุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) มีประโยชน์อย่างไรในปัจจุบัน. [online]. แหล่งที่เข้าถึง : <http://www.pm.co.th/> [23 มีนาคม 2556]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

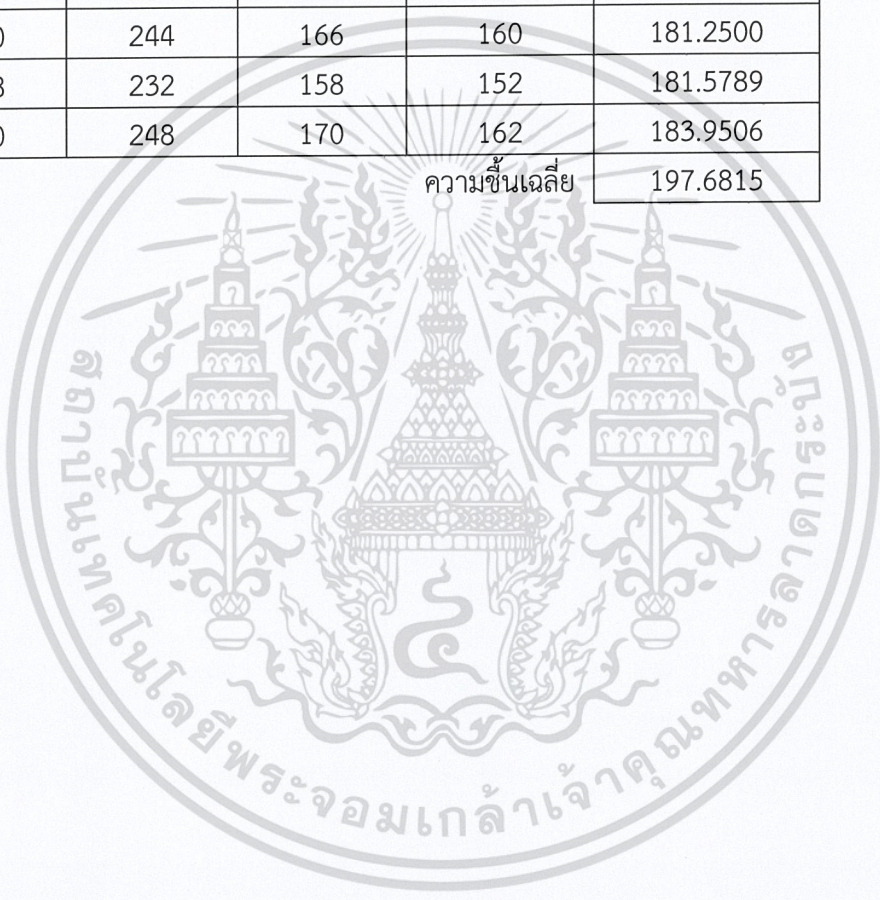


ภาคผนวก ก.  
การทดลองอบไม้ด้วยเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน  
และลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการอบด้วย Hot Air Oven ที่ 105 °C เพื่อหาความชื้นเริ่มต้น

ตัวอย่าง	น้ำหนัก(กรัม)				ความชื้นเริ่มต้น
	0 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง	
1	414	220	142	134	208.9552
2	402	208	134	130	209.2307
3	434	226	144	140	210.0000
4	416	222	146	140	197.1428
5	420	228	152	146	187.6712
6	396	204	130	124	219.3548
7	450	244	166	160	181.2500
8	428	232	158	152	181.5789
9	460	248	170	162	183.9506
				ความชื้นเฉลี่ย	197.6815



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟในตู้อบทุก ๆ 20 นาที พลังงาน 1,600 W (หัวละ 400 W)

เวลา	น้ำหนัก			อุณหภูมิผิวไม้			ความชื้น			ความชื้นเฉลี่ย
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
0	518	516	406	26.1	26.0	25.8	197.6815	197.6815	197.6815	197.6815
20	506	506	396	49.1	51.4	47.3	195.31	195.7052	195.1562	195.3905
40	476	486	376	54.6	56.2	57.6	188.858	191.5087	189.7028	190.0231
60	446	460	370	59.6	60.9	51.1	181.538	185.5076	187.9518	184.9991
80	414	434	352	70.4	66.5	73.2	172.5607	178.7875	182.3406	177.8963
100	376	406	344	75.1	70.1	70.8	159.9155	170.5879	179.6582	170.0539
120	340	378	328	84.6	76.4	77.8	145.3286	161.1736	173.901	160.1344
140	302	346	288	81.2	72.4	77.2	126.1583	148.5486	156.7093	143.8054
160	270	320	262	86.8	79.5	82.5	105.8296	136.4315	142.7197	128.3269
180	246	284	222	87.6	85.7	87.2	87.11239	115.9914	114.7986	105.9675
200	224	250	200	87.3	83.9	76.5	66.4315	91.2815	94.6815	84.1315
220	200	218	188	81.6	82.3	76.6	38.6815	60.98425	81.72405	60.46327
240	198	202	162	103.4	88.3	90.8	36.06534	42.23596	47.06422	41.7885
260	194	194	150	101.3	96.2	102.2	30.67119	31.70212	27.01483	29.79605
280	186	188	144	99.3	92.7	98.5	19.18688	23.21341	15.73706	19.37912

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยหลอดฮาโลเจนในตู้อบทุก ๆ 1 ชั่วโมง ที่พลังงาน 2,000 W (ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส)

เวลา	น้ำหนัก			ความชื้น			ความชื้นเฉลี่ย
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
0	504	504	504	197.6815	197.6815	197.6815	197.6815
1	496	492	492	196.0686	195.2424	195.2424	195.5178
2	472	466	464	190.9018	189.5269	189.0608	189.8298
3	448	442	434	185.4020	183.6543	181.5524	183.5362
4	418	408	400	177.1073	174.1520	171.6815	174.3136
5	400	394	382	171.6815	169.7627	165.7443	169.0628
6	390	384	372	168.4507	166.4315	162.1976	165.6933
7	378	372	358	164.3482	162.1976	156.8993	161.1484
8	366	360	344	159.9766	157.6815	151.1698	156.276
9	358	350	334	156.8994	153.6815	146.7833	152.4547
10	344	336	324	151.1699	147.6815	142.1259	146.9924
11	334	328	314	146.7833	144.0229	137.1719	142.6594
12	324	318	306	142.1259	139.1909	132.9756	138.0975
13	318	312	296	139.1909	136.1430	127.4112	134.2484
14	310	302	292	135.1008	130.7940	125.0787	130.3245
15	300	294	284	129.6815	126.2529	120.2167	125.3837
16	294	286	278	126.2529	121.4577	116.3865	121.3657
17	286	282	270	121.4577	118.9581	111.0148	117.1435
18	278	272	262	116.3865	112.3873	105.3150	111.3629
19	270	268	260	111.0148	109.6218	103.8353	108.1573
20	264	258	254	106.7724	102.3326	99.2563	102.7871
21	262	256	250	105.3151	100.8065	96.0815	100.7344
22	254	250	246	99.2563	96.0815	92.8034	96.04707

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	น้ำหนัก			ความชื้น			ความชื้นเฉลี่ย
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
23	250	244	240	96.0815	91.1241	87.6815	91.62903
24	246	240	234	92.8034	87.6815	82.2968	87.5939
25	242	238	232	89.4170	85.9167	80.4401	85.25793
26	234	232	226	82.2969	80.4401	74.6726	79.13653
27	228	228	222	76.6289	76.6288	70.6544	74.63737
28	226	222	218	74.6726	70.6544	66.4888	70.60527
29	222	220	216	70.6545	68.5905	64.3481	67.86437
30	218	216	216	66.4888	64.3481	64.3481	65.06167
31	216	214	212	64.3482	62.1674	59.9456	62.15373
32	212	208	206	59.9456	55.3738	53.0213	56.11357
33	208	206	204	55.3738	53.0213	50.6226	53.0059
34	206	204	200	53.0213	50.6226	45.6815	49.77513
35	202	200	198	48.1765	45.6815	43.1360	45.66467
36	196	198	196	40.5386	43.1360	40.5386	41.4044
37	194	196	194	37.8876	40.5386	37.8876	38.77127
38	192	194	192	35.1815	37.8876	35.1815	36.08353
39	190	192	190	32.4183	35.1815	32.4183	33.33937
40	186	188	186	26.7137	29.5963	26.7137	27.67457
41	186	188	186	26.7137	29.5963	26.7137	27.67457
42	184	186	184	23.7684	26.7137	23.7684	24.75017
43	180	181	180	17.6815	19.2284	17.6815	18.19713

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยหลอดฮาโลเจนในตู้อบทุก ๆ 1 ชั่วโมง ที่พลังงาน 2,000 W (ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส)

เวลา	น้ำหนัก			อุณหภูมิผิวไม้			ความชื้น			ความชื้นเฉลี่ย
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
0	508	500	518	26.3	26.3	26.3	197.6815	197.6815	197.6815	197.6815
1	472	472	484	62.8	55.9	57.4	190.0544	191.7493	190.6567	190.8201
2	434	434	446	72.6	62.3	66.5	180.6308	182.4741	181.538	181.5476
3	404	406	420	79.7	68.4	69.8	171.9389	174.5288	174.3482	173.6053
4	374	376	390	86.4	74.5	75.4	161.8526	164.7028	164.861	163.8055
5	350	354	370	86.8	71.5	75.5	152.5386	156.4386	157.6815	155.5529
6	334	338	354	88.2	78.0	84.3	145.5857	149.7525	151.3538	148.8973
7	314	320	334	92.9	82.6	84.1	135.8981	141.4315	142.5917	139.9738
8	298	302	320	82.6	83.2	84.6	127.2117	132.1186	135.8065	131.7123
9	282	286	306	91.1	83.1	83.4	117.5397	122.8563	128.4005	122.9322
10	270	274	292	91.9	78.5	81.4	109.5334	115.1997	120.2842	115.0058
11	260	262	280	95.3	87.3	89.1	102.2969	106.8418	112.6815	107.2734
12	250	254	272	93.7	87.1	92.4	94.4815	100.8311	107.2403	100.851
13	242	242	262	100.2	91.6	95.2	87.76414	91.06993	99.97158	92.93522
14	236	236	256	97.1	88.9	93.0	82.42726	85.81709	95.33775	87.8607
15	224	224	244	100.2	92.9	91.0	70.89579	74.46721	85.38642	76.91647
16	218	216	238	92.2	86.5	88.2	64.65398	66.20002	80.03444	70.29615
17	212	210	230	96.2	91.0	98.1	58.05886	59.58626	72.46411	63.36974
18	208	206	228	108.0	98.8	101.3	53.45073	54.96305	70.48852	59.6341
19	200	198	222	107.2	95.3	102.8	43.6815	45.15625	64.34817	51.06197
20	198	192	214	96.1	92.9	98.6	41.11584	37.26483	55.62543	44.6687
21	196	190	214	89.8	89.9	98.1	38.49783	34.52361	55.62543	42.88229
22	194	186	210	106.0	95.4	102.8	35.82583	28.8643	51.01483	38.56832

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	น้ำหนัก			อุณหภูมิมิ้วไม้			ความชื้น			ความชื้นเฉลี่ย
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
23	192	182	208	102.2	92.8	101.8	33.09817	22.95623	48.64304	34.89915
24	190	180	206	107.1	94.9	100.4	30.31308	19.90372	46.22519	32.14733
25	188	176	202	106.3	97.0	103.8	27.46873	13.59059	41.24586	27.43506
26	184	174	196	108.1	101.0	108.7	21.59454	10.32518	33.39579	21.77184
27	182	174	194	106.0	99.6	106.2	18.56062	10.32518	30.67119	19.85233



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยหลอดฮาโลเจนในตู้อบทุก ๆ 1 ชั่วโมง ที่พลังงาน 2,000 W (ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส)

เวลา	น้ำหนัก			อุณหภูมิผิวไม้			ความชื้น			ความชื้นเฉลี่ย
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
0	578	574	572	24.1	23.9	23.9	197.6815	197.6815	197.6815	197.6815
1	532	532	526	68.0	65.8	65.6	189.0349	189.7868	188.9363	189.2526
2	488	486	480	75.7	76.6	76.2	179.2389	179.5745	178.5148	179.1094
3	446	442	438	84.5	77.2	82.4	168.0851	167.8172	167.0879	167.6634
4	414	410	404	90.7	82.8	87.2	158.068	157.6815	156.0973	157.2823
5	386	378	378	96.2	93.2	95.9	147.9406	145.8296	146.3587	146.7097
6	362	354	350	103.5	98.5	102.6	138.013	135.5346	134.2529	135.9335
7	340	332	330	107.5	100.5	108.5	127.6815	124.7899	124.3482	125.6065
8	322	314	308	113.2	103.3	108.2	118.1784	114.879	111.9672	115.0082
9	306	294	292	115.5	108.2	109.2	108.7926	102.4434	101.7911	104.3424
10	292	280	278	116.3	109.0	111.8	99.73629	92.6815	91.9261	94.7813
11	278	266	264	116.0	113.0	112.4	89.76783	81.89203	81.01483	84.2249
12	270	254	252	118.4	111.8	113.3	83.60743	71.69725	70.69737	75.33402
13	260	244	242	123.2	115.2	120.4	75.37381	62.4356	61.31786	66.37576
14	250	232	232	116.4	114.3	106.1	66.4815	50.26771	51.12978	55.95966
15	242	224	224	119.1	110.0	112.2	58.83852	41.4315	42.32436	47.53146
16	236	216	210	123.6	117.5	119.2	52.76625	31.94076	25.30055	36.66918
17	232	212	204	127.3	119.9	129.2	48.54357	26.92678	17.28934	30.9199
18	228	208	202	130.3	122.3	132.0	44.17273	21.71996	14.51318	26.80196
19	226	206	200	129.9	119.9	128.0	41.92929	19.04072	11.6815	24.21717
20	222	204	200	129.6	124.9	132.0	37.32114	16.30895	11.6815	21.77053
21	218	204	198	131.9	125.4	131.2	32.54389	16.30895	8.792611	19.21515

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยลมร้อนในตู้อบทุก ๆ 1 ชั่วโมง ที่ความเร็วลม 2.1 m/s  
(ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส)

เวลา	น้ำหนัก			อุณหภูมิผิวไม้			ความชื้น			ความชื้นเฉลี่ย
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
0	472	450	452	25.6	24.8	24.9	197.6815	197.6815	197.6815	197.6815
1	438	416	418	48.2	49.3	46.8	189.9189	189.5084	189.5475	189.6583
2	414	394	394	51.5	51.1	50.2	183.6718	183.4683	182.9607	183.3669
3	394	376	376	56.6	56.2	54.1	177.8845	178.0006	177.4687	177.7846
4	376	358	360	56.1	54.9	55.7	172.1496	171.9832	172.1259	172.0862
5	362	344	344	55.4	54.2	53.4	167.2948	166.8675	166.2862	166.8162
6	340	330	332	55.0	54.0	55.6	158.858	161.3179	161.5369	160.5709
7	334	320	320	54.5	55.2	54.3	156.3641	157.0565	156.4315	156.6174
8	326	308	310	56.8	59.5	59.7	152.8962	151.5776	151.875	152.1163
9	314	302	300	58.9	58.1	58.2	147.363	148.6749	147.0148	147.6842
10	306	292	290	60.2	59.4	60.1	143.4331	143.5719	141.8194	142.9415
11	298	284	282	59.4	58.8	59.7	139.2922	139.2308	137.3978	138.6403
12	292	278	276	60.2	59.6	60.3	136.0377	135.811	133.9134	135.254
13	282	268	270	62.4	62.7	61.4	130.3056	129.7711	130.2741	130.1169
14	274	260	260	61.8	61.2	61.1	125.4187	124.6046	123.8353	124.6195
15	270	256	256	62.8	61.5	60.5	122.8667	121.9003	121.119	121.962
16	264	250	252	63.8	63.7	62.5	118.8936	117.6815	118.3164	118.2972
17	256	240	242	63.7	63.6	62.4	113.3065	110.1815	110.9046	111.4642
18	250	236	240	63.5	63.7	62.8	108.8815	107.0035	109.3482	108.4111
19	246	234	236	63.8	66.1	62.2	105.8116	105.3738	106.1561	105.7805
20	242	226	228	64.1	66.8	63.9	102.6402	98.56646	99.43589	100.2142
21	238	222	226	63.8	64.8	67.8	99.36217	94.9788	97.6815	97.34082
22	232	218	222	64.6	64.2	62.7	94.23322	91.25948	94.0779	93.1902

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	น้ำหนัก			อุณหภูมิผิวไม้			ความชื้น			ความชื้นเฉลี่ย
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
23	228	214	218	65.6	64.9	63.1	90.66396	87.40113	90.34205	89.46904
24	224	208	214	65.5	65.9	63.1	86.96721	81.33535	86.46655	84.92304
25	222	206	210	63.2	62.9	65.0	85.06889	79.2349	82.4434	82.24906
26	218	204	208	65.9	64.8	62.2	81.16774	77.09326	80.37381	79.54494
27	216	200	204	65.1	64.2	63.2	79.16298	72.6815	76.11287	75.98578
28	212	196	202	64.8	65.1	62.1	75.03999	68.08966	73.91912	72.34959
29	208	194	200	65.7	65.8	63.2	70.75842	65.72274	71.6815	69.38755
30	204	190	196	65.5	65.1	64.0	66.30895	60.83939	67.06926	64.7392
31	202	186	194	65.9	65.2	63.7	64.01813	55.74602	64.69181	61.48532
32	200	184	192	65.7	65.3	64.0	61.6815	53.11628	62.26483	59.02087
33	198	182	190	55.4	65.1	64.3	59.29766	50.42875	59.78676	56.50439
34	196	178	186	65.6	65.4	64.3	56.86517	44.87251	54.67075	52.13614
35	194	174	184	65.7	64.2	62.1	54.38253	39.06081	52.02933	48.49089
36	192	172	182	66.6	66.0	64.5	51.84817	36.05359	49.32985	45.74387
37	190	170	180	63.9	63.9	63.5	49.26045	32.97562	46.57039	42.93548
38	188	168	178	64.5	61.7	63.9	46.61767	29.82436	43.74892	40.06365
39	186	168	176	63.3	63.1	64.2	43.91806	29.82436	40.86332	38.20191
40	184	164	174	65.2	64.7	63.9	41.15976	23.29126	37.91139	34.1208
41	182	162	172	64.1	65.4	63.4	38.34084	19.90372	34.8908	31.04512
42	180	162	170	62.7	62.9	61.3	35.45928	19.90372	31.79915	29.05405
43	178	160	168	63.8	64	63.9	32.51296	16.4315	28.63388	25.85945
44	176	160	166	65	64.6	64.9	29.49968	16.4315	25.39234	23.77451
45	174	158	164	64.2	64.1	65.4	26.41713	12.87137	22.07174	20.45342
46	172	158	162	63.9	64.7	65.1	23.2629	12.87137	18.66915	18.26781

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยลมร้อนในตู้อบทุก ๆ 1 ชั่วโมง ที่ความเร็วลม 2.1 m/s  
(ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส)

เวลา	น้ำหนัก			อุณหภูมิผิวไม้			ความชื้น			ความชื้นเฉลี่ย
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
0	520	498	512	25.7	25.5	25.5	197.6815	197.6815	197.6815	197.6815
1	466	442	462	68.4	63.6	64.3	186.0935	185.0118	186.859	185.9881
2	432	406	422	75.7	73.5	71.9	177.3111	175.0214	176.3545	176.229
3	400	376	398	80.1	76.5	75.5	167.6815	165.2347	169.0383	167.3182
4	380	352	376	80.7	79.5	77.8	160.8394	156.2042	161.5113	159.5183
5	354	326	350	83.4	81.5	82.8	150.7888	144.9208	151.3958	149.0351
6	336	310	332	84.6	81.2	82.7	142.9196	137.0363	143.4646	141.1402
7	322	296	316	80.8	82.5	81.1	136.1908	129.4383	135.6562	133.7618
8	308	280	300	88.4	84.3	86.1	128.8503	119.8244	127.0148	125.2298
9	294	272	284	89.1	86.6	90.2	120.8108	114.5933	117.3998	117.6013
10	286	260	276	87.2	85.1	86.9	115.8633	106.143	112.1743	111.3935
11	270	246	262	90.9	88.2	83.3	105.0889	95.24248	102.2617	100.8643
12	264	240	256	88.9	87.2	85.4	100.7118	90.1815	97.6815	96.1916
13	252	232	242	89.1	87.3	86.7	91.33229	83.02633	86.11125	86.82329
14	244	222	236	88.4	85.6	84.2	84.56675	73.35718	80.73235	79.55209
15	238	218	228	90.8	90.6	85.4	79.19411	69.24113	73.1201	73.85178
16	232	212	222	85.4	89.7	88.1	73.54357	62.77584	67.05087	67.79009
17	226	206	216	90.8	90.1	89.2	67.593	55.93393	60.64446	61.39046
18	222	202	212	92.1	90.6	87.5	63.44727	51.14685	56.17207	56.92206
19	214	196	204	91.6	90	87.1	54.69085	43.59987	46.70111	48.33061
20	210	194	202	90	89.2	85	50.06245	40.98047	44.21615	45.08636
21	208	192	200	87.4	85.4	86.7	50.06245	40.98047	44.21615	45.08636
22	204	190	198	88.9	84.5	86.9	42.77954	35.57624	39.09564	39.15047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	น้ำหนัก			อุณหภูมิผิวไม้			ความชื้น			ความชื้นเฉลี่ย
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
23	202	188	194	91.0	89.8	88.0	40.25576	32.78788	33.76397	35.60254
24	202	186	192	93.9	92.8	90.6	40.25576	29.93956	31.01483	33.73672
25	200	186	192	89.2	88.6	85.0	37.6815	27.02933	28.20782	30.97288
26	198	184	190	83.1	80.5	82.1	35.05524	24.05513	25.34107	28.15048
27	194	182	186	85.7	83.1	85.0	29.64026	24.05513	22.41268	25.36936
28	190	180	184	90.1	85.3	88.5	23.99729	21.01483	19.42063	21.47758
29	188	178	184	92.7	89.4	90.9	21.08576	17.90622	19.42063	19.47087



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ (1600W) ทุก ๆ 20 นาที ร่วมกับหลอดฮาโลเจน (2,000W) ในตู้อบทุก ๆ 1 ชั่วโมง (ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส)


เวลา	น้ำหนัก			อุณหภูมิผิวไม้			ความชื้น			ความชื้นเฉลี่ย
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
0	546	534	560	28.3	28.4	28.7	197.6815	197.6815	197.6815	197.6815
20	536	520	550	54.5	45.8	50.9	195.8158	194.9892	195.8633	195.5561
40	508	496	532	60.0	55.8	52.6	190.2012	190.0202	192.4183	190.8799
60	472	470	510	67.8	68.3	60.0	182.0035	184.0645	187.8776	184.6485
80	444	444	482	67.1	67.3	63.4	174.7085	177.4112	181.4989	177.8729
100	410	414	448	68.2	68.2	64.5	164.5108	168.696	172.6815	168.6294
120	376	390	420	70.3	66.9	68.0	152.4687	160.7584	164.3482	159.1918
3	332	350	374	78.7	72.4	74.2	133.2237	145.1101	147.9489	142.0942
4	296	316	334	82.3	75.0	77.6	113.222	128.6942	130.0168	123.9777
5	268	280	300	85.0	81.5	83.6	93.95016	106.9672	111.0148	103.9774
6	242	244	254	90.6	85.4	86.7	72.06167	78.82904	77.20906	76.03326
7	222	222	220	91.8	86.5	87.8	51.73555	57.14096	43.13605	50.67085
8	204	206	210	95.9	92.6	93.6	30.03444	38.4582	31.01483	33.16916
9	188	200	202	97.1	94.5	96.8	7.255968	30.6815	20.45378	19.46375

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ (1600W) ทุก ๆ 20 นาที ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 m/s ในตู้อบทุก ๆ 1 ชั่วโมง (ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส)

เวลา	น้ำหนัก			อุณหภูมิผิวไม้			ความชื้น			ความชื้นเฉลี่ย
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
0	492	554	544	29.2	29.5	29.9	197.6815	197.6815	197.6815	197.6815
20	480	544	530	51.9	50.2	55.2	195.1815	195.8433	195.04	195.3549
40	450	520	508	61.7	56.6	60.0	188.3482	191.143	190.5949	190.0287
60	436	474	470	68.8	59.9	68.9	184.8375	180.8039	181.9368	182.526
80	400	456	456	72.0	70.4	76.7	174.6815	176.1903	178.3833	176.4183
100	384	432	422	76.5	70.3	76.2	169.5565	169.4408	168.7715	169.2563
120	352	414	372	80.0	71.0	76.2	157.9088	163.8651	151.4449	157.7396
3	328	378	348	72.6	75.1	76.3	147.6815	151.1207	141.3597	146.7206
4	310	338	312	86.4	86.4	76.6	138.9718	133.7762	123.3225	132.0235
5	226	332	320	85.2	84.2	78.2	79.98238	130.814	127.6815	112.826
6	212	318	306	86.2	82.8	78.5	65.60603	123.4677	119.9037	102.9925
7	208	306	294	85.2	82.1	81.2	61.14304	116.6357	112.6475	96.80876
8	194	282	272	84.9	82.9	83.5	44.07325	101.2276	97.6815	80.99412
9	192	262	254	82.6	84.5	82.1	41.4315	86.23112	83.50827	70.3903
10	186	246	240	82.9	85.6	85.7	33.16537	72.47825	71.01483	58.88615
11	178	238	228	78.1	81.2	79.6	21.27701	64.90839	59.08501	48.42347
12	174	220	214	80.0	80.2	79.4	14.92288	45.86332	43.47589	34.75403
13	172	206	192	76.9	86.4	77.8	11.63499	28.74016	14.34817	11.24421

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ภาคผนวก ข.  
หน่วยไฟฟ้า เครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.1 เวลาและหน่วยยูนิตในการอบไม้ปาเล็มด้วยเครื่องอบไม้ปาเล็มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับ  
หลอดฮาโลเจนและลมร้อน

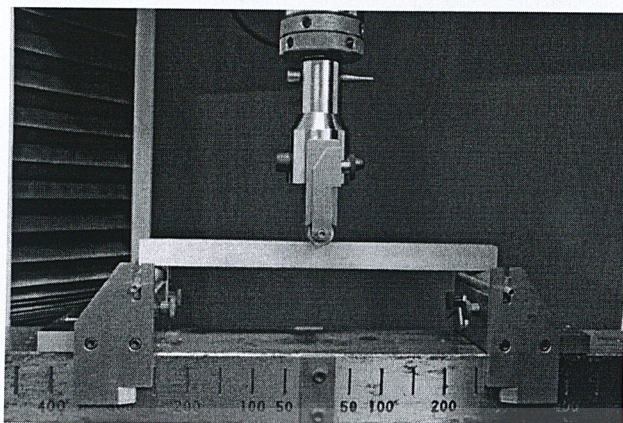
อุปกรณ์ที่ใช้ในการอบไม้ปาเล็ม	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	หน่วยไฟฟ้า (Unit)
1.ไมโครเวฟ 400W (4เครื่อง)	4.40	7.472
2.หลอดฮาโลเจน 500W อุณหภูมิ 50°C (4 หลอด)	43	86
3.หลอดฮาโลเจน 500W อุณหภูมิ 70°C (4 หลอด)	27	54
4.หลอดฮาโลเจน 500W อุณหภูมิ 90°C (4 หลอด)	21	42
5.ลมร้อน ฮีตเตอร์ 2,000W โบลเวอร์ 80W อุณหภูมิ 65°C	46	95.68
6.ลมร้อน ฮีตเตอร์ 2,000W โบลเวอร์ 80W อุณหภูมิ 95°C	29	60.32
7.ไมโครเวฟ 400W (4เครื่อง) ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 500W อุณหภูมิ 90°C (4 หลอด)	3+6	16.8
8.ไมโครเวฟ 400W (4เครื่อง) ร่วมกับลมร้อน ฮีตเตอร์ 2,000W โบลเวอร์ 80W อุณหภูมิ 95°C	3+10	25.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.  
การทดสอบเชิงกลของไม้ปาตัมน้ำมัน ที่อบด้วยเครื่องอบไม้ปาตัมด้วยคลื่นไมโครเวฟ  
หลอดฮาโลเจน และลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 การต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น (Modulus of rupture and modulus of elasticity)

ที่มา <http://wood.wu.ac.th/>

ตาราง ค.1 ผลการทดสอบการต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

Sample Information	Speed (mm/min)	Height (mm)	Width (mm)	Span (mm)	Maximum Load (N)	Modulus of rupture (MPa)	Young's Modulus of Bending (MPa)
Bending strength 14	8	15.61	15.29	210	195	16.4866	995.226
Bending strength 21	10	15.40	15.05	210	185	16.327	1053.026
Bending strength 22	10	15.89	14.42	210	212.737	18.405	3165.589
Bending strength 23	10	14.89	17.22	210	442.199	36.484	4470.672
Bending strength 31	10	14.83	14.91	210	171.349	16.460	2523.953
Bending strength 32	10	14.42	14.33	210	109.344	11.559	1201.281
Bending strength 41	10	13.86	14.77	210	265.074	29.429	4474.846
Bending strength 42	10	14.90	14.32	210	341.377	33.824	4294.496

14 = ไม้ปาล์มอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W

21 = ไม้ปาล์มอบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

22 = ไม้ปาล์มอบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

23 = ไม้ปาล์มอบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

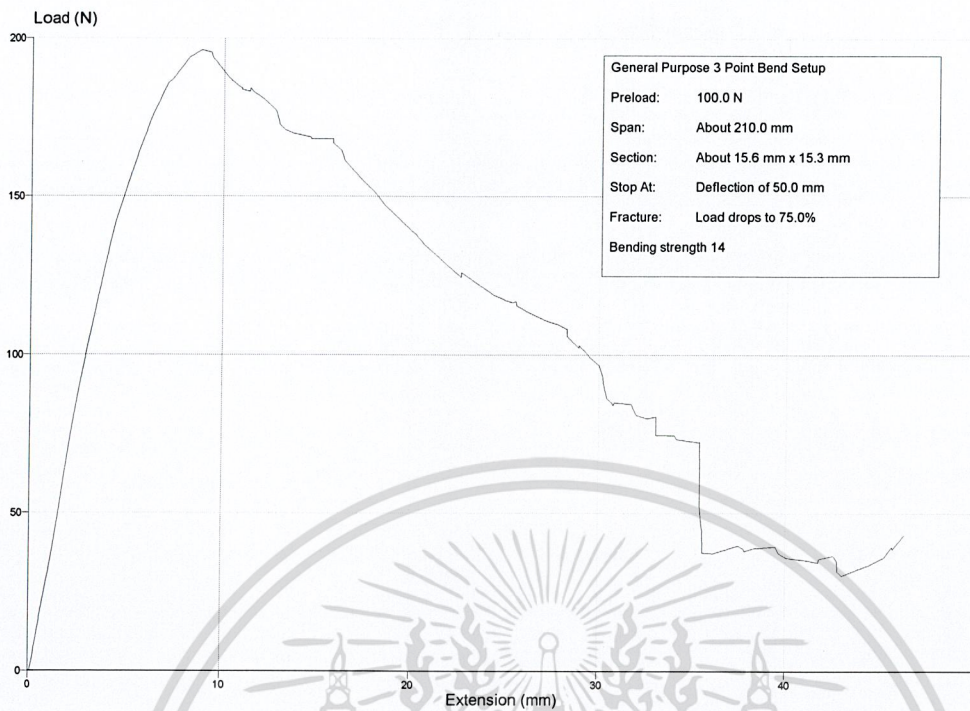
31 = ไม้ปาล์มอบด้วยลมร้อน ความเร็ว 2.1 m/s อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

32 = ไม้ปาล์มอบด้วยลมร้อน ความเร็ว 2.1 m/s อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส

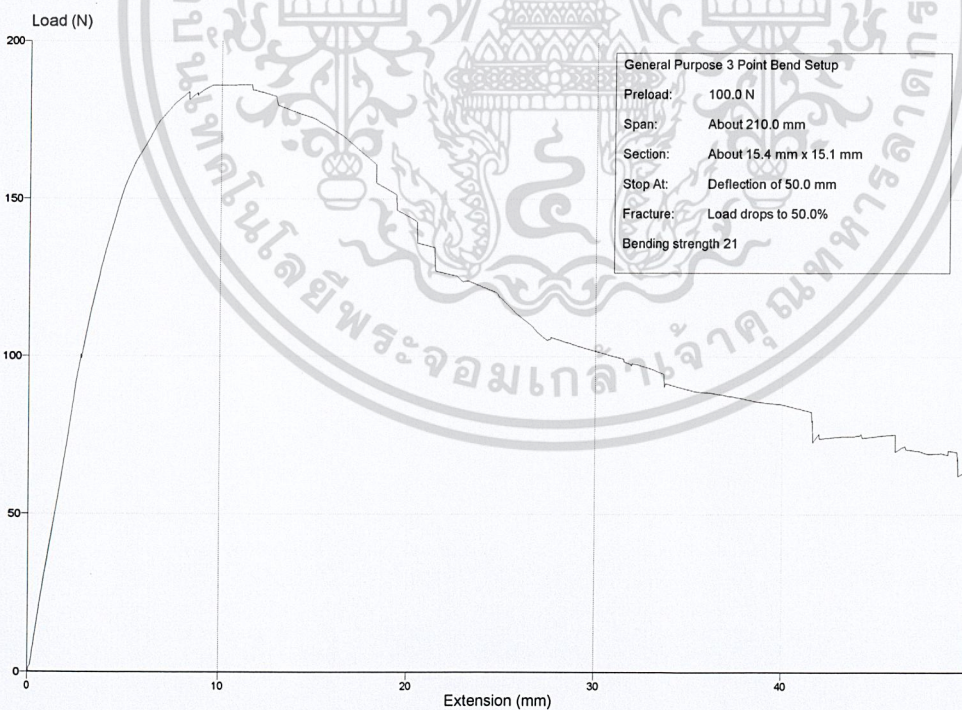
41 = ไม้ปาล์มอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับหลอดฮาโลเจน 90 องศาเซลเซียส

42 = ไม้ปาล์มอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับลมร้อน 95 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

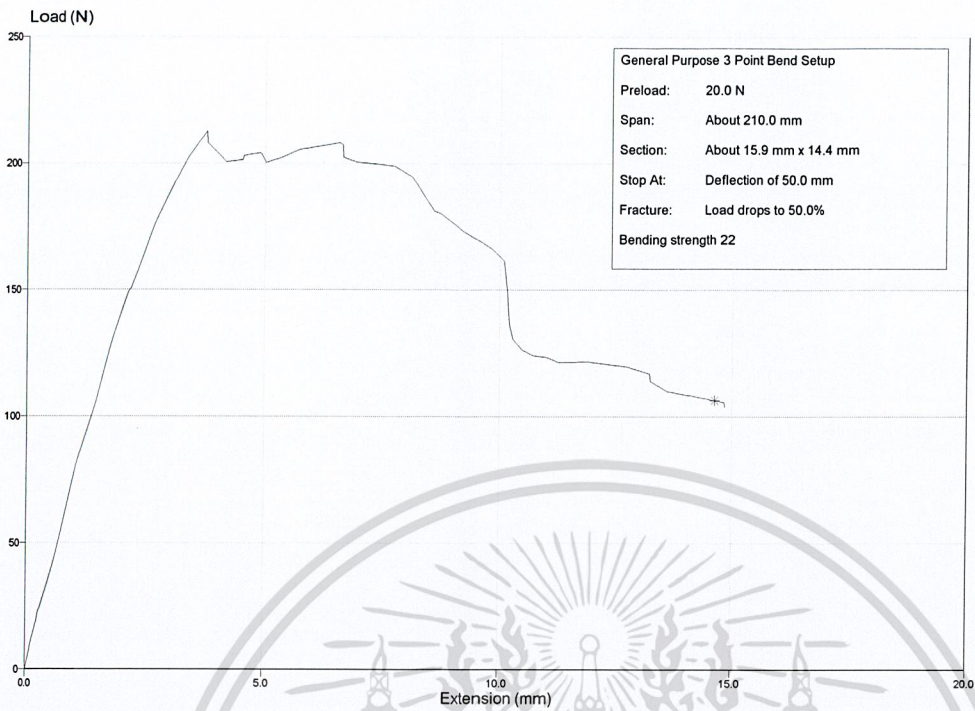


รูปที่ ค.2 การต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W

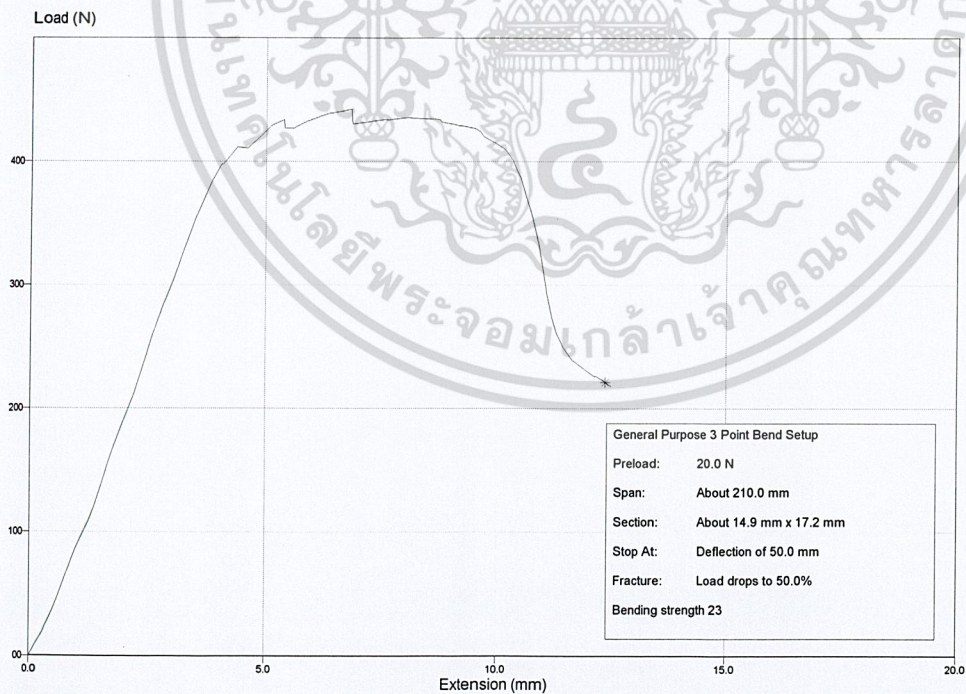


รูปที่ ค.3 การต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W  
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

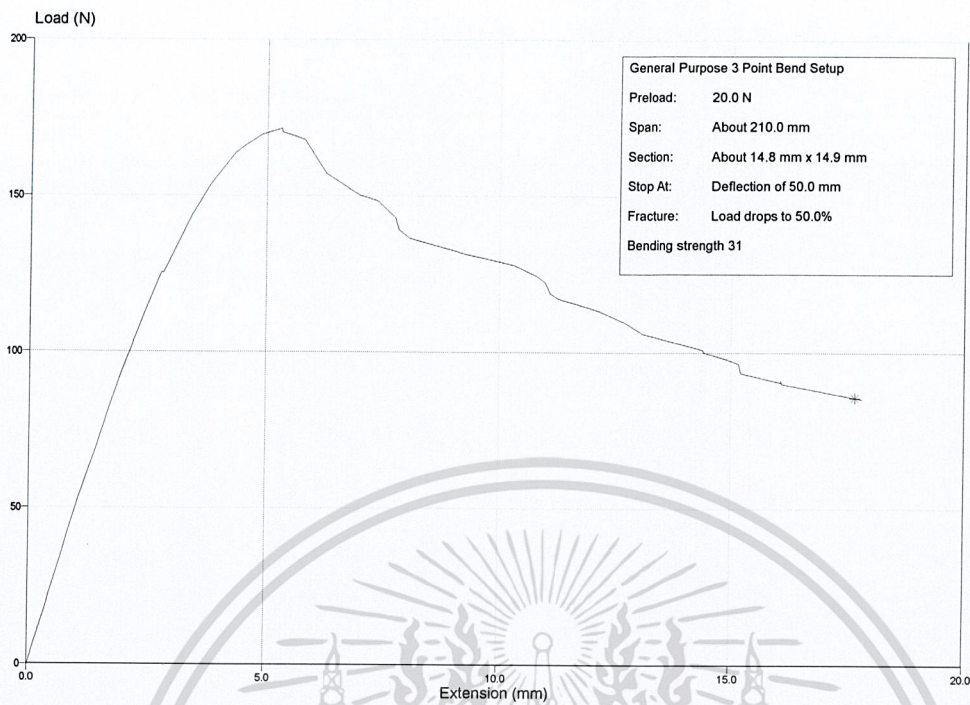


รูปที่ ค.4 การต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

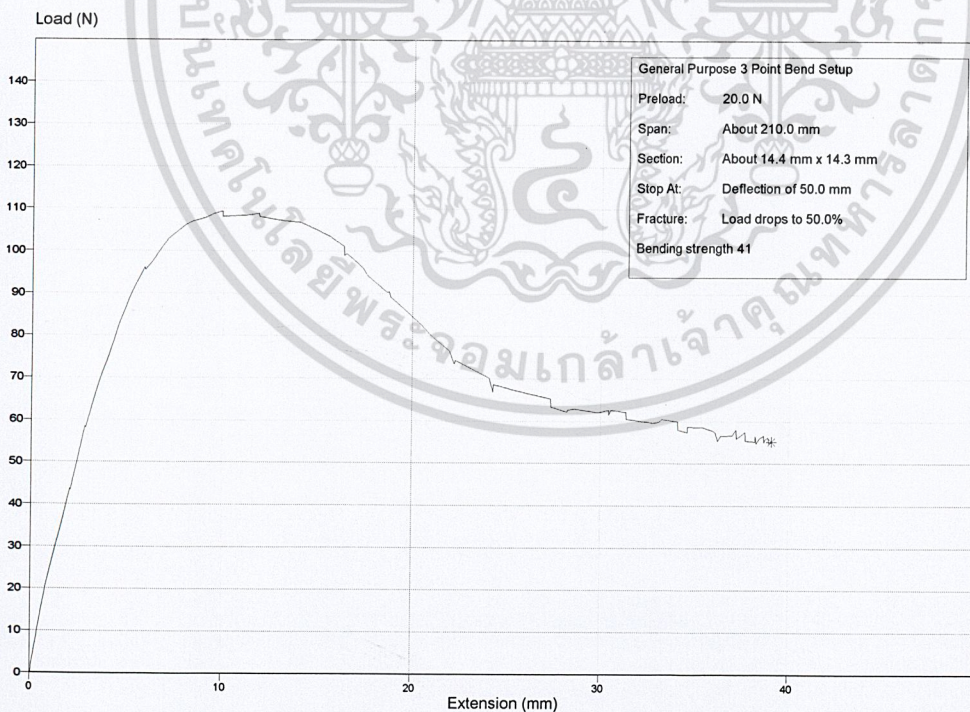


รูปที่ ค.5 การต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

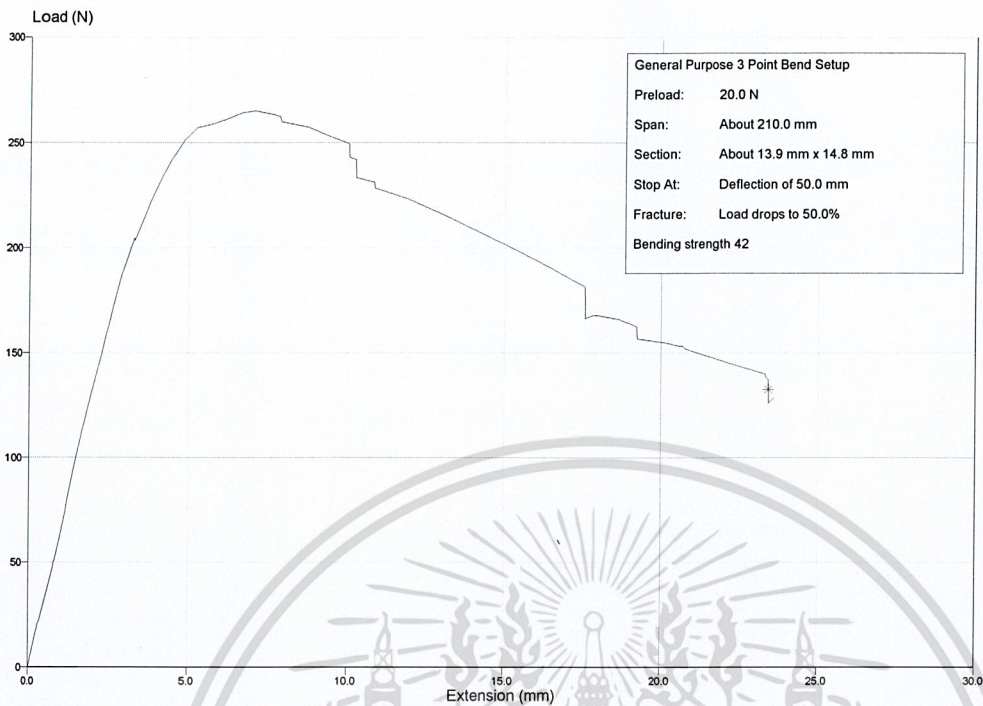


รูปที่ ค.6 การต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

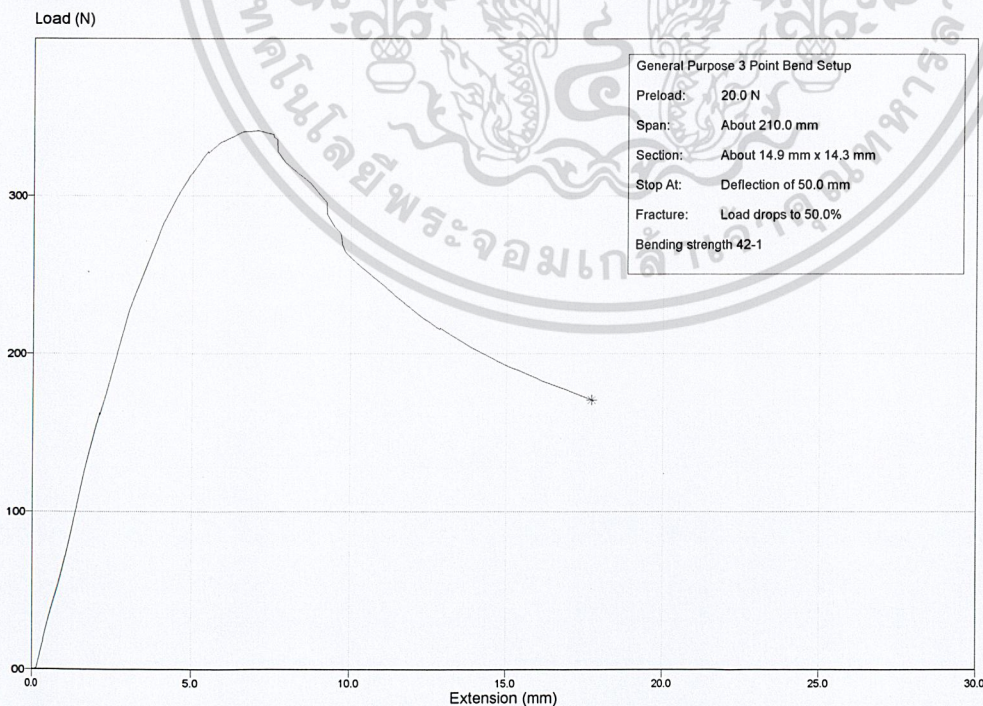


รูปที่ ค.7 การต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



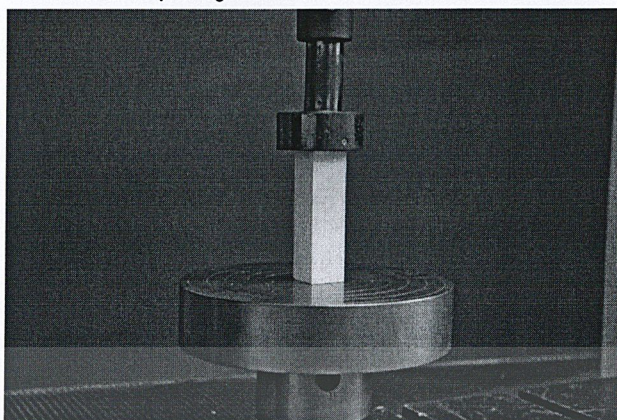
รูปที่ ค.8 การต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับ  
 หลอด  
 ฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



รูปที่ ค.9 การต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับลม  
 เย็นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่อนความเร็ว 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส



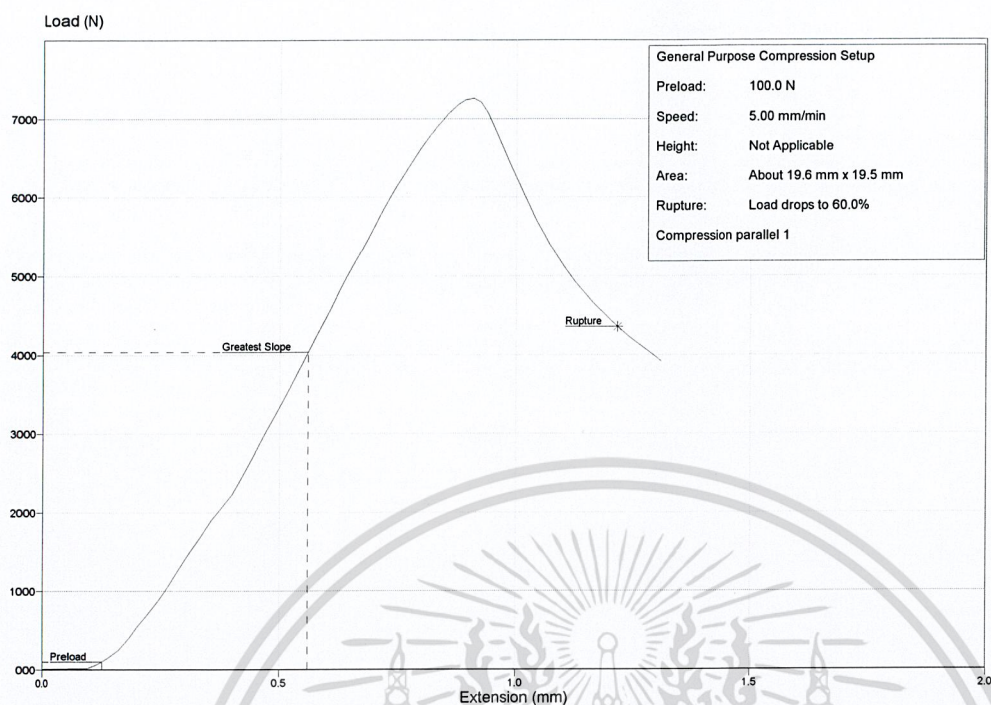
รูปที่ ค.10 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเส้น (Compressive strength parallel to grain)

ที่มา <http://wood.wu.ac.th/>

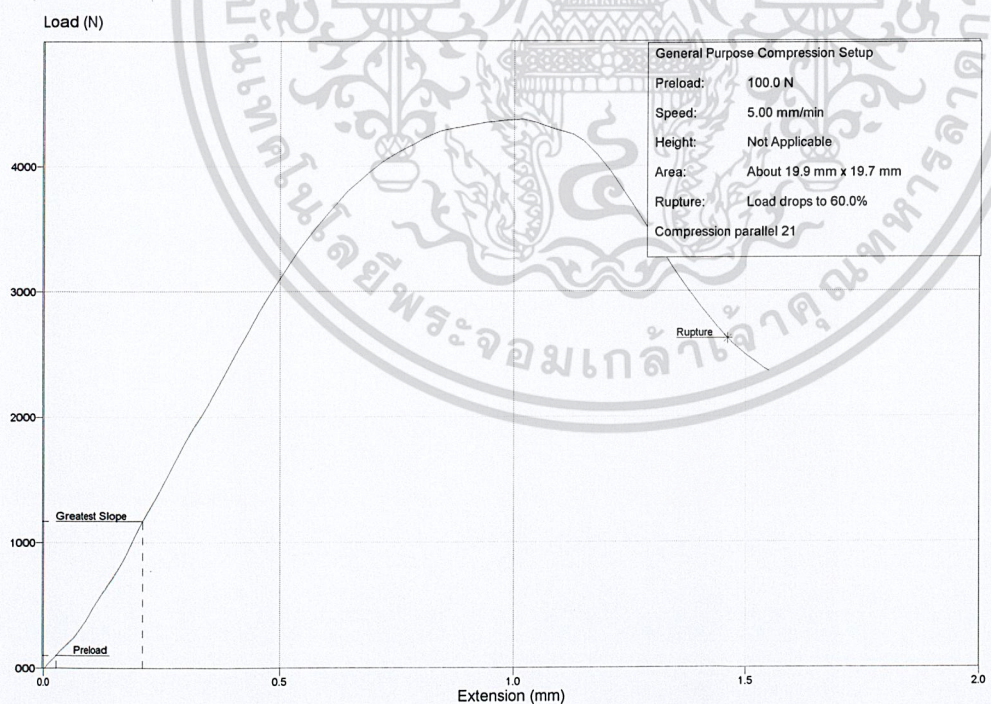
ตาราง ค.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดแนวขนานเส้น

Sample Information	Width (mm)	Breadth (mm)	Area (mm)	Speed (mm/min)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Stress at Maximum Load (MPa)
Compression parallel 14	19.63	19.48	382.3924	5	7259.190485	0.778944376	18.983616
Compression parallel 21	19.93	19.71	392.8203	5	4371.673644	0.989104773	11.12894024
Compression parallel 22	20.03	19.67	393.9901	5	4675.967956	0.554043601	11.86823719
Compression parallel 23	19.41	20.01	388.3941	5	6609.542351	0.747749672	17.0176178
Compression parallel 31	19.37	18.35	355.4395	5	3422.744332	0.675580721	9.629611598
Compression parallel 32	20.11	19.55	393.1505	2	2433.015838	0.297055175	6.188510095
Compression parallel 41	18.72	17.74	332.0928	2	3261.463954	1.341379605	9.820941479
Compression parallel 42	19.88	19.86	394.8168	2	1380.043212	0.708118683	3.495401442

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



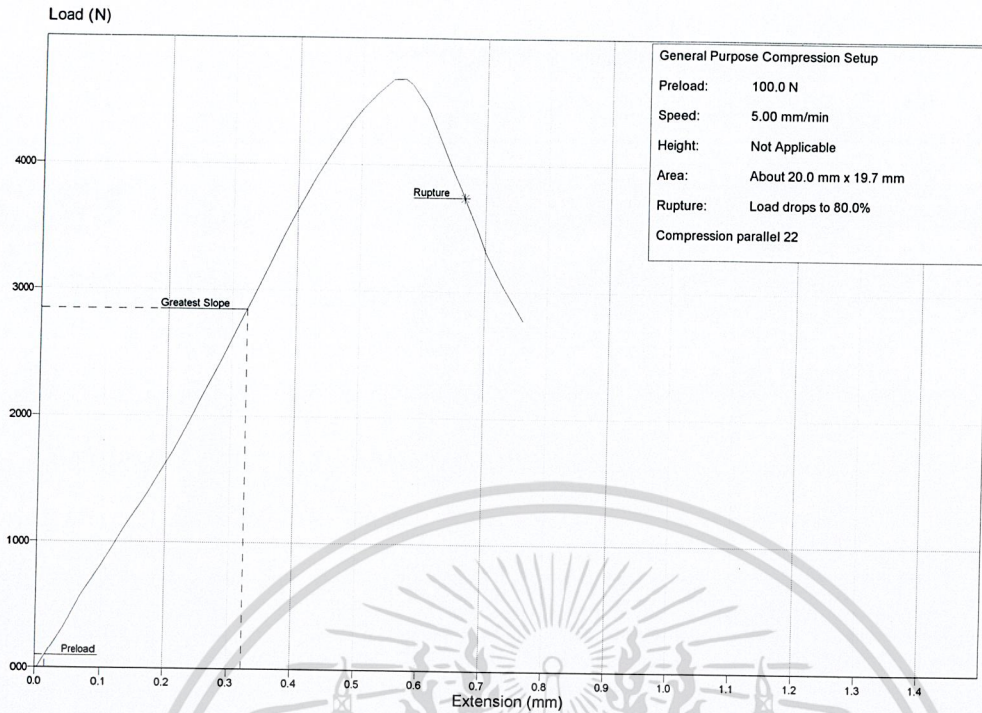
รูปที่ ค.11 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเส้น ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W



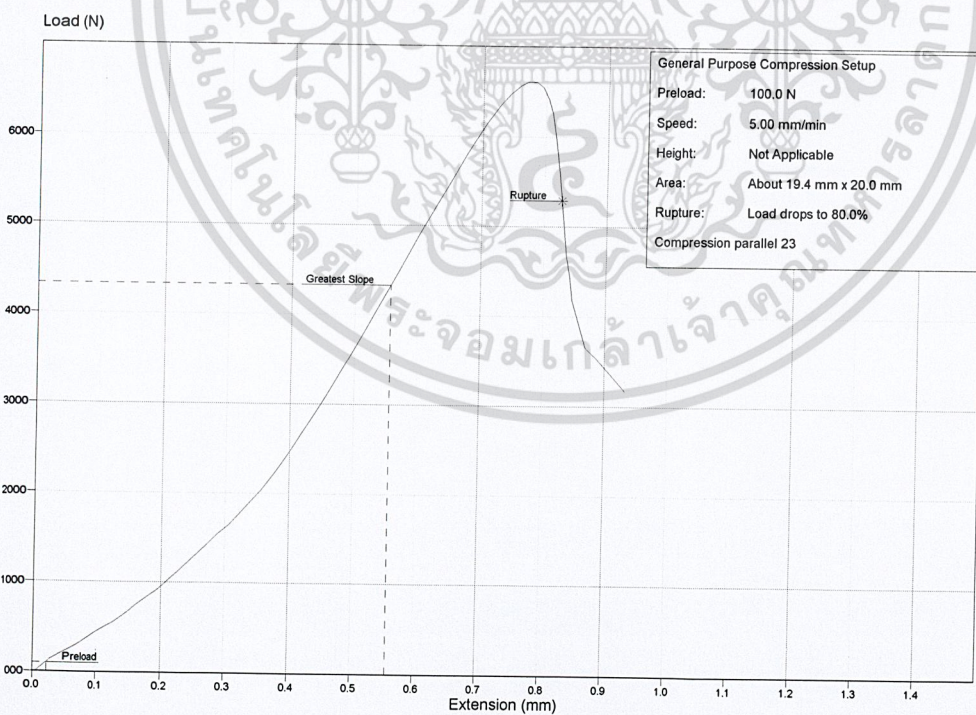
รูปที่ ค.12 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเส้น ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W

ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

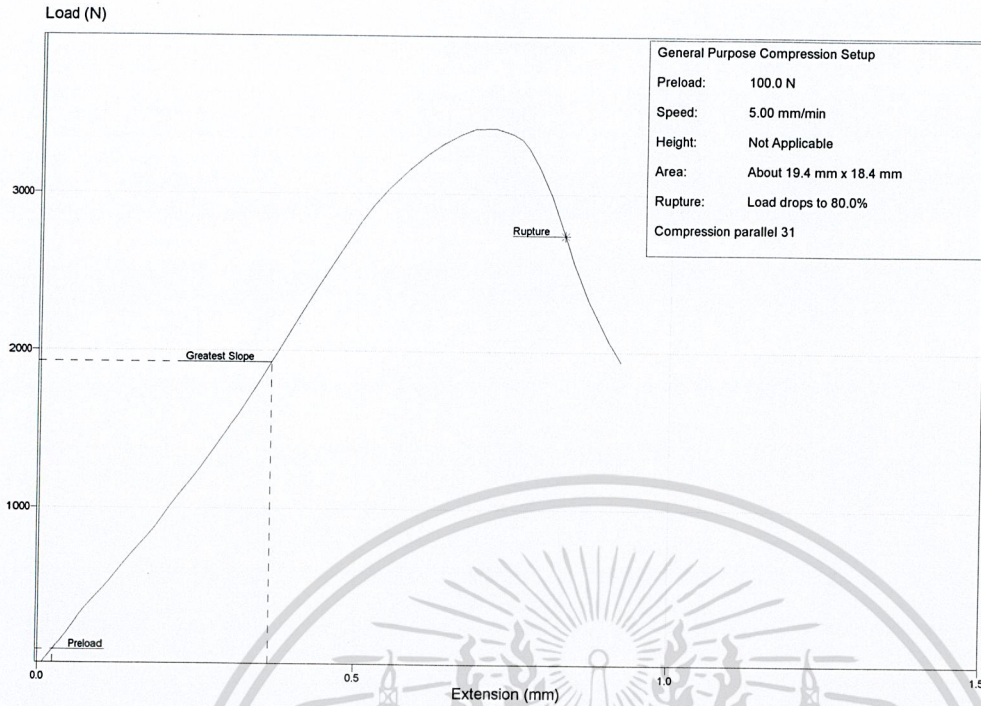


รูปที่ ค.13 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเส้น ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

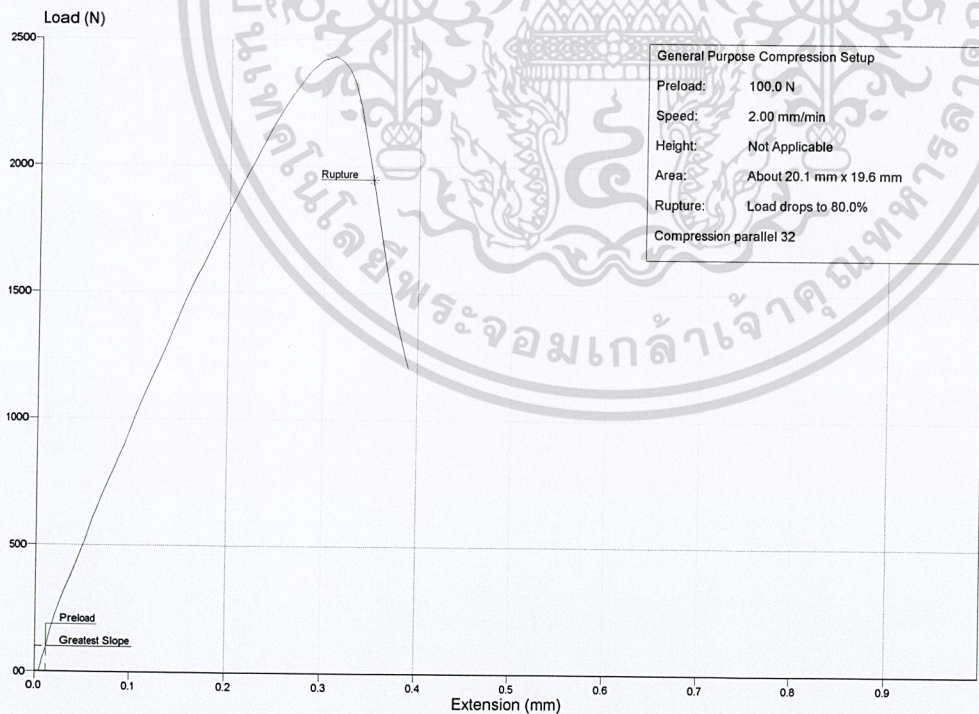


รูปที่ ค.14 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเส้น ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

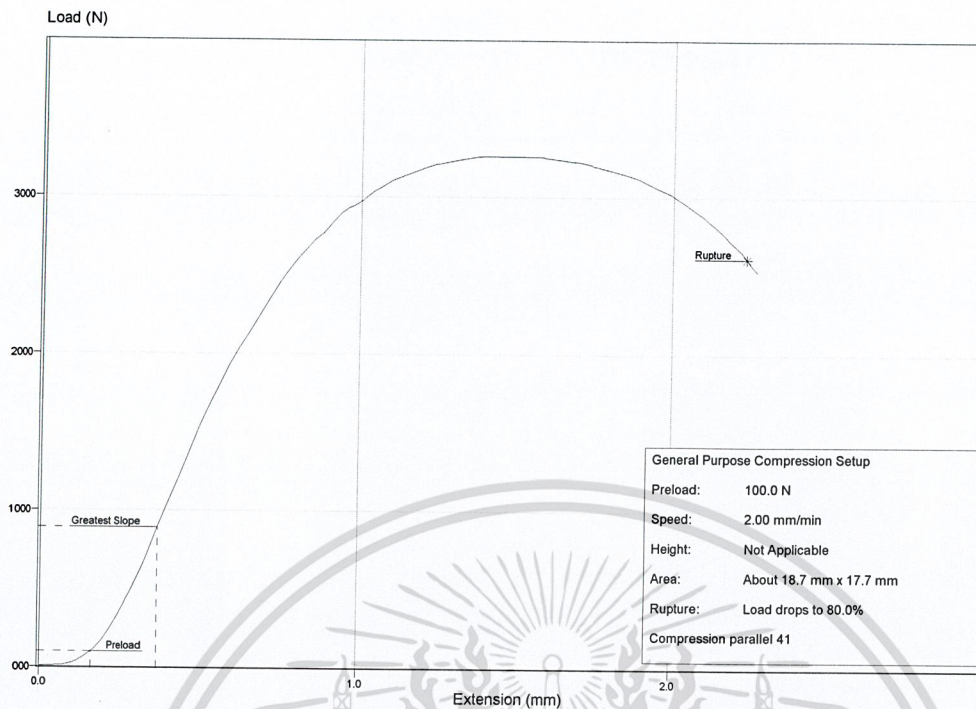


รูปที่ ค.15 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเส้นใย ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s  
ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

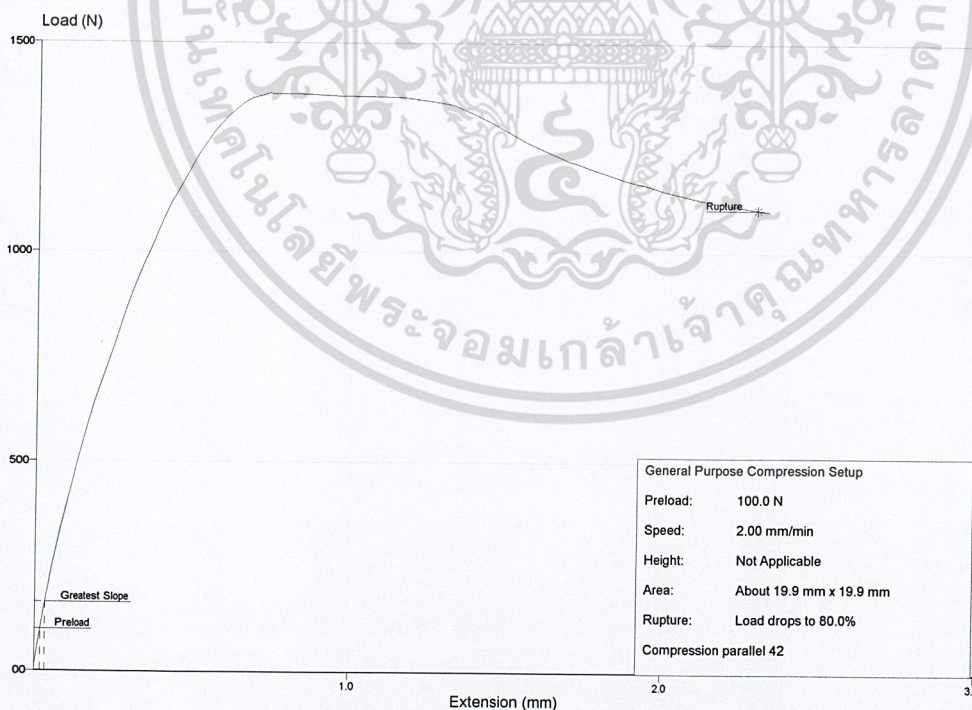


รูปที่ ค.16 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเส้นใย ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s  
ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

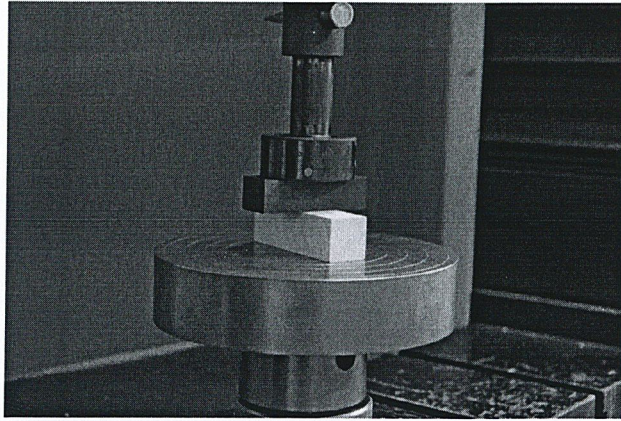


รูปที่ ค.17 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับ หลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



รูปที่ ค.18 ความต้านทานแรงอัดแนวขนานเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับ หลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



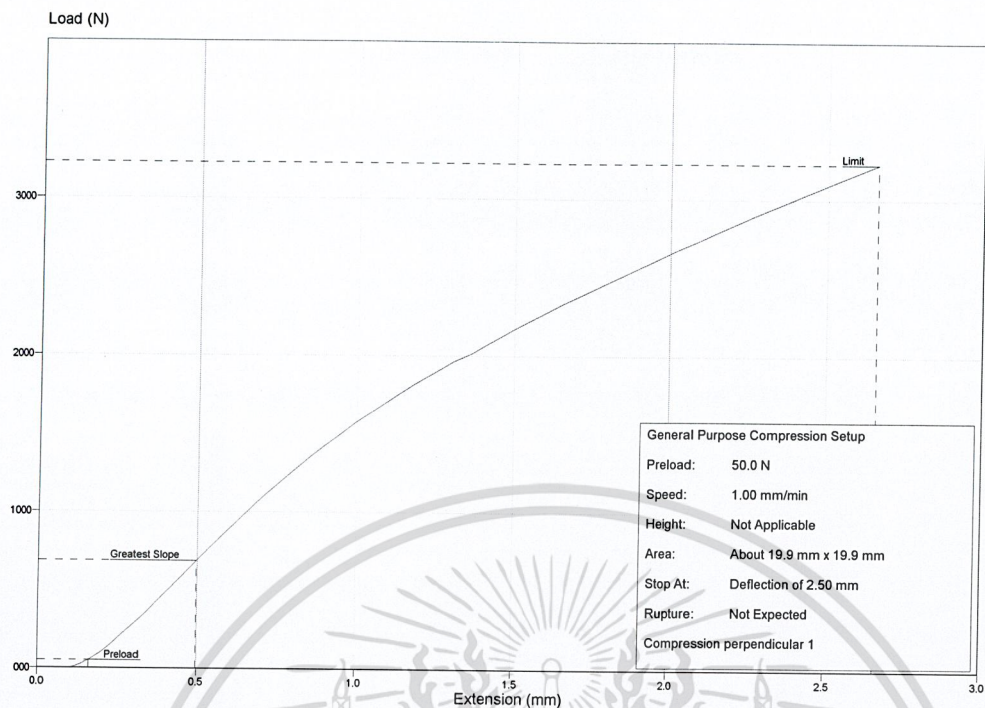
รูปที่ ค.19 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเส้น (Compressive strength perpendicular to grain)

ที่มา <http://wood.wu.ac.th/>

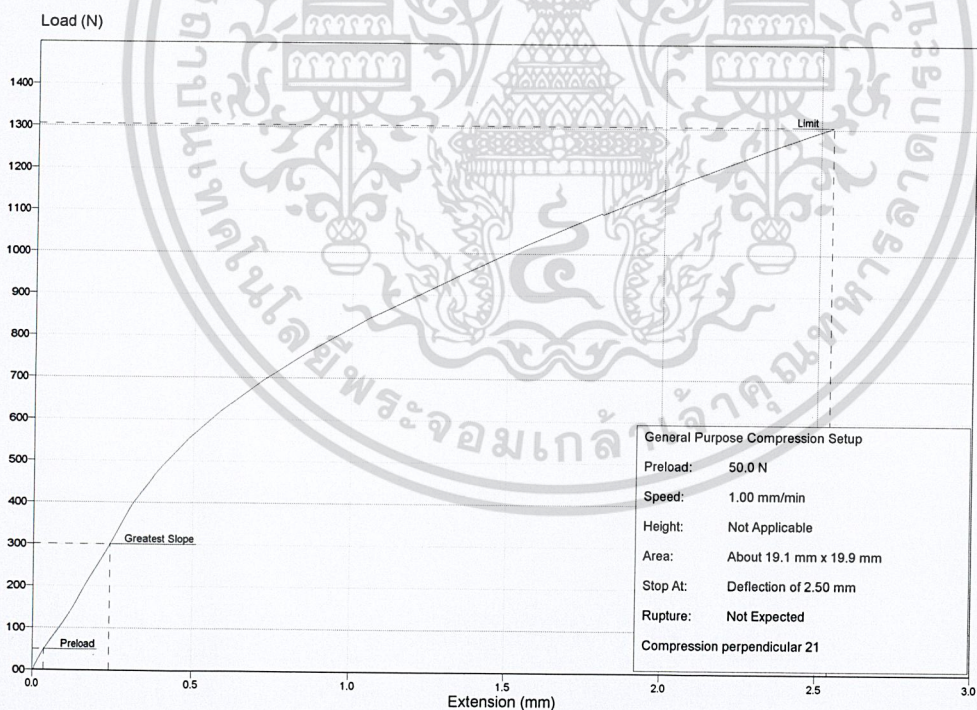
ตาราง ค.3 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเส้น

Sample Information	Width (mm)	Breadth (mm)	Speed (mm/min)	Stress at Yield Load (MPa)
Compression perpendicular 14	19.88	19.85	1	3.01
Compression perpendicular 21	19.14	19.85	1	1.16
Compression perpendicular 22	20.15	19.85	1	1.65
Compression perpendicular 23	20.14	19.85	1	1.68
Compression perpendicular 31	20.41	19.85	1	1.31
Compression perpendicular 32	19.6	19.85	1	1.18
Compression perpendicular 41	19.45	19.85	1	0.93
Compression perpendicular 42	19.17	19.85	1	0.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

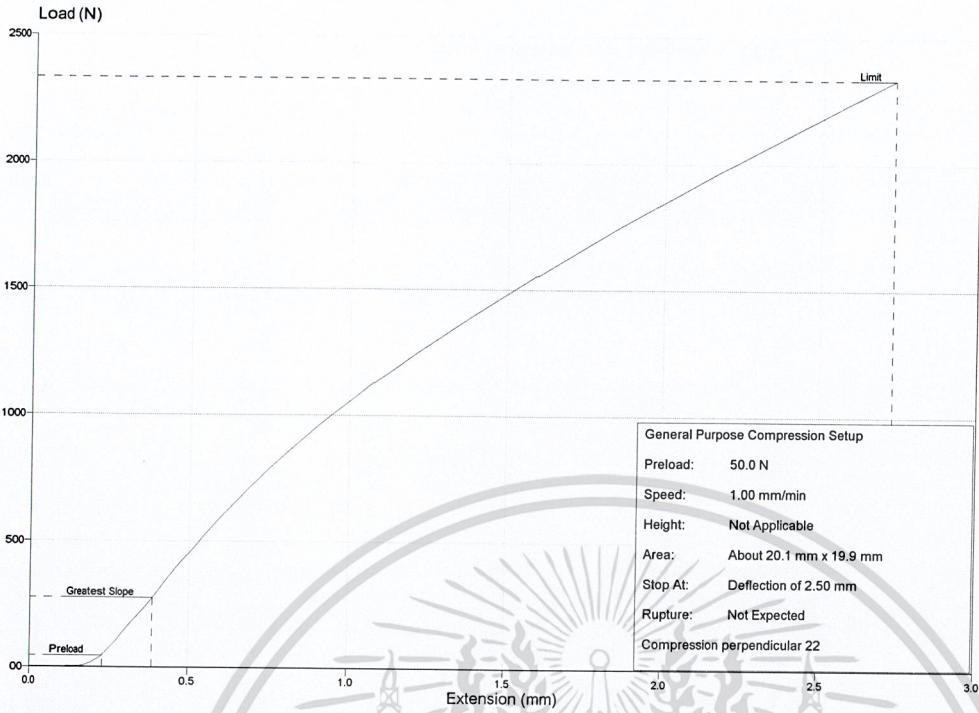


รูปที่ ค.20 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W

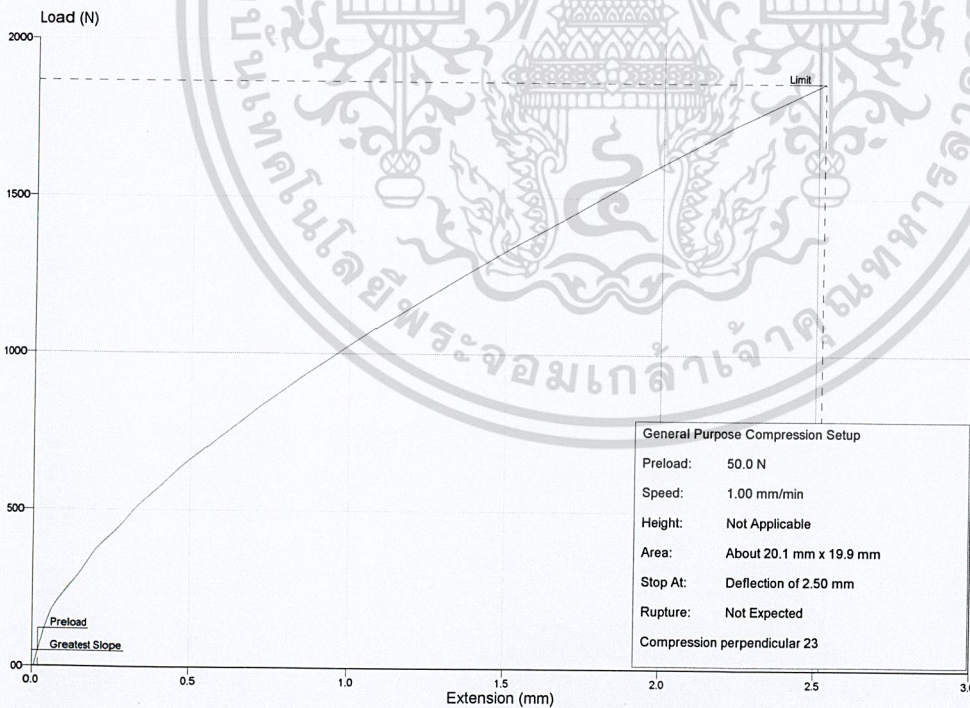


รูปที่ ค.21 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากเสี้ยน ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

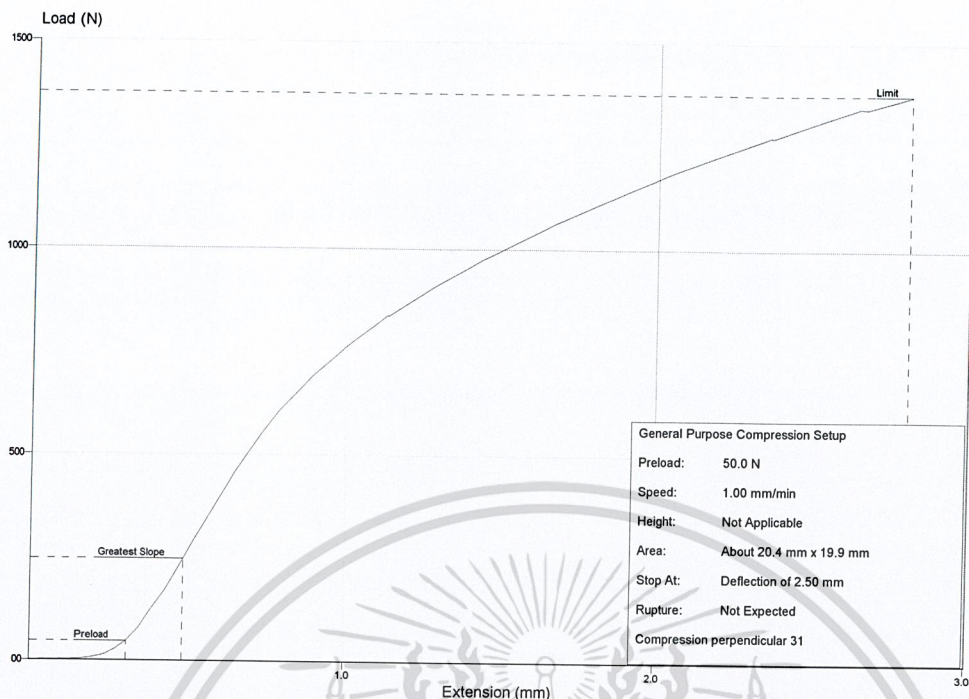


รูปที่ ค.22 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากกับเส้น ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

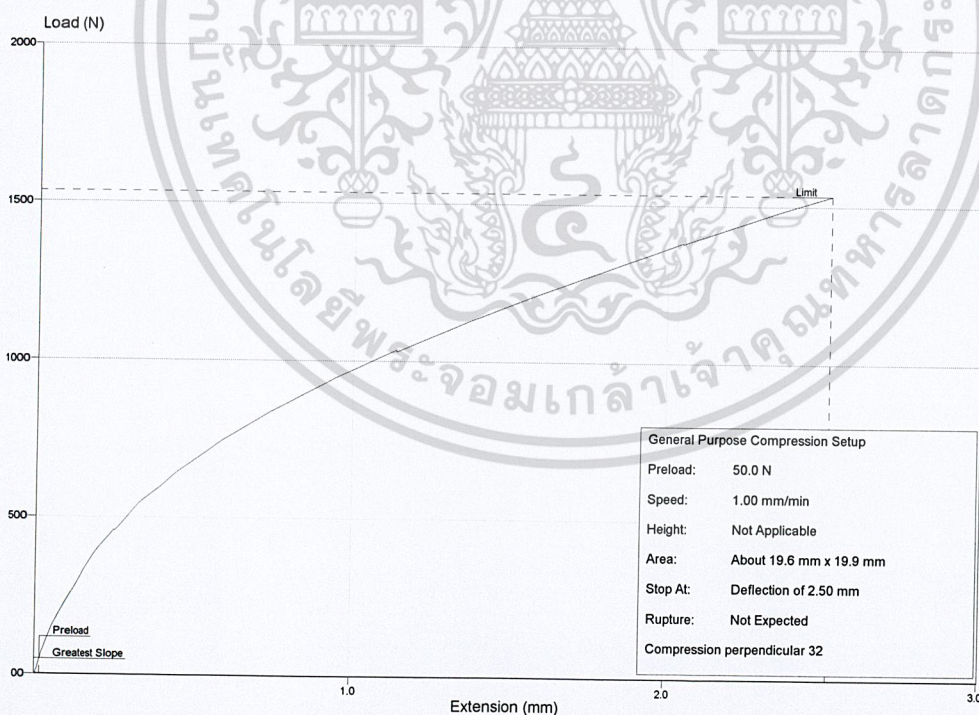


รูปที่ ค.23 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งฉากกับเส้น ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

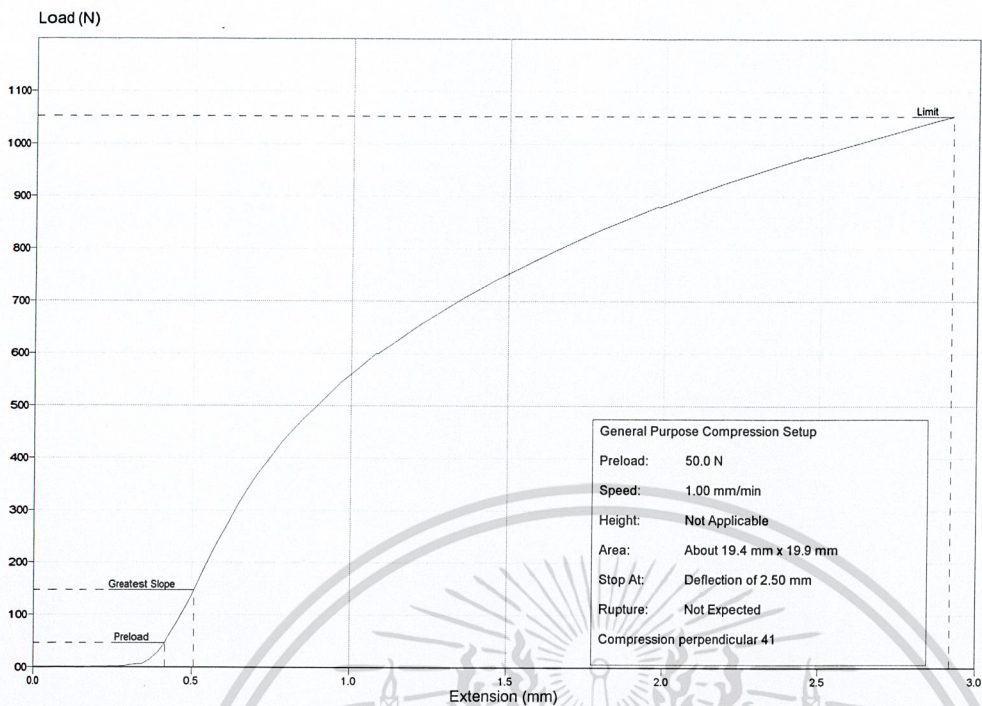


รูปที่ ค.24 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งจากเส้น ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

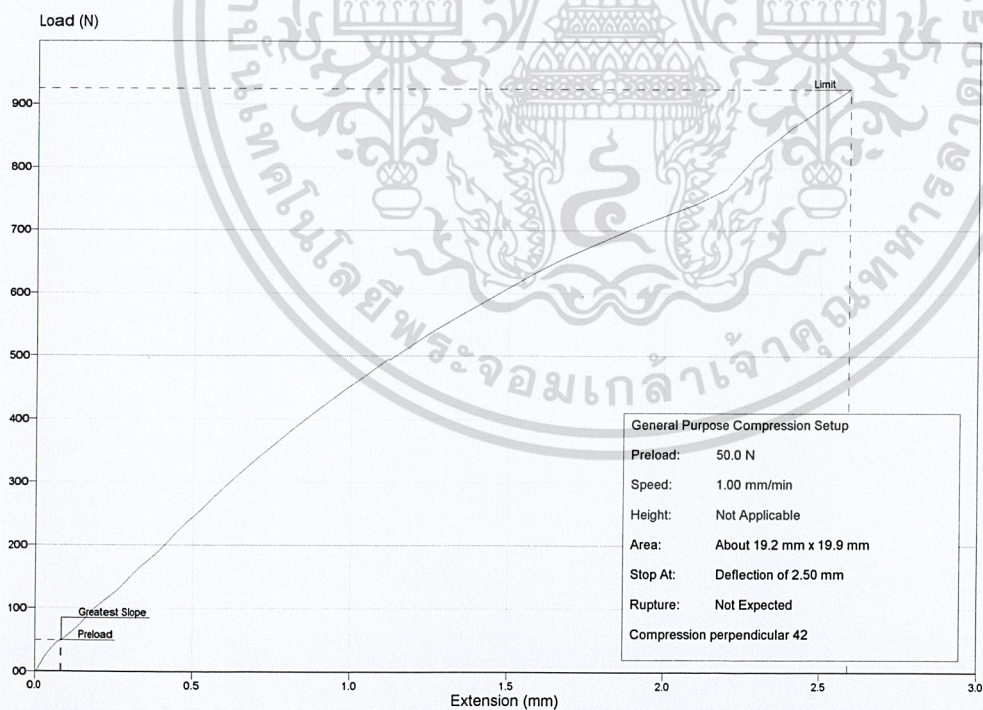


รูปที่ ค.25 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งจากเส้น ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

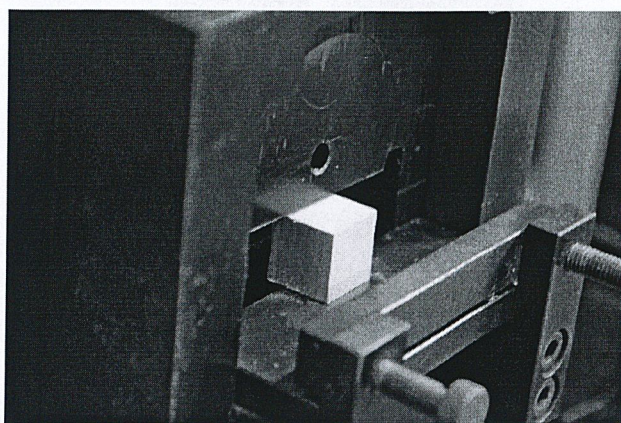


รูปที่ ค.26 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งจากเส้นใย ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับ หลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



รูปที่ ค.27 ความต้านทานแรงอัดแนวตั้งจากเส้นใย ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับ หลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

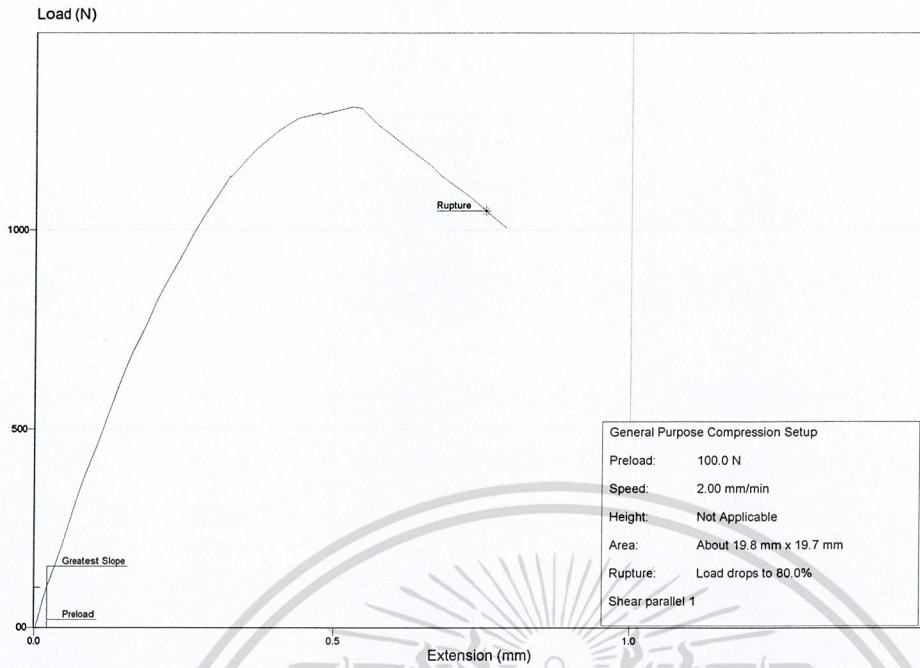


รูปที่ ค.28 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเส้นใย (Shear strength parallel to grain)  
ที่มา <http://wood.wu.ac.th/>

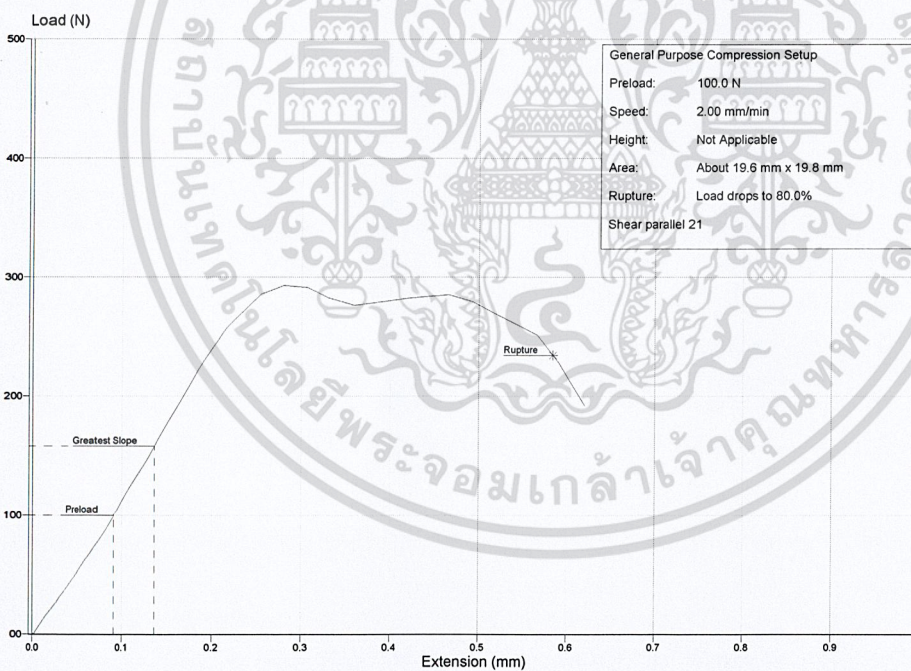
ตาราง ค.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงเฉือนขนานเส้นใย

Sample Information	Width (mm)	Breadth (mm)	Area (mm)	Speed (mm/min)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Stress at Maximum Load (MPa)
Shear parallel 14	19.75	19.7	389.075	2	1310.974162	0.507290859	3.369463888
Shear parallel 21	19.64	19.79	388.6756	2	292.8977836	0.189837684	0.753579035
Shear parallel 22	20.44	19.77	404.0988	2	1820.301375	0.416250174	4.504594853
Shear parallel 23	19.83	19.45	385.6935	2	249.3617859	0.105606809	0.64652836
Shear parallel 31	19.74	19.41	383.1534	2	526.5361265	0.250049187	1.37421755
Shear parallel 32	19.61	19.8	388.278	2	308.5334084	0.754436813	0.794619856
Shear parallel 41	19.67	18.31	360.1577	2	608.2885442	1.243075576	1.688950547
Shear parallel 42	19.49	20.09	391.5541	2	481.2389843	0.444768917	1.229048513

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

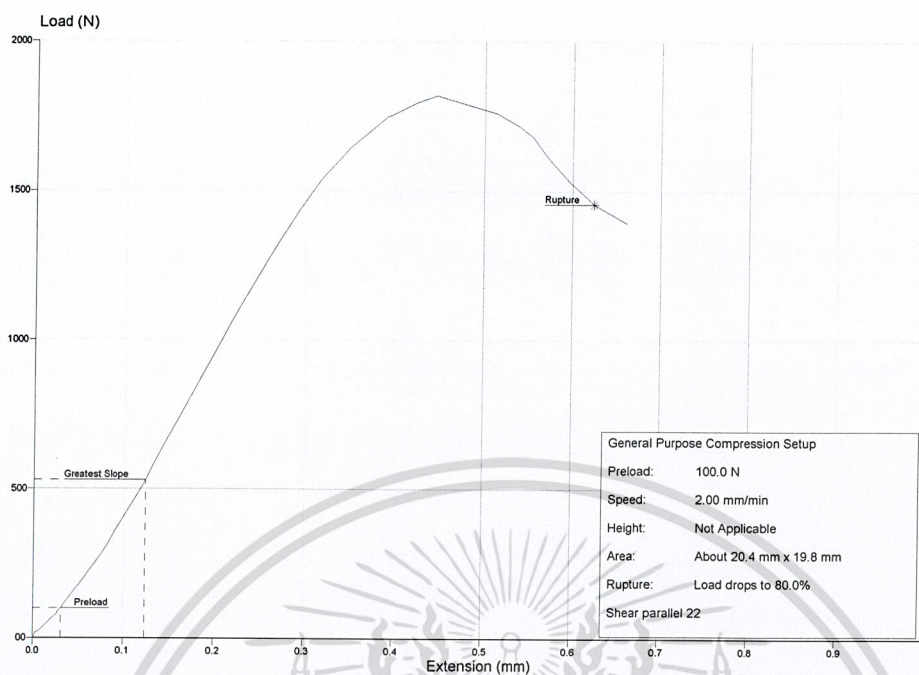


รูปที่ ค.29 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเส้น ไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W

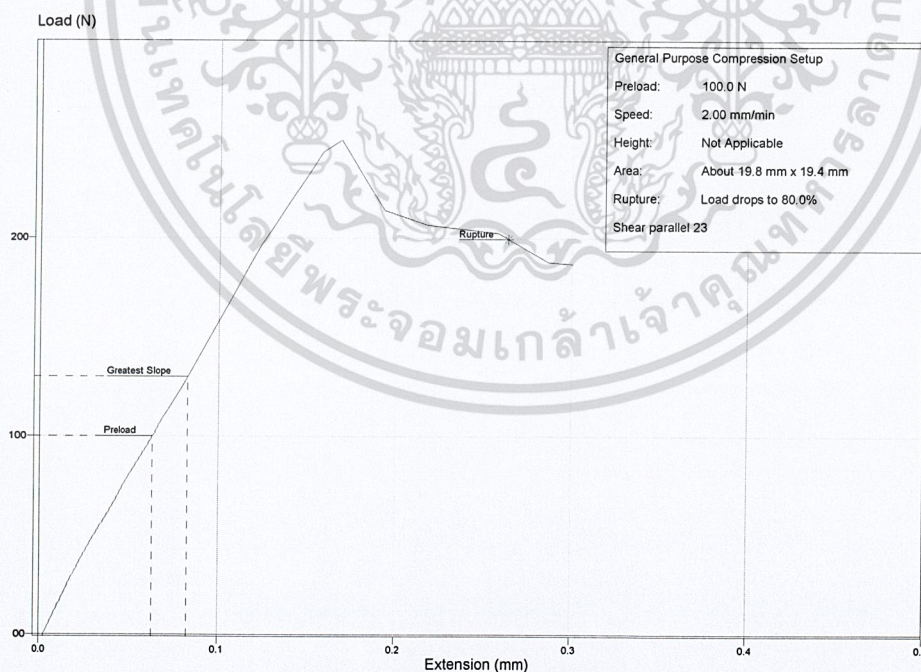


รูปที่ ค.30 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเส้น ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W  
ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

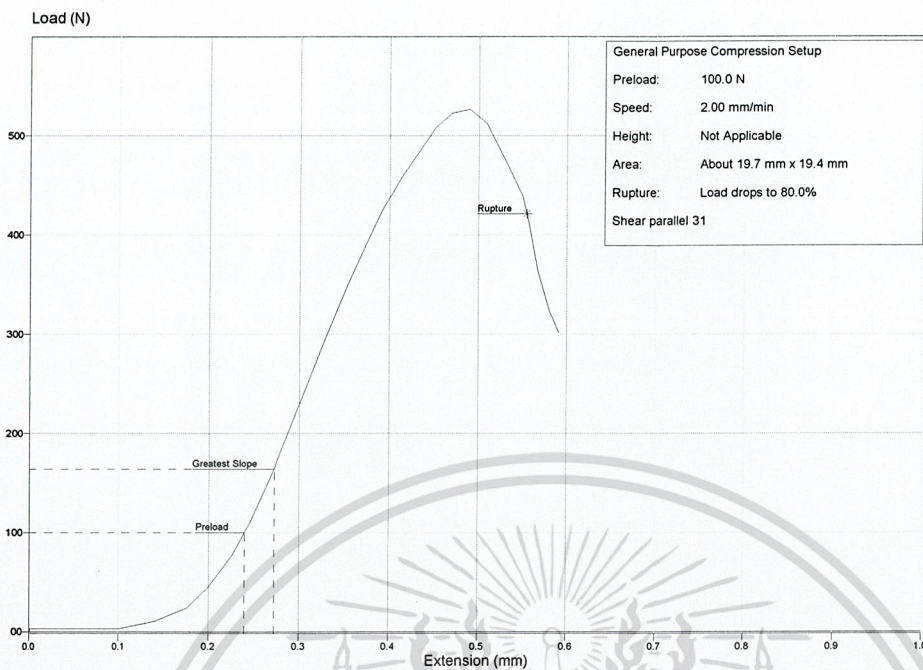


รูปที่ ค.31 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเส้น ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

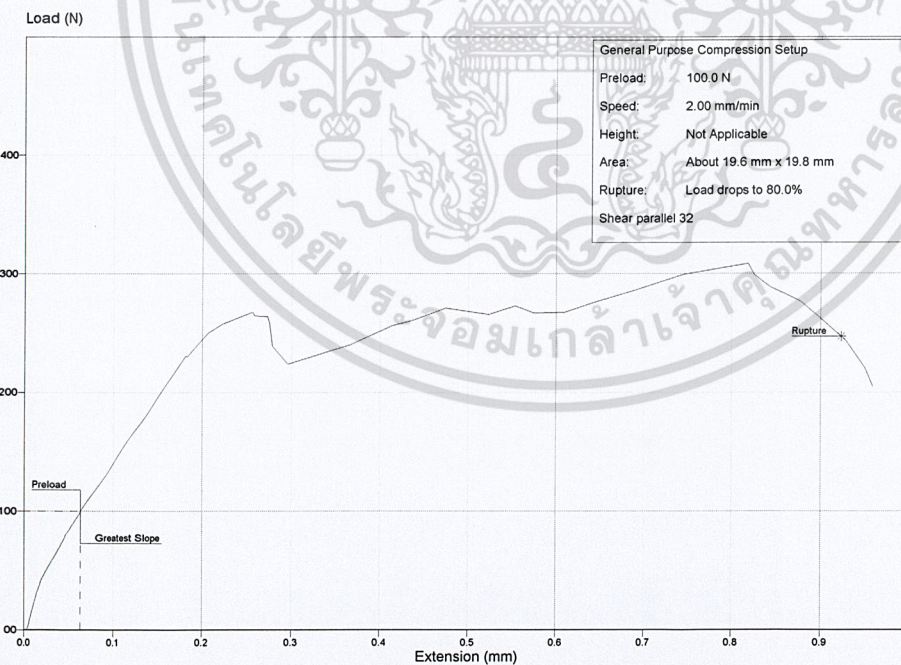


รูปที่ ค.32 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเส้น ไม้ปาล์มที่อบด้วยหลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

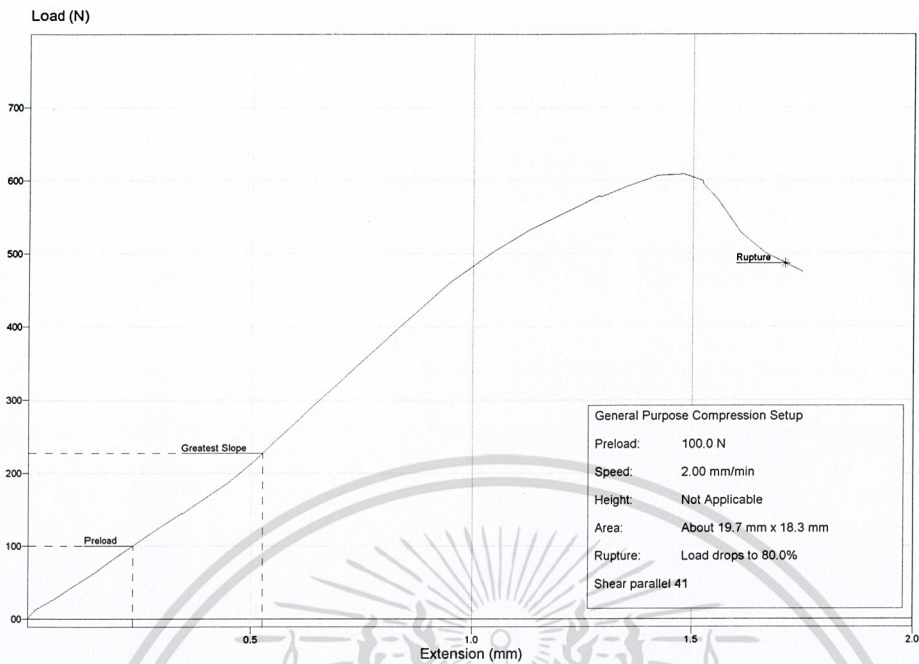


รูปที่ ค.33 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเส้น ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

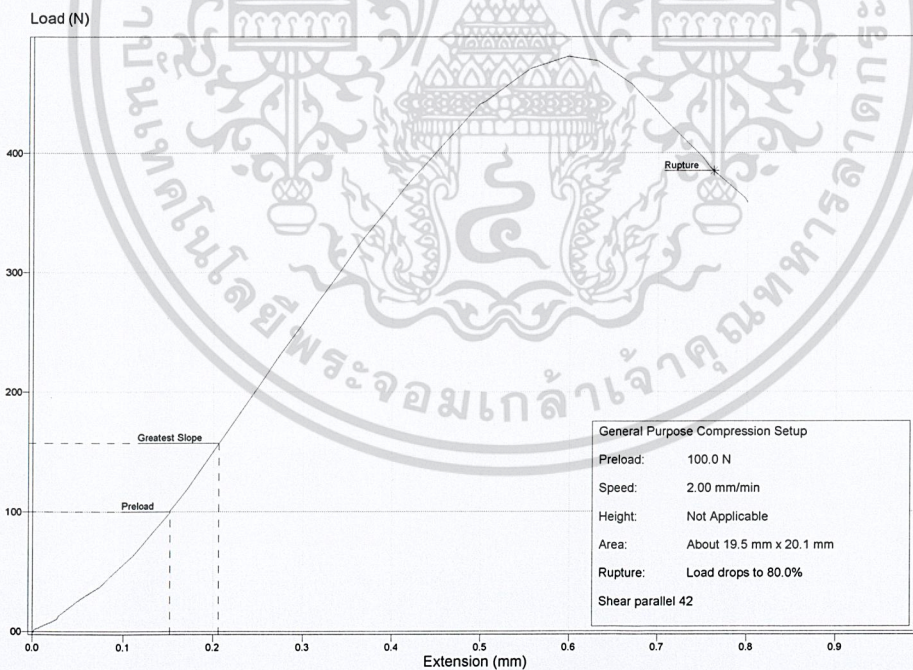


รูปที่ ค.34 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเส้น ไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.35 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเส้นใยไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับ หลอดฮาโลเจน 2,000W ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

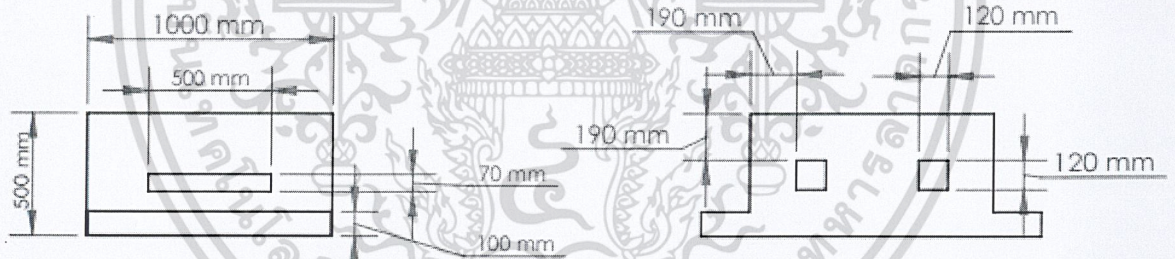
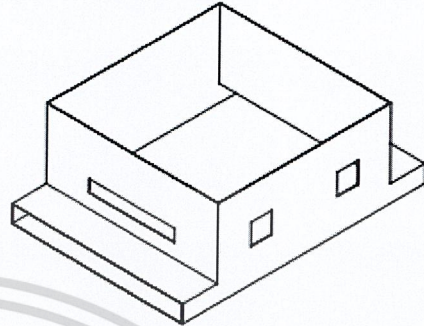
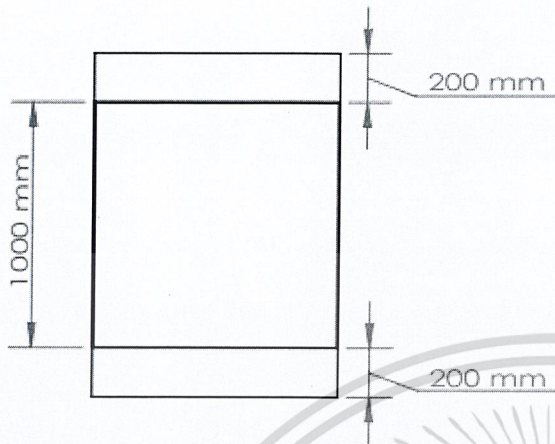


รูปที่ ค.36 ความต้านทานแรงเฉือนขนานเส้นใยไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,600W ร่วมกับ ลมร้อนความเร็ว 2.1 m/s ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



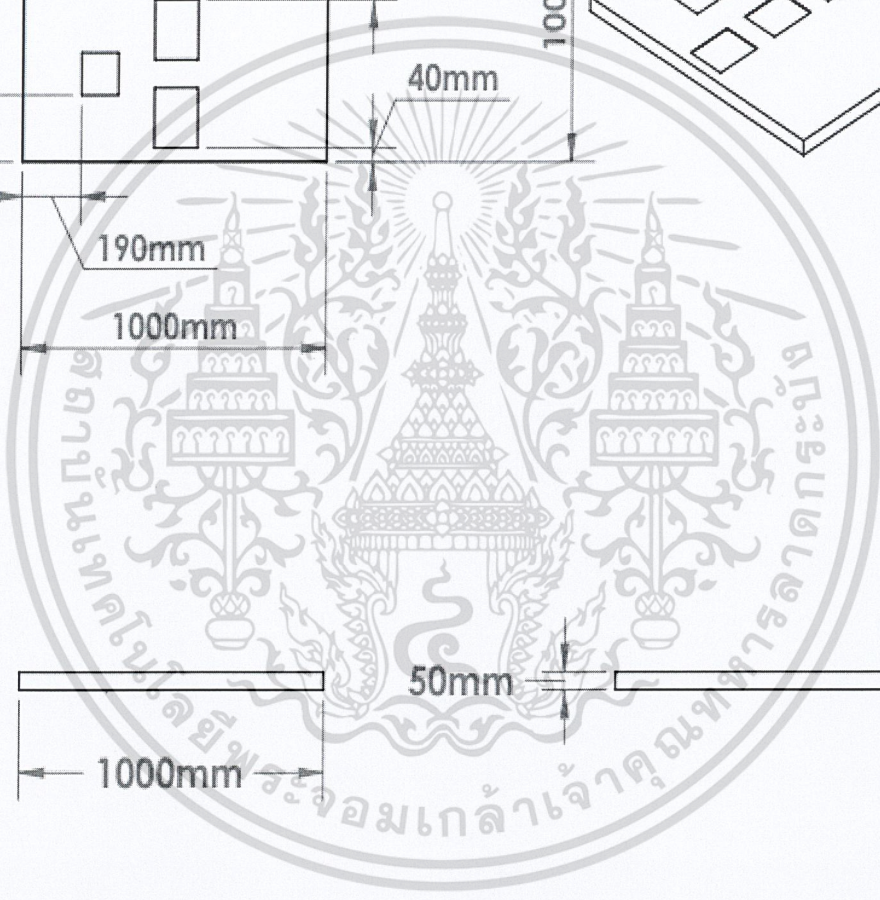
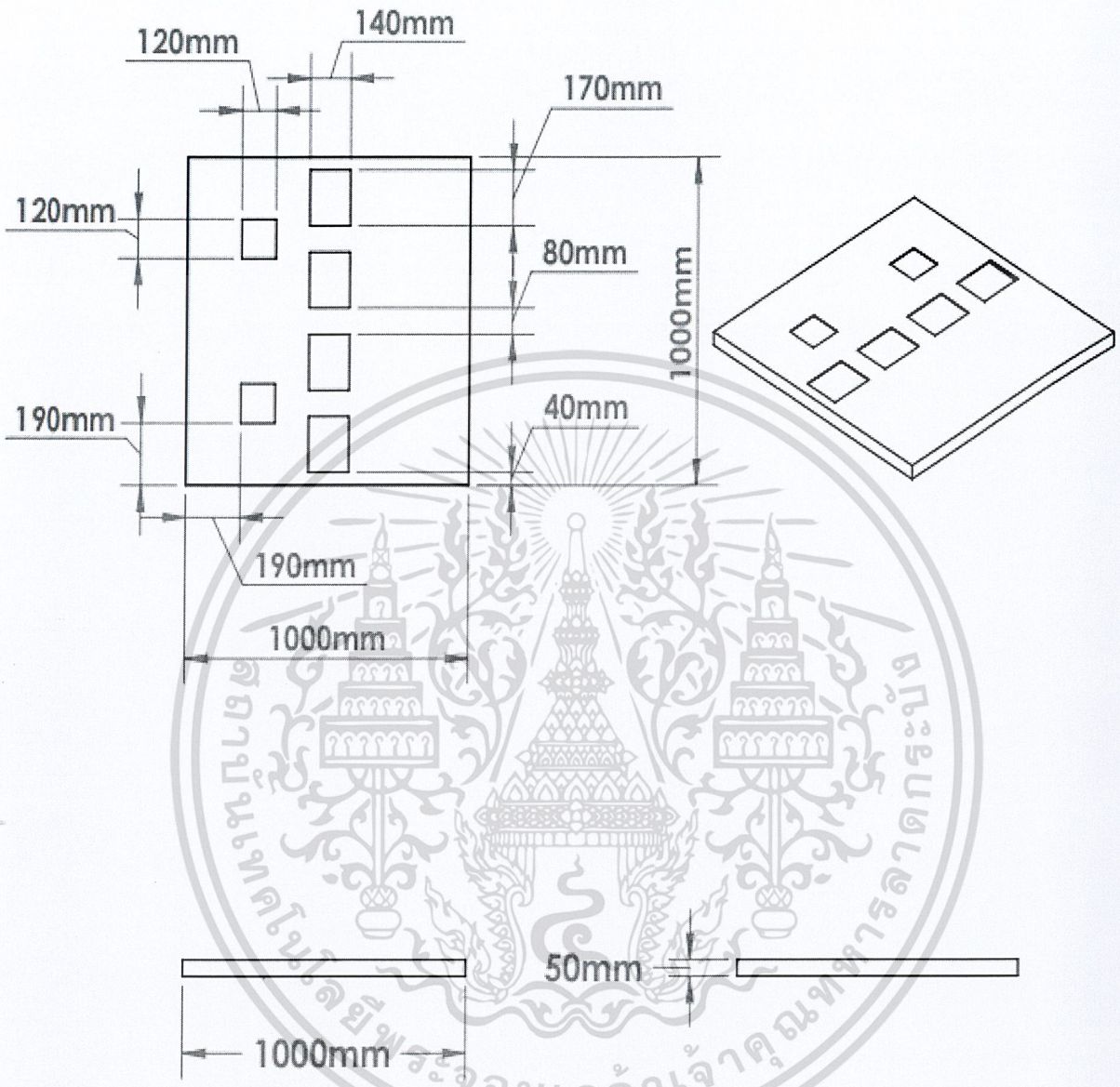
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



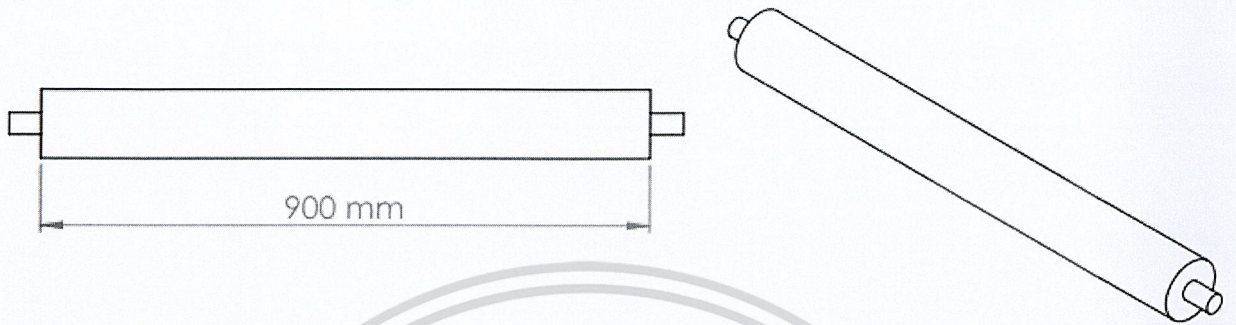
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A.						DWG NO:		A4	
						SCALE:1:24		SHEET 1 OF 1	

Part 1

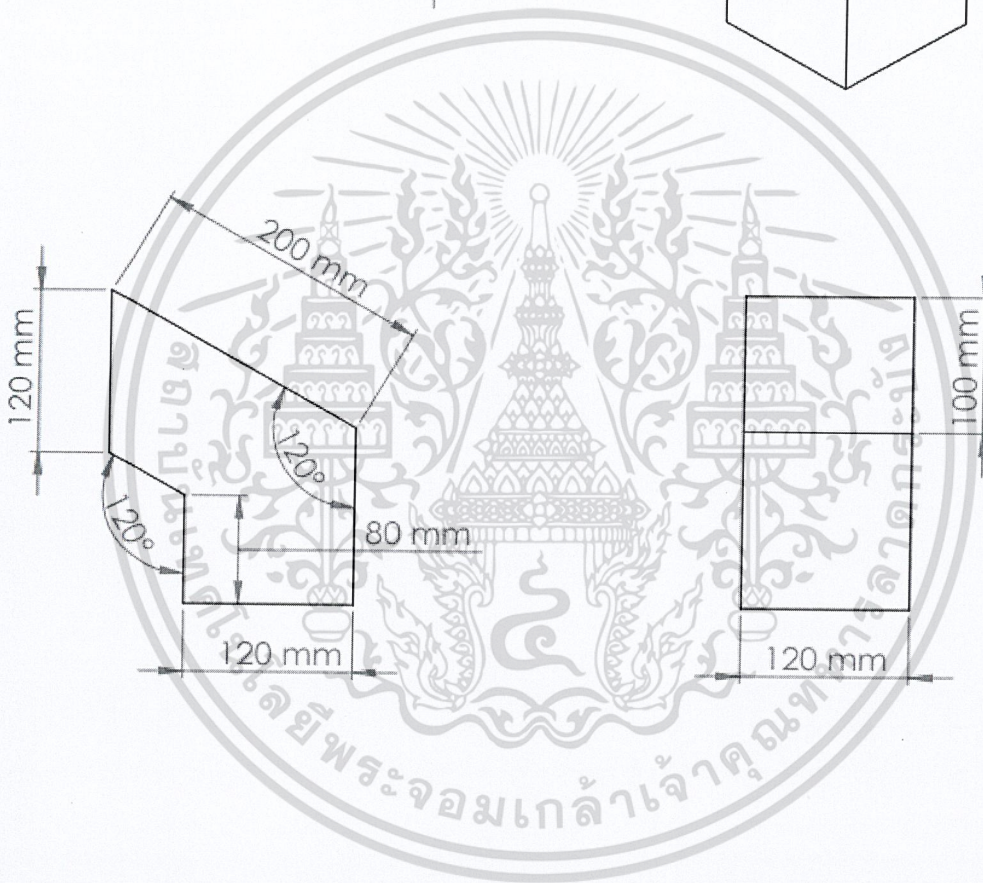
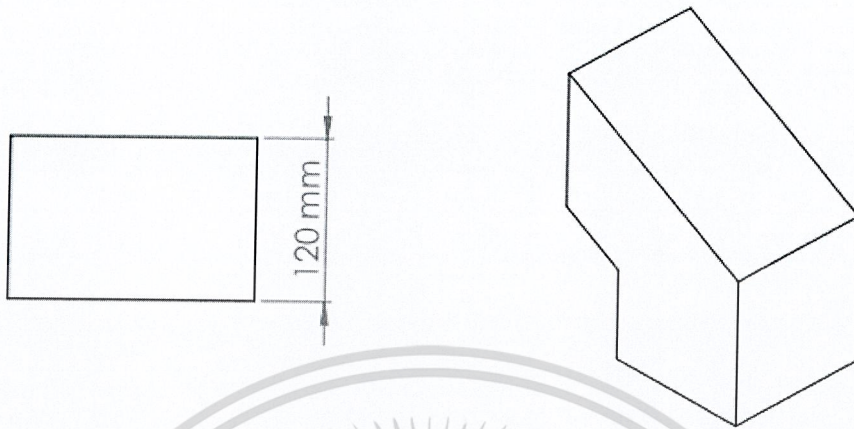
A4



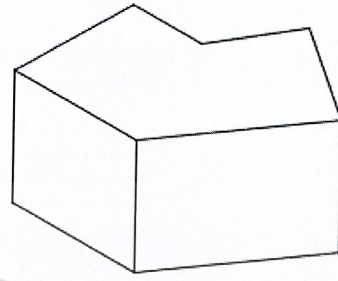
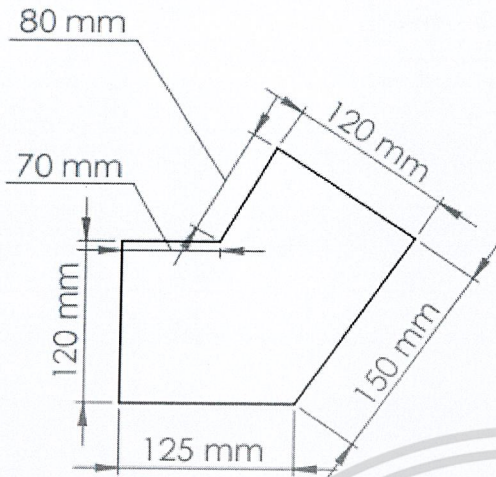
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES			DO NOT SCALE DRAWING			REVISION					
DRAWN			SIGNATURE			DATE			TITLE:			เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นได้รับอนุญาตจากทางผู้เกี่ยวข้อง DWG NO. ไปถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ <b>Part2</b> A4					
CHKD																	
APPVD																	
MFG																	
Q.A																	
						MATERIAL:			WEIGHT:			SCALE:1:24			SHEET 1 OF 1		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN						เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า วัสดุ: แปะลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้			
CHKD									
APPVD									
MFG									
Q.A									
				WEIGHT:		SCALE:1:10		SHEET 1 OF 1	
						DWG NO.		A4	
						Part3			



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
DRAWN		NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:				
CHK'D					เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้				
APP'VD									
MFG									
QA									
		MATERIAL:		DWG NO.		Part4		A4	
		WEIGHT:		SCALE: 1:5		SHEET 1 OF 1			



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:	
DRAWN					ออกจากนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้	
CHK'D						
APP'VD						
MFG						
Q.A						
MATERIAL:			DWG NO.		Part5	
WEIGHT:			SCALE: 1:5		SHEET 1 OF 1	
					A4	



ประวัตินักวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

### ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล.....นายปัญญา แดงวิไลลักษณ์.....

เพศ  ชาย  หญิง วันเดือนปีเกิด..... 5 เม.ย. 2517 อายุ..... 38 ปี

สถานภาพ  โสด  สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน

### ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.ม.	วิศวกรรมเครื่องกล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2542
วศ.บ.เกียรตินิยมอันดับ 2	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยสยาม	2539

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา).....การออกแบบเครื่องจักรกลการเกษตร, เทคโนโลยีปาล์มน้ำมัน, Graphic Design, CAD, CAM, CAE, Network, คอมพิวเตอร์.....

### รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2545	ผลงานดีเด่น สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี พ.ศ.2545	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยแห่งชาติ

### ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2556	งบประมาณเงินงบประมาณประจำปีพ.ศ.2556	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยแห่งชาติ
2556	งบประมาณเงินรายได้ประจำปี พ.ศ.2556	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง
2555	งบประมาณเงินงบประมาณประจำปีพ.ศ.2555	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยแห่งชาติ
2555	งบประมาณเงินรายได้ประจำปี พ.ศ.2555	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง

### ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ).....

.....ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ จารุวัตร เจริญสุข “แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเกิดออกไซด์ของกำมะถันจากการเผาไหม้ของถ่านหินผง” วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 16, ฉบับที่ 3, 2542

### การเสนอผลงานวิชาการ

.....ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ จารุวัตร เจริญสุข “การประยุกต์วิธี Finite volume กับ การจำลองการไหลในท่อขยายอย่างฉับพลัน” สัมมนาวิชาการวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12, ปีที่ 12, พฤศจิกายน 2541.

Patara Suppatkul, Panya Daungvilailus and Chamlong Prabkeao. “Development of Palm Oil Pressing Machine Without Sterilization Process” International Workshop Strengthening

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the Application of Agricultural Engineering and Post harvest Technology for Effective and Sustainable Development in Agricultural Production, pp.129, Dec. 2005, Hanoi, Vietnam

ศิริระ สายศร, วสันต์ คำจันทร์, **ปัญญา แดงวิไลลักษณ์** “การศึกษากลไกการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วมกับฟลูอิดไดซ์เบด” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18, หน้าที่ 860-863, ตุลาคม 2547, จ.ขอนแก่น

ศิริระ สายศร **ปัญญา แดงวิไลลักษณ์** “การเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวโพดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟและเครื่องอบแห้งแบบหมุนวนร่วมกับไมโครเวฟ”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19, หน้าที่ 1079-1084, ตุลาคม 2548, จ.ภูเก็ต

**ปัญญา แดงวิไลลักษณ์** จำลอง ปรานแก้ว “เครื่องบีบน้ำมันปาล์มขนาดเล็กสำหรับกลุ่มเกษตรกร”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19, หน้าที่ 360-365, ตุลาคม 2548, จ.ภูเก็ต

ดิษฐพร ตุงโสธานนท์, **ปัญญา แดงวิไลลักษณ์**, พงษ์เจต พรหมวงศ์ และ วชร กาลาสี 2549. “ความต้องการพลังงานภาคการผลิตของประเทศไทยในแต่ละช่วงของเศรษฐกิจ: ส่วนที่ 1 ช่วงปี 1987-2004”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

วชร กาลาสี, **ปัญญา แดงวิไลลักษณ์**, ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์ 2549. “แนวโน้มความต้องการพลังงานในภาคการผลิตของไทย: ส่วนที่ 2 (2005-2020)”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

กฤษ สมนึก **ปัญญา แดงวิไลลักษณ์** วชร กาลาสี “พัฒนาการอบปาล์มน้ำมันด้วยไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22, 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ศูนย์รังสิต

กฤษ สมนึก **ปัญญา แดงวิไลลักษณ์** วชร กาลาสี “พัฒนาการอบปาล์มน้ำมันด้วยไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22, 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ศูนย์รังสิต

**ปัญญา แดงวิไลลักษณ์** จำลอง ปรานแก้ว “เครื่องแยกผลปาล์มออกจากทะเลสายแบบลากจูง” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22, 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ศูนย์รังสิต

ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

..... “ เครื่องแยกผลปาล์มจากทะเลสาย ชนิดถ่วงกลมและฐานหมุน ” ..... จำลอง ปรานแก้ว ,

..... จารวัตร เจริญสุข และ **ปัญญา แดงวิไลลักษณ์** “ ผลงานดีเด่น สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี พ.ศ.2545 ได้รับอนุสิทธิบัตร เลขที่ 1339 เมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2546. และได้เผยแพร่ใน วารสารสมาคมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ปีที่ 2 เล่มที่ 3 ประจำเดือนกุมภาพันธ์- มีนาคม 2546. วารสาร UP DATE, ปีที่ 18 ฉบับที่ 185 ประจำเดือนมกราคม 2546. และจดหมายข่าว ปาล์มน้ำมัน ปีที่ 3 ฉบับที่ 4 เดือน ธันวาคม 2545 – กุมภาพันธ์ 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

## ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล.....นายวชร กาลาสี.....

เพศ  ชาย  หญิง วันเดือนปีเกิด.....อายุ.....ปีสถานภาพ  โสด  สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน

## ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.ม.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2548
วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2544

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา).....การออกแบบเครื่องจักรกลการเกษตร,  
ยางพารา, พลังงาน.....

## ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2548	ทุนผู้ช่วยวิจัยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (สกว.)	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (สกว.)
2548	ทุนเรียนดีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

## ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

## ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่/การเสนอผลงานวิชาการ(ระดับชาติ)

1. Wachara Kalasee, Surajit Tekasakul, Piroj Kirirat and Perapong Tekasakul. 2003. "Particle Size Distribution of Smoke from Rubberwood Burning", The 1<sup>st</sup> PSU Symposium on Graduate Research, March 12, 2003., Songkhla, Thailand.
2. Wachara Kalasee, Yuttapoom Pongpariyawatee, Wachirapan Tantaprapa, Suthirat Suwanjarat, Pairoj Kirirat and Perapong Tekasakul. 2003. "Fuel Efficiency Enhancement in The Rubber Smoking Process of The Rubber Cooperatives" The 17<sup>th</sup> Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand, October 15-17 2003, Prachinburi, Thailand.
3. Wachara Kalasee, Surajit Tekasakul, Piroj Kirirat and Perapong Tekasakul. 2004. "Improvement of Rubber Smoking Room for Rubber Cooperative in Southern Thailand", The 2<sup>nd</sup> PSU Symposium on Graduate Research, March 12 2004, Songkhla, Thailand.
4. พีระพงศ์ ทีฆสกุล, วชร กาลาสี และ สุรจิตร์ ทีฆสกุล. 2547. "การปรับปรุงการไหลในห้องรมยางของสหกรณ์ กองทุนสวนยางรุ่นปี 2537 เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิง", มอ. วิชาการ, 14-21 สิงหาคม 2547, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, ประเทศไทย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. พีระพงศ์ ทิฆมสกุล, สุรจิตร์ ทิฆมสกุล และ วุชร กาลาสี. 2548. “การปรับปรุงห้องรมยางของ สหกรณ์ กองทุนสวนยางรุ่นปี 2537”, มอ. วิชาการ, 12-19 สิงหาคม 2548, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ , สงขลา, ประเทศไทย.

6. นฤปดี ศรีสังข์, ทรงธรรม ไชยพงษ์, ปราโมทย์ กุศล, วุชร กาลาสี. 2549. “ประสิทธิภาพการ ดักจับอนุภาคผงซอล์กของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต”, นเรศวรวิจัยครั้งที่ 2, 28-28 กรกฎาคม 2549, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

7. วุชร กาลาสี, นฤปดี ศรีสังข์, ภัทร สุพพัตกุล และ พีระพงศ์ ทิฆมสกุล. 2549. “ประสิทธิภาพ การดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต: ส่วนที่ 1 อนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้ง”, การ ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

8. นฤปดี ศรีสังข์, จรัสชัย เย็นพยับ, พีระพงศ์ ทิฆมสกุล และ วุชร กาลาสี. 2549. “ประสิทธิภาพ การดักจับอนุภาคเขม่าควันของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต: ส่วนที่ 2 ผลกระทบของความต่างศักย์”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

9. ดิษฐพร ตุงโสธานนท์, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, พงษ์เจต พรหมวงศ์ และ วุชร กาลาสี. 2549. “ความต้องการพลังงานภาคการผลิตของประเทศไทยในแต่ละช่วงของเศรษฐกิจ: ส่วนที่ 1 ช่วงปี 1987- 2004”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

10. วุชร กาลาสี, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์. 2549. “แนวโน้มความต้องการพลังงานในภาคการผลิตของไทย: ส่วนที่ 2 (2005-2020)”, การประชุมวิชาการ เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี, นครราชสีมา.

#### ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่/การเสนอผลงานวิชาการ(ระดับชาติ)

1. Wachara Kalasee, Surajit Tekasakul, Yoshio Otani and Perapong Tekasakul. 2003. “Characteristics of Soot Particles Produced from Rubberwood Combustion”, The 2<sup>nd</sup> Asian Particle Technology Symposium (APT 2003), Volume II, December 17-19, 2003, Penang, Malaysia.

2. Perapong Tekasakul, Surajit Tekasakul, Wachara Kalasee, Mitree Tantichaowan and Yoshio Otani. 2005. “Removal of Smoke Particles produced from Rubberwood Combustion in Rubber Smoke Industry”, The 4<sup>th</sup> Asian Aerosol Conference (ACC- 2005), December 13-16, 2005, Bombay, India.

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

## ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายดิษฐ์พร ตุงโสธานนท์

เพศ  ชาย  หญิง วันเดือนปีเกิด ..... อายุ ..... ปีสถานภาพ  โสด  สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน

## ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.ม.	วิศวกรรมเครื่องกล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2548
วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2545

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) การออกแบบเครื่องจักรกล, เครื่องยนต์.....

## ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

## ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่/การเสนอผลงานวิชาการ(ระดับชาติ)

1. ดิษฐ์พร ตุงโสธานนท์, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, พงษ์เจต พรหมวงศ์ และ วุชร กาลาสี. 2549. "ความต้องการพลังงานภาคการผลิตของประเทศไทยในแต่ละช่วงของเศรษฐกิจ: ส่วนที่ 1 ช่วงปี 1987-2004", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

2. วุชร กาลาสี, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, ดิษฐ์พร ตุงโสธานนท์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์. 2549. "แนวโน้มความต้องการพลังงานในภาคการผลิตของไทย: ส่วนที่ 2 (2005-2020)", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

## ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล.....นายศิริระ สายสร.....

เพศ  ชาย  หญิง วันเดือนปีเกิด.....อายุ.....ปีสถานภาพ  โสด  สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน

## ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
Ph.d	เทคโนโลยีพลังงาน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2553
วศ.ม.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2545
วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2542

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา).....การไหลสองสถานะในท่อขนาดไมโคร  
 แชนเนล, เทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

## รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2008	Outstanding oral presentation in RGJ-Ph.D. Congress IX April 4-6, 2008	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยแห่งชาติ

## ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ).....

1. Saisorn S, Wongwises S. A review of two-phase gas-liquid adiabatic flow characteristics in micro-channels. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 2008; 12: 824-838. มี impact factor 4.842
2. Saisorn S, Wongwises S. Flow pattern, void fraction and pressure drop of two-phase air-water flow in a horizontal circular micro-channel. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2008; 32: 748-760. มี impact factor 1.234
3. Saisorn S, Wongwises S. An inspection of viscosity model for homogeneous two-phase flow pressure drop prediction in a horizontal circular micro-channel. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2008; 35: 833-838. มี impact factor 1.189

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Saisorn S., Wongwises S. An experimental investigation of two-phase air-water flow through a horizontal circular micro-channel. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2009; 33: 306-315. มี impact factor 1.234
5. Saisorn S., Wongwises S. The effects of channel diameter on flow pattern, void fraction and pressure drop of two-phase air-water flow in circular micro-channels. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2010; 34: 454-462. มี impact factor 1.234
6. Saisorn S., Kaew-On J., Wongwises S. Flow pattern and heat transfer characteristics of R-134a refrigerant during flow boiling in a horizontal circular mini-channel. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2010; 53: 4023-4038. มี impact factor 1.947

ผลงานวิชาการอื่น ๆ (เช่น Proceeding ตำรา ฯลฯ)

1. Saisorn S., Wongwises S. Two-phase flow in circular micro-channels. *ECI International Conference on Heat Transfer and Fluid Flow in Microscale*; Whistler Canada, September 21-26, 2008.
2. Saisorn S., Kaew-On J., Wongwises S. Flow boiling heat transfer characteristics of R-134a in horizontal and vertical mini-channels. *8<sup>th</sup> International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels*; Montreal Canada, August 1-5, 2010.
3. ศิระ สายสร, วสันต์ ดวงคำจันทร์, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, “การศึกษากลไกการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วมกับฟลูอิดไดซ์เบด”, .....การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18, 18-20 ตุลาคม 2547 จังหวัดขอนแก่น
4. ศิระ สายสร, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, “การเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวโพดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟและเครื่องอบแห้งแบบหมุนร่วมกับไมโครเวฟ”, .....การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, 19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดสงขลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

## ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายไชยรัตน์ เพชรศรี

เพศ  ชาย  หญิง วันเดือนปีเกิด..... อายุ..... ปีสถานภาพ  โสด  สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน

## ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยมหานคร	2540

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) เครื่องมือกล, การเชื่อม งานระบบ.....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Evaluation of oil palm wood drying process using Microwave by using a Continuous Belt.

Panya Daungvilailux<sup>1,\*</sup>, Jaruwat Charoensuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Chumphon, Thailand 86160

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Bangkok, Thailand 10520

\* Corresponding Author: Tel: 086 7546234, Fax: 077 591446,  
E-mail: [kdpanya@kmitl.ac.th](mailto:kdpanya@kmitl.ac.th)

### Abstract

This paper reports the results of an experimental investigation on the drying with microwave by using a continuous conveyor of oil palm wood from Chumphon in Thailand. A chamber with size of  $500 \times 1000 \times 1000 \text{ mm}^3$  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 size of  $1 \times 2 \times 10 \text{ in}^3$ . The saw pattern oil palm stems was Cobweb sawing. The sample of oil palm wood is hot air oven baked at  $105^\circ\text{C}$  for initial moisture content by control moisture content of oil palm wood is between 12-20% of a standard timber. Drying of oil palm wood using microwave is carried out by a continuous belt at 1200 W, 1600 W and 2000 W. The oil palm wood was drying at 20 minutes and then switch to cool by natural force for 20 minutes. The wood moisture content was 12%. The results at 2000w, drying time is 140 minutes and the most deformation of wood such as twisting and shrinkage is generally. At 1600w, used time at 180 minutes is obtained. Finally, at 1200w, drying at 20 minutes and switch to cool by natural force 20 minutes consume time of 220 minutes with the least deformation of wood.

**Keywords:** oil palm wood, microwave drying, timber drying, dielectric properties of oil palm wood.

### 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 mould growth [2], checks, twisting, shrinkage or swelling [3]. The Department of Export Promotion (DEP), expresses great satisfaction with Thailand's 2010 furniture export growth. The new record of 1,172.85 million USD worth of exported furniture was achieved. In Thailand, wood exported wood products is rubber wood, pine wood and softwood and sawn timber and logs, which have increased in share from 40% in 1998 to 79% in 2007. We conclude that the high proportion of softwood products in the wood export markets of these country is a result of scarcity of raw wood materials because of

strict controls on the logging of natural forests. The price of wood is expensive, which is not enough to industry. The research of this work was to study of drying palm wood characterizing. The oil palms (*Elaeis guineensis*) Fig.1 shows two species of the Arecaceae, or palm family. Indonesia and Malaysia are the main producers and supplying more than 85% of world consumption. Mature trees are single-stemmed, and grow up to 20 m tall. The leaves are pinnate, and reach between 3 and 5m long. The flowers are produced in dense clusters; each individual flower is small, with three sepals and three petals. Unlike the coconut palm, the oil palm does not produce offshoots; propagation is by sowing the seeds. Oil palm is the highest yielding edible oil crop in the world. It is cultivated in 42 countries in 11 million ha worldwide [4]. Oil palms are commonly used in commercial agriculture in the production of palm oil. Thus, oil palm is considered as a multipurpose and economically significant crop in many developing countries. The area under oil palm cultivation is likely to greatly increase over the next two decades. In Thailand, for example, the Royal Thai Government has a policy of a 5-fold expansion in

the area under oil palm cultivation over the next 20 years[5]. On the other hand, due to the economic life span of this popular crop (25 years), the producer countries have been facing a serious environmental problems 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 millions cubic meter biomass from oil palm trunk are available annually.[6]



Figure 1 Oil palms (*Elaeis guineensis*)

Figs.2,3 and 4 show, the common handling-method during replanting process of oil palm plantation, which was the push felled and burn to reduce the mass and volume.



Figure 2 Push-felled and windrow replanting method of the oil palm plantation



Figure 3 The burn during replanting process of oil palm

This method creates very significant air pollution. Therefore, the above mentioned producers immediately banned the burning method through introducing the zero burning program.



Figure 4 Palm wood being eliminated during replanting

## 2. Material and Methodology

### 2.1 Oil Palm Trunk Processing

In material preparation, all selected oil palm trees were felled manually using chainsaw. In order to get the homogeneous lumbers, the bottom part of the trunk was marking based on the visual colour-impression of vascular bundles distribution at transverse section. This was carried out to define 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. All of the trees were taken from replanting age (25 year old) oil palm plantation at farm of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Chumphon campus (Fig. 5) and the properties of the wood were shown in at table 1.

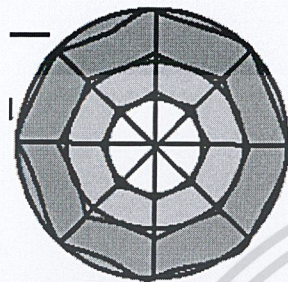


Figure 5 Lumbering process of oil palm trunk using chainsaw

This study was to design of sawing patterns by cobweb sawing, (Fig.6) depend on the trunk condition. Lumbering process of oil palm trunk using chainsaw is presented [8]. The specimens wood has dimension of a 1 x 2 x 10 in<sup>3</sup>.

Table 1. The properties of oil palm wood[7]

The properties of the wood	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%



Cobweb sawing (CS)

Figure 6 Sawing patterns were called cobweb sawing

### 2.2 Macroscopic Oil Palm Wood Structure

Macroscopic characteristics are the features which are visible with the naked eyes or using a magnifying glass with capability of magnifying 2-3 times. According to the visual observation of oil palm wood, the trunk shape at transverse section is normally circular and two parts may be distinguished e.g. the main part of the trunk and the cortex and bark, as shown in Fig. 7

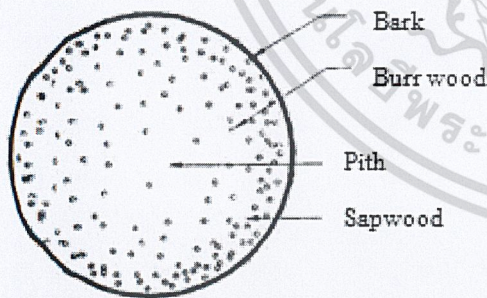


Figure. 7: Oil palm trunk at transverse section consists of the main part of the trunk and the cortex and bark

### 2.3 The response of wood to microwave energy

Water is a good absorber of microwave energy due to its physical properties, as shown in Fig. 8a. The electronic configuration concerns with the molecule forming a dipole which is directed along the bisector of the angle formed by the oxygen and hydrogen atoms [9]. When placed in an electric field, the dipole will be re-orientated with respect to the field (see Fig. 8b). The positive end of the dipole will experience a torque

in the negative field direction whilst the negative pole would align itself with the positive direction of the field. If the field is made to alternate the molecule will oscillate as it endeavors to line up with the instantaneous field direction. The amount of lag between the axis of the dipole and the field direction will determine the amount of energy lost to the field in the form of friction. The tangent of the angle between the dipole and the electric field is called the loss tangent and is a measure of the dipole's ability to absorb microwave energy. It is both frequency and temperature dependent.

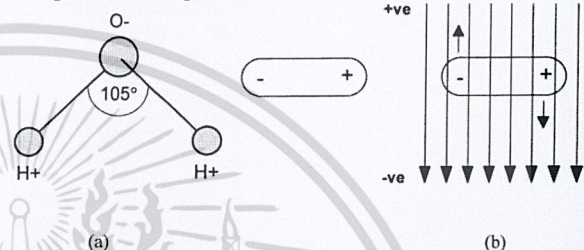


Fig. 8. (a) Electronic configuration of a water molecule and (b) dipole reorientation in an electric field.[10]

The loss tangent can be derived from a material's complex permittivity. The real component of the permittivity is called the dielectric constant whilst the imaginary component is referred to as the loss factor. The ratio of the loss factor to the dielectric constant is the loss tangent. The complex dielectric constant is given by [11-12]:

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (1)$$

where  $\epsilon$  is the complex permittivity;  $\epsilon'$  is the real part of dielectric constant;  $\epsilon''$  is the loss factor; and  $\epsilon''/\epsilon' = \tan\delta$  is the loss tangent. Knowledge of a material's dielectric properties enables us to predict their ability to absorb energy when exposed to microwave radiation. The average power absorbed by a given volume of material when heated dielectrically is given by the equation

$$P_{av} = \omega\epsilon_0\epsilon_{eff}'' E_{rms}^2 V \quad (2)$$

where  $P_{av}$  is the average power absorbed (W);  $\omega$  is the angular frequency of the generator (rad/s);  $\epsilon_0$  is the permittivity of free space;  $\epsilon_{eff}''$  is the effective loss factor;  $E$  is the electric field strength (V/m); and  $V$  is the volume ( $m^3$ ). The effective loss factor  $\epsilon_{eff}''$  includes the effects of conductivity in addition to the losses due to polarization. It provides an adequate measure of the total loss, since the mechanisms contributing

to losses are usually difficult to isolate in most circumstances [10]. The tested samples used were molded average at  $\epsilon_r' = 5.61$ ,  $\epsilon_r'' = 0.95$  and  $\tan \delta = 0.17$  of Oil palm wood.

### 3. Experimental apparatus and procedure

#### 3.1 Components of drying oil palm wood separating machine.

During drying process in the conventional oven, sample oil palm wood were placed in a microwave oven and initial moisture content 190%db is reduced down to 12%db(standard). The microwave oven used in this work was Samsung model MS103HCE 4 units. It has dimension of a  $500 \times 1000 \times 1000$  mm.<sup>3</sup>, by modify from microwave cooking.

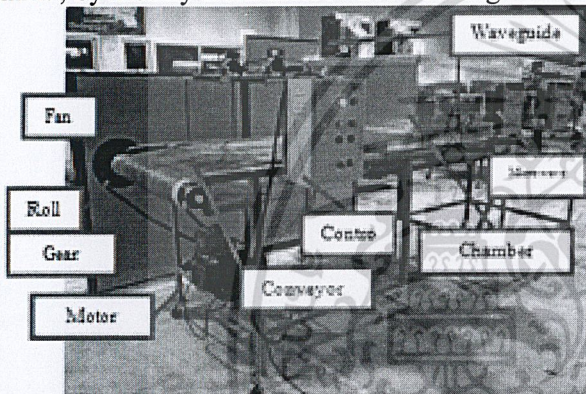


Figure. 8 Chamber of drying with microwave

The microwave oven used in this work was Samsung model MS103HCE 4 units. The maximum output total power was 4.0 kW. The wall of the stove is made from stainless steel 316 with 1 mm thick. (Fig.8)

#### 3.2. Experimental methods.

1. Using oil palm trees were felled and the stems were cut short to 3.0 m long logs.(Fig.5)
2. The diameter of the logs, 1.0 m long tapered butt was cut out from each of the stem and only the next three logs were taken as the sawing test material.(Fig.9)



Figure.9 Oil palm wood were cut short to 1 m long logs.

3. Saw wood was cobweb sawing in fig.10



Figure. 10 Sawing patterns were called cobweb sawing of oil palm wood

4. The saw sample has size of  $1 \times 2 \times 10$  in<sup>3</sup>
5. Analysis of initial moisture content of wood with Hot Air Oven at 105 °c about 72 hour.
6. Weighting the sample again before drying
7. Set Time for stepping motor.
8. The microwave power level is adjusted to be 1200w(4x300w), 1600w(4x400w) and 2000w(4x500w) respectively.
9. Turn on the machine and run experiments, drying 20 minute punctuate set aside 20 minute until to 12%db.
10. Weighting the sample again after drying. (Fig.10)
11. Record the relevant data.
12. Testing sample by universal testing machine

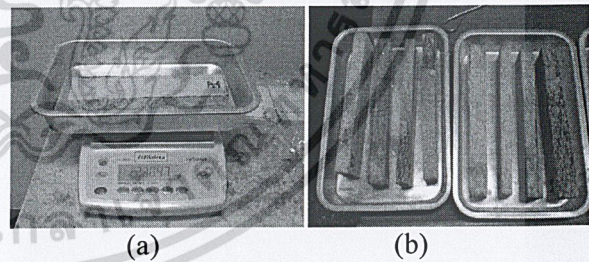


Figure. 11 (a) Weighting of sample, (b) The sample timber after drying.

#### 3.3 Method for calculation

The method of calculating the moisture content from the samples was to compare the current mass of the wood with its initial mass. In this regard, the moisture content is calculated using the relationship

$$\text{Moisture content} = \frac{\text{Original mass} - \text{Oven dry mass}}{\text{Oven dry mass}} \times 100\%$$

#### 4. Results and Discussion

The drying of wood 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.

With the experiment, at 1200w, the moisture content of wood will decline. Until, 120-140 min and 160-180 min of drying, the wood moisture content is reduced rapidly at the time of 220 minutes corresponding to the wood moisture content was 12%. At 1600w, the moisture content of wood will decline. Until, 80-100 min and 120-140 min of drying, the wood moisture content is reduced rapidly at the time of 180 minutes and the wood moisture content of 12%. Finally at 2000w, the moisture content of wood will decline. Until, 40-60 min and 80-100 min of drying, the wood moisture content is reduced the most rapidly and the time of 140 minutes, the wood moisture content was 12% as show in Fig.12.

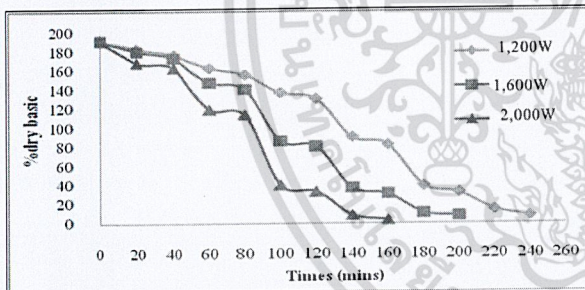


Figure. 12 Moisture content vs. exposure time for microwave oven dried wood at 1200, 1600 and 2000w respectively.

The wood specimens used in these experiments were from oil palm timber cut into tensile specimens of the dimensions shown in Fig. 13. The wood was selected on the basis of its newness to the industry and because the results obtained from this work would be of great interest to end users of this and other timbers.

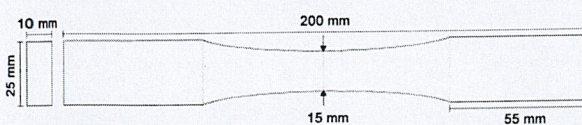


Figure. 13 Dimensions of the wood specimen

The moduli of elasticity were determined by evaluating the slopes of the tangents drawn

from the origin of the axes to the stress-strain curves, and the values obtained are tabulated with other mechanical properties in Table 2

Table.2 Summary of the strength properties for sample oil palm timber

Power(w)	Failure strength (MPa)	Modulus of elasticity (GPa)	Yield strength (MPa)
1200	54	2.81	12.4
1600	41	2.32	10.8
2000	29	1.40	8.1

## 5. Conclusion

The results of experimental investigation on the effects of drying method on the mechanical properties of wood demonstrate that there can be large variations in the strength of the final product when different of power are used. This has significant consequences as far as timber usage in industry is concerned. Indeed, depending on the drying method, the strength properties of the wood can either increase as demonstrated by wood dried at 1,200w or severely decrease as evidenced by the microwave dried wood with 2,000w. Depending on the final application for which the wood is to be used, this may or may not have significant consequences. For example, where the wood is intended for purely decorative purposes, the strength properties are of little importance. However, where the wood is intended for use in construction, the consequences of a decrease in strength and stiffness may be more significant. Certainly, drying wood at elevated power can deliver fast time and cost savings to the wood industry.

## 6. Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support provided under the Office of National Research Council of Thailand(NRCT), and knowledge of analyze properties oil palm wood provided under Research Center of Microwave Utilization in Engineering at Thammasat University for the development of the experimental facilities described in this paper.

## 7. References

- [1] S. Grundberg, An X-ray LogScanner – a Tool for Control of the Sawmill Process, Lule University of Technology, Skellefte, 1999.
- [2] S. Geving, J. Holme(2010). The drying potential and risk for mold growth in compact wood frame roofs with built-in moisture, J. Build. Phys.pp249.

- [3] B. Esping, Tr torkning grunder torkning, Stockholm(1992).Effects on microwave measurements and simulations when collecting data close to edges of wooden boards
- [4] Khalid, M., Salmiaton, A., Chuah, T.G., Ratnam, C.T., Choong, S.Y.T. (2008). Effect of MAPP and TMPTA as compatibilizer on the mechanical properties of cellulose and oil palm fiber empty fruit bunch–polypropylene biocomposites. *Compos. vol.15 (2–3), pp.251–262*
- [5] Cherdchai Phosri, Alia Rodriguez, Ian R. Sanders, Peter Jeffries(2010).The role of mycorrhizas in more sustainable oil palm cultivation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* , vol.135, pp.187–193
- [6] Erwinsyah (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
- [7]J.Charoenatkul, A.madsalae(2008), The use of Palm Wood in the work engineering., Rajamangala University of technology Srivijaya
- [8] Baker et al.(2006). Polygon Sawing:An Optimum Sawing Pattern for Oil Palm Stems, *Journal of Biological Sciences Year: 2006* Volume: 6, Issue: 4, PP. 744-749
- [9] J. Thuery(1992). Microwaves: Industrial Scientific and Medical Applications, Artech House, Norwood, MA, USA,
- [10] A. Oloyede, P. Groombridge(2000). The influence of microwave heating on the mechanical properties of wood, *Journal of Materials Processing Technology*, PP. 67-73
- [11] A.C. Metaxas, R.J. Meredith(1983). Industrial Microwave Heating, Peter Peregrinus Ltd., London, England,.
- [12] Ratanadecho.P(2009). The microwave processing of wood using a continuous microwave belt drier, *Chemical Engineering and Processing:Process Intensification*, pp. 997–1003