สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาเครื่องอบไม้บางจากลำต้นปาล์มน้ำมันด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยใช้สายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง

Education of drying for veneer wood of palm oil trunk by microwave combine hot air by using a continuous conveyor

นายปัญญา แดงวิไลลักษณ์
นายศรีรัตน์ ช่วยบุญ
นางสาววารุณี ลิ่มมั่น
นายนฤบดี ศรีสังข์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 149074
วัน.เดือน.ปี - 4 ส.ค. 2561

.b.....
.i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก เงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาเครื่องอบไม้บางจากลำต้นปาล์มน้ำมันด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้สายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง

แหล่งเงิน เงินงบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2559 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 482,600 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค.58 ถึง 30 ก.ย.59

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

หัวหน้าโครงการ	ผศ.ปัญญา	แดงวิไลลักษณ์	วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
ผู้ร่วมโครงการวิจัย	นายศรีรัตน์	ช่วยบุญ	วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	นางสาววารุณี	ลิ่มมั่น	วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
	ผศ.ดร.นฤบดี	ศรีสังข์	วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการแปรรูปลำต้นปาล์มน้ำมันที่หมดอายุการเก็บเกี่ยวเพื่อผลิตเป็นไม้บาง โดยทำการศึกษาและพัฒนาเครื่องปอกไม้บางและเครื่องอบไม้บางด้วยคลื่นไมโครเวฟ ลมร้อน และคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง ไม้ที่นำมาปลอกเป็นไม้บางมีอายุ 25 - 26 ปีขึ้นไปและกว้าง 0.7 เมตร ความเร็วในการปอกของป้อมมีด 0.22 เมตร/นาที สามารถปอกไม้ออกมามากที่สุดที่ความชื้นของไม้ตามมาตรฐานแห้งที่ 164.7 % หลังจากนั้นจะนำแผ่นไม้ปาล์มไปอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้นเพื่อหาความชื้นเริ่มต้นและ ทำการทดลองอบไม้บางด้วยเครื่องอบไม้บางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ลมร้อน และคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนชนิดสายพานลำเลียงโดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่ 1,800 W, 2,400 W และ 3,200 W ลมร้อนที่ 50 °C, 70 °C และ 90 °C และคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่วัตต์และอุณหภูมิต่างๆ การอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C จากการทดสอบทางกลมีค่าความเค้นในแรงดึงและแรงเฉือนขนานเสี้ยนสูงสุด ส่วนการอบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W จากการทดสอบทางกลมีค่าความเค้นแรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยนสูงสุด แต่ถ้าหากเป็นการใช้งานที่ต้องการทั้งแรงดึงและแรงเฉือนในเวลาเดียวกัน ควรใช้ไม้ที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °Cและไม้ปาล์มที่ผ่านการอบต้องมีความชื้นอยู่ระหว่าง 8 - 12% ตามมาตรฐานการอบไม้

คำสำคัญ: ไม้ปาล์มน้ำมัน, เครื่องปอกไม้บาง, ไมโครเวฟ, ลมร้อน, การอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Education of drying for veneer wood of palm oil trunk by microwave combine hot air by using a continuous conveyor

Researcher: Asst.Prof.Panya Daungviluilux, Mr.Srirat Chuayboon, Miss Warunee Limmun, Asst.Prof.Dr.Narubode Sresong

Faculty: Prince of Chumphon Campus **Department:** Engineering

ABSTRACT

This research studied transformation palm trunk expired harvest to produce veneer wood by experiment and development of veneer peeler machine, microwave oven and hot air drying conveyor. Stripping palm trees palm trees must be stripped out, with a width of 70 cm. The experiment is to cut palm trees aged between 25 - 26 years or above. To find the proper humidity in peeling palms to get the longest veneer wood. The peeling speed at 0.22 m/min and 164.7 % moisture content (dry bulb standard) can peel the longest veneer wood. Then take a piece of wood to dry with Moisture Analyzers to find initial moisture content. The drying experiment using microwave, hot air and combined sections with different watt and temperature levels by using conveyer belt. The highest stress in tension and shear parallel in hot air at a temperature of 90 °C by testing the mechanical properties. Microwave drying at 2,400 W have highest shear stress perpendicular to grain. But combined sections at 3,200 W and hot air 90 °C have the tensile and shear at the same time. The veneer wood a moisture content must be between 8 - 12% after drying experiment.

Keywords: Oil Palm Wood, Veneer Peeler Machine, Microwave, Hot Air, Drying

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้สำเร็จได้เพราะความร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน หน่วยงานแรกที่ต้องกล่าวขอบคุณก็คือ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(NRPM) และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้รับทุนสนับสนุนทุนการวิจัยจากแหล่งทุน เงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2559 และ ขอบคุณคุณไชยรัตน์ เพชรคีรี เจ้าหน้าที่ประจำอาคารปฏิบัติการสาขาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ความช่วยเหลือในการเบิก-ยืม และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายต่างๆ เช่น ฝ่ายงานวิจัย ฝ่ายงานพัสดุ ฝ่ายงานแผนที่ช่วยสนับสนุนงานวิจัย ทั้งเรื่องขออนุมัติ เรื่องตั้งเบิกซื้อของ และอื่นๆ

หัวหน้าโครงการ ผศ.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์
ผู้ร่วมโครงการวิจัย นายศรีรัตน์ ช่วยบุญ
นางสาววารุณี ลิ่มมั่น
ผศ.ดร.นฤบดี ศรีสังข์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ปาล์มน้ำมัน	4
2.2 งานวิจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	7
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	32
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง	33
3.2 การทดลองปอกไม้บางด้วยเครื่องปอกไม้บางแบบโรตารี่	45
3.3 หลักการทำงานของเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อน ชนิดสายพานเลียง	48
3.4 วิธีการทำการทดสอบความต้านทานทางกลของไม้บางหลังผ่านการอบ	50
3.5 วิธีการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)	52
บทที่ 4 ผลการทดลอง	55
4.1 ผลการทดลองการทำไม้บางด้วยไม้ปาล์มน้ำมัน	55
4.2 ภาพไม้บางที่ผ่านการทดลองอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ และลมร้อน	56
4.3 ผลการทดลองอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ, ลมร้อนและ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	61
4.4 การทดสอบทางกลของไม้บางที่ผ่านการอบด้วยลมร้อน, ไมโครเวฟ และ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	64
4.5 วิเคราะห์ภายที่ผ่านการอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM)	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	71
5.1 สรุปผลการทดลอง	71
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก	76
ภาคผนวก ก. ผลการทดลองปอกไม้ปาล์มด้วยเครื่องปอกไม้บาง	77
ภาคผนวก ข. ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยลมร้อนและไมโครเวฟ	79
ภาคผนวก ค. การทดสอบเชิงกลของไม้ปาล์มที่อบด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อน	93
ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์ภายที่ผ่านการอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ไมโครสโคป(SEM)	121
ภาคผนวก จ สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย ให้แนบแบบรายงานการใช้จ่ายเงิน	128
ประวัตินักวิจัย	130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงถึงพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตปาล์มน้ำมันไทย	1
4.1 การทำไม้บางด้วยไม้ปาล์มน้ำมันโดยใช้ความเร็วรอบลูกกลิ้งประคองไม้ที่ 140 รอบต่อนาที	55
4.2 ทดสอบความต้านทานแรงดึงของไม้บางหลังผ่านการอบด้วยลมร้อน ไมโครเวฟ และ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	64
4.3 ทดสอบความต้านทานแรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยนของไม้บางหลังผ่านการอบด้วย ลมร้อน, ไมโครเวฟ และ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	65
4.4 ทดสอบความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้บางหลังผ่านการอบด้วย ลมร้อน, ไมโครเวฟ และ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	67
ก.1 บันทึกผลการทดลอง การทำไม้บางด้วยไม้ปาล์มน้ำมันโดยใช้ความเร็วรอบลูกกลิ้งประคองไม้ที่ 140 รอบต่อนาที	78
ข.1 บันทึกผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยลมร้อนในตู้อบทุกๆ 5 นาทีที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 50 °C)	80
ข.2 บันทึกผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยลมร้อนในตู้อบทุกๆ 5 นาทีที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 70°C)	81
ข.3 บันทึกผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยลมร้อนในตู้อบทุกๆ 5 นาทีที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 90°C)	81
ข.4 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟในตู้อบทุกๆ 5 นาที โดยใช้พลังงาน 1,800 W	82
ข.5 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟในตู้อบทุกๆ 5 นาที โดยใช้พลังงาน 2,400 W	83
ข.6 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟในตู้อบทุกๆ 5 นาที โดยใช้พลังงาน 3,200 W	83
ข.7 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,800 W ทุกๆ 5 นาที ร่วมกับลมร้อน ที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 50 °C)	84
ข.8 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,800 W ทุกๆ 5 นาที ร่วมกับลมร้อน ที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 70 °C)	85
ข.9 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,800 W ทุกๆ 5 นาที ร่วมกับลมร้อน ที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 90 °C)	86
ข.10 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 2,400 W ทุกๆ 5 นาที ร่วมกับลมร้อน ที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 50 °C)	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.11 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 2,400 W ทุกๆ 5 นาที ร่วมกับลมร้อน ที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 70 °C)	88
ข.12 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 2,400 W ทุกๆ 5 นาที ร่วมกับลมร้อน ที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 90 °C)	89
ข.13 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 3,200 W ทุกๆ 2 นาที ร่วมกับลมร้อน ที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 50 °C)	90
ข.14 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 3,200 W ทุกๆ 2 นาที ร่วมกับลมร้อน ที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 70 °C)	91
ข.15 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 3,200 W ทุกๆ 2 นาที ร่วมกับลมร้อน ที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 90 °C)	92
ค.1 ผลการทดสอบต้านแรงดึงของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบ	94
ค.2 บันทึกผลการทดสอบแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบ	103
ค.3 ผลการทดสอบแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบ	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 การทำลายต้นปาล์มที่โค่นทิ้งด้วยรถแบคโฮหรือเลื่อยยนต์	2
1.2 การทำลายต้นปาล์มที่อายุมากด้วยการเจาะต้นหยอดยาฆ่าหญ้าและการเผาต้นปาล์มที่โค่นทิ้ง เพื่อเตรียมเพาะปลูก	2
2.1 ท่อนไม้ปาล์มถูกตัดตามขวาง ให้เห็นส่วนหลักของท่อนไม้ เนื้อไม้และ เปลือกไม้	5
2.2 ภาพตัดขวางของปาล์มน้ำมัน (E.Bucker, 2005)	6
2.3 เครื่องอบไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อน ชนิดสายพานลำเลียง	8
2.4 การทดสอบเสาเข็มสำหรับฐานรากเข้าฝา (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)	9
2.5 การทดสอบความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)	10
2.6 การทดสอบความเค้นดึงขนานเสี้ยน (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)	10
2.7 การทดสอบความเค้นดึงตั้งฉากเสี้ยน (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)	10
2.8 การทดสอบความเค้นเฉือนขนาดเสี้ยน (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)	11
2.9 การทดสอบ แรงดัด (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)	11
2.10 หลักการทานของเครื่องทำไม้แบบหั่น (ปริวรรต ภู่ขำ และคณะ, 2556)	12
2.11 หลักการทำงานของเครื่องทำไม้บางแบบแรงเหวี่ยง (ปริวรรต ภู่ขำ และคณะ, 2556)	13
2.12 หลักการทำงานของเครื่องทำไม้แบบโรตารี่ (ปริวรรต ภู่ขำ และคณะ, 2556)	13
2.13 แรงดึงกระทำกับวัตถุ	13
2.14 แรงอัดกระทำกับวัตถุ	14
2.15 แรงเฉือนพยายามทำให้วัตถุขาด	14
2.16 การเกิดความเครียด	15
2.17 คานและแกนสะเทิน (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)	16
2.18 เพลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ (สุทัศน์ ยอดเพ็ชร, 2554)	18
2.19 หลักการทำงานของคลื่นไมโครเวฟ (อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, 2556)	24
2.20 รูปตัดขวางด้านข้างแสดงส่วนประกอบของแมกนีตรอน (อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, 2556)	25
2.21 รูปตัดขวางด้านบนแสดงส่วนประกอบของแมกนีตรอน (อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, 2556)	26
2.22 รูปตัดขวางของแอดโนดในแมกนีตรอน (อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, 2556)	26
2.23 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากแคโทดสู่แอโนด (อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, 2556)	27
2.24 ลูกกรงฟาราเดย์	28
2.25 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	31
3.1 เครื่องปอกไม้บางสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน	32
3.2 เครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง.	33
3.3 เครื่องเลื่อยไม้STIHL MS 381 (http://www.stihl.com)	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.4 ไม้ปาล์มพันธุ์เทเนอร่า	33
3.5 เครื่องปรับความเร็วรอบ	34
3.6 เครื่องชั่งดิจิตอล	34
3.7 เครื่องวัดความเร็วรอบ DIGCON DT-235T	34
3.8 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น SARTORIUS-MA37 (www sartorius.com)	35
3.9 ชิ้นส่วนเครื่องปอกไม้บางสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน	35
3.10 ลูกกลิ้งสำหรับหมุนประคองไม้ปาล์มน้ำมัน	36
3.11 สกรูส่งกำลัง	36
3.12 ใบมีดสำหรับปอกไม้ปาล์ม	37
3.13 แท่นลับมีด	37
3.14 มอเตอร์เกียร์ขนาด 10 แรงม้า	37
3.15 มอเตอร์เกียร์ขนาด 5 แรงม้า	38
3.16 มอเตอร์เกียร์ขนาด 1 แรงม้า	38
3.17 โซ่เบอร์ 60	38
3.18 เกียร์ 3 ทาง	39
3.19 ตู้ควบคุมเครื่องทำไม้บาง	39
3.20 ตัวรับไม้	39
3.21 ชุด Brass Boost Housing	40
3.22 คานรับน้ำหนัก	40
3.23 สายพานลำเลียงไม้บาง	40
3.24 ชิ้นส่วนเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง	41
3.25 ตู้อบไม้บาง	41
3.26 เครื่องไมโครเวฟ	42
3.27 ชุดเป่าลมร้อน	42
3.28 สายพานเทปล่อน	43
3.29 ลูกกลิ้งขับสายพาน	43
3.30 ชุดเครื่องสายพานลำเลียง	44
3.31 ช่องระบายความชื้น	44
3.32 ตู้กระจกน้ำดูดคลื่นไมโครเวฟที่รั่วไหลออกจากห้องอบ	45
3.33 ตัดต้นปาล์มที่มีอายุ 25 - 26 ปี	45
3.34 ต้นปาล์มที่มีความยาว 70 เซนติเมตร	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.35 ภาพแสดงถึงการนำไม้เข้าเครื่องปอก	46
3.36 วัดความเร็วรอบลูกกลิ้ง	46
3.37 รูปแสดงการวัดขนาดความหนา และความยาวไม้	47
3.38 ไม้ที่ได้จากการปอก	47
3.39 รูปแสดงการนำไม้บางไปหาความชื้นเริ่มต้น	48
3.40 รูปแสดงการนำไม้บางไปชั่งน้ำหนัก	48
3.41 การอบไม้บางด้วยคลื่นไมโครเวฟ	49
3.42 การอบไม้บางด้วยลมร้อน	49
3.43 การอบไม้บางด้วยคลื่นไมโครเวฟ ร่วมกับลมร้อน	50
3.44 วัดอุณหภูมิที่ผิวไม้บาง ด้วยกล้องเทอร์โมสแกน (FLIR E60)	50
3.45 การทดสอบการต้านแรงดึงของไม้บาง	51
3.46 การทดสอบการต้านทานแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนไม้บาง	52
3.47 ทดสอบการต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนไม้บาง	52
3.48 เครื่อง Cressington Sputter Cater	53
3.49 ส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	54
4.1 ไม้บางที่อบด้วยลมร้อน 50 °C	56
4.2 ไม้บางที่อบด้วยลมร้อน 70 °C	56
4.3 ไม้บางที่อบด้วยลมร้อน 90 °C	57
4.4 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W	57
4.5 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W	57
4.6 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W	58
4.7 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C	58
4.8 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C	58
4.9 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C	58
4.10 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C	59
4.11 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C	59
4.12 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C	59
4.13 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C	60
4.14 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C	60
4.15 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C	60
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบที่ลมร้อนอุณหภูมิ 50 °C, 70 °C และ 90 °C	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบที่ไมโครเวฟพลังงาน 1,800 W, 2,400 W และ 3,200 W	62
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบที่ไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C, 70 °Cและ 90 °C	62
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบที่ไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C, 70 °C และ 90 °C	63
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบที่ไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C, 70 °C และ 90 °C	63
4.21 โครงสร้างของหลอดลำเลียงอาหารแสดงให้เห็นการจัดตัวของ เนื้อเยื่อ (E.Bucker, 2005)	68
4.22 การส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้บางที่อบด้วยลมร้อน	69
4.23 การส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ	69
4.24 การส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	70
ค.1 การต้านแรงดึงของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบ	94
ค.2 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 50 °C	95
ค.3 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 70 °C	96
ค.4 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 90 °C	96
ค.5 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W	97
ค.6 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W	97
ค.7 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W	98
ค.8 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C	98
ค.9 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C	99
ค.10 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C	99
ค.11 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C	100
ค.12 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C	100
ค.13 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C	101
ค.14 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C	101
ค.15 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C	102
ค.16 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C	102
ค.17 การทดสอบแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบ	103
ค.18 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 50 °C	104
ค.19 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 70 °C	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ค.20 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 90 °C	105
ค.21 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W	105
ค.22 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W	106
ค.23 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W	106
ค.24 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C	107
ค.25 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C	107
ค.26 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C	108
ค.27 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C	108
ค.28 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C	109
ค.29 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C	109
ค.30 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C	110
ค.31 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C	110
ค.32 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C	111
ค.33 การทดสอบแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบ	112
ค.34 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบลมร้อน 50 °C	113
ค.35 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบลมร้อน 70 °C	113
ค.36 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบลมร้อน 90 °C	114
ค.37 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W	114
ค.38 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W	115
ค.39 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W	115
ค.40 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C	116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ค.41 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C 116

ค.42 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C 117

ค.43 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C 117

ค.44 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C 118

ค.45 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C 118

ค.46 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C 119

ค.47 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C 119

ค.48 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C 120

ง.1 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 50 °C 122

ง.2 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 70 °C 122

ง.3 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 90 °C 123

ง.4 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W 123

ง.5 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W 123

ง.6 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W 124

ง.7 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C 124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ง.8 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C	124
ง.9 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C	125
ง.10 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C	125
ง.11 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C	125
ง.12 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C	126
ง.13 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C	126
ง.14 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200W ร่วมกับลมร้อน 70 °C	126
ง.15 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของภาคใต้เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีพืชชนิดใดสามารถสกัดน้ำมันได้เพียงพอกับความต้องการภายในประเทศเท่ากับน้ำมันปาล์ม ดังนั้นปาล์มน้ำมันจึงสามารถลดการนำเข้าน้ำมันต่างๆเพื่อบริโภค รวมถึงยังสามารถนำไปผลิตเป็นพลังงานทดแทน เช่น ไบโอดีเซล และอื่นๆอีกมากมาย

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปาล์มน้ำมันนับได้ว่าเป็นพืชยืนต้นเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้ และภาคตะวันออก ของประเทศไทย โดยเริ่มมีการส่งเสริมใน ปี พ.ศ. 2518 นับเป็นจุดเริ่มต้นการพัฒนาการปลูกปาล์มน้ำมันเชิงการค้า ปัจจุบันเกษตรกรดูแลรักษาส่งผลให้ภาพรวมผลผลิตปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันรัฐบาลมียุทธศาสตร์อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันปี 2547 – 2572 เพื่อมุ่งสู่การเป็นผู้ผลิตและส่งออกน้ำมันปาล์มเคียงคู่ผู้นำในระดับโลกอย่างมาเลเซียและอินโดนีเซียรวมทั้งนโยบายกำหนดให้ปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งพลังงานทดแทนของประเทศตั้งเป้าขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันให้ได้ 10 ล้านไร่ในปี 2572 และจากการสำรวจซึ่งได้ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ดังในตารางที่ 1 พบว่าพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตปาล์มน้ำมันของไทยมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

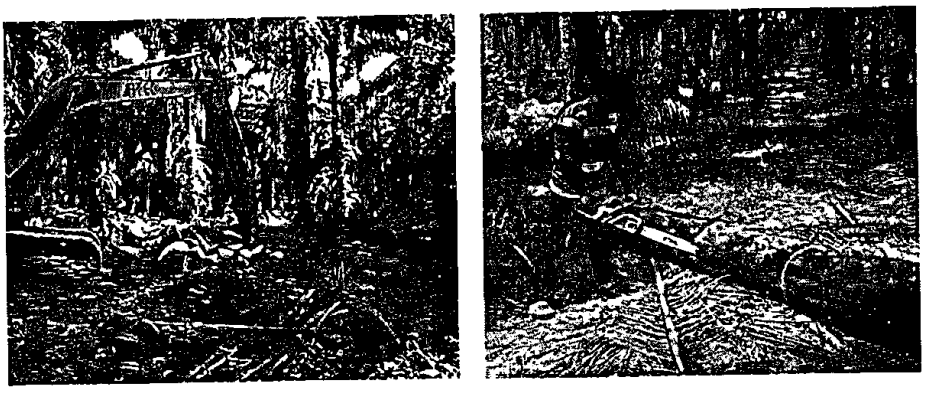
ตารางที่ 1.1 แสดงถึงพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตปาล์มน้ำมันไทย

ปี	เนื้อที่ยืนต้น (ล้านไร่)	เนื้อที่ให้ผล (ล้านไร่)	ผลผลิต (ล้านตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กก./ไร่)
2553	3.90	3.38	8.23	2,431
2554	4.09	3.56	10.76	3,018
2555	4.41	3.71	11.35	3,056
2556	4.50	3.77	12.37	3,284
2557	4.40	4.15	13.33	3,213
อัตราเพิ่ม (%)	3.43	4.79	11.67	6.64

ที่มา : ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

แต่ทั้งนี้ต้นปาล์มจะมีอายุได้ราวๆ 20 - 25 ปีถ้าหลังจากอายุนี้ไปต้นปาล์มน้ำมันจะให้ผลผลิตที่น้อยลง ประกอบกับความสูงต้นปาล์มทำให้ยากต่อการเก็บเกี่ยวจึงทำเป็นต้องโค่นทิ้ง และตัวลำต้นของปาล์มน้ำมันที่ถูกโค่นก็ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์อย่างใดนอกจากทำปุ๋ยหมัก หรือการเผาทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.1 การทำลายต้นปาล์มที่โค่นทิ้งด้วยรถแบคโฮหรือเลื่อยยนต์

ภาพที่ 1.2 การทำลายต้นปาล์มที่อายุมากด้วยการเจาะต้นหยอดยาฆ่าหญ้าและการเผาต้นปาล์มที่โค่นทิ้ง เพื่อเตรียมเพาะปลูก

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ก็เลยเกิดโจทย์ขึ้นมาว่าลำต้นของปาล์มน้ำมันสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นนอกเหนือจากนี้ได้หรือไม่ ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดโดยการนำต้นปาล์มมาปอกเป็นแผ่นบางแล้วลดความชื้นของไม้ปาล์มที่ได้ให้มีความชื้นที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการเกิดราในไม้ ซึ่งไม้ที่ผ่านการลดความชื้นยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นไม้กระดานอัดจึงมีแนวคิดว่าเราจะปอกไม้ปาล์มโดยวิธีโรตารีซึ่งวิธีนี้จะสามารถปอกไม้ปาล์มได้ทุกขนาดและเป็นแผ่นยาว แล้วนำไปอบลดความชื้นด้วยคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นวิธีที่สามารถลดความชื้นของไม้ได้เร็วกว่าวิธีอื่นๆ ทั้งนี้เพื่อลดการนำเข้าไม้จากต่างประเทศ และเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่าสูงสุดอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.เพื่อทำการศึกษาและออกแบบเครื่องอบเครื่องอบไม้วีเนียร์จากต้นปาล์มน้ำมันด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับกลุ่มเกษตรกร

2.เพื่อศึกษาหลักการอบแห้งไม้วีเนียร์จากลำต้นปาล์มน้ำมันด้วยคลื่นไมโครเวฟ คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความแข็งแรง ความแน่นเนื้อ ความคงทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ความยาวของไม้ปาล์มที่ปอกมีความยาว 70 เซนติเมตร

1.3.2 ไม้ปาล์มต้องมีอายุระหว่าง 25 - 26 ปี

1.3.3 ใช้หลักการปอกไม้แบบ Veneer อัตราการผลิตไม่ต่ำกว่า 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

1.3.4 ความหนาของไม้ที่ปอกได้ มีความหนาระหว่าง 2 - 3 มิลลิเมตร

1.3.5 ใช้พลังงานจากเครื่องไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHZ จำนวน 4 เครื่อง 1,800 W, 2,400 W และ 3,200 W และลมร้อนจาก Heater 5,000 W ที่อุณหภูมิ 50 °C, 70 °C และ 90 °C

1.3.6 ความชื้นมาตรฐานแห้งในเนื้อไม้หลังการอบอยู่ระหว่าง 8 - 12 %

1.3.7 ความชื้นมาตรฐานแห้งขณะปอกจะมีค่าอยู่ระหว่าง 80 – 250 % และนำความชื้นมาตรฐานแห้งที่ดีที่สุดของการปอกมาเป็นความชื้นเริ่มต้นในการอบ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 เริ่มดำเนินการศึกษาไม้ปาล์มน้ำมัน

1.4.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.3 ทดสอบปอกไม้ปาล์มด้วยเครื่องปอกไม้บาง

1.4.4 ทดสอบไม้ปาล์มที่ผ่านการปอกในห้องปฏิบัติการ

1.4.5 คำนวณและออกแบบชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องปอกไม้บางและเครื่องอบไม้ปอกด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง

1.4.6 ไม้ปอกด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง

1.4.7 ทดสอบเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิด สายพานลำเลียง

1.4.8 สรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อประโยชน์ต่อวงการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมผลิตไม้กระดาษอัด

1.5.2 เพื่อให้รู้จักนำเอาเทคโนโลยีการอบที่ได้ศึกษานำมาใช้และแก้ไขปัญหาการโค่นต้นไม้ปาล์มทิ้งอย่างเปล่าประโยชน์

1.5.3 เพื่อได้ฝึกฝนการทำงานเป็นกลุ่ม

1.5.4 เพื่อได้ลงมือทดลองและปฏิบัติงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปาล์มน้ำมัน

2.1.1 ลำต้นปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีอายุหลายปี จัดอยู่ในวงศ์ (family) Palmae หรือ Recaceae อยู่ในสกุล (Genus) *Elaeis* ปาล์มน้ำมันชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและนิยมปลูกเพื่อเป็นการค้าในปัจจุบันคือ *Elaeis guineensis Jacq*. ซึ่งสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานกว่า 25 ปี

ลำต้นปาล์มน้ำมันมีหน้าที่ช่วยค้ำตั้งส่วนอื่นๆของลำต้นให้ตั้งตรงและช่วยลำเลียงน้ำและอาหารไปยังส่วนต่างๆ ต้นปาล์มน้ำมันมีลักษณะตั้งตรง ซึ่งในช่วงแรกที่มีการพัฒนาของลำต้น ฐานของลำต้น จะมีรูปร่างแบบกรวยหัวกลับ (inverted cone) ลำต้นของปาล์มน้ำมันเรียกว่า (bole) กว่าจะปรากฏให้เห็นก็กินเวลา 2-3 ปี

ลำต้นที่เห็นจะมีฐานใบติดอยู่ รอยแผลที่ฐานใบติดกับลำต้นก็คือ ข้อของลำต้น และส่วนที่อยู่ระหว่างข้อคือปล้องของลำต้น ลำต้นของปาล์มน้ำมันก็เหมือนพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่วไปที่มีเนื้อเยื่อเจริญเฉพาะปลายยอด (apical meristem) เท่านั้น ลำต้นจะไม่มีการเจริญเติบโตทางด้านข้าง (lateral meristem) ในช่วงแรกก่อนที่จะมีการยืดตัวของปล้องเป็นไปทางด้านกว้างมากกว่าด้านสูง ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อเจริญที่ฐานของฐานใบ (primary thickening meristem) ซึ่งมีการแบ่งตัวอยู่ในแนวเฉียง (tangential phase) เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นโตเต็มที่ 40 - 60 เซนติเมตร ก็จะมีความเจริญเติบโตทางด้านความสูงแทนอย่างรวดเร็วในอัตรา 35 - 75 เซนติเมตรต่อปี ขึ้นกับสภาพแวดล้อมและพันธุกรรม ปาล์มน้ำมันมีความสูงได้มากกว่า 30 เมตร และมีอายุยืนนานมากกว่า 100 ปี แต่การปลูกปาล์มน้ำมันเป็นการค้า ไม่ควรมีความสูงเกิน 15 - 18 เมตร หรืออายุประมาณ 25 ปี

2.1.2 ลักษณะของไม้ปาล์มน้ำมัน

ระยะเวลาการเจริญเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันใน 3 ปีแรกจะมีการเจริญเติบโตออกทางด้านข้าง หลังจากนั้นปาล์มน้ำมันได้มีการเจริญแนวยาวขึ้นเรื่อยๆ และจะมีการเจริญเติบโตที่ด้านข้างน้อยมาก ซึ่งลักษณะของเนื้อไม้ปาล์มน้ำมันจะมีเส้นใย (Vascular) จะมีความแข็งแรงและจะมีสีที่เข้มตามอายุของต้นไม้และบริเวณกระพี้ไม้ (Sapwood) จะมีเนื้อเยื่ออยู่มาก และจำนวนเส้นใยจะค่อยๆลดลงจนไปถึงบริเวณไส้ไม้ โดยต้นปาล์มน้ำมันจะมีลำต้นที่ตรงไม่มีการแตกกิ่งไม้ และไม่มีตาไม้

สังเกตบนเนื้อไม้จะมีจุดสีน้ำตาลหรือสีดำกระจายอยู่ทั่วอยู่บนผิวไม้ ส่วนประกอบนี้จะช่วยเสริมลำต้นของต้นปาล์มนั้นให้มีความแข็งแรงขึ้น เรียกว่า หลอดลำเลียงอาหาร (Vascular bundle) จากการสังเกตสีบนตัวอย่างไม้ที่อบแล้ว จุดสีน้ำตาลนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีดำ สิ่งนี้เป็นการบ่งบอกถึงความหนาแน่นของท่อลำเลียงอาหาร มันสามารถบ่งบอกได้ว่าทำไมไม้ปาล์มนั้นถึงได้มีคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพที่แตกต่างออกไป เพราะว่าโครงสร้างของไม้ชนิดนี้ในขณะการอบนั้นจะเกิดการรวมตัวกันของ Vascular bundle และ Parenchymatous tissues จากการตรวจสอบหลังการอบนั้น ไม้จะเปลี่ยนรูปไปในลักษณะต่างๆเช่น การหดตัว การบิด เป็นต้น

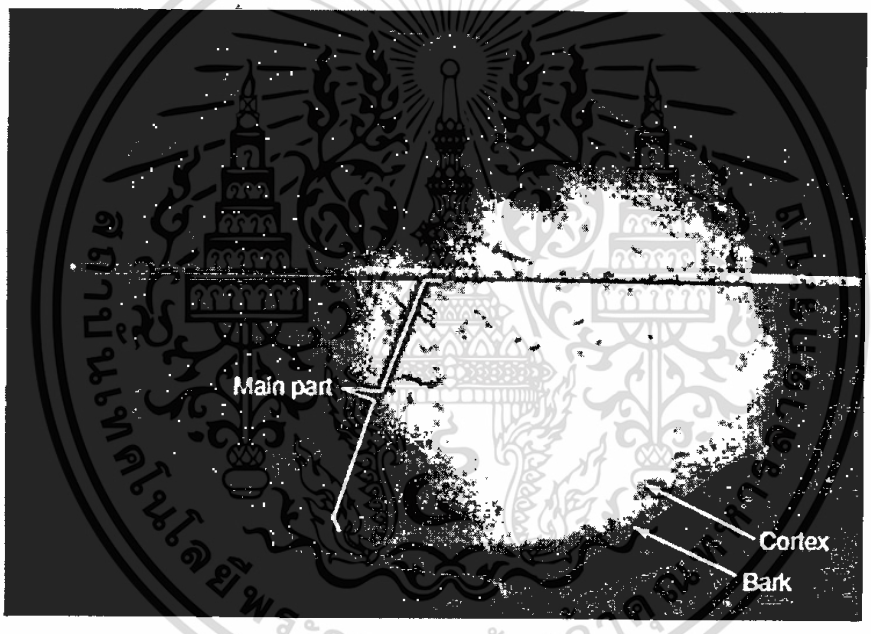
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อนไม้ปาล์มจะแบ่งได้เป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ inner zone (IZ), central zone (CZ), peripheral zone (PZ) พิจารณาจากความหนาแน่นของหลอดลำเลียงอาหารต่อพื้นที่

Peripheral zone : พื้นที่นี้จะอยู่ข้างนอกสุดก่อนถึง Bark และ Cortex เป็นส่วนนี้ที่แข็งที่สุดของท่อนไม้ โดยปกติแล้วส่วนนี้จะประกอบด้วยไฟเบอร์จำนวนมากในรูปแบบระบบหลอดเลียงอาหารที่หนาแน่น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่เสริมให้ตัวลำต้นนั้นมีความแข็งแรงมากขึ้น ในพื้นที่นี้หลอดลำเลียงอาหารและเนื้อเยื่อ Parenchymatous นั้นจะแคบกว่าส่วนอื่นๆของลำต้น พื้นที่นี้จะมีความหนาประมาณ 10 - 15 มิลลิเมตร. และมีสีเข้มกว่าพื้นที่อื่นๆของท่อนไม้

Central zone : ในพื้นที่นี้จะประด้วยหลอดลำเลียงอาหารที่กว้างและใหญ่อยู่เล็กน้อย โซนนี้จะกว้างที่สุดเมื่อเทียบกับโซนอื่นๆอาจจะมากกว่า 50 % ของเนื้อไม้ทั้งหมด หลอดลำเลียงอาหารในพื้นที่นี้จะอยู่แบบสุ่ม กระจายกันออกไป

Inner zone : พื้นที่นี้จะมีเพียง 20 – 25 % ของเนื้อไม้ทั้งหมดและจะประกอบด้วยเนื้อเยื่อ Parenchymatous และความชื้นมากที่สุด หลอดลำเลียงอาหารนั้นมีน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ 2 พื้นที่ก่อนหน้านี้ แต่จะมีขนาดคล้ายกับ Central Zone



ภาพที่ 2.1 ท่อนไม้ปาล์มถูกตัดตามขวาง ให้เห็นส่วนหลักของท่อนไม้ เนื้อไม้และ เปลือกไม้

2.1.3 คุณสมบัติทางกายภาพของไม้

ไม้จัดเป็นอินทรียวัตถุ (Cellular organic material) ประกอบขึ้นด้วยสาระสำคัญ 2 ชนิดคือ เซลลูโลส (Cellular) เป็นส่วนผนังของไม้มีประมาณ 60 % และลิกนิน(Lignin) เป็นตัวยึดประมาณเสี้ยนไม้เข้าด้วยกันมีประมาณ 28 % นอกจากนั้นเป็นน้ำตาลและสารประกอบอย่างอื่นประมาณ 12 %

2.1.3.1 ลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้ โครงสร้างไม้ประกอบไปด้วยเสี้ยนไม้เล็กหลายๆอันประสานเข้าด้วยกันกับเสี้ยนไม้จะมีความความยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร ดังนั้นกำลังทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเชิงกลของไม้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของไม้ แต่ขึ้นอยู่กับการประสานของเสี้ยนไม้ เมื่อเราดูภาพตัดขวางของลำต้นจะพบว่าลำต้นของไม้ประกอบไปด้วย

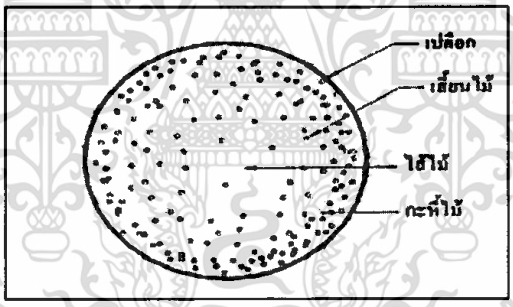
แก่น (Pith) เป็นส่วนที่อยู่ตรงกลางลำต้น เป็นจุดเริ่มต้นของการเจริญเติบโตของไม้ ไส้ไม้ก็จะมีโพรงซึ่งในแง่กลสมบัติของไม้ไม้ที่โพรงจะสามารถรับกำลังได้ต่ำ จะไม่นำส่วนของแก่นมาใช้งานเด็ดขาด

ไม้แก่น (Heartwood) เป็นส่วนของเซลล์ที่ไม่ทำงานแล้วเมื่อต้นไม้เจริญเติบโต จะสร้างเซลล์ใหม่รอบๆไส้ไม้ออกมา เซลล์เหล่านี้ทำหน้าที่ส่งและสะสมอาหาร ต่อมาต้นไม้ขยายตัวออกไปเรื่อยๆเซลล์ส่วนในที่อยู่ใกล้ไส้ไม้จะหยุดการทำงานและทำหน้าที่เพียงเป็นแกนให้ความแข็งแรงกับต้นไม้เท่านั้น ไม้แก่นเป็นส่วนของเนื้อไม้ที่มีสมบัติเชิงกลดีกว่าส่วนอื่นให้กำลังสูงและเป็นไม้ก่อสร้างที่ดี

กระพี้ไม้ (Sapwood) ส่วนนี้เป็นส่วนของเนื้อไม้ที่เกิดขึ้นหลังสุดจึงพบว่าไม้ในส่วนนี้จะมีสีอ่อนกว่าส่วนอื่น และยังเป็นทางผ่านของอาหารเหลว ซึ่งประกอบด้วย น้ำ และ เกลือแร่จากรากไปสู่ใบเพื่อปรุงอาหารโดยทั่วไปกระพี้ไม้จะมีคุณสมบัติทางกลเหมือนกับแก่นไม้แต่มีความทนทานต่อสภาพอากาศน้อยกว่าจึงทำให้มีอายุการใช้งานที่สั้นจึงมีคุณภาพน้อยกว่าแก่นไม้

เปลือกไม้ (Bark) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มลำต้นไว้นำไปใช้เป็นไม้ก่อสร้างไม่ได้

วงปี (Annual) เป็นวงแสดงการเจริญเติบโตที่ไม่เท่ากันของต้นไม้ในรอบปี ต้นไม้ในเขตที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศมากจะแสดงวงปีได้ชัดเจนกว่าต้นไม้ในเขตที่สภาพอากาศเปลี่ยนแปลงน้อย จำนวนวงปีจะบอกอายุของต้นไม้ได้ ดังรูป 2.2



ภาพที่ 2.2 ภาพตัดขวางของปาล์มน้ำมัน (E.Bucker, 2005)

2.1.3.2 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ค่าปริมาณความชื้นไม้คือเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของน้ำในเนื้อไม้เมื่อเทียบจากน้ำหนักไม้ที่ผ่านการอบแห้งที่อบด้วยเตาอบ และไม้จะมีการปรับความชื้นของไม้ เพื่อให้ไม้มีการสมดุลกับความชื้นในบรรยากาศให้สอดคล้องกับสภาวะอากาศอยู่ตลอดเวลา โดยปริมาณความชื้นที่สมดุลกับสภาวะอากาศนี้จะเรียกว่าความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content – EMC)

2.1.3.3 น้ำหนักและความถ่วงจำเพาะ (weight and Specific Gravity) ไม้ที่มีน้ำหนักมากก็จะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงและมีกำลังสูงกว่าไม้ที่มีน้ำหนักต่ำก็จะทำให้มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.4 การหดตัว (Shrinkage) ไม้จะมีการหดตัวเมื่อสูญเสียความชื้น และไม้จะมีการขยายตัวเมื่อเปียกน้ำหรือดูดความชื้นจากบรรยากาศเข้ามาในไม้ การหดตัวของไม้จะเกิดจากด้านกว้างหรือด้านตั้งฉากกับเสี้ยนแต่ด้านที่ขนานกับเสี้ยนไม้หรือด้านยาวจะมีการหดตัวที่น้อยมาก และการหดและขยายตัวของไม้มีผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลของไม้

2.1.3.5 ตำหนิของเนื้อไม้ (Wood Defects) ตำหนิของเนื้อไม้เกิดขึ้นเองจากธรรมชาติ เช่น ตาไม้ ตาหลุด ตาผุ รูมอดรอยแตก หรือรอยแยกตามแนวเสี้ยนและตามขวางเสี้ยน ตำหนิเหล่านี้เป็นตัวลดกำลังสมบัติเชิงกลของไม้

2.1.3.6 ความทนทาน (Durability) โครงสร้างไม้ที่ดีควรมีความทนทานต่อสภาพอากาศและมีอายุการใช้งานที่นาน แก่นไม้จะมีความทนทานดีกว่ากระพี้ไม้ ถ้ากระพี้ไม้ผ่านการอบน้ำยาก็จะมีความทนทานเหมือนกัน แมลงหรือสัตว์บางจำพวกยังมีการทำลายส่วนเนื้อเยื่อของไม้ทำให้ลดกำลังและไม้ผุได้ ดังนั้นเราจึงแก้ไขได้โดยการใช้น้ำยาเคมีเพื่อป้องกัน

2.2 งานวิจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

SuthonSrivaro [1] ศึกษา "Stiffness and strength of oil palmwood core sandwich panel under center point bending" โดยการนำเอาไม้ปาล์มน้ำมันมาหาคุณสมบัติทางกล วัตถุประสงค์คือต้องการหาค่าการเปลี่ยนรูปของวัตถุ และ ค่าความแข็งแรง (Strength) ภายใต้โมเม้นดัด เนื่องจากในเชิงวิศวกรรมแล้ว แรงทั้ง 2 แรงนี้จะมีการใช้งานที่เฉพาะเจาะจงไปในแต่ละงานไป ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าไม้ปาล์มที่มีช่วงความยาวน้อยเมื่อรับโหลดที่จุดกึ่งกลาง จะเกิดการเสียรูปก่อนไม้ปาล์มที่มีความยาวมากกว่า (Suthon Srivaro,Nirundorn Matan,Frank Lam, 2015)

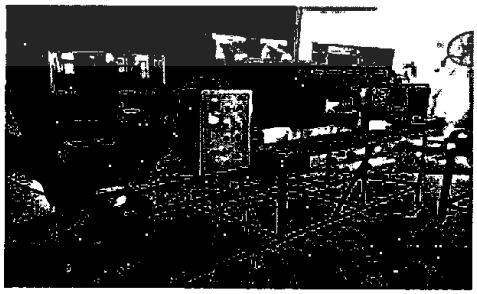
ปองพล สุดวิไลพร และคณะ [2] ศึกษา "ระบบการอบแห้งเห็ดหูหนูขาวโดยใช้ไมโครเวฟกำลังที่ป้อนคลื่นสองตำแหน่งร่วมกับระบบสุญญากาศ" โดยงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลการทดลองจากการอบแห้งเห็ดหูหนูขาวโดยใช้ไมโครเวฟกำลังต่างๆที่ป้อนคลื่นสองตำแหน่งร่วมกับระบบสุญญากาศ เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของกำลังคลื่นไมโครเวฟ (800 และ 1600 W) และความดันสุญญากาศ (30 และ 50 กิโลปาสคาล) ที่ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิ ความชื้นและคุณภาพของเห็ดหูหนูขาว การปล่อยคลื่นไมโครเวฟจะมี 2 แบบคือ ปล่อยจนครบกำหนดเวลา และ แบบป้อนคลื่นเป็นจังหวะโดยการนำเห็ดหูหนูไปป้อนไมโครเวฟแล้วนำเห็ดหูหนูออกมาพัก แล้วนำกลับเข้าคลื่นไมโครเวฟใหม่ พบว่าการป้อนคลื่นแบบเป็นจังหวะจะใช้เวลานานกว่าการป้อนคลื่นแบบต่อเนื่อง อีกทั้งความดันสุญญากาศยังมีผลต่อการลดปริมาณความชื้นในเห็ดหูหนูขาว กล่าวคือ ความดันสุญญากาศที่ต่ำลงจะส่งผลให้ลดปริมาณความชื้นได้เร็วขึ้นพลังงานไมโครเวฟหรือกำลังวัตต์ที่ป้อนเข้าในเครื่องอบมีผลต่อความสามารถในการผลิตปริมาณความร้อนแล่ะการลดปริมาณความชื้นในวัสดุ หรือกล่าวได้ว่าพลังงานที่ป้อนเข้ามาส่งผลให้อุณหภูมิของวัสดุสูงตามไปด้วย ซึ่งจะส่งผลให้เนื้อวัสดุไหม้หากอุณหภูมิที่ผิวสูงเกินไป(ปองพล สุดวิไลพร และคณะ, 2556)

Vongpradubchai [3] ศึกษา "The microwave processing of wood using a continuous microwave belt drier" ช่องของเครื่องอบไมโครเวฟมีลักษณะเป็น 4 เหลี่ยม มีขนาดด้านตัดขวาง 94 เซนติเมตรX47 เซนติเมตร เครื่องไมโครเวฟถูกตั้งค่าความถี่ไว้ที่ 2.45 GH_z และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานที่อุณหภูมิสูงสุด คือ 200 องศาเซลเซียส ความจุ สูงสุด ไมโครเวฟอยู่ที่ 11.2 กิโลวัตต์ ในความถี่ 2.45 GH_z พลังงานที่ถูกป้อนเข้าไป คือ 800 W ขณะการอบสายพานจะเลื่อนไม้เข้าไปในเตาอบด้วยความเร็ว 2 เมตรต่อนาที และสามารถปรับได้ที่แผงควบคุมการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟถูกป้องกันโดยการสะท้อนกลับของแผงตัวกรองและการดูดซึมโดยแถบดูดซึมคลื่นไมโครเวฟ ในทางเข้าและออก การรั่วไหลของไมโครเวฟถูกควบคุมภายใต้ DHHS (สหรัฐอเมริกากรม อนามัยและมนุษย์บริการ) ที่ 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรและใช้อินฟาเรดในการตรวจสอบอุณหภูมิ (ความแม่นยำ ±0.5 °C) ตัวอย่างไม้ที่เลือกใช้มีขนาด 3X3X3 เซนติเมตร มีความชื้นเริ่มต้น 80 % (มาตรฐานแห้ง) และอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 28 °C การทดสอบคุณสมติทางกลของไม้ก่อนอบโดยการดัดและยึดมาตรฐานตาม BSI ของ London ในขณะที่ 15 ตัวอย่างถูกอบ ไม้พวกนั้นจะถูกชั่งน้ำหนักก่อนและหลังอบ แล้วถูกลำเลียงเข้าสู่ การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟร่วมกันในขณะที่อบ คลื่นไมโครเวฟจะทำการเจาะทะลุเพื่อเพิ่มความร้อนและให้น้ำกระจายตัวออกมาสู่ผิวไม้ ความชื้นในอากาศจะถูกดูดออกโดนระบบ suction และใช้กล้อง infrared ในการตรวจสอบอุณหภูมิของไม้ในเวลาต่างๆที่กำหนดไว้หลังจากอบเสร็จแล้วก็หาความชื้นที่สูญเสีย และนำตัวอย่าง 3 ชิ้นไปทดสอบการดัด และ นำอีก 15 ตัวอย่างหลังจากการตัดไปห่อพลาสติกทันที และทิ้งไว้ 1 วัน หลังจากนั้นนำไปอบกับเตาอบที่อุณหภูมิ 100 °C แล้วนำมาทดสอบแรงดัด แล้วนำ 15 ตัวอย่างของ ทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบกัน (S.Vongpradubchai, 2009)

PanyaDaungvilaikux [4] ศึกษา "Evaluation of oil palm wood drying process using Microwave by using a Continuous Belt" โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงการอบไม้ปาล์มน้ำมันด้วยไมโครเวฟโดยใช้สายพานลำเลียง ห้องที่ใช้ในการทำการทดลองมีขนาด 500x1000x1000 มิลลิเมตร ทำจากสแตนเลส 316 โดยติดตั้งตัว magnetrons ไว้จำนวน 4 ตัว (100-1000 วัตต์ต่อหน่วย) ส่วนตัวไม้ปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการทดลองจะใช้ไม้ที่มีอายุมากกว่า 20 ปีขึ้นไปและมีขนาด 1x2x10 ลูกบาศก์นิ้ว ในขั้นตอนแรกจะนำไม้ปาล์มไปอบด้วยตู้อบอุณหภูมิ 105 °C เพื่อหาความชื้นเริ่มต้นและอบต่อไปเรื่อยๆจนไม้มีความชื้นระหว่าง 12 - 20 % หลังจากหาความชื้นเริ่มต้นได้ จะนำไม้อีกส่วนไปอบโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ที่ 1,200 W, 1,600 W และ 2,000 W ไม้ปาล์มจะถูกอบเป็นเวลา 20 นาทีสลับกับ นำออกมาพักข้างนอกตู้อบเป็นเวลา 20 นาที จนค่าความชื้นเหลือ 12 % ซึ่งผลที่ได้ที่ไมโครเวฟ 2,000 W ใช้เวลาในการอบ 140 นาทีและที่ 1600 W เวลา 180 นาที พบว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นคือไม้เกิดการบิดตัวเป็นจำนวนมาก ส่วนที่ 1200 W ใช้เวลาในการอบทั้งหมด 220 นาที พบว่าไม้ที่ผ่านการอบมานั้นมีความผิดปกติน้อยที่สุด (Panya Daungvilailux, 2012)



ภาพที่ 2.3 เครื่องอบไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อน ชนิดสายพานลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

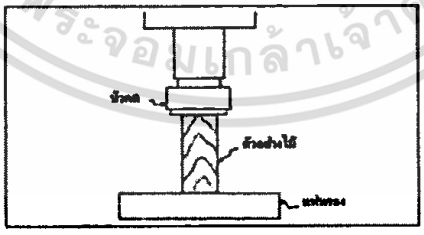
P. Rattamadecho [5] ศึกษา "The simulation of microwave heating of wood using a rectangular wave guide: Influence of frequency and sample size" โดยการทดลองอบไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 5 GH_z และ 2.45 GH_z โดยไม่มีขนาด 11x5 เซนติเมตร และ 11x8 เซนติเมตร ที่เวลา 10 วินาที, 20 วินาที และ 30 วินาที จากการทดลองพบว่าที่ความถี่ 5 GH_z ใช้เวลาในการอบน้อยกว่าที่ความถี่ 2.45 GH_z แต่เกิดการบิดงอและโก่งงอทำให้ได้ไม้ที่มีคุณภาพต่ำดังนั้นที่ความถี่ 2.45 GH_z เหมาะแก่การอบไม้มากที่สุดเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบใกล้เคียงกับการอบที่ 5 GHz แต่ได้ไม้ที่มีคุณภาพสูงกว่า เนื่องจากคลื่นที่เข้าสู่เนื้อไม้จะเป็นแบบสม่ำเสมอต่างจากการอบที่ความถี่ 5 GH_z ที่เข้าเนื้อไม้แบบแปรปรวนทำให้ไม้ที่ได้เกิดการบิดงอและโก่งงอ (P. Rattamadecho, 2006)

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 สมบัติทางกลของไม้ [6]

ความรู้ในเรื่องกลสมบัติของไม้นั้น ได้จากการทดสอบโดยตรง ไม่ว่าจะเป็นการทดสอบใช้งานจริงหรือในห้องทดลอง การทดลองเหล่านี้มีมาตรฐานกำหนดไว้แน่นอนทำให้เปรียบเทียบกันได้ไม่ว่าจะกระทำการ ณ ที่ใด ซึ่งทำให้ได้รับรู้ความเกี่ยวกับกลสมบัติของไม้ต่างชนิดกัน จัดเป็นหมวดหมู่ได้ว่าไม้ชนิดใดมีความแข็งแรงเทียบได้กับไม้ชนิดใด หรือแม้แต่ไม้ชนิดเดียวกัน แต่คนละต้นกัน ต่างท้องที่กัน ก็อาจมีกลสมบัติต่างกันออกไปหรือไม่เพียงใด และยังสามารถนำความรู้นี้ไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างกำหนดขนาดของงานไม้โดยถูกต้อง เป็นการประหยัดอีกด้วย ไม้ต่างกับวัสดุก่อสร้างอย่างอื่น ตรงที่เป็นของที่ได้จากธรรมชาติ ความแปรปรวน ในเรื่องสภาพอากาศ ทำให้การเติบโตของเนื้อไม้ต่างกันออกไป การผึ่งไม้อบไม้เพื่อลดความชื้นก็ดีหรือลักษณะการใช้งานในสิ่งก่อสร้างก็ดี ทำให้กลสมบัติของไม้ต้องเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยใช้มาตรฐาน S.B. 373 : 1957 กำหนดให้มีการทดสอบสมบัติของไม้ดังนี้

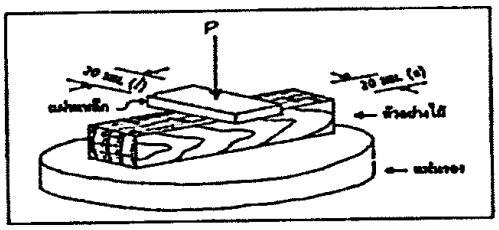
2.3.1.1 ความเค้นอัดขนานเสี้ยน (Compressive Stress Parallel to Grain) ใช้ในการทดสอบไม้ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของเสาอาคาร



ภาพที่ 2.4 การทดสอบเสาเข็มสำหรับฐานรากเข้าฝา (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)

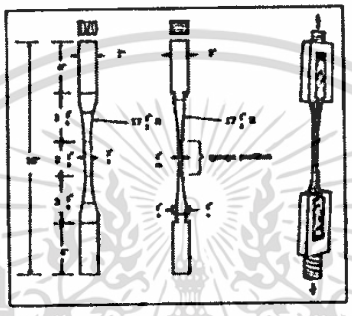
2.3.1.2 ความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยนใช้ในการทดสอบไม้ ที่นำไปใช้ประโยชน์ ในรูปแบบของไม้หมอนรองรางรถไฟส่วนของคานที่สัมผัสกับที่รองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



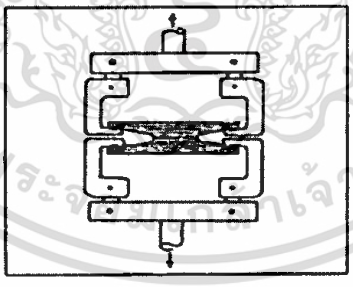
ภาพที่ 2.5 การทดสอบความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)

2.3.1.3 ความเค้นดึงขนานเสี้ยน (Tensile Stress Parallel to Grain) ใช้ในการทดสอบไม้ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของส่วนประกอบของโครงถักที่รับแรงดึง



ภาพที่ 2.6 การทดสอบความเค้นดึงขนานเสี้ยน (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)

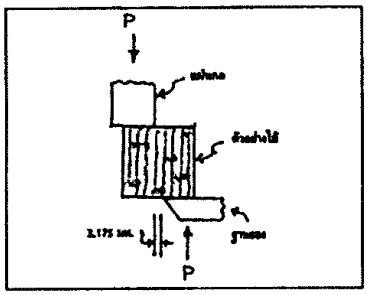
2.3.1.4 ความเค้นดึงตั้งฉากเสี้ยน (Tensile Stress perpendicular to Grain) ใช้ในการดสอบไม้ ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของคานไม้ประกับ, ไม้ประกับโค้ง



ภาพที่ 2.7 การทดสอบความเค้นดึงตั้งฉากเสี้ยน (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)

2.3.1.5 ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน (Shearing Stress Parallel to Grain) ใช้ในการทดสอบไม้ ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของข้อต่อไม้, คาน, คานไม้ประกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

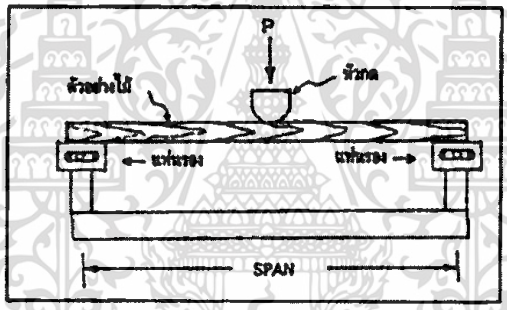


ภาพที่ 2.8 การทดสอบความเค้นเฉือนขนาดเสี้ยน (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)

2.3.1.6 ความแข็งแรง และความแข็งตึง ในการดัด (Strength and Stiffness in Static Bending) ใช้ในการทดสอบไม้ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของ คาน,ตง,จัดทัน,แป,ส่วนของโครงดักที่รับแรงดัด ซึ่งสามารถแบ่งค่าทดสอบออกเป็น 2 ค่าคือ

- Modulus of Rupture (MOR) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านการแตกหักหรือความแข็งแรง (Strength) ของไม้

- Modulus of Elasticity (MOE) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านการโก่งหรือความแข็งตึง (Stiffness) ของไม้



ภาพที่ 2.9 การทดสอบ แรงดัด (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)

2.3.2 ความชื้นในวัสดุ [7]

ความชื้น คือปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุปริมาณความชื้นในวัสดุ สามารถแสดงได้ 2 แบบ คือ

2.3.2.1 ความชื้นมาตรฐานเปียก M_{wb} โดยทั่วไปปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุอบแห้งจะนิยมในรูปของอัตราส่วนของน้ำต่อมวลทั้งหมดนั่นคือใช้มวลของวัสดุชื้นเป็นมาตรฐานของการคำนวณหาค่าความชื้นซึ่งเป็นการหาความชื้นมาตรฐานเปียก

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก} = \frac{\text{น้ำหนักวัสดุก่อนอบ-น้ำหนักวัสดุหลังอบ}}{\text{น้ำหนักวัสดุก่อนอบ}} \times 100 \qquad (2.1)$$

2.3.1.2 ความชื้นมาตรฐานแห้ง M_{db} ความชื้นมาตรฐานแห้งคือมวลของความชื้นในวัสดุต่อหน่วยมวลของเนื้อวัสดุแห้งในกระบวนการอบแห้งมวลของวัสดุชื้นจะเปลี่ยนค่าอยู่ตลอดเวลาดังนั้นจึงเป็นการสะดวกกว่าที่จะใช้มวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรมาตรฐานในการคำนวณหาความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

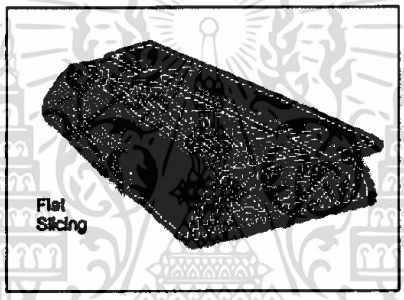
มาตรฐานแห้ง ความชื้นในมาตรฐานเปียกจะมีค่าไม่เกินร้อยเปอร์เซ็นต์เสมอนิยมใช้กันทั่วไปทางการเกษตรและวงการค้าแต่ความชื้นแบบมาตรฐานแห้งอาจจะมีค่าเกินร้อยเปอร์เซ็นต์ได้นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งในทางทฤษฎี

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักวัสดุก่อนอบ-น้ำหนักวัสดุหลังอบ}}{\text{น้ำหนักวัสดุหลังอบ}} \times 100 \qquad (2.2)$$

2.3.3 ประเภทเครื่องทำไม้บางและหลักการทำงานของเครื่อง [8] เครื่องทำไม้บางจะถูกแบ่งออกตามลักษณะการทำงาน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบคือ

2.3.3.1 เครื่องทำไม้บางแบบหั่น

เครื่องทำไม้บางแบบหั่นจะมีลักษณะการทำงานดังนี้ คือมีการจับและยึดตัวชิ้นงานให้อยู่กับที่ และส่วนของใบมีดจะถูกติดตั้งกันกับความยาวของไม้ จากนั้นใบมีดก็จะเข้าหาไม้เพื่อหั่นผิวของไม้ออกมาเป็นแผ่นบางๆ ข้อเสียของเครื่องทำไมบางแบบหั่นคือ แผ่นไม้ที่ถูกหั่นออกมานั้นจะไม้กว้าง และทำไม้บางได้ปริมาณน้อยการเครื่องทำไม้บางชนิดอื่น

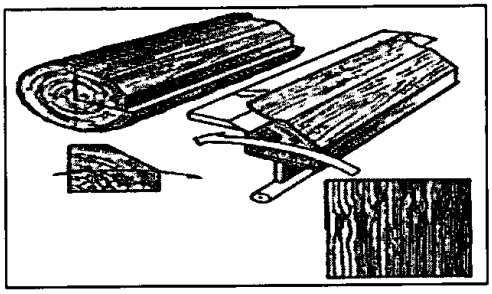


ภาพที่ 2.10 หลักการทานของเครื่องทำไม้แบบหั่น (ปริวรรต ภู่ขำ และคณะ, 2556)

2.3.3.2 เครื่องทำไม้บางแบบแรงเหวี่ยง

เครื่องทำไม้บางแบบแรงเหวี่ยงมีหลักการทำงานดังนี้ คือมีการจับและยึดชิ้นงานไว้กับเพลาเมื่อเครื่องทำงานเพลาก็จะเริ่มหมุนตัวไม้ก็หมุนตามเพลาไปด้วยจากนั้นใบมีดจะถูกติดตั้งตามความยาวของชิ้นงาน ซึ่งใบมีดก็จะเข้าหาชิ้นงานเรื่อยๆ เมื่อใบมีดเคลื่อนที่เข้ามาถึงตัวชิ้นงานแรงเหวี่ยงที่จากการหมุนของชิ้นงานที่มีทิศทางการหมุนสวนกลับคมมีด เมื่อมีดโดนชิ้นงานก็ทำให้ผิวของไม้จะถูกเฉือนออกไปเป็นแผ่นไม้บ้าง จึงทำให้เครื่องทำไม้บางชนิดนี้จะสามารถผลิตไม้บางที่มีขนาดที่กว้างกว่าเครื่องทำไม้บางแบบหั่น

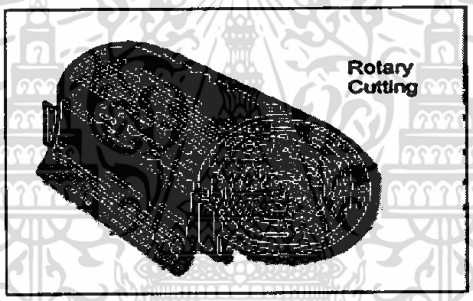
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.11 หลักการทำงานของเครื่องทำไม้บางแบบแรงเหวี่ยง (ปริวรรต ภู่ขำ และคณะ, 2556)

2.3.3.3 เครื่องทำไม้บางแบบโรตารี่

เครื่องทำไม้บางแบบโรตารี่มีหลักการทำงานดังนี้ คือชิ้นงานจะถูกนำมาวางบนลูกกลิ้ง จะมีลูกกลิ้งอยู่ด้วยกัน 3 ตัว ถูกกลิ้งจะทำหน้าที่ประครองไม้ เมื่อเครื่องทำงานลูกกลิ้งทำงานก็จะหมุน ชิ้นงานก็จะหมุนสวนทางกับใบมีด เมื่อใบมีดเข้ามาเรื่อยๆจบโดนกับเนื้อไม้ ก็จะออกมาเป็นไม้บาง ซึ่งเครื่องทำไม้บางชนิดนี้จะปอกไม้ออกมาได้แผ่นที่ยาวกว่าเครื่องแบบอื่นๆ และเป็นการปอกที่ประหยัดเนื้อไม้มากที่สุด

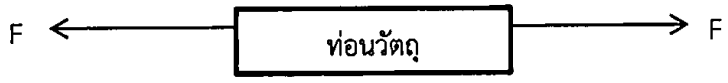


ภาพที่ 2.12 หลักการทำงานของเครื่องทำไม้แบบโรตารี่ (ปริวรรต ภู่ขำ และคณะ, 2556)

2.3.4 การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล [9]

2.3.4.1 ความเค้นแรงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดรับแรง ความเค้นมีอยู่ 3 ชนิดคือ ความเค้นดึง ความเค้นกด และความเค้นเฉือน

2.3.4.1.1 ความเค้นดึง (Tensile stress) จะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ภายใต้แรงดึง โดยแรงดึงจะต้องตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดที่กระทำนั้น



ภาพที่ 2.13 แรงดึงกระทำกับวัตถุ

จะได้สมการ $$\sigma_t = \frac{F}{A} \qquad (2.3)$$

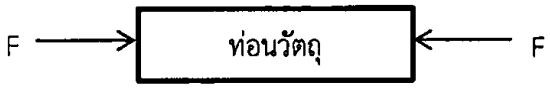
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ σ, คือ ความเค้นที่เกิดขึ้น มีหน่อยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อนวัตถุ มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

F คือแรงอัดที่กระทำกับท่อนวัตถุ มีหน่วยเป็น นิวตัน

2.3.4.1.2 ความเค้นอัด (Compressive stress) จะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ภายใต้แรงอัด โดนแรงอัดจะต้องกระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของท่อนวัตถุที่กระทำ



ภาพที่ 2.14 แรงอัดกระทำกับวัตถุ

จะได้สมการ $$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (2.4)$$

ให้ σ_c = ความเค้นที่เกิดขึ้น มีหน่อยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อนวัตถุ มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

F = แรงอัดที่กระทำกับท่อนวัตถุ มีหน่วยเป็น นิวตัน

2.3.4.1.3 ความเค้นเฉือน (Shear stress) เป็นแรกภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุนั้น โดยพยายามทำให้วัตถุนั้นเกิดการขาดจากกันตามแนวระนาบที่ขนานกับทิศทางของแรงนั้น

ภาพที่ 2.15 แรงเฉือนพยายามทำให้วัตถุขาด

จะได้สมการ $$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.5)$$

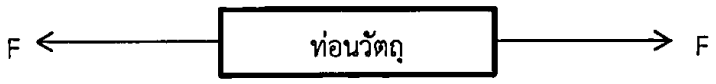
ให้ τ = ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร

A = พื้นที่หน้าตัดที่ขนานกับแรง มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

F = แรงเฉือนที่กระทำกับท่อนวัตถุ มีหน่วยเป็น นิวตัน

2.3.4.2 ความเครียด (Strain) เป็นการเปลี่ยนแปลงของวัตถุเมื่อมีแรง ภายนอกมากระทำกับวัตถุ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงต่อขนาดเดิม ซึ่งหมายถึงความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.16 การเกิดความเครียด

$$\text{ความเครียด} = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนไป}}{\text{ความยาวเดิม}} \tag{2.6}$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \tag{2.7}$$

ให้ ε = ความเครียด (ไม่มีหน่วย)
δ = ความยาวที่เปลี่ยนไป มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร
L = ความยาวเดิมของวัตถุ

โมดุลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) E คือ อัตราส่วนความเค้นต่อความเครียด

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \tag{2.8}$$

โมดุลัสความแกร่ง (Modulus of rigidity) G คือ อัตราส่วนความเค้นเฉือนต่อความเครียดเฉือน

$$G = \frac{\tau}{\varepsilon} \tag{2.9}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างโมดุลัสความยืดหยุ่นและโมดุลัสความแกร่ง

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \tag{2.10}$$

โดยที่ ν คือ อัตราส่วนปัวซอง

2.3.4.3 การบิด (Torsion) คือชิ้นส่วนเครื่องจักรที่หน้าตัดกลมอยู่ภายใต้โมเมนต์บิด (Torque) คือ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \tag{2.11}$$

โดยที่ T = โมเมนต์บิด
L = ความยาว
J = โมเมนต์ความเฉื่อนเชิงขั้นของพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเค้นเฉือน ที่เกิดจากการบิดของท่อกลม

$$\tau = \frac{Tr}{J} \tag{2.12}$$

โดยที่ r คือ รัศมีนอกของท่อกลม

ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์บิด กับ กำลังของเครื่องจักรกล

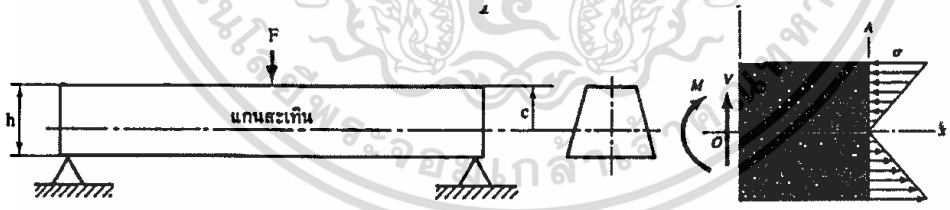
$$W_p = T\omega = 2\pi nT \tag{2.13}$$

โดยที่ W_p = กำลังงาน มีหน่วยเป็น วัตต์
T = โมเมนต์บิด มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร
n = ความเร็วรอบ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที

2.3.4.4 คาน (Beam) ชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ได้รับแรงในแนวดิ่งเหมือนคาน จะมีความเค้นดัด (bending stress) ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ผิวนอกสุดของชิ้นงาน ณ ตำแหน่งที่โมเมนต์ดัด (bending moment) ,ค่าสูงสุด

$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} \tag{2.14}$$

โดยที่ M = โมเมนต์ดัด
C = ระยะจากแกนสะเทิน (Neutral Axis)



ภาพที่ 2.17 คานและแกนสะเทิน (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)

2.3.5 การออกแบบเพลา [10]

2.3.5.1 การพิจารณาในการออกแบบเพลา

เพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีใช้อยู่ในเครื่องจักรเกือบทุกชนิด ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลัง หรือ ทำให้เกิดการหมุนระหว่างชิ้นส่วนต่างๆของเครื่อง ขณะใช้งานเพลาจะอยู่ภายใต้ภาระการกระทำชนิดต่างๆ เช่น แรงกด แรงดึง โมเมนต์ดัด และโมเมนต์บิดซึ่งอาจมีทั้งแรงสถิตและแรงแบบวัฏจักร ทำให้เกิดการล้าได้เพลาอาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง

แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ และ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลา ไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรือไม่ก็ตาม

สพินเดิล (Spindle) เป็นเพลาขนาดสั้น เช่น เพลาที่หัวแท่นกลึง (Head-Stock spindle) เป็นต้น

สตับชาฟ (Stub Shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์มอเตอร์ หรือ เครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมา สำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่น ๆ

เพลาแนว (Line Shaft) หรือเพลาส่งกำลัง (Power Transmission Shaft) หรือเพลาเมน (Mainshaft) เป็นเพลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง ใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ โดยเฉพาะ

แจ็คชาฟ (Jack Shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เพลาอ่อน (Fiexble Shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้งได้เพลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเหนียว (Wire Rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้แต่ส่งกำลังได้น้อย

2.3.5.2 วัสดุเพลา

ในการเลือกวัสดุและวิธีที่ใช้ในการทำเพลา นักออกแบบจะต้องคำนึงถึงสภาพการใช้งานและภาระที่เพลาต้องรับเป็นหลักโดยทั่วไปแล้ว เราจะพิจารณาเลือกวัสดุและวิธีการผลิตเพลาตามขนาดระบุเพลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลาทั่วไป คือ เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้ว มักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลา เช่น AISI 1347, 3140, 4150 เป็นต้น เพลาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 90 มิลลิเมตร มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนที่เลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

2.3.5.3 ขนาดของเพลา

เพื่อให้เพลามีมาตรฐานเหมือนกันองค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดมาตรฐานของเพลา ซึ่งระบุขนาดใน ISO / R 775 – 1969 เอาไว้สำหรับผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลาด้วยขนาดระบุของเพลา

2.3.5.4 หลักพิจารณาในการออกแบบเพลา

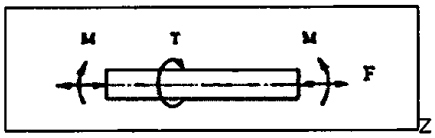
การคำนวณหาขนาดเพลาที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ดังนั้นมุมบิดของเพลาที่เกิดขึ้นในขณะใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ นั่นคือ เพลาจะต้องมีความแข็งเกร็งอยู่ภายในพิกัดที่ต้องกา ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนมีผลให้เฟืองและแบริ่งที่รองรับเพลาอยู่ เกิดความเสียหายได้ง่ายยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

149074

2.3.5.5 การออกแบบเพลาตามมาตราฐาน ASME

วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตศาสตร์ (Static Design Method) ในการหาสมการสำหรับออกแบบเพลาให้พิจารณาเพลาในภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.18 เพลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ (สุทัศน์ ยอดเพ็ชร, 2554)

การออกแบบการคำนวณเพลา ในการออกแบบหาขนาดของเพลา จะต้องพิจารณาสิ่งเหล่านี้

- กำลังงาน (Power) และภาระ (Load) ที่ใช้เพลาส่งกำลัง
- ความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลา รวมทั้งรูปร่างขนาด วัสดุ และผิวสำเร็จ ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิด
- ความเค้นตกค้าง (Stress Concentration) ขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเพลา
- ความแกร่ง (Stiffness หรือ Rigidit) หมายถึง ความคงทนต่อการแอ่นตัวหรือการบิดไปของเพลา เมื่อรับภาระ
- ความเร็ววิกฤติ (Critical Speed) หมายถึง การสั่นตัวของเพลาอันเป็นผลเนื่อง มาจากการแอ่นตัวของเพลา

การคำนวณเพลากลมและกลวง

ความเค้นดึงหรือกด
$$\tau = \frac{F}{A} \tag{2.15}$$

ความเค้นดัด
$$\sigma = \frac{Mc}{I} \tag{2.16}$$

ความเค้นเฉือน
$$\tau_{xy} = \frac{\tau_y}{A} \tag{2.17}$$

2.3.5.6 การคำนวณหาความเค้นแรงเฉือน

ในการออกแบบขนาดของเพลาสำหรับงานปกติทั่วไป จะพิจารณาเฉพาะกำลังงานภาระ และคำนวณตรวจความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลา เพื่อให้ได้ค่าความปลอดภัยเพียงพอ จึงพิจารณาถึงความแกร่ง และความเร็ววิกฤติ เพลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่วัฏจักร ทั้งนี้เพราะ เพลาหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำอาจจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาก็ได้ ดังนั้น เพลาจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (Fatigue Factor) มาเกี่ยวข้องด้วย

C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

C_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$K = \frac{d_1}{d_0} \tag{2.18}$$

กรณีที่ไม่มีแรง F กระทำอยู่ด้วย

$$D^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-k^4)}[(C_t T^2) + (C_m M^2)]^{1/2} \tag{2.19}$$

หรือในกรณีที่ของเพลาตัน K=0

$$D^3 = \frac{16}{\pi\tau}[(C_t T^2) + (C_m M^2)]^{1/2} \tag{2.20}$$

นอกจากนี้รหัสของ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่าเพลาซึ่งมีใช้อยู่ในงานธรรมดาทั่วไปควรมีค่าความเฉือนใช้นานดังนี้

$\tau_d = 55$ สำหรับเพลาไม่มีร่องลิ่ม (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

$\tau_d = 41$ สำหรับเพลามีร่องลิ่ม (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

2.3.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับมอเตอร์ [8]

2.3.6.1 มอเตอร์ 3 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้งานกันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ชนิดที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก มีข้อดี คือ ไม่มีแปรงถ่าน ทำให้การสูญเสียเนื่องจากความฝืดมีค่าน้อย มีตัวประกอบกำลังสูง การบำรุงรักษาต่ำ การเริ่มเดินทำได้ไม่ยาก ความเร็วรอบค่อนข้างคงที่ สร้างง่าย ทนทาน ราคาถูก และมีประสิทธิภาพสูง แต่มีข้อเสีย ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของมอเตอร์ทำได้ยาก ปัจจุบันได้มีการพัฒนาชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์ใช้สำหรับปรับความเร็วรอบของมอเตอร์และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลนี้ พลังงานไฟฟ้าไม่ได้นำเข้าสู่ที่โรเตอร์โดยตรง แต่ได้จากการเหนี่ยวนำ (Induction) จึงนิยมเรียกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับจะไม่สามารถนำไปใช้งานได้โดยสามารถคำนวณกำลังของมอเตอร์และขนาดขอมอเตอร์

2.3.6.2 การคำนวณหากำลังของมอเตอร์

เมื่อต้องการจะคำนวณหามอเตอร์จะได้ F นิวตัน ที่กระทำสัมผัสกับเพลาทำให้เพลาหมุนด้วยความเร็วรอบ n รอบต่อนาที ขณะที่เพลาหมุนไป 1 รอบสามารถหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้การคำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ ขณะที่เพลาหมุนไป 1 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้คำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่

$$S = 2\pi r \tag{2.21}$$

การคำนวณหางานในการหมุนเพลา 1 รอบ

สมการที่ใช้คำนวณหางาน

$$W_f = F \times \pi r \tag{2.22}$$

การคำนวณหางานในการที่เพลากระทำต่อวินาที ขณะที่เพลาหมุน n รอบต่อนาที สามารถคำนวณได้ สมการที่ใช้ในการคำนวณหางานที่เพลากระทำต่อวินาที

$$W_f = F \times 2\pi r \times n \tag{2.23}$$

การคำนวณหาแรงบิด สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$T = F \times r \tag{2.24}$$

เพราะฉะนั้น การคำนวณหากำลังมอเตอร์สามรถคำนวณหาได้จากสมการ

$$P = T \times N \tag{2.25}$$

เมื่อ P = กำลังที่เพลารับแรงจากมอเตอร์มีหน่วยเป็น วัตต์ (w) หรือกิโลวัตต์ (KW)
T = โมเมนต์แรงบิด มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร
N = ความเร็วรอบของเพลา มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที rpm
(1 รอบ = 2 เรเดียน)
r = รัศมีของเพลามีหน่วยเป็นเมตร

การคำนวณหาความเค้นเฉือน
จากสูตร

$$\tau = \frac{16T}{\pi D^3} \tag{2.26}$$

เพราะฉะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = \frac{\tau \pi D^3}{6} = \frac{\sigma_{zul} \pi D^3}{16} \quad (2.27)$$

จากสูตร

$$\sigma_{zul} = \frac{\sigma_{\lim}}{\nu} \quad (2.28)$$

เมื่อ τ = ความเค้นเฉือน

ν = ค่าความปลอดภัยในทางเครื่องกล

σ_{zul} = ค่าความเค้นสูงสุด (Maximum stress) นิวตันต่อมิลลิเมตร

$\sigma_{\lim}$ = พิกัดความเค้นขึ้นอยู่กับลักษณะการรับแรง

2.3.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับสายพาน [11]

สายพานลำเลียงเป็นอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุทางกลที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการขนถ่ายวัสดุ นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรมหลายประเภท ปัจจุบันสายพานลำเลียงได้กว้างไม่น้อยกว่า 3 เมตร มีความยาวมากกว่า 7,000 เมตร และมีความเร็วมากกว่า 10 เมตรต่อวินาที

สายพานลิ่มใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมาก โดยต้องการแรงดึงขั้นต้นในสายพานค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะผลจากการเกาะยึดตัวกันระหว่างด้านข้างของสายพานที่เรียวกับร่องรูปลิ่มของล้อสายพาน ทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี แม้ว่าจะมีส่วนโค้งสัมผัสน้อย และมีแรงดึงขั้นต่ำ และเหมาะกับการใช้งานในกรณีที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางน้อย ในการส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุดเมื่อผิวด้านข้างของสายพานอัดแน่นกับร่องบนล้อสายพาน และในกรณีที่มีเหตุฉุกเฉินก็อาจใช้ผลจากการอัดแน่นนี้ทำหน้าที่เป็นเบรกได้ด้วย การขับด้วยสายพานลิ่ม มีข้อดี คือ เงียบ สะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้ นอกจากนั้นยังมีขนาดกะทัดรัด มีประสิทธิภาพดี และแบริ่งของเพลาไม่ต้องรับแรงมากเกินไป จึงมักใช้ในการขับทางด้านอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งมีสายพานขับได้โดยมีอัตราทดสูงประมาณ 7 : 1 หรืออาจใช้ได้สูงถึง 10 : 1อัตราส่วนแรงดึงของสายพานจากสูตร

$$\frac{T_1}{T_2 = 2.5} \quad (2.29)$$

แรงที่สายพานกดเพลา

$$F = T_1 + T_2 \quad (2.30)$$

2.3.7.1 ขนาดสายพานและล้อสายพานลิ่ม

2.3.7.1.1 สายพานลิ่มมีหน้าที่ตัดเป็นรูปลิ่ม ดังนั้นในการกำหนดขนาดจึงมักกำหนดโดยใช้ความกว้างพิทช์ (Pitch Width) และความหนาสายพานโดยใช้ตัวอักษรแทน ซึ่งแบ่งออกเป็นสายพานลิ่มแบบแคบ (Narrow V-Belts) มีขนาด SPZ SPA SPB และ SPC และสายพานลิ่มแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมดา มีขนาด Y Z A B C D และ E ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสายพานลิ่มแบบธรรมดาเท่านั้น รูปร่างหน้าตัดของสายพานลิ่มและล้อสายพาน

2.3.7.1.2 การคำนวณหาอัตราส่งกำลังของสายพาน สายพานมีอัตราความเร็วรอบเรียกว่าอัตราส่งถ่าย (i) และ อัตราการคำนวณหาอัตราการส่งถ่ายสามารถคำนวณได้จาก

$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{n_1}{n_2} \tag{2.31}$$

เมื่อ d_1 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูเล่ย์ตัวขับ (มิลลิเมตร)

d_2 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูเล่ย์ตัวตาม (มิลลิเมตร)

n_1 = ความเร็วรอบของพูเล่ย์ตัวขับ (รอบต่อนาที)

n_2 = ความเร็วรอบของพูเล่ย์ตัวตาม (รอบต่อนาที)

2.3.7.1.3 การคำนวณความยาวของสายพาน

ความยาวของสายพานเปิด (Open Belts) อาจประมาณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$L = 2C + 1.57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 + D_1)^2}{4C} \tag{2.32}$$

เมื่อ L = ความยาวพิทช์ของสายพาน

C = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของล้อขับและล้อตาม

D_1 = เส้นผ่าศูนย์กลางของล้อขับ

D_2 = เส้นผ่าศูนย์กลางของล้อตาม

2.3.7.1.4 การกำหนดแรงดึงสายพาน และกำลังม้า

มหาวิทยาลัยและบริษัทต่างๆทั่วโลกได้พัฒนาสมการสำหรับการคำนวณแรงดึงสายพานโดยกำหนดเป็นฟังก์ชั่นของน้ำหนักบรรทุก ความเร็ว ความยาว เป็นต้น บางสมการได้ใช้เป็นมาตรฐานแล้ว ได้แก่ DIN # 22101 ของเยอรมัน และ CEMA ของอเมริกา ซึ่งต่างก็มีข้อดีข้อเสียอยู่ในตัวและการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับความต้องการของท้องถิ่นนั้นหรือการระบุมาตรฐาน อย่างไรก็ตาม สมการดังกล่าวทั้งหมด ประกอบด้วยกำลัง 4 อย่างรวมกัน คือ

- กำลังที่ใช้ขับสายพานเปล่าให้เคลื่อนที่โดยเอาชนะความเสียดทานขณะไม่มีภาระ
- กำลังที่ใช้ขับสายพานขณะบรรทุกให้เคลื่อนที่โดยเอาชนะความเสียดทานขณะบรรทุก
- กำลังขณะเพิ่มหรือลดน้ำหนักบรรทุก
- ความเสียดทานจากอุปกรณ์สนับสนุน เช่นแผ่นกั้น (Skirts) คราด (Scrapers) Trippers

สมการทั้งหมดยังรวมแฟคเตอร์ความเสียดทานสำหรับหมุนลูกกลิ้งและการแอ่นตัวของสายพานต่อน้ำหนักบรรทุก ซึ่งค่าดังกล่าวยังมีความเห็นแตกต่างกันว่าควรจะเป็นค่าคงที่หรือฟังก์ชั่นของความเร็วสายพานการรับน้ำหนักบรรทุก หรือความยาวสายพาน

สมการกำลังของ CEMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$BeltHP=\{L[k_t+(K_x+K_yW_b+0.015W_b)]+K_xLW_m+HW_m\}\times\frac{S}{33000} \quad (2.33)$$

เมื่อ L = ความยาว (ฟุต)

H = ระยะยกของสายพาน (ฟุต)

W_b = น้ำหนักของสายพาน (ปอนด์ต่อความยาวสายพาน 1 ฟุต)

W_m = น้ำหนักของวัสดุขนถ่าย (ปอนด์ต่อความยาวสายพาน 1 ฟุต)

S = ความเร็วสายพาน (ฟุตต่อนาที)

K_t = แฟคเตอร์อุณหภูมิ (ไม่มีหน่วย)

K_x = แฟคเตอร์ความต้านทานการหมุนลูกกล

K_y = แฟคเตอร์ความต้านทานการเคลื่อนที่ของสายพานและวัสดุ (ไม่มีหน่วย)

สมการกำลังม้าของสายพาน (Belt Horsepower) ตามมาตรฐาน DIN 22101 คือ

$$N=\frac{CfL}{270}(3.6G_mV+Q_t)+\left(-\frac{Q_tH}{270}\right) \quad \text{หน่วย กำลังม้าเมตริก (PS)} \quad (2.34)$$

เมื่อ C = แฟคเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับความยาวสายพาน

f = ค่าความเสียดทานลูกกลิ้ง

L = ความยาวสายพาน (เมตร)

G_m = น้ำหนักสายพานทั้งหมดบวกน้ำหนักลูกกลิ้งทั้งหมด

V = ความเร็วสายพาน (เมตรต่อวินาที)

Q_t = ปริมาณขนถ่าย (ตันต่อชั่วโมง)

H = ระยะยกของสายพาน (เมตร)

2.3.8 ไมโครเวฟ [12]

การแผ่คลื่นความถี่ไมโครเวฟ โดยปกติจะใช้ช่วงความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ (GH_z) หรือความยาว คลื่น 12.24 เซนติเมตร ผ่านเข้าไปในอาหาร โมเลกุลของน้ำ ไขมัน และน้ำตาล ที่อยู่ในอาหารจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไปและเกิดเป็นความร้อนขึ้น ในกระบวนการนี้เรียกว่า การเกิดความร้อนในสารไดอิเล็กตริก (dielectric heating) เนื่องจากโมเลกุลส่วนใหญ่นั้นเป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้า มีประจุบวกและประจุลบ เมื่อคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นสนามไฟฟ้าผ่านเข้าไป โมเลกุลเหล่านี้ก็จะถูกเหนี่ยวนำ

2.3.8.1 คลื่นไมโครเวฟ เป็นคลื่นความถี่ชนิดหนึ่งมีมีความถี่อยู่ที่ 0.3 GH_z - 300 GH_z ส่วนในการใช้งานนั้นส่วนมากจะนิยมใช้ความถี่ 1 GH_z - 60 GH_z เพราะเป็นย่านความถี่ที่สามารถผลิตขึ้นได้ด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับระบบเตาไมโครเวฟนี้เป็นการส่งคลื่นไมโครเวฟก็จะสะท้อนตัวสแตนเลสเพื่อทำให้คลื่นไมโครเวฟก็จะกระจัดการจายอยู่พื้นที่ในเตา จึงสามารถนำไปใช้ในการอบอาหาร หรือ ทำให้น้ำออกจากวัสดุ ดังนั้นสูตรสมการหาความยาวคลื่นได้ดังนี้

$$F=\frac{V}{\lambda} \quad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ F = ความถี่ (FREQUENCY) มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (H_z)

V = ความเร็วของคลื่นในอวกาศ (VELOCITY) ซึ่งเท่ากับความเร็วแสง คือ 3×10^8 เมตรต่อวินาที (m/s)

λ = แลมด้า เท่ากับความยาวคลื่น (WAVE LENGTH) มีหน่วยเป็น เมตร (m)

ดังนั้น ถ้าเราทราบความถี่ของคลื่นก็สามารถหาความยาวของคลื่นได้ และในทางกลับกันถ้าเราทราบความยาวคลื่นก็สามารถหาความถี่ของคลื่นได้เช่นกัน เช่นเราทราบความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในเตาไมโครเวฟเท่ากับ 2,450 เมกะเฮิรตซ์ (MH_Z) สามารถหาความยาวคลื่นได้ตามสมการที่

เมื่อ $V = 3\times10^8$ (300,000,000) เมตรต่อวินาที (m/s)

F = 2,450 เมกะเฮิรตซ์ (MH_Z) = (2,450,000,000)

แทนค่า $$\lambda = \frac{3\times10^8 (m/s)}{2{,}450 (MHz)} = \frac{300{,}000{,}000}{2{,}450{,}000{,}000}$$

ดังนั้นความยาวคลื่น (λ) = 0.1224 เมตร หรือ 12.24 เซนติเมตร

2.3.8.2 การทำงานของคลื่นไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นสนามขอพลังงานไฟฟ้า และพลังงานแม่เหล็กอยู่ด้วยกัน จึงจัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเร็วแสง มีการแผ่รังสีเหมือนแสงแต่มีพลังงานน้อยกว่า เคลื่อนที่ในรูปแบบคลื่น ดังนั้นไมโครเวฟจึงสะท้อนไปมาถูกส่งหรือดูดกลืนได้โดยขึ้นกับสารที่ไมโครเวฟทำปฏิกิริยาด้วย หลักการงานอาศัยน้ำ เพราะน้ำเป็นโมเลกุลชนิดมีขั้วบวกที่ปลายด้านหนึ่ง โมเลกุลของน้ำในอาหารจะจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ เมื่อเปิดเครื่องทำให้เกิดไมโครเวฟในเตาอบ โมเลกุลของน้ำจะดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟสนามของคลื่นไมโครเวฟจะเกิดการสั่นเป็นจำนวนล้านๆครั้งใน 1 วินาที ขณะเดียวกันโมเลกุลของน้ำสั่นไปพร้อมกับเปลี่ยนตำแหน่งของโมเลกุลในน้ำ ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวขอโมเลกุลให้เป็นระเบียบมากขึ้น การที่โมเลกุลในเป็นระเบียบมากขึ้น การที่โมเลกุลของน้ำสั่นอย่างมากนี้ทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น

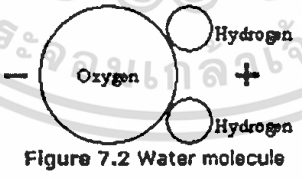
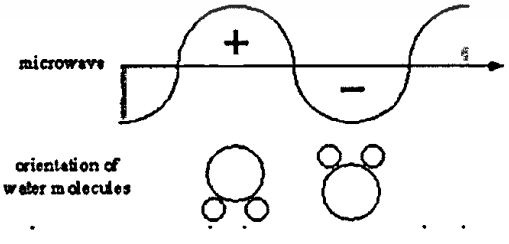


Figure 7.2 Water molecule



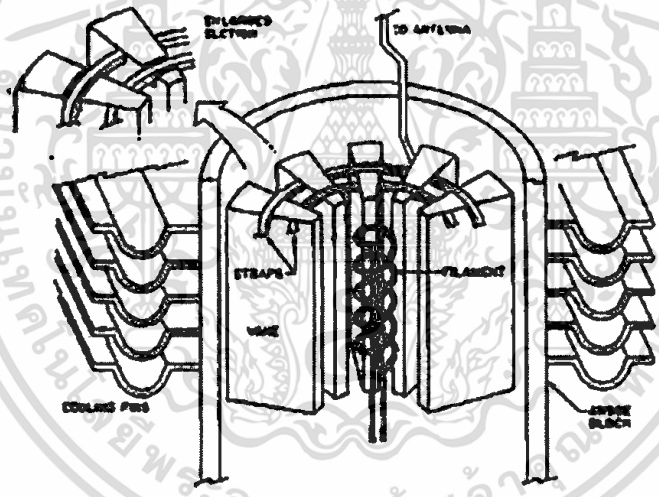
ภาพที่ 2.19 หลักการทำงานของคลื่นไมโครเวฟ (อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.8.3 องค์ประกอบของไมโครเวฟ

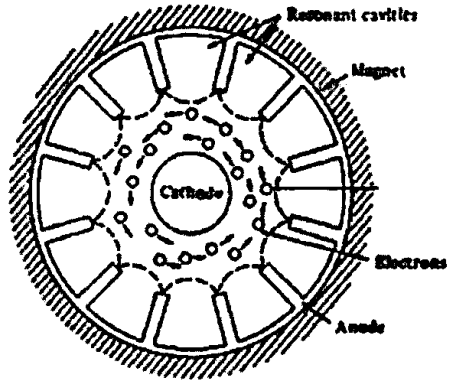
ไมโครเวฟมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Sources) ท่อนำคลื่นไมโครเวฟ (Waveguides) และส่วนบริเวณที่มีวัตถุดิบอยู่ (Applications) ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของส่วนประกอบและหลักการทำงานได้ดังต่อไปนี้

แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟเกิดจากแมกนีตรอน (Magnetron) ซึ่งแมกนีตรอนทำหน้าที่ในการปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อไปกระตุ้นให้เกิดความร้อนขึ้น แมกนีตรอนเป็นหลอดสุญญากาศ(Vacuum Tube) มีโครงภายนอกเป็นโลหะ และมีครีบระบายความร้อนอยู่ด้านข้าง ส่วนโครงสร้างภายในจะมีส่วนกำเนิดเรียกว่า ไดโอด (Diode) ซึ่งประกอบด้วยแท่งแอโนด (Anode) และแคโทด โดยแท่งแอโนดทำหน้าที่ในการกำหนดวงโคจรของไมโครเวฟ ซึ่งประกอบด้วยท่อทรงกระบอกที่ทำด้วยทองแดง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4.5 เซนติเมตร และยาว 3.2 เซนติเมตรปิดด้วยแผ่นทองแดงที่ปลายหลอดทั้งสองด้าน เพื่อดูดอากาศออกทำให้เกิดสุญญากาศขึ้นภายในหลอดไดโอด และภายในหลอดไดโอดจะประกอบด้วยแผ่นทองแดง (Vanes) ประมาณ 12 แผ่น เรียงต่อกันคล้ายซี่ล้อรถจักรยาน ซึ่งจะเว้นช่องว่างไว้ตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร โดยจะมีขดลวดม้วนเป็นเกลียวๆรอบๆ แกนศูนย์กลางซึ่งเรียกส่วนนี้ว่า แคโทด โดยจะทำหน้าที่ในการปลดปล่อย Thermionic Electron



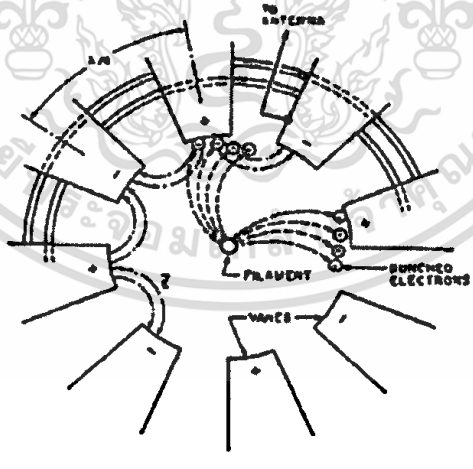
ภาพที่ 2.20 รูปตัดขวางด้านข้างแสดงส่วนประกอบของแมกนีตรอน (อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



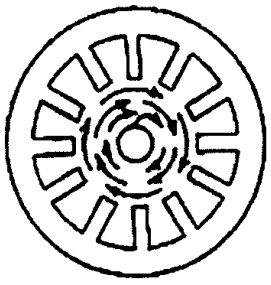
ภาพที่ 2.21 รูปตัดขวางด้านบนแสดงส่วนประกอบของแมกนีตรอน (อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, 2556)

หลักการทำงานของแมกนีตรอนเริ่มจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดหรือแคโททำให้ขดลวดร้อนขึ้นและเกิดการปล่อยอิเล็กตรอนที่มีประจุลบออกมาวนเวียนอยู่รอบๆแท่แอโนด และจะเกิดเป็นกลุ่มอิเล็กตรอนที่ตรงกลางไดโอด เมื่อผ่านความต่างศักย์ไฟฟ้าประมาณ 4,000 โวลต์ ถึง 6,000 โวลต์ ระหว่างแอโนดและแคโทด จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นและจะเร่งให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ออกจากกลุ่มอิเล็กตรอนไปยังแอโนด ทำให้เกิดการเคลื่อนที่หมุนวนไปรอบๆ เป็นผลให้เกิดคลื่นไมโครเวฟโดยจะมีสายอากาศ ที่อยู่บริเวณส่วนบนของหลอดแมกนีตรอนทำหน้าที่จับคลื่นไมโครเวฟที่เกิดขึ้นแล้วส่งผ่านไปยังท่อนำคลื่น (Wave guide) และผ่านไปยัง stirrer เพื่อช่วยกระจายคลื่นไมโครเวฟให้สัมผัสอาหารได้อย่างทั่วถึงภายในเตาอบไมโครเวฟ



ภาพที่ 2.22 รูปตัดขวางของแอดโนดในแมกนีตรอน (อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.23 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากแคโทดสู่แอโนด (อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, 2556)

2.3.8.4 ปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

$$Q = \omega\varepsilon_0\varepsilon_r^{''}E^2 = 2\pi f\varepsilon_0\varepsilon_r^{''}(\tan\delta)E^2 \qquad (2.36)$$

Q = ปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

E = สนามไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง

F =ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ

ω =ความเร็วเชิงมุมของคลื่นไมโครเวฟ

$\varepsilon_r^{''}$ =relative dielectric constant ซึ่งบอกถึงคุณสมบัติของวัตถุใดๆที่อธิบายถึงความสามารถในการดูดซับส่งผ่าน และสะท้อนพลังงานจากส่วนที่เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ

ε_0 =Dielectric Constant ของอากาศ = 1

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

ค่าความลึกในการทะลุทะลวงหรือระยะทางที่สนามไฟฟ้าทะลุเข้าไปได้

$$D_p = \frac{1}{\frac{2\pi f}{v}\sqrt{\frac{\varepsilon_r^{'}(\sqrt{1+(\tan\delta)^2}-1)}{2}}} \qquad (2.37)$$

v = ความเร็วแสง (3×10^8 m/s)

f = ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ

$\varepsilon_r^{'}$ = relative dielectric constant

$\tan\delta$ = Dielectric Loss Tangent Coefficient

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

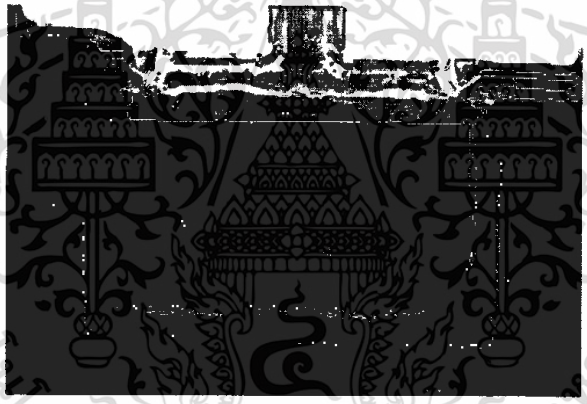
$$D_p = \frac{1}{\frac{(2\pi)(2.45\times10^9)}{3\times10^8}\sqrt{\frac{(5.61264)\left(\left(\sqrt{(1+0.1725^2)}\right)-1\right)}{2}}}$$

= 0.09572 เมตร

= 9.572 เซนติเมตร

2.3.8.4 ลูกกรงฟาราเดย์

ลูกกรงฟาราเดย์ลูกกรงทำด้วยสารตัวนำไฟฟ้ามีไว้เพื่อป้องกันไม่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหลุดลอดออกมาภายนอกได้เนื่องจากช่องของตาข่ายลูกกรงนี้มีขนาดความกว้างของช่องเล็กกว่าความยาวคลื่นไมโครเวฟคลื่นจึงไม่สามารถลอดผ่านออกมาและไม่สามารถเจาะทะลุทะลวงผ่านโดยได้มีการกำหนดค่าขีดจำกัดความปลอดภัยของระดับความเข้มของกำลังงานการรั่วไหลของไมโครเวฟ คือ ไม่ควรเกิน 1 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และต้องไม่เกิน 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยวัดที่ระยะห่าง 5 เซนติเมตรจากผิวนอกของเตาอบไมโครเวฟ



ภาพที่ 2.24 ลูกกรงฟาราเดย์

2.3.9 การส่งถ่ายความร้อน [13]

ความร้อนสามารถเคลื่อนที่ได้ 3 รูปแบบ คือ การนำ การพา และการแผ่รังสี พฤติกรรมทางความร้อนจะเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ ยกตัวอย่างเช่น น้ำแข็งในแก้วน้ำที่มีน้ำอยู่น้ำจะมีอุณหภูมิสูงกว่าจึงถ่ายเทความร้อนไปที่น้ำแข็งที่มีอุณหภูมิเย็นกว่า ทำให้น้ำแข็งละลาย และหยุดถ่ายเทความร้อนต่อเมื่อมันมีอุณหภูมิที่เท่ากัน

การนำ (Conduction) เป็นการส่งถ่ายอุณหภูมิโดยที่ตัวกลางนั้นอยู่กับที่ ยกตัวอย่างเช่น เราจับแท่งเหล็กแท่งหนึ่ง แล้วนำปลายของแท่งเหล็กนั้นไปเผาไฟ สักพักมือเราที่จับปลายอีกด้านก็จะรู้สึกถึงความร้อนที่มือ นี้คือตัวอย่างของการนำความร้อน ตัวกลางได้แก่ แท่งเหล็กที่มีความร้อนวิ่งผ่าน ส่วนตัวอย่างอื่นเช่น การนำความร้อนผ่านกำแพงบ้าน (กำแพงเป็นตัวกลาง) ความร้อนผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังคา (หลังคาเป็นตัวกลาง) ความร้อนผ่านผนังท่อ (ผนังท่อเป็นตัวกลาง) ส่วนอัตราการนำความร้อนขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิ และคุณสมบัติการนำความร้อนของวัสดุ

การพา (Convection) เป็นการส่งถ่ายอุณหภูมิโดยที่ตัวกลางนั้นเคลื่อนที่ไปกับอุณหภูมิด้วย ยกตัวอย่างเช่น น้ำที่มีอุณหภูมิไหลผ่านท่อซึ่งน้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่พาความร้อนไปกับน้ำเคลื่อนที่ไปพร้อมกันส่วนอัตราการพาความร้อน ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิ ความเร็วของการไหลของตัวกลาง และชนิดของของไหล

การแผ่รังสี (Radiation) เป็นการถ่ายเทอุณหภูมิที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ยกตัวอย่างเช่น ดวงอาทิตย์การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลก ความร้อนเคลื่อนผ่านอวกาศ ผ่านชั้นบรรยากาศของโลก ผ่านบ้าน และก็มาถึงคนก็จะรู้สึกร้อน

อัตราในการแผ่รังสีความร้อน ที่มีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิ ปริมาณอุณหภูมิที่แพร่ออกจากแหล่งกำเนิด แล้วนำการแพร่นั้นมาเปรียบเทียบกับวัตถุดำ (วัตถุดำเป็นวัตถุทางอุดมคติไม่มีจริงในโลกนี้ ส่วนที่เห็นว่าเป็นสีดำ ในทางวิทยาศาสตร์ไม่ถือว่าดำจริง)

ในบางครั้งเราจะพบว่า การถ่ายเทความร้อนนั้นมีได้ทั้ง 3 แบบผสมกันไป ยกตัวอย่างเช่น แท่งเหล็กที่เราเอามือจับ และนำเอาอีกด้านหนึ่งไปเผาไฟ การนำก็คือความร้อนวิ่งผ่านแท่งเหล็กมาสู่มือเรา การพาก็คือเมื่อลมพัดผ่าน ความร้อนของแท่งเหล็กก็จะวิ่งมาหาเรา ส่วนการแผ่รังสีก็คือความร้อนของแท่งเหล็กแผ่ออกมาทำให้รู้สึกร้อน ถ้าลองเอากระจกไสไปกันระหว่างเรากับแท่งเหล็กร้อน เรายังรู้สึกถึงความร้อนนั้นอยู่ ความร้อนที่มาจากเหล็กร้อนนั้นเคลื่อนที่ผ่านแก้วได้

การถ่ายเทความร้อนในระบบไครโอเจนิกส์ มีอุณหภูมิที่ไหลผ่านออกมาเป็นอุณหภูมิที่สูญเสียในบริเวณที่ต้องการรักษาอุณหภูมิให้มีค่าคงที่ การแก้ไขในระบบไครโอเจนิกส์เพื่อไม่ให้อุณหภูมิสูญเสียนี้ยกตัวอย่างเช่น ใช้วิธีแจ็คเก็ตสุญญากาศ (Vacuum jackets) เกราะป้องกันโดยใช้ไนโตรเจน(Nitrogen shields) ฯลฯ นอกจากนี้ยังมีวิธีลดการสูญเสียของอุณหภูมิอีกหลายวิธี ขึ้นอยู่กับความชำนาญ และประสบการณ์ ของผู้ปฏิบัติงานด้านไครโอเจนิกส์

2.3.10 ฮีทเตอร์ [13]

ฮีตเตอร์ (Heater) เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานในโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภทเกษตรกรรม, งานทำความร้อนในอาคาร หรือระบบระบายอากาศ ที่มีความต้องการสร้างความร้อนให้กับชิ้นงาน อาหาร, ห้องอบสี, งานบรรจุหีบห่อ, อบขึ้นรูปพลาสติก ฯลฯ โดยใช้หลักการจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำ (ตัวความต้านทาน R) ซึ่งส่งผลให้ลวดตัวนำมีความร้อนเกิดขึ้น โดยแหล่งจ่ายไฟสามารถใช้ได้กับแรงดัน 220VAC และ 380VAC ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานฮีตเตอร์ (Heater) ได้ง่ายและสะดวก ซึ่งในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมหันมาใช้ฮีตเตอร์ (Heater) มากยิ่งขึ้น เนื่องจากราคาถูก และสั่งขนาด รูปทรง และวัตต์ได้ตามความต้องการ โดยส่วนประกอบส่วนใหญ่ของฮีตเตอร์ (Heater) มีดังนี้

ลวดฮีตเตอร์ (Heater) ซึ่งเรียกว่า ลวด Nikrothal 80 หรือ R80 โดยมรส่วนผสมของนิเกิล 80 % และโครเมียม 20 % ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 1400 องศาเซลเซียส โดยมีคุณสมบัติเหนียว และทนความร้อนได้สูงถึง 1400 องศาเซลเซียส

ฉนวนแมกนีเซียมอกไซด์ (MgO) คุณสมบัติมีค่าความนำทางไฟฟ้าต่ำ แต่นำความร้อนได้ดีมาก ซึ่งทำหน้าที่กั้นกลางระหว่างลวดตัวนำฮีตเตอร์ (Heater) กับปลอกโลหะ เพื่อป้องกันไม่ให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสรั่ว (Leak Current) จากลวดฮีตเตอร์ออกไปยังผิวโลหะ จุดสำคัญคือห้ามมีความชื้นในฉนวนเด็ดขาดเนื่องจากจะทำให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงขึ้น วิธีการแก้ไขคือการนำฮีตเตอร์ (Heater) ไปอบในเตาอบเพื่อไล่ความชื้น

แสตนเลส (Stainless) ที่นำมาใช้ในการผลิตฮีตเตอร์ (Heater) มีอยู่หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ดังนี้

- Stainless 304: ใช้ในงานที่ต้องการขึ้นรูปเพื่อการตกแต่งให้สวยงาม สามารถป้องกันสนิมได้เป็นอย่างดี

- Stainless 316: ถูกออกแบบให้ป้องกันสนิมได้เป็นอย่างดี สามารถใช้ในงาอุตสาหกรรมหนัก และสถานที่ใกล้ทะเลที่มีความเป็นกรด-ด่างสูง

- Stainless 430: เป็นแสตนเลสที่ใช้โครเมียมเป็นส่วนประกอบ 100 % และมีโอกาสเกิดสนิมน้อยกว่าเบอร์ 300 ซึ่งแสตนเลสแบบนี้นิยมนำมาตกแต่งภายใน

สมการคำนวณขนาดของขดลวดความร้อน (Heater)

$$Q = mc_p\Delta T \tag{2.38}$$

สมการคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวล (m)

$$\dot{m} = \rho vA \tag{2.39}$$

$$T_f = \frac{T_w + T_\alpha}{2} \tag{2.40}$$

Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (วัตต์)

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

ΔT = ผลต่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

ρ = ค่าความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส)

T_f = อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)

T_w = อุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศ (องศาเซลเซียส)

T_α = อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างการคำนวณ

$$T_f = \frac{85 + 27}{2}$$

$$T_f = 56^{\circ}C$$

$$\dot{m} = (1.067)(18.4)(\frac{\pi}{4}0.0635^2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

แทนค่า

$$Q = (0.06217)(1.009)(85-27)$$
$$= 3.6383 \text{ kJ/s}$$
$$Q = 3638.3 \text{ W}$$

ขนาดของขดลวดความร้อนที่ต้องใช้มีขนาดเท่ากับ 5 kW

2.3.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) [14]

SEM เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับจุลภาค และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในการวิจัย และการผลิตภาคอุตสาหกรรม SEM เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงถึงระดับ 1,000,000 เท่า ทำให้สามารถศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับไมโครหรือนาโนได้SEMยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer ; EDS) ซึ่งช่วยในการศึกษา ชนิด ปริมาณ และการกระจายขององค์ประกอบธาตุของวัสดุที่ศึกษาได้อีกทั้งSEMยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หรือหัววัดอื่นๆเพื่อใช้ศึกษาวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ที่ต่างกันออกไปเช่นเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วิเคราะห์การเรียงตัวของผลึกโดยใช้สัญญาณจากการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Electron Backscatter Diffraction; EBSD) นอกจากนี้ SEM ยังสามารถประยุกต์โดยเชื่อมต่อกับชุดอุปกรณ์ควบคุมลำอิเล็กตรอนเพื่อใช้เขียนลวดลายขนาดเล็กลงบนชิ้นงาน (Electron Beam Lithography) จะเห็นได้ว่า SEM เป็นเครื่องมือที่มีความจำเป็นต่อการศึกษาวิจัย ด้วยกำลังขยายที่สูง และสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายและครอบคลุมการศึกษาวิจัยในระดับจุลภาค

ภาพที่ 2.25 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

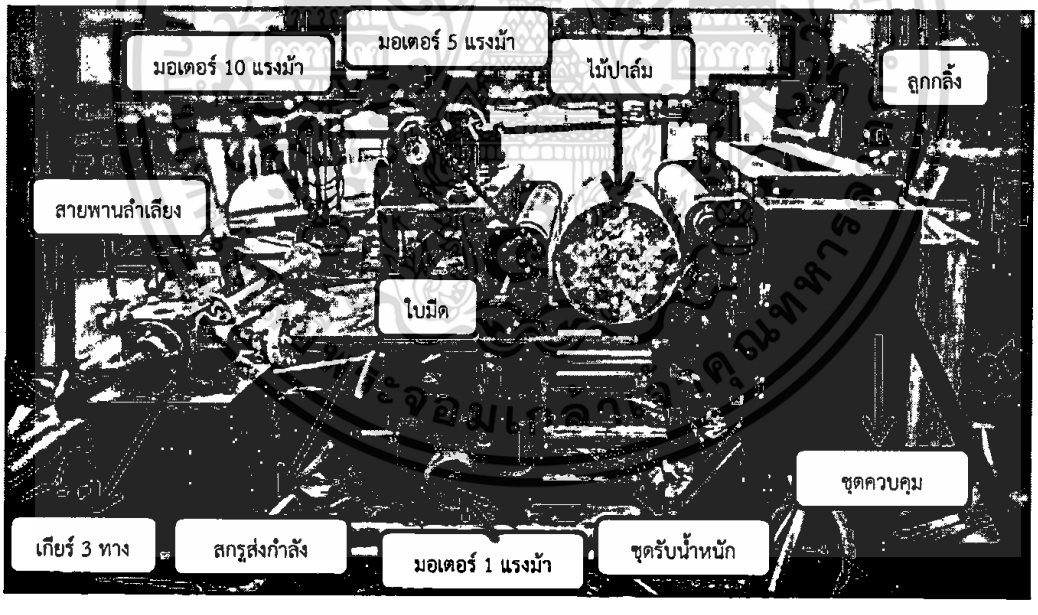
บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดลองเครื่องปอกไม้บางและเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง จะใช้ไม้ปาล์มพันธุ์เทเนอร่าที่มีอายุ 25 – 26 ปี โดยไม้ปาล์มจะตัดไม้ปาล์มที่มีความยาวท่อนละ 70 เซนติเมตร จะทำการปอกไม้บางโดยใช้เครื่องปอกไม้บางแบบโรตารี่ ในการทดลองจะใช้ความเร็วรอบชุดมีดที่ 0.17, 0.22 และ 0.26 เมตรต่อนาที ไม้จะมีความหนา 2 - 3 มิลลิเมตร หลังจากได้บางแล้ว จะนำไม้บางไปอบด้วยเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง โดยเราจะทำการทดลองอบไม้บางที่ ไมโครเวฟ 1,800 W, 2,400 W, 3,200 W ลมร้อน 50 °C, 70 °C, 90 °C และ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่วัตต์และอุณหภูมิต่างๆ เมื่อได้ไม้บางที่ผ่านการอบแล้วจะนำไม้บางไปทดสอบทางกล โดยจะทดสอบ แรงดึง แรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยน และแรงเฉือนขนานเสี้ยน เพื่อศึกษาความแข็งแรงของไม้ที่ผ่านการอบ และจะทำการส่องกล้อง Scanning Electron Microscope เพื่อศึกษาลักษณะของไม้ที่ผ่านการอบ โดยเราจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน

1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

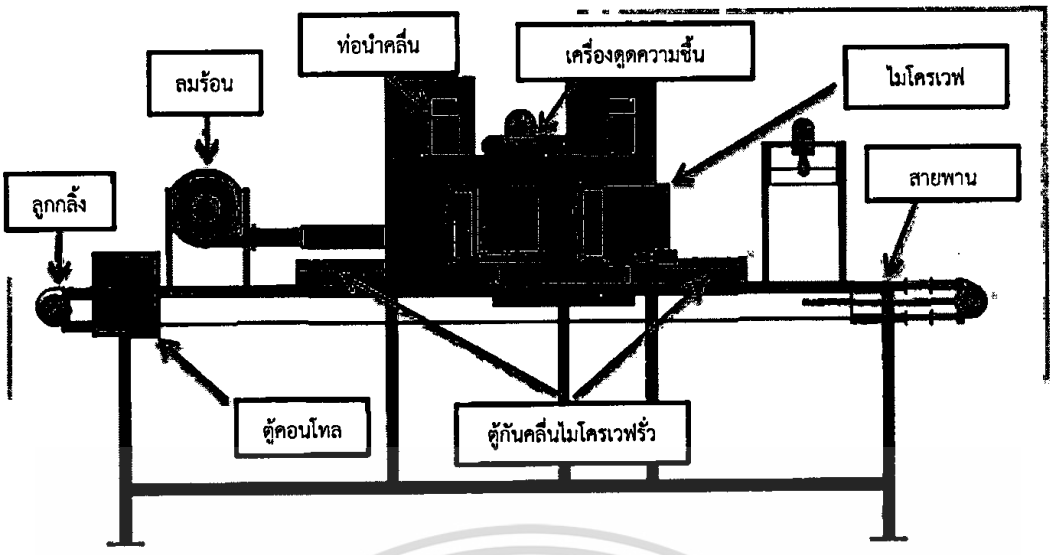
2 การทดลองปอกไม้บางและอบไม้บางด้วยคลื่นไมโครเวฟ, ลมร้อน และ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

3 การทดสอบความต้านทานทางกล และ การการส่องดูลักษณะไม้ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope เพื่อศึกษาโครงสร้างของไม้หลังผ่านการอบ



ภาพที่ 3.1 เครื่องปอกไม้บางสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน

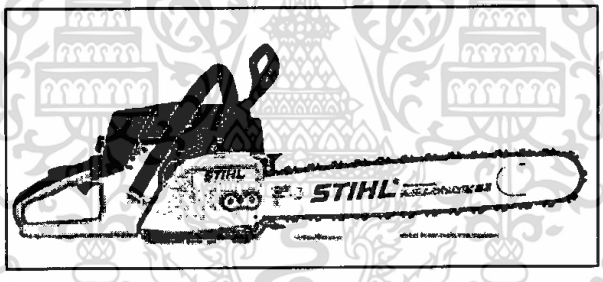
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 เครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง.

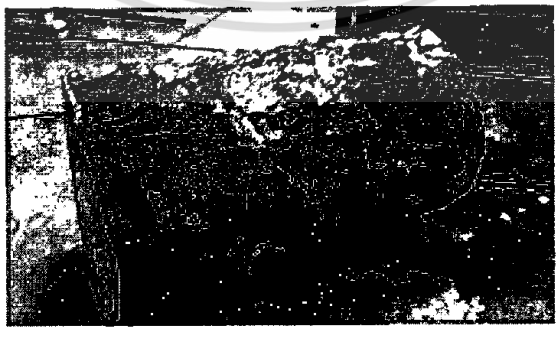
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องเลื่อยไม้ยี่ห้อ STIHL รุ่น MS 381 เครื่องยนต์ 2 จังหวะ 5.3 แรงม้า



ภาพที่ 3.3 เครื่องเลื่อยไม้STIHL MS 381 (http://www.stihl.com)

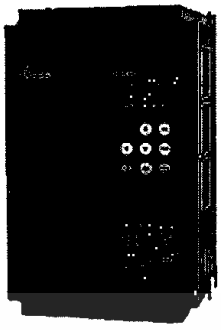
3.1.2 ไม้ปาล์มพันธุ์เทเนอร่าที่มีอายุ 25 - 26 ปีและมีความยาว 70 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.4 ไม้ปาล์มพันธุ์เทเนอร่า

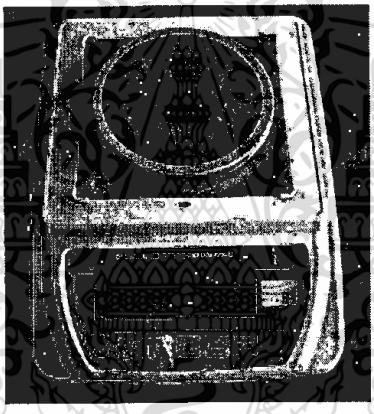
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



ภาพที่ 3.5 เครื่องปรับความเร็วรอบ

3.1.4 เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 3 ตำแหน่งขนาด 10 กิโลกรัม



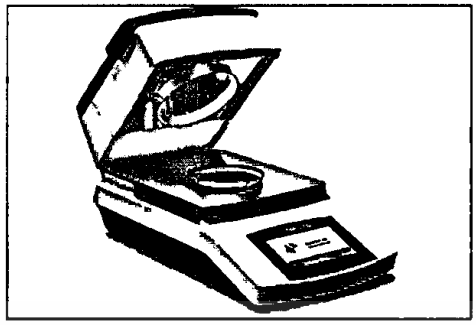
ภาพที่ 3.6 เครื่องชั่งดิจิตอล

3.1.5 เครื่องวัดความเร็วรอบ DIGCON DT-235T ย่านการวัด 0.5–19,999 รอบต่อนาที

ภาพที่ 3.7 เครื่องวัดความเร็วรอบ DIGCON DT-235T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

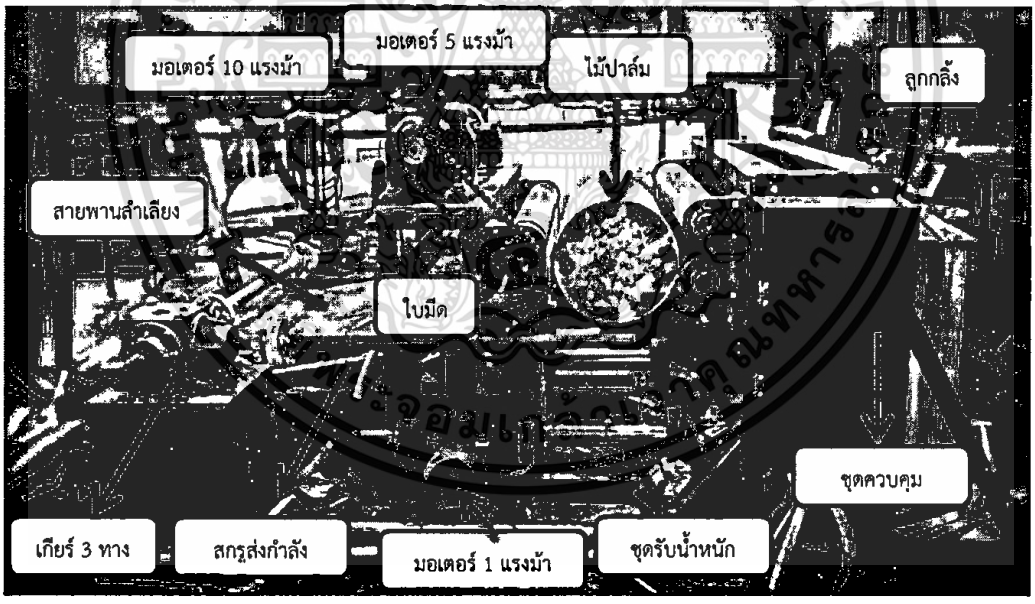
3.1.6 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น SARTORIUS-MA37 เป็นเครื่องวิเคราะห์ความชื้นเริ่มต้น และชิ้นงานต้องมีน้ำหนักไม่เกิน 15 กรัม



ภาพที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น SARTORIUS-MA37 (www sartorius.com)

3.1.7 เครื่องทำไม้บางสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน

เครื่องปอกไม้บางสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน ได้ออกแบบเครื่องปอกแบบโรตารี่ โดยจะนำไม้ปาล์มน้ำมันที่มีความยาวท่อนละ 70 เซนติเมตรมาปอกในความเร็วรอบชุดมีดที่ 0.17, 0.22 และ 0.26 เมตรต่อนาที สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง เครื่องปอกไม้บางสำหรับปาล์มน้ำมันมีส่วนประกอบๆ หลักๆคือ โครงสร้าง ชุดสายพานลำเลียง มอเตอร์ขับ ลูกกลิ้ง ใบมีด ชุดควบคุม สกรูส่งกำลัง เป็นต้น

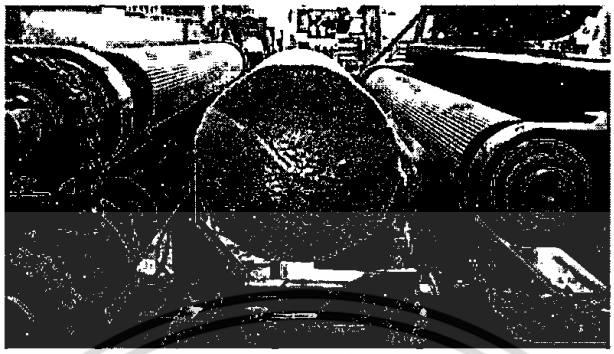


ภาพที่ 3.9 ชิ้นส่วนเครื่องปอกไม้บางสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.7.1 การออกแบบเครื่องปอกไม้บางสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน

1. ลูกกลิ้ง มีความยาว 90 เซนติเมตร บนลูกกลิ้งจะมีลายเพื่อประคองไม้ไม่ให้ไม้ลื่นหล่นลงไป ลูกกลิ้งด้านซ้ายจะหมุนทวนเข็มนาฬิกาเพื่อให้ท่อนไม้หมุนขึ้น และลูกกลิ้งด้านขวาจะหมุนทวนเข็มนาฬิกาเพื่อกดไม้เข้าหาใบมีด ดังภาพที่ 3.10



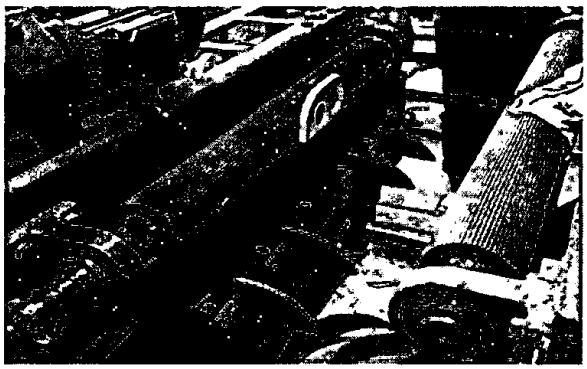
ภาพที่ 3.10 ลูกกลิ้งสำหรับหมุนประคองไม้ปาล์มน้ำมัน

2. สกรูส่งกำลัง ส่งกำลังโดยเปลี่ยนจากการหมุนเป็นการเลื่อน มีอัตราการทดของเฟืองที่สูงมากเนื่องจากต้องแบกรับน้ำหนักในการเคลื่อนที่จำนวนมาก โดยสกรูส่งกำลังจะทำหน้าที่เลื่อนชุดมีดเข้าหาท่อนไม้ ดังภาพที่ 3.11

ภาพที่ 3.11 สกรูส่งกำลัง

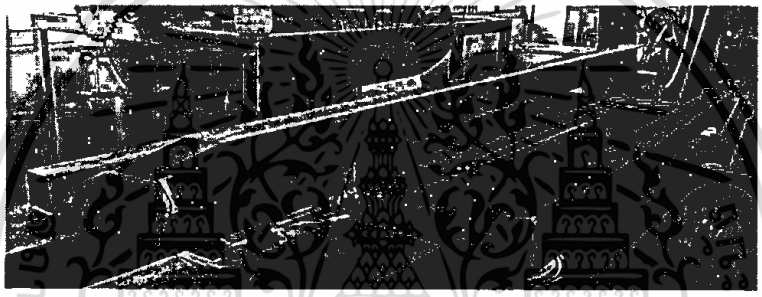
3. ใบมีดสำหรับปอกไม้ปาล์ม มีความยาว 107 เซนติเมตร ใช้วัสดุเหล็กกล้าที่มีความแข็งแรง และ ชุบโครเมี่ยมเพื่อให้มีดทนแรงเฉือนได้ดี โดยจะตั้งค่าให้มีเอียง 2 องศา ทำให้ง่ายต่อการปอก ดังภาพที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.12 ใบมีดสำหรับปอกไม้ปาล์ม

4. แท่นลับมีด ออกแบบให้มีดที่วางอยู่บนแท่นหน้าของมีดจะอยู่ในแนวระนาบ และจะนำมีดไปลับกับเครื่องเจียระไนราบ ดังภาพที่ 3.13



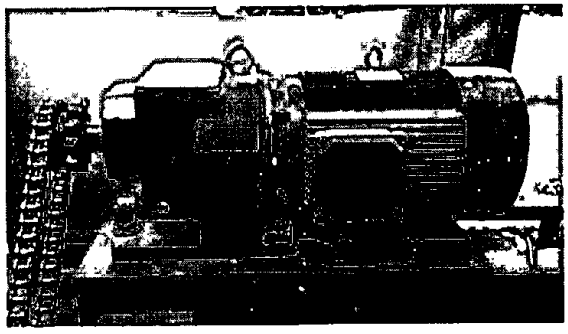
ภาพที่ 3.13 แท่นลับมีด

5. มอเตอร์เกียร์ขนาด 10 แรงม้า 1,440 รอบต่อนาที อัตราทด 1 : 9.64 หนึ่งตัว สำหรับสกรูส่งกำลัง ดังภาพที่ 3.14

ภาพที่ 3.14 มอเตอร์เกียร์ขนาด 10 แรงม้า

6. มอเตอร์เกียร์ขนาด 5 แรงม้า 1,440 รอบต่อนาที อัตราทด 1 : 9.64 จำนวน 2 ตัวสำหรับขับชุด Rolling ดังภาพที่ 3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.15 มอเตอร์เกียร์ขนาด 5 แรงม้า

7. มอเตอร์เกียร์ขนาด 1 แรงม้า 1,440 รอบต่อนาที สำหรับสายพานลำเลียง ดังภาพที่ 3.16

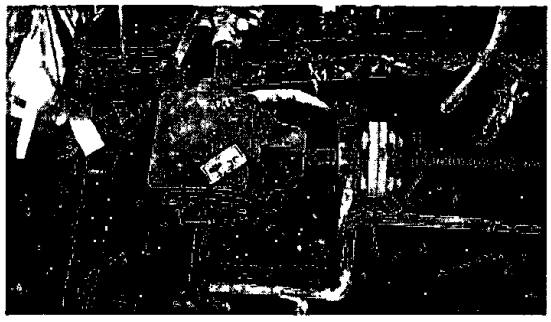
ภาพที่ 3.16 มอเตอร์เกียร์ขนาด 1 แรงม้า

8. โซ่เบอร์ 60 จำนวน 3 เส้น ดังภาพที่ 3.17

ภาพที่ 3.17 โซ่เบอร์ 60

9. เกียร์ 3 ทาง อัตราทด 1 : 1 เพื่อเลื่อนชุดมีด ดังภาพที่ 3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.18 เกียร์ 3 ทาง

10. ตู้ควบคุมเครื่องทำไม้บาง ออกแบบให้ปุ่มควบคุมสามารถควบคุมห่างจากตัวเครื่องได้ ดังภาพที่ 3.19

ภาพที่ 3.19 ตู้ควบคุมเครื่องทำไม้บาง

11. ตัวรับไม้จำนวน 4 ตัว จะคอยรับไม้ไม่ให้หล่นจากเครื่องปอก ดังภาพที่ 3.20

ภาพที่ 3.20 ตัวรับไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

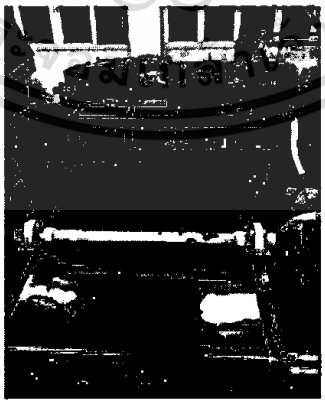
12. ชุด Brass Boost Housing จำนวน 2 ชุด สำหรับยึดชุดใบมีด และคานเข้าด้วยกัน ดังภาพที่ 3.21

ภาพที่ 3.21 ชุด Brass Boost Housing

13. คานรับน้ำหนักชุดใบมีดและชุดลูกกลิ้งประคองไม้ ดังภาพที่ 3.22

ภาพที่ 3.22 คานรับน้ำหนัก

14. สายพานสำหรับลำเลียงไม้บาง มีขนาด 81×130 เซนติเมตร วัสดุของสายพานจะเป็น PVC จะมีความเหนียวจะทำให้ปอกได้อย่างต่อเนื่อง ดังภาพที่ 3.23

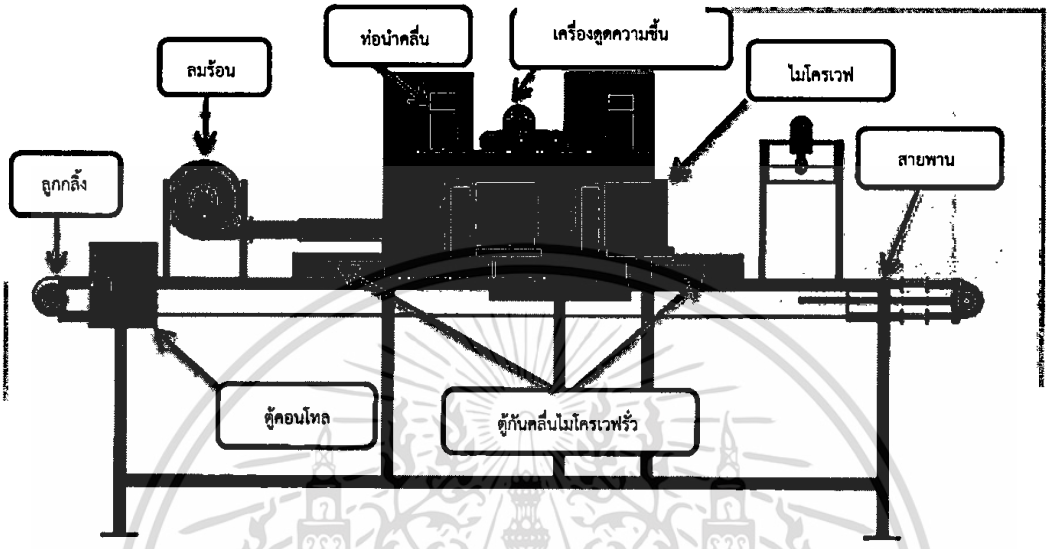


ภาพที่ 3.23 สายพานลำเลียงไม้บาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

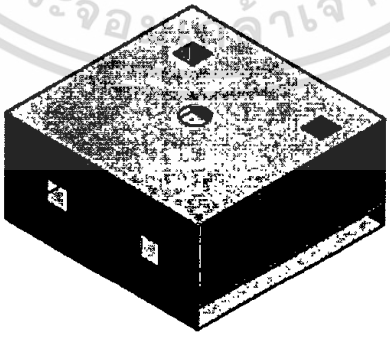
3.1.8 เครื่องอบไม้บางด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง

เครื่องอบไม้บางด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง ออกแบบให้สามารถอบไม้บางด้วยไมโครเวฟ สูงสุด 4,000 W และ ลมร้อน 100 °C สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยเครื่องอบไม้บางด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียงมีส่วนประกอบหลักๆคือ โครงสร้าง, ชุดสายพานลำเลียง, ไมโครเวฟ, ลมร้อน ดังภาพที่ 3.24



ภาพที่ 3.24 ชิ้นส่วนเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง

3.1.8.1 ห้องอบไมโครเวฟ เป็นห้องสี่เหลี่ยม ขนาด 50×100×100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้วัสดุ สแตนเลสชนิด 316L ความหนา 1 มิลลิเมตร โดยจะเจาะช่องสี่เหลี่ยมขนาด 12×12 เซนติเมตร ที่ด้านข้าง 2 ช่อง และด้านบน 2 ช่อง เพื่อใส่ท่อนำคลื่นไมโครเวฟและมีวงกลมด้านบนเพื่อใส่เครื่องเป่าลมพาความชื้นออกจากตู้ ดังภาพที่ 3.25



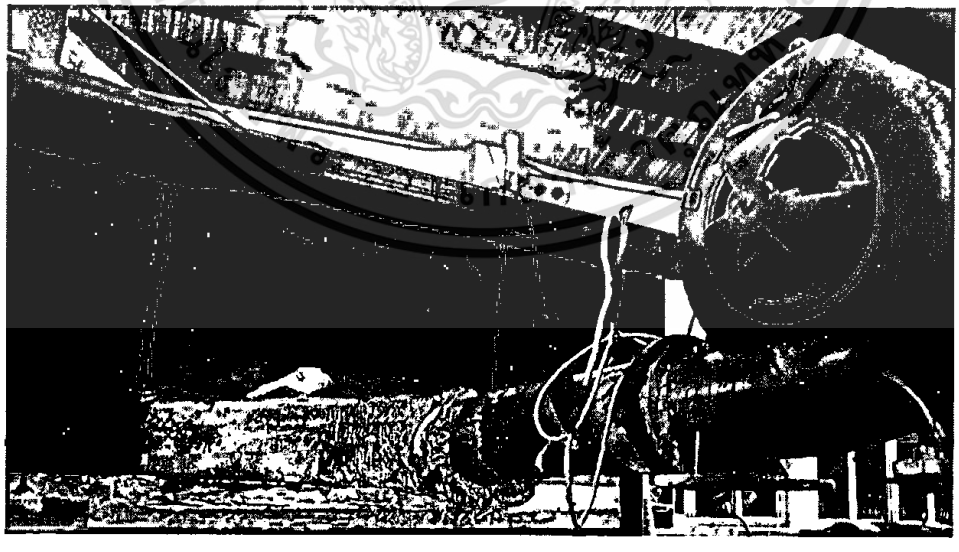
ภาพที่ 3.25 ตู้อบไม้บาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8.2 ไมโครเวฟ ใช้ไมโครเวฟ ยี่ห้อ SAMSUNG รุ่น MS28H512BK ที่ความถี่ 2.45 GH_z จำนวน 2 เครื่อง และรุ่น ME109MSTD ที่ความที่ 2.45 GH_z จำนวน 2 เครื่อง โดยไมโครเวฟจะถูกติดตั้งด้านข้าง 2 เครื่อง และด้านบน 2 เครื่อง โดยจะมีท่อนำคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่ห้องอบ ดังภาพที่ 3.26

ภาพที่ 3.26 เครื่องไมโครเวฟ

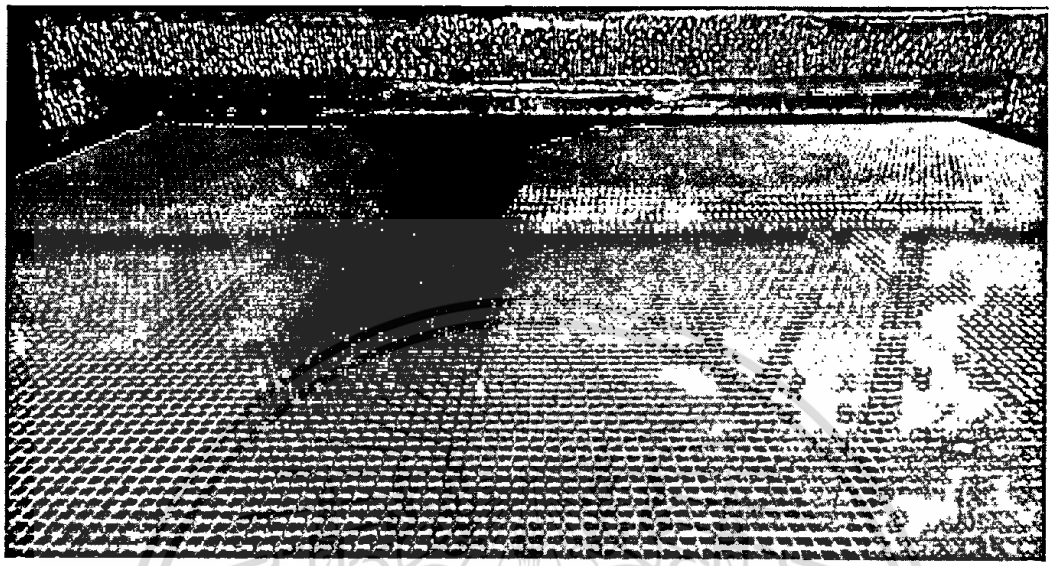
3.1.8.3 ชุดเป่าลมร้อนใช้ลวดทังสเตนขนาด 5,000 W ติดตั้งในท่อขนาด 2.5 นิ้ว ต่อกับเครื่องเป่าลมส่วนปลายท่ออีกฝั่งจะต่อกับท่อที่เป็นทรงพีระมิดสี่เหลี่ยมทำจากแผ่นสแตนเลสชนิด 316L ขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อให้กระจายความร้อนเข้าตู้อบ ดังภาพที่ 3.27



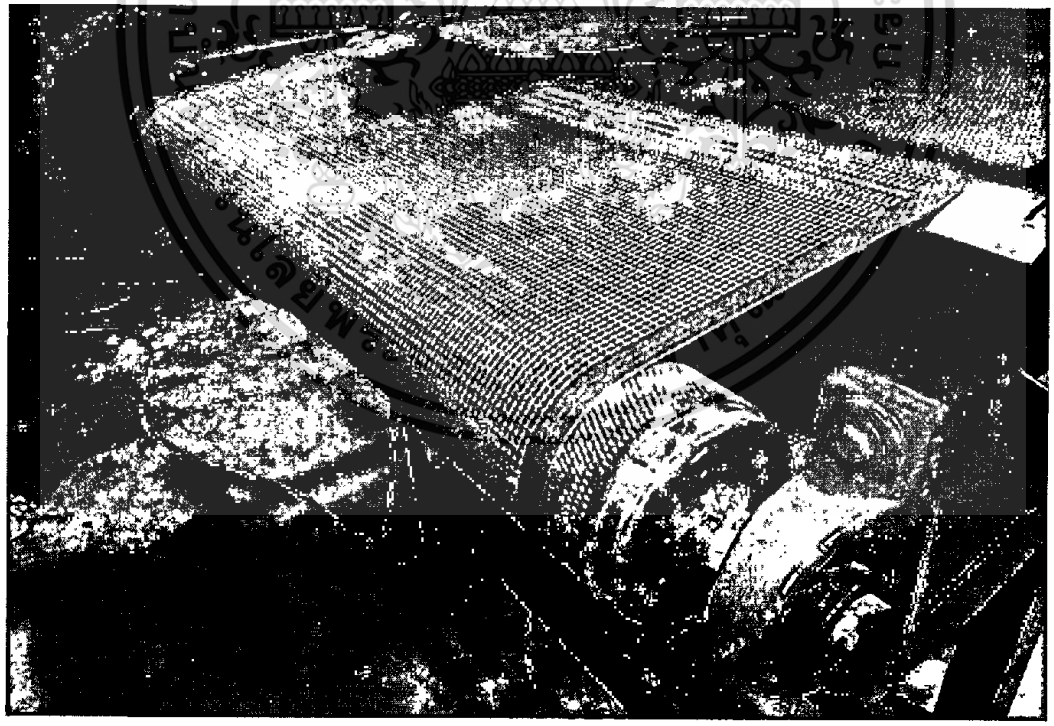
ภาพที่ 3.27 ชุดเป่าลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8.4 สายพานลำเลียง จะเป็นสายพานที่ลำเลียงไม้บางเข้าไปในตู้อบ โดยวัสดุที่ใช้จะเป็นเทปล่อน (Telflon Belts) มีขนาด 80×7.5 เมตร สามารถนำเข้าอบตู้ไมโครเวฟได้ เนื่องจากทนความร้อนได้ดี โดยชุดลูกกลิ้งขับสายพานพื้นที่หน้าตัด 4 นิ้ว ดังภาพที่ 3.28 และ 3.29



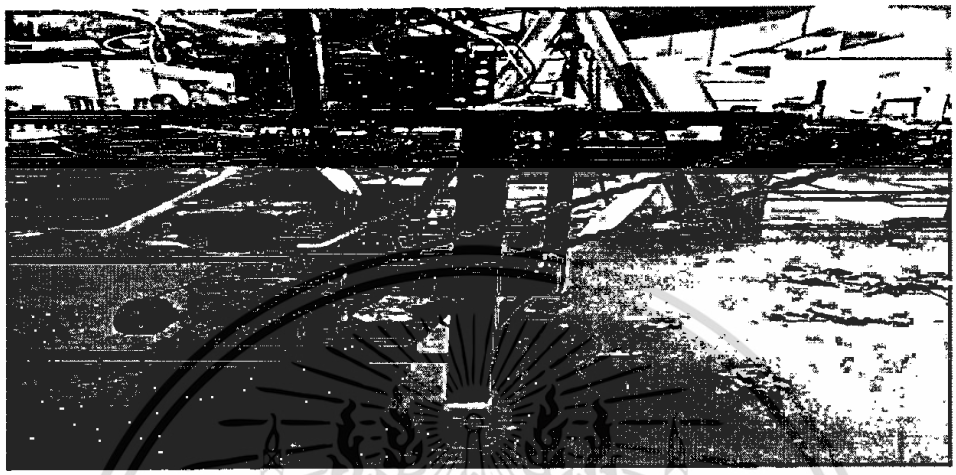
ภาพที่ 3.28 สายพานเทปล่อน



ภาพที่ 3.29 ลูกกลิ้งขับสายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8.5 ชุดขับเคลื่อนสายพาน ใช้มอเตอร์ 3 เฟส 3 แรงม้า, 2.2 กิโลวัตต์, 50 H_z และมีความเร็ว 1,420 รอบต่อนาที ใช้สายพ่านร่องวีขับเคลื่อน มอเตอร์มีอัตราทด 1 : 60 เข้าสู่เฟืองเกียร์ทดรอบ 1 : 1 โดยใช่โซ่เป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งสามารถควบคุมให้สายพานลำเลียงเคลื่อนที่ไปทางซ้ายและขวาโดยใช้ Magnetic Contactor คอยคุมทิศทางของสายพาน ดังภาพที่ 3.30



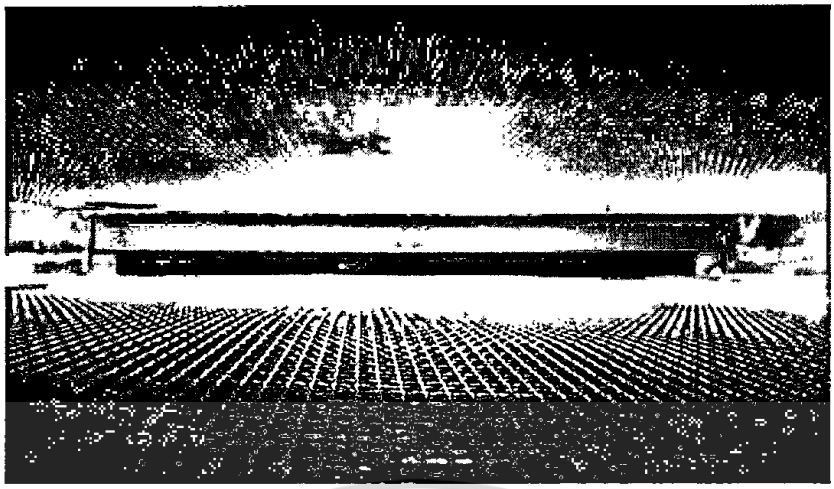
ภาพที่ 3.30 ชุดเครื่องสายพานลำเลียง

3.1.8.6 ช่องระบายความชื้นโดยจะนำแผ่นลูกกรงฟาราเดย์มาปิดไว้ตรงช่องระบายความชื้นเพื่อไม่ให้คลื่นไมโครเวฟรั่ว และใช้เครื่องเป่าลมดูดความชื้นภายในตู้เพื่อช่วยให้การระบายความชื้นได้เร็วขึ้น ดังภาพที่ 3.31

ภาพที่ 3.31 ช่องระบายความชื้น

3.1.8.7 อุปกรณ์ป้องกันการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ
ด้านในออกแบบให้ใช้ตู้กระจกขนาด 100×35×20 เซนติเมตร โดยจะใส่น้ำไปในตู้กระจกเพื่อให้น้ำดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ ส่วนทางเข้าของเครื่องอบจะใช้แผ่นสแตนเลสชนิด 316L สามารถปิด/เปิดได้เมื่อมีการลำเลียงไม้บางเข้าเครื่องอบ ดังภาพที่ 3.32

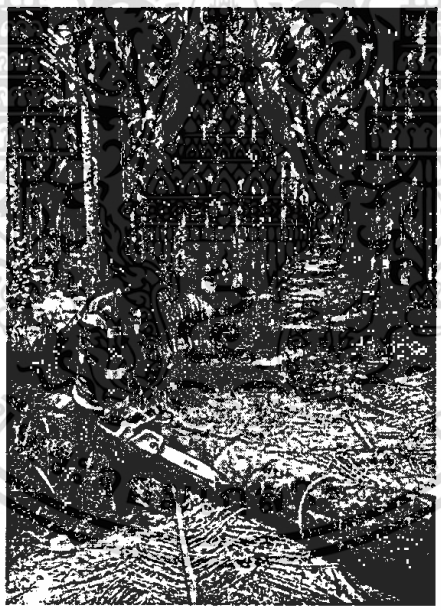
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.32 ตู้กระจกน้ำดูดคลื่นไมโครเวฟที่รั่วไหลออกจากห้องอบ

3.2 การทดลองปอกไม้บางด้วยเครื่องปอกไม้บางแบบโรตารี่

3.2.1 ตัดต้นปาล์มที่มีอายุมากกว่า 25 – 26 ปีขึ้นไป



ภาพที่ 3.33 ตัดต้นปาล์มที่มีอายุ 25 - 26 ปี

3.2.2 ตัดต้นปาล์มเป็นท่อนขนาดความยาวท่อนละ 70 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.34 ต้นปาล์มที่มีความยาว 70 เซนติเมตร

3.2.4 นำไม้ปาล์มที่ตัดมาเข้าเครื่องปอกไม้บาง โดยจะมีลูกกลิ้งทั้ง 2 ข้างประคองอยู่

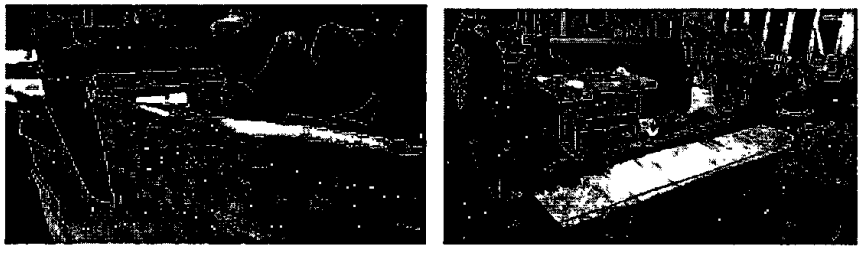
ภาพที่ 3.35 ภาพแสดงถึงการนำไม้เข้าเครื่องปอก

3.2.5 ทำการตรวจเช็คความเร็วรอบของลูกกลิ้งชุดประคองไม้ และปรับความเร็วในการป้อนเข้าของชุดมีดที่ความเร็วรอบ ที่ 0.17, 0.22 และ 0.26 เมตรต่อวินาที

ภาพที่ 3.36 วัดความเร็วรอบลูกกลิ้ง

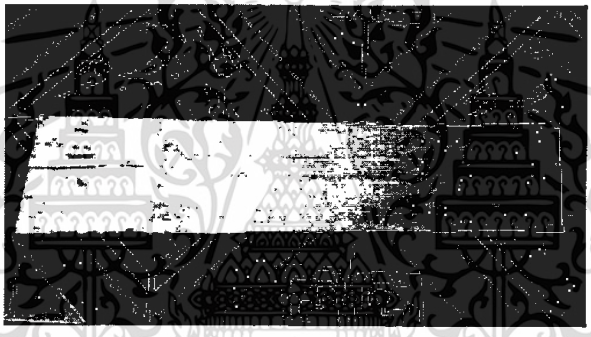
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 ทำการเดินเครื่องปอกไม้บางจากนั้นนำแผ่นไม้บางที่ออกจากเครื่องมาวัดความหนาของไม้ และวัดความยาวของไม้



ภาพที่ 3.37 รูปแสดงการวัดขนาดความหนา และความยาวไม้

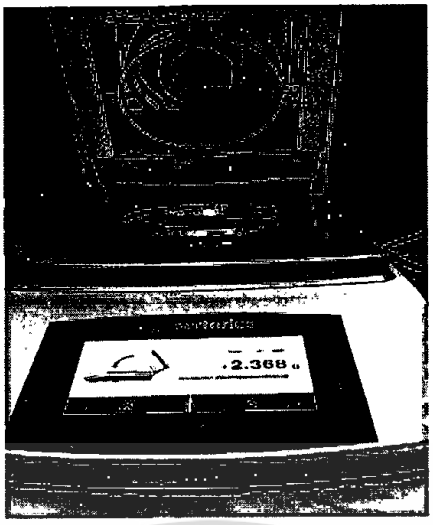
3.2.7 นำไม้ขนาด 70×30 เซนติเมตร ที่ได้จากการปอก มาตัดและแบ่งออกเป็น 4 ส่วน เพื่อทำการทดสอบหาความชื้นเริ่มต้น, Drying kinetic, ทดสอบทางกล และ การส่องกล้อง SEM



ภาพที่ 3.38 ไม้ที่ได้จากการปอก

3.2.8 นำแผ่นไม้บางไปหาความชื้นมาตรฐานแห้งเริ่มต้นด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้น SARTORIUS-MA37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.39 รูปแสดงการนำไม้บางไปหาความชื้นเริ่มต้น

3.3 วิธีการทำการทดลองเครื่องอบไม้บางด้วยไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียง

หลังจากที่สามารถทำไม้บางจากไม้ปาล์มได้ ขั้นตอนต่อมาจะนำไม้บางมาอบโดยวิธีการต่างๆ ซึ่งประโยชน์ของการอบไม้จะช่วยทำให้ไม้ไม่เกิดราอีกทั้งช่วยเพิ่มความแข็งแรงแก่เนื้อไม้ โดยการอบไม้นั้นสามารถอบได้หลายวิธีแต่ในการทดลองนี้จะอบไม้บางโดยใช้เครื่องอบไม้บางด้วยไมโครเวฟและลมร้อนชนิดสายพานลำเลียงที่ไมโครเวฟ 1,800 W, 2,400 W, 3,200 W ลมร้อน 50 °C, 70 °C, 90 °C และ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่วัตต์และอุณหภูมิต่างๆ โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

3.3.1 นำไม้ที่ผ่านการปอก มาชั่งน้ำหนักก่อนอบ

ภาพที่ 3.40 รูปแสดงการนำไม้บางไปชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 อบไม้บางด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ 1,800 W, 2,400 W และ 3,200 W ตามลำดับ ทำการชั่งน้ำหนัก และ วัดอุณหภูมิพื้นผิวไม้บางหลังการอบทุกๆ 5 นาทีแล้วบันทึกผล โดยให้ไม้บางมีความชื้นอยู่ในช่วง 8 – 12 % จึงหยุดทำการทดลอง

ภาพที่ 3.41 การอบไม้บางด้วยคลื่นไมโครเวฟ

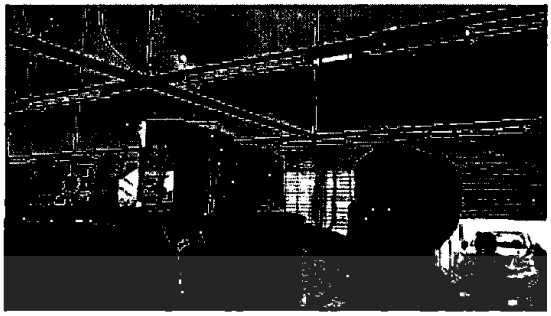
3.3.3 อบไม้บางด้วยลมร้อนความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 50 °C, 70 °C, 90 °C ตามลำดับ ทำการชั่งน้ำหนัก และ วัดอุณหภูมิพื้นผิวไม้บางหลังการอบทุกๆ 5 นาทีแล้วบันทึกผล โดยให้ไม้บางมีความชื้นมาตรฐานแห้งอยู่ในช่วง 8 – 12 % จึงหยุดทำการทดลอง

ภาพที่ 3.42 การอบไม้บางด้วยลมร้อน

3.3.4 อบไม้บางด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ ไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C, 70 °C, 90 °C และ ไมโครเวฟ 2,400W ร่วมกับลมร้อน 50 °C, 70 °C, 90 °C ตามลำดับ ทำการชั่งน้ำหนัก และ วัดอุณหภูมิพื้นผิวไม้บางหลังการอบทุกๆ 5 นาทีแล้วบันทึกผล โดยให้ไม้บางมีความชื้นมาตรฐานแห้งอยู่ในช่วง 8 – 12 % จึงหยุดทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 อบไม้บางด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ ไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C, 70 °C, 90 °C ตามลำดับ ทำการชั่งน้ำหนัก และ วัดอุณหภูมิพื้นผิวไม้บางหลังการอบทุกๆ 2 นาทีแล้วบันทึกผล โดยให้ไม้บางมีความชื้นอยู่ในช่วง 8 – 12 % จึงหยุดทำการทดลอง



ภาพที่ 3.43 การอบไม้บางด้วยคลื่นไมโครเวฟ ร่วมกับลมร้อน

ภาพที่ 3.44 วัดอุณหภูมิที่ผิวไม้บาง ด้วยกล้องเทอร์โมสแกน (FLIR E60)

3.4 วิธีการทำการทดสอบความต้านทานทางกลของไม้บางหลังผ่านการอบ

ไม้บางที่ผ่านการอบมาแล้วในการใช้งานจริงจำเป็นที่จะต้องทราบถึงค่าทางกลต่างๆของไม้ที่ผ่านการอบมาแต่ละเงื่อนไขว่ามีค่าแตกต่างกันมากเท่าไหร่ ซึ่งค่าเหล่านี้จะทราบได้จำเป็นต้องนำไม้ที่ผ่านการอบแต่ละเงื่อนไขมาทำการทดสอบค่าทางกลโดยเครื่อง Texture Analysis

การทดสอบไม้บางในการทดลองนี้จะทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง, ความต้านทานแรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยน และ ความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนโดยอ้างอิงการเตรียมชิ้นงานและการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3500-14 และ ASTM D3044-94 (2011) ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบไม้สำหรับไม้บาง ซึ่งจะมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

3.4.1 ขั้นตอนการทดสอบความต้านทานแรงดึงของไม้บางหลังผ่านการอบ

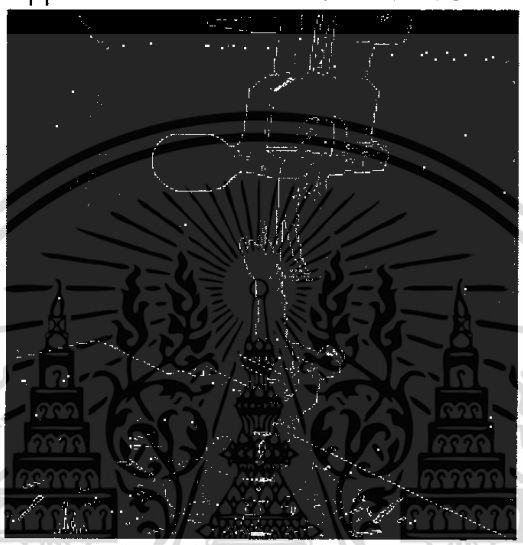
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.1 ทำการเตรียมขนาดไม้บางตามมาตรฐาน ASTM D3500-14 โดยให้พื้นที่รับแรงมีขนาด 1,300 ± 15 % ตารางมิลลิเมตร

3.4.1.2 นำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบทางกลหลังจากนั้นปรับค่า Preload ที่ 5.6 นิวตัน ค่า Speed test ที่ 2 มิลลิเมตรต่อนาที และค่า load ที่ 1,000 นิวตัน

3.4.1.3 กำหนดค่าที่ต้องการจากเครื่องซึ่งได้แก่ค่า Load at Upper Yield, Stress at Upper Yield และ Strain at Upper Yield ต่อจากนั้นเดินเครื่องเพื่อทำการทดสอบไม้ จนไม้ขาดออกจากกัน

3.6.1.4 บันทึกผลการทดลองที่ได้ โดยบันทึกค่า Load at Upper Yield, Stress at Upper Yield, Strain at Upper Yield และ กราฟที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 3.45 การทดสอบการต้านแรงดึงของไม้บาง

3.4.2 วิธีการทำการทดสอบความต้านทานแรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยนและแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้บางหลังผ่านการอบ

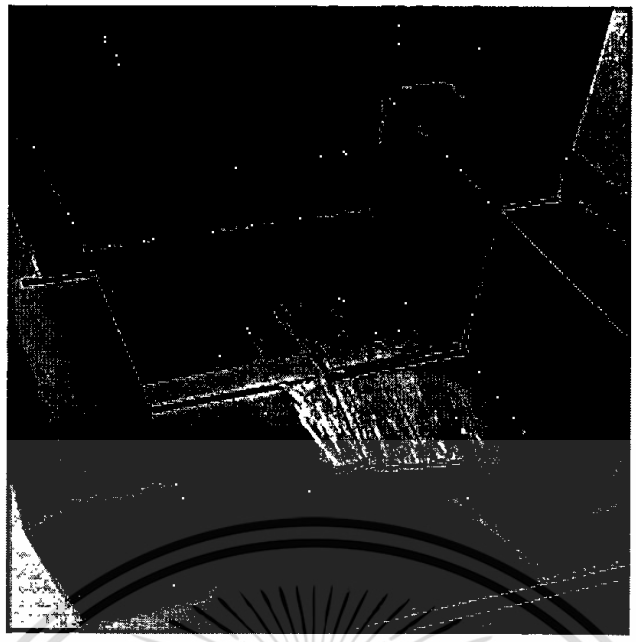
3.6.2.1 ทำการเตรียมขนาดไม้บางตามมาตรฐาน ASTM D3044-94 (2011) โดยให้พื้นที่รับแรงมีขนาด 27 ± 15 % ตารางมิลลิเมตร

3.6.2.2 นำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบทางกลหลังจากนั้นปรับค่า Preload ที่ 5.6 นิวตัน ค่า Speed test ที่ 2 มิลลิเมตรต่อนาที และค่า load ที่ 800 นิวตัน

3.4.2.3 กำหนดค่าที่ต้องการจากเครื่องซึ่งได้แก่ค่า Load at Upper Yield, Stress at Upper Yield และ Strain at Upper Yield ต่อจากนั้นเดินเครื่องเพื่อทำการทดสอบไม้ จนไม้แตกหักออกจากกัน

3.4.2.4 บันทึกผลการทดลองที่ได้ โดยบันทึกค่า Load at Upper Yield, Stress at Upper Yield, Strain at Upper Yield และ กราฟที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.46 การทดสอบการต้านทานแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนไม้บาง

ภาพที่ 3.47 ทดสอบการต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนไม้บาง

3.5 วิธีการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

หลังจากการทดสอบค่าความต้านทานทางกลต่อมาเราจะนำตัวอย่างไม้บางที่ผ่านการอบในเงื่อนไขต่างกันมาทำการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) หรือ SEM ซึ่งเป็นการส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อศึกษาถึงโครงสร้างของชิ้นงานโดยใช้ประจุอิเล็กตรอนเป็นตัวรับภาพสามารถขยายได้มากสุด 10 นาโนเมตร และในการส่องกล้อง SEM ในครั้งนี้จะดูโครงสร้างไม้บางหลังผ่านการอบโดยจะพิจารณาด้าน Cross section ของไม้ว่ามีการจัดเรียงตัวที่เปลี่ยนไปอย่างไรเพื่อใช้อ้างอิงค่าการทดสอบทางกลที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่องกล้อง SEM จะมีการเตรียมชิ้นงานโดยจำเป็นต้องให้ชิ้นงานมีขนาดเล็กและมีความชื้นน้อยที่สุด เพื่อให้ในการเคลือบทองก่อนทำการส่องกล้องทองจะสามารถติดได้ทั่วชิ้นงาน และใน การส่อง 1 ครั้งสามารถวางชิ้นงานได้มากสุด 9 ชิ้น โดยใช้เครื่อง ZEISS MERLIN for Life Science วิธีการส่องกล้อง SEM ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

3.5.1 ทำการเตรียมไม้บางโดยมีขนาด 1x1 เซนติเมตร แล้วนำเข้าไปอบด้วยการอบในเงื่อนไขต่างๆได้แก่ การอบด้วยไมโครเวฟ การอบด้วยลมร้อน และการอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

3.5.2 นำตัวอย่างที่ผ่านการอบแล้วมาดูดความชื้นอีกครั้งด้วยปั๊มสุญญากาศและเคลือบทองโดยใช้เครื่อง Cressington Sputter Cater จนกระทั่งความดันในหลอดแก้วมีค่าต่ำกว่า 40 มิลลิแอมป์ต่อมิลลิบาร์ แล้วทำการเคลือบทองลงบนชิ้นงานเพื่อให้ทองเป็นตัวจ่ายประจุอิเล็กตรอนแล้วนำชิ้นงานไปวางบนจานโดยหันด้าน Cross Section ขึ้นด้านบน

ภาพที่ 3.48 เครื่อง Cressington Sputter Cater

3.5.3 นำตัวอย่างที่เตรียมเสร็จในข้อ 3.8.2 เข้าเครื่อง Scanning Electron Microscope เพื่อดูลักษณะไม้หลังผ่านการอบ โดยจะเริ่มเดินเครื่องด้วยการยิงกระแสประจุอิเล็กตรอน 15 กิโลโวลล์ และใช้อัตราขยายภาพที่ 30 ไมโครเมตร แล้วบันทึกภาพที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.49 ส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการทำไม้บางด้วยไม้ปาล์มน้ำมัน

การทดลองปอกไม้บางที่มีความชื้นมาตรฐานแห้งอยู่ที่ 81.55 %, 151.13 %, 164.70 %, 215.36 % และ 242.82 %โดยใช้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งประคองไม้ที่ 140 รอบต่อนาที และความเร็วการป้อนของชุดมีดที่ 0.17, 0.22 และ 0.26 เมตรต่อนาที

ตารางที่ 4.1 การทำไม้บางด้วยไม้ปาล์มน้ำมันโดยใช้ความเร็วรอบลูกกลิ้งประคองไม้ที่ 140 รอบต่อนาที

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)	ความเร็วในการป้อนชุดมีด (เมตร/นาที)	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความหนาของไม้ที่ปอกได้ (มิลลิเมตร)
81.55	0.17	755	1.8
	0.22	783	1.8
	0.26	749	2
151.13	0.17	1,777	2
	0.22	3,572	2
	0.26	1,857	1.9
164.70	0.17	2,578	1.8
	0.22	3,731	2
	0.26	1,823	1.9
215.36	0.17	821	2
	0.22	1,132	1.9
	0.26	1,053	1.9
242.82	0.17	*	*
	0.22	609	2
	0.26	1,153	2

*หมายเหตุ : ไม่สามารถปอกไม้ได้เนื่องจากไม้มีความชื้นสูงเกินไป จึงทำให้ในขณะที่ป้อมมีดเคลื่อนที่จะทำการบีบไม้แล้วยกขึ้นในคราวเดียว ไม้จึงไม่สามารถสัมผัสโดนตัวมีด

จากตารางการทดลองจะพบว่าในการปอกไม้ที่ความชื้น 81.55 % ที่ความเร็วในการป้อนชุดมีด 0.22 เมตรต่อนาที สามารถปอกได้บางได้ยาวที่สุด 783 มิลลิเมตร เนื่องจากไม้ที่มีความชื้นน้อยเกินไป ตัวไม้จะขาดออกจากกันได้ง่ายเนื่องจากแรงของลูกโรลที่บังคับให้ไม้หมุนขณะปอก

การปอกไม้ที่ความชื้น 151.13 % และ 164.70 % จะพบว่าสามารถปอกไม้บางได้ยาวที่สุด 3,572 มิลลิเมตร และ 3,731 มิลลิเมตร ที่ความเร็วในการป้อนชุดมีด 0.22 เมตร/นาที เนื่องจากเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการปอกไม้บาง แต่ในขณะปอกพบว่าความชื้นในเนื้อไม้จะออกมาทำให้ตัวโรลที่ใช้บังคับไม้เปียกแล้วทำให้ตัวท่อนไม้เกิดการสไลด์จึงทำไม้ขาดในระหว่างปอก

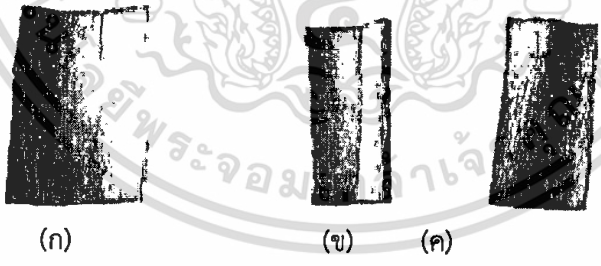
การปอกไม้ที่ความชื้น 215.36 % และ 242.82 % ที่ความเร็วในการป้อนชุดมีด 0.26 เมตรต่อนาที จะพบว่าสามารถปอกไม้บางได้ยาวที่สุด 1,132 มิลลิเมตร และ 1,153 มิลลิเมตร เนื่องจากไม้ที่มีความชื้นสูงเกินไปจะทำให้ตัวโรลที่ใช้บังคับไม้ไม่สามารถยกไม้ขึ้นมาได้ เนื่องจากผิวเนื้อไม้จะนิ่มจึงต้องปรับความเร็วในการป้อนชุดมีดให้เร็วขึ้น

4.2 ภาพไม้บางที่ผ่านการทดลองอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ และลมร้อน

การทดลองอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อน จะนำไม้บางที่ปอกมา 3ชิ้น และทำการทดลองอบด้วยลมร้อน 50 °C, 70 °C, 90 °C และ ไมโครเวฟ 1,800 W, 2,400 W, 3,200 W และ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่วัตต์และอุณหภูมิต่างๆโดยไม้ทั้ง 3 ชิ้นจะถูกวางอยู่กลางตู้อบ ไม้ (ก) จะถูกวางด้านซ้าย ไม้ (ข) จะถูกวางตรงกลาง และไม้ (ค) จะถูกวางด้านขวา

4.2.1 ภาพไม้บางที่ผ่านการอบด้วยลมร้อน

ภาพที่ 4.1 ไม้บางที่อบด้วยลมร้อน 50 °C



ภาพที่ 4.2 ไม้บางที่อบด้วยลมร้อน 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

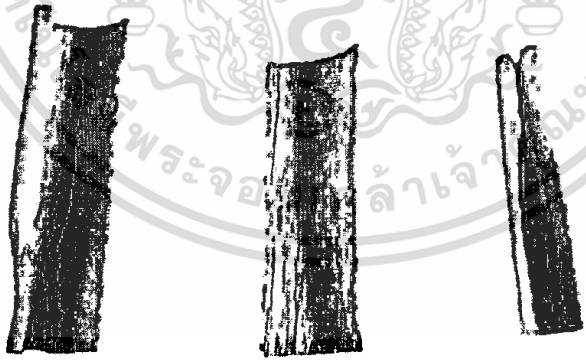
(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.3 ไม้บางที่อบด้วยลมร้อน 90 °C

4.2.2 ภาพไม้บางที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟ

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.4 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W



(ก) (ข) (ค)

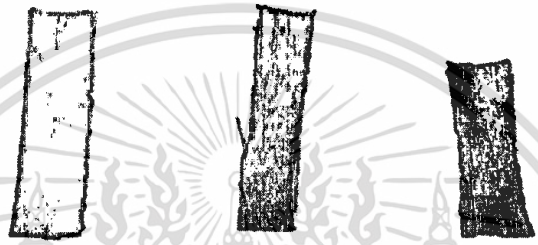
ภาพที่ 4.5 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) (ข) (ค)

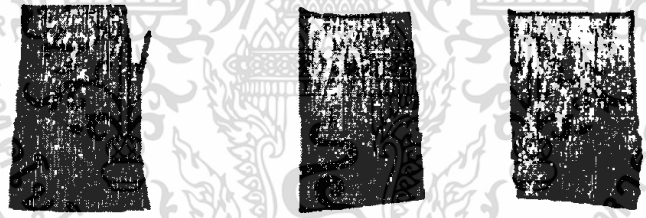
ภาพที่ 4.6 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W

4.2.3 ภาพไม้บางที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.7 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C



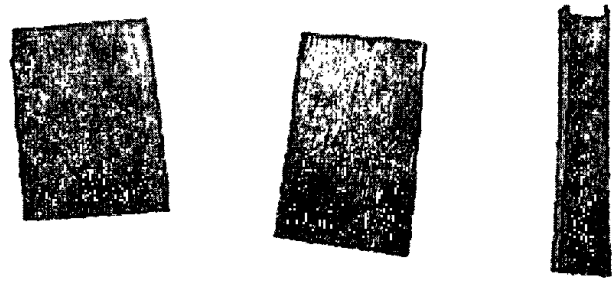
(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.8 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.9 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.10 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C

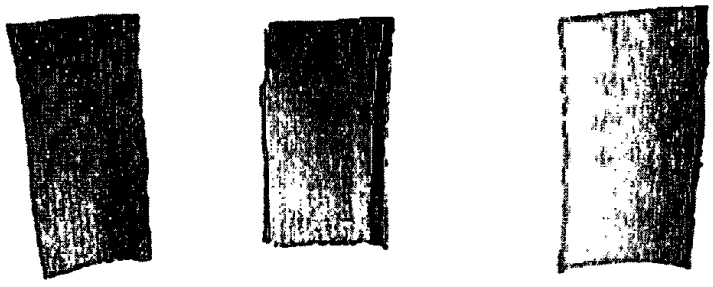
(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.11 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.12 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.13 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.14 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.15 ไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C

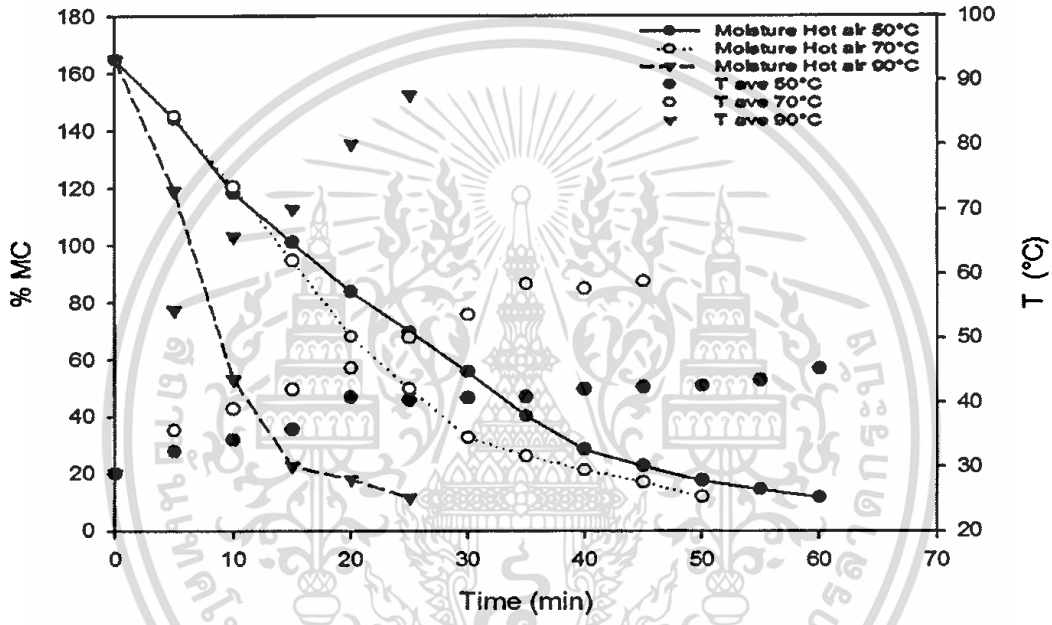
จากการทดลองภาพที่ 4.1 - 4.3 พบว่าไม้ปาล์มที่ผ่านการอบด้วยลมร้อนจะเกิดการบิดตัวน้อยเพราะว่าลมร้อนพาความชื้นที่อยู่พื้นผิวไม้ออกไปไม้ที่ปาล์มที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟภาพที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 - 4.6 พบว่าไม้ปาล์มจะมีการมีการบิดตัวค่อนข้างน้อยจนไปถึงค่อนข้างมาก ไมโครเวฟที่ให้พลังงานน้อยจะใช้เวลาในการอบนานและไมโครเวฟให้พลังงานมากจะอบไว เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟสามารถเอาความชื้นออกจากเนื้อไม้ออกไปได้เร็ว ส่วนไม้ปาล์มที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ภาพที่ 4.7 - 4.15 จะมีการบิดตัวคล้ายๆกับไมโครเวฟแต่จะใช้เวลาในการอบน้อยกว่าไมโครเวฟเพราะว่าลมร้อนจะช่วยพาความชื้นบนผิวไม้ออกไป ส่วนไมโครเวฟจะช่วยเอาความชื้นในเนื้อไม้ออกไปได้ไว

4.3 ผลการทดลองอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟ, ลมร้อนและ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

4.3.1 ผลการทดลองอบไม้บางด้วยลมร้อน

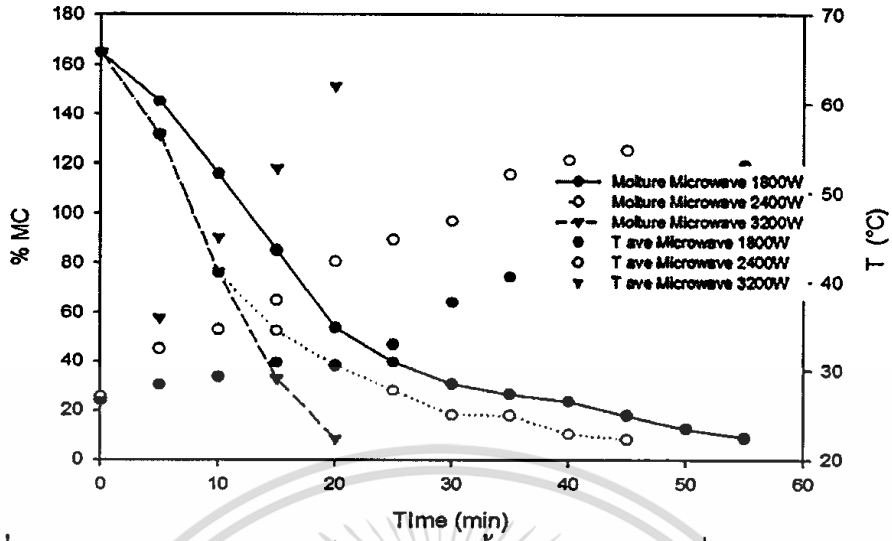


ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบที่ลมร้อนอุณหภูมิ 50 °C, 70 °C และ 90 °C

จากกราฟจะพบว่าที่ลมร้อนอุณหภูมิ 50 °C, 70 °C และ 90 °C ความชื้นมีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากการอบด้วยลมร้อน อุณหภูมิที่ตัวผิวไม้ปาล์มจะค่อยๆเพิ่มขึ้นต่างจากไมโครเวฟที่จะเพิ่มในคราวเดียว และมีข้อเสียตรงที่จะมีความร้อนจะสะสมมากในส่วนของผิวไม้ปาล์ม จึงทำให้ใช้เวลาในการอบนานกว่าไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

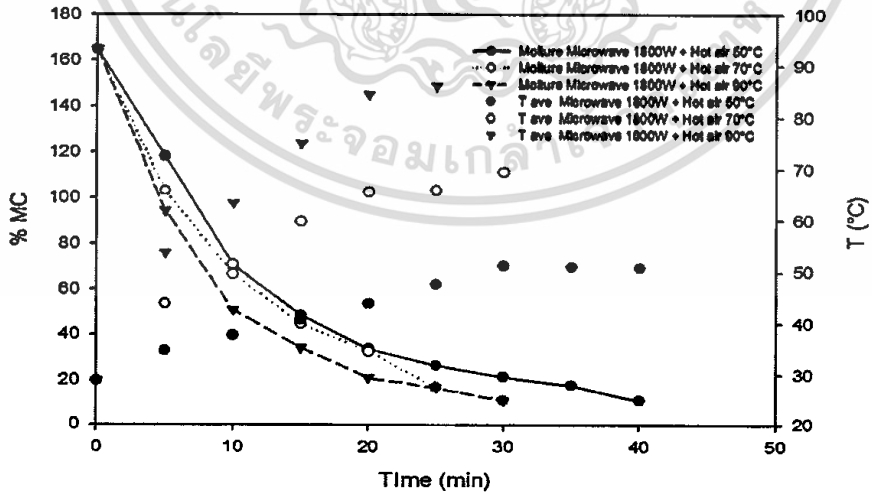
4.3.2 ผลการผลทดลองอบไม้บางด้วยไมโครเวฟ



ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบที่ไมโครเวฟพลังงาน 1,800 W, 2,400 W และ 3,200 W

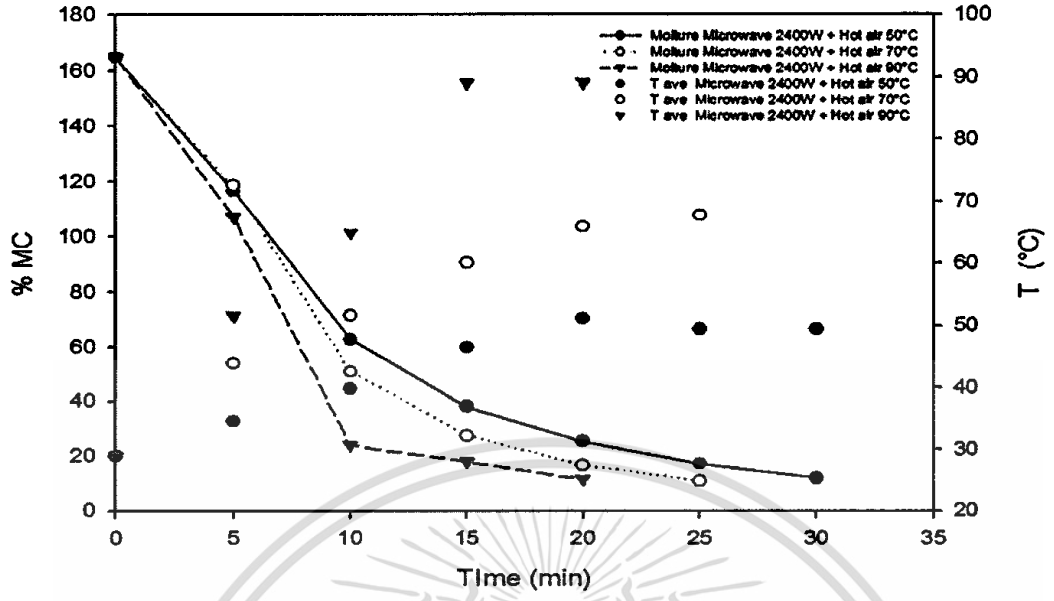
จากกราฟจะพบว่าในการอบโดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่พลังงาน 1,800 W, 2,400 W และ 3,200 W ความชื้นจะลดลงเร็วเป็นอย่างมาก เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟสามารถผ่านตัวของไม้ปาล์มได้ทั้งหมด ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ทุกจุดภายในเนื้อไม้ปาล์ม จนเมื่อถึงจุดๆหนึ่งที่ความชื้นเข้าใกล้ช่วง 40 % การลดลงของความชื้นจะเริ่มน้อยลงเมื่อเทียบกับเวลา สาเหตุเพราะว่าเมื่อความชื้นของไม้ปาล์มใกล้หมดในการอบก็สามารถนำความชื้นออกไปได้น้อยจึงต้องใช้เวลาที่มากกว่าในช่วงแรก

4.3.3 ผลการทดลองอบไม้ด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

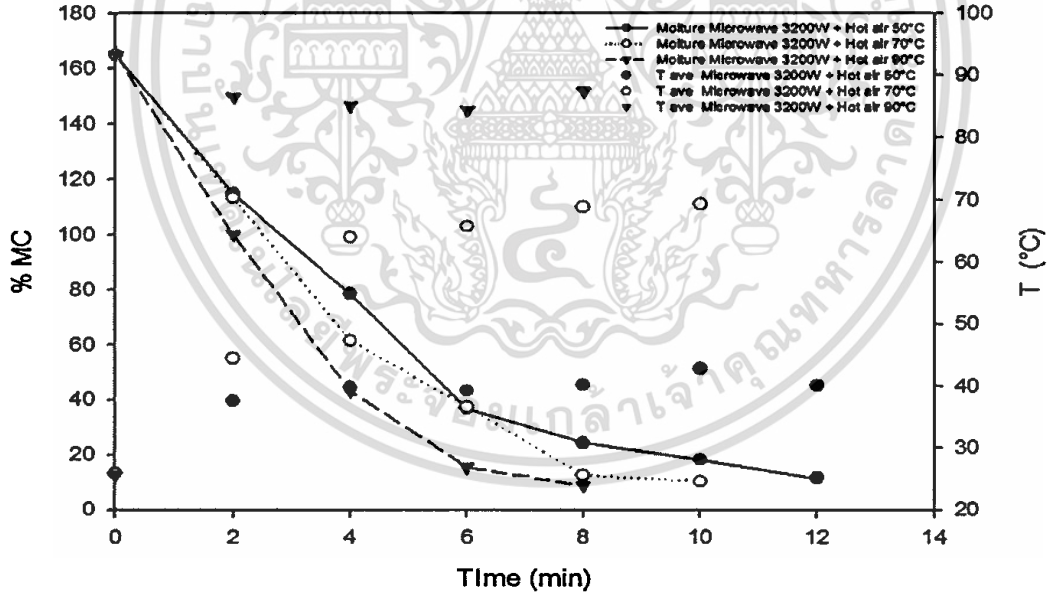


ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบที่ไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C, 70 °Cและ 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบที่ไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับ
ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C, 70 °C และ 90 °C



ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการอบที่ไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับ
ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C, 70 °C และ 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะพบว่าในการอบไม้ปาล์มโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความชื้นของไม้ปาล์มจะลดลงไวมาก เนื่องจากการอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟจะสามารถจำกัดความชื้นออกจากไม้ปาล์มได้ดี แต่ความชื้นเหล่านั้นก็ยังคงอยู่ในเครื่องอบ และเมื่อมีลมร้อนเข้ามาช่วยในการอบจึงทำให้เกิดการพาความชื้นที่อยู่ในเครื่องอบออกไปสู่บรรยากาศข้างนอกได้ดีมากขึ้น จึงทำให้ความชื้นโดยรวมภายในเครื่องอบมีค่าที่ต่ำไม้ปาล์มจึงสามารถคายน้ำออกมาได้ดี

4.4 การทดสอบทางกลของไม้บางที่ผ่านการอบด้วยลมร้อน, ไมโครเวฟ และ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

ตารางที่ 4.2 ทดสอบความต้านทานแรงดึงของไม้บางหลังผ่านการอบด้วยลมร้อน ไมโครเวฟ และ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

Sample Test	Width (mm)	Length (mm)	Area (mm^2)	Load at Upper Yield (N)	Stress at Upper Yield (Mpa)	Strain at Upper Yield
HA 50 °C	29.5	43.9	1,295.05	102.79	0.07937	0.033840
HA 70 °C	30.1	44.1	1,327.41	194.96	0.14692	0.050439
HA 90 °C	29.5	44.9	1,324.55	485.86	0.36681	0.129070
MW 1,800 W	27.7	48.1	1,332.37	208.54	0.15652	0.059603
MW 2,400 W	29.1	45.7	1,329.87	337.43	0.25373	0.080973
MW 3,200 W	27.9	46.9	1,308.51	438.17	0.33486	0.107860
MW 1,800 W + HA 50 °C	27.1	48.9	1,325.19	347.31	0.26208	0.084323
MW 1,800 W + HA 70 °C	30.1	45.0	1,354.50	186.30	0.13754	0.041571
MW 1,800 W + HA 90 °C	28.9	46.9	1,355.41	286.00	0.21100	0.086194
MW 2,400 W + HA 50 °C	29.2	45.9	1,340.28	477.56	0.35631	0.108890

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

Sample Test	Width (mm)	Length (mm)	Area (mm^2)	Load at Upper Yield (N)	Stress at Upper Yield (Mpa)	Strain at Upper Yield
MW 2,400 W + HA 90 °C	49.2	26.4	1,298.88	184.32	0.14191	0.054992
MW 3,200 W + HA 50 °C	29.9	43.6	1,303.64	340.13	0.26091	0.089116
MW 3,200 W + HA 70 °C	30.5	42.9	1,308.45	255.20	0.19504	0.060418
MW 3,200 W + HA 90 °C	26.7	48.1	1,284.27	398.51	0.31030	0.099568

จากตารางทดสอบแรงดึงพบว่าไม้ที่อบด้วยลมร้อน 90 °C มีความต้านทานแรงดึงสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.3661 เมกะปาสคา และ ไม้ที่อบด้วยลมร้อน 50 °C มีความต้านทานแรงดึงน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.07937 เมกะปาสคา ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการอบไม้โดยใช้เวลานานมีผลทำให้โครงสร้างภายในเนื้อไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปมากจึงทำให้ค่าความต้านทานที่ทดสอบได้มีค่าที่น้อย

ตารางที่ 4.3 ทดสอบความต้านทานแรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยนของไม้บางหลังผ่านการอบด้วย ลมร้อน, ไมโครเวฟ และ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

Sample Test	Width (mm)	Thick-ness (mm)	Area (mm^2)	Load at Upper Yield (N)	Stress at Upper Yield (Mpa)	Strain at Upper Yield
HA 50 °C	20.1	1.32	26.532	84.543	3.1865	0.069378
HA 70 °C	20.8	1.38	28.704	522.49	18.203	0.33183
HA 90 °C	19.8	1.32	26.136	235.63	9.157	0.15858
MW 1,800 W	20.4	1.40	28.560	343.32	11.986	0.21405
MW 2,400 W	19.6	1.38	27.048	512.56	19.474	0.23826
MW 3,200 W	19.4	1.30	25.220	363.91	13.383	0.24692
MW	19.2	1.38	26.496	195.26	7.2189	0.18580

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1,800 W + HA 50 °C						
MW 1,800 W + HA 70 °C	18.8	1.40	26.320	311.90	12.367	0.21973
MW 1,800 W + HA 90 °C	20.1	1.30	26.130	362.68	13.688	0.21507
MW 2,400 W + HA 50 °C	20.4	1.42	28.968	265.48	9.1645	0.19024
MW 2,400 W + HA 70 °C	19.2	1.38	26.496	358.57	12.378	0.22701
MW 2,400 W + HA 90 °C	20.6	1.32	27.192	298.37	11.261	0.16612
MW 3,200 W + HA 50 °C	20.8	1.28	26.624	304.29	11.190	0.19023
MW 3,200 W + HA 70 °C	20.2	1.32	26.664	338.51	12.695	0.16924
MW 3,200 W + HA 90 °C	18.8	1.48	27.824	489.31	17.586	0.26556

จากตารางทดสอบแรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยนพบว่าไม้ที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W มีค่าความต้านทานแรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยนสูงสุดอยู่ที่ 19.474 เมกะปาสคา เนื่องจากการอบด้วยไมโครเวฟจะทำให้ไม้เกิดการบีบอัดกัน จึงส่งผลให้สามารถรับแรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยนได้ดี และไม้ที่อบด้วยลมร้อน 50 °C มีค่าความต้านทานแรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยนน้อยที่สุดอยู่ที่ 3.1865 เมกะปาสคา เนื่องจากการอบด้วยลมร้อนโครงสร้างไม้จะไม่เกิดการบีบอัดกันแต่จะเกิดการฉีกขาดแทน จึงส่งผลให้ไม้รับแรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยนได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ทดสอบความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้บางหลังผ่านการอบด้วย ลมร้อน, ไมโครเวฟ และ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

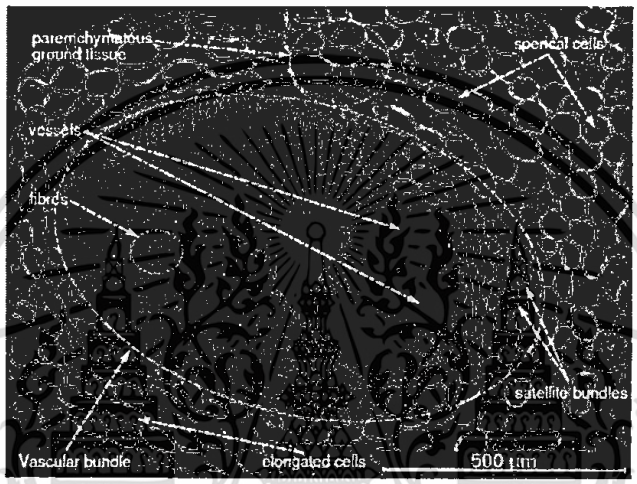
Sample Test	Width (mm)	Thick-ness (mm)	Area (mm^2)	Load at Upper Yield (N)	Stress at Upper Yield (Mpa)	Strain at Upper Yield
HA 50 °C	21.1	1.32	27.852	38.336	1.4098	0.065316
HA 70 °C	21.3	1.36	28.968	49.464	1.8095	0.070483
HA 90 °C	20.9	1.36	28.424	51.878	1.9265	0.072781
MW 1,800 W	21.3	1.34	28.542	25.823	0.98823	0.046855
MW 2,400 W	20.1	1.34	26.934	40.456	1.5024	0.072228
MW 3,200 W	19.8	1.34	26.532	20.986	0.77526	0.048494
MW 1,800 W + HA 50 °C	20.2	1.38	27.876	21.484	0.79766	0.047149
MW 1,800 W + HA 70 °C	20.6	1.32	27.192	49.056	1.8489	0.080757
MW 1,800 W + HA 90 °C	20.5	1.36	27.880	31.530	1.1657	0.059257
MW 2,400 W + HA 50 °C	19.6	1.38	27.048	20.948	0.79397	0.038934
MW 2,400 W + HA 70 °C	20.1	1.32	26.532	31.154	1.1518	0.073904
MW 2,400 W + HA 90 °C	20.2	1.34	27.068	20.355	0.73383	0.039780
MW 3,200 W + HA 50 °C	20.8	1.38	28.704	35.276	1.2289	0.099480
MW 3,200 W + HA 70 °C	20.2	1.32	26.664	34.286	1.2858	0.072395

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MW 3,200 W + HA 90 °C	20.6	1.36	28.016	38.310	1.4158	0.067989

จากตารางทดสอบแรงเฉือนขนานเสี้ยนพบว่าไม้ที่อบด้วยลมร้อน 90 °C มีค่าความต้านทานแรงเฉือนขนาดเสี้ยนสูงสุดอยู่ที่ 1.9265 เมกะปาสคา และไม้ที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C มีค่าความต้านทานแรงเฉือนขนานเสี้ยนน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.73383 เมกะปาสคา

4.5 วิเคราะห์ภายที่ผ่านการอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM)



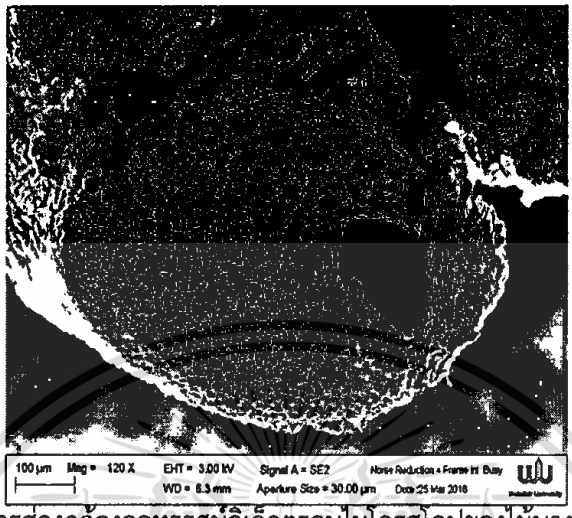
ภาพที่ 4.21 โครงสร้างของหลอดลำเลียงอาหารแสดงให้เห็นการจัดตัวของ เนื้อเยื่อ (E.Bucker, 2005)

ในภาพที่ 4.21 เป็นภาพที่ได้มาจากการส่องกล้อง Scanning Electron Microscopy (SEM) จะเป็นการระบุตำแหน่งของเนื้อเยื่อ Parenchymatous, ท่ออาหาร (Vessels) และ Fibres ซึ่งแต่ละอย่างละชนิดจะมีหน้าที่แตกต่างกันเช่น เนื้อเยื่อ Parenchymatous จะเป็นเนื้อเยื่อเจริญซึ่งในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เก็บอาหารและแป้งภายในเซลล์ ต่อมาเป็นท่ออาหาร หรือ Vessels ท่ออาหารนี้จะมีโครงสร้างเป็นท่อวงรีขนาดใหม่ซึ่งมีความแข็งแรงมากทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและอาหารไปเลี้ยงลำต้นและส่วนอื่นๆของต้นปาล์ม และ ไฟเบอร์ (Fibres) จะเป็นส่วนที่สร้างความแข็งแรงให้แก่ลำต้นโดยจะมีการจัดเรียงตัวเป็นเส้นใยถักทอกันซึ่งในส่วนของไฟเบอร์นี้จะมีความแข็งแรงประมาณหนึ่งแต่จะน้อยกว่าท่ออาหาร พื้นที่ว่างที่ใกล้ท่ออาหารขนาดใหญ่ 3 ท่อนั้น เรียกว่า phloem cell แต่ phloem cell นี้ไม่สมบูรณ์เนื่องจากได้รับความเสียหายขณะเตรียมชิ้นงาน

จากโครงสร้างดังกล่าวจะพบว่า Vascular Bundle จะถูกล้อมรอบด้วยเนื้อเยื่อ Parenchymatous ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะไม่พบในไม้จำพวกใบเลี้ยงคู่หรือไม้ที่มาจากเมล็ดเปลือย (gymnosperms species) ซึ่งเป็นส่วนที่พัฒนามาจาก secondary xylem และเนื้อเยื่อของต้นปาล์มโดยทั่วไปจะมีลักษณะ 3 แบบคือ เนื้อเยื่อทรงกลม, เนื้อเยื่อแบบเหลี่ยม และ เนื้อเยื่อแบบยาวและตรงจุดที่ใกล้กับ Vessels จะมีเซลล์ขนาดเล็กรวมกันเป็นกลุ่มซึ่งเรียกว่า Satellite bundles

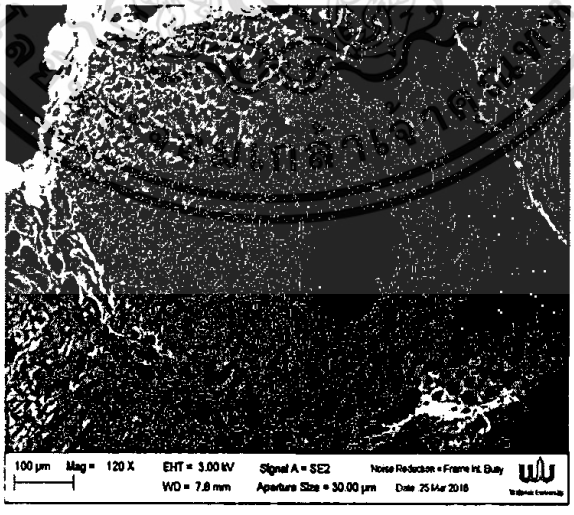
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ส่วนประกอบ Fibres นั้นจะเห็นได้ชัดและกระจายออกทั่ว Vascular bundles และถูกล้อมรอบด้วยเนื้อเยื่อ Parenchymatous โครงสร้างของ Fibres ในพื้นที่นี้จะมีลักษณะคล้ายกับไม้ที่พบกันได้ทั่วไป ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ ผนังเซลล์ และ แก่น Phloem cells นั้นจะเห็นได้ชัด โดยมีลักษณะเป็นเส้นใยเป็นรูปสามเหลี่ยมเป็นส่วนใหญ่ และจะอยู่ระหว่าง Vessels กับ Fibres



ภาพที่ 4.22 การส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้บางที่อบด้วยลมร้อน

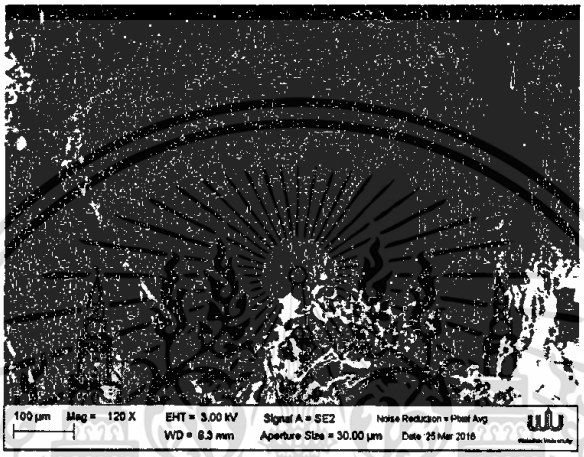
จากการวิเคราะห์ลักษณะของไม้หลังจากการอบด้วยลมร้อนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป พบว่าลักษณะการจัดเรียงของตัว Fibres ของไม้ปาล์มยังคงสภาพเดิมก่อนอบมากที่สุด คือไม่มีการบีบตัวเข้าหากันแต่ก็ยังมีการฉีกขาดของตัว Fibres จำนวนหนึ่ง ส่วนตัว Vascular bundle มีลักษณะหดตัวเล็กน้อยซึ่งการจัดเรียงตัวลักษณะนี้ ทำให้ไม้สามารถรับแรงดึงได้มาก เนื่องจากตัว Fibres ซึ่งแต่เดิมมีหน้าที่ช่วยในเรื่องรักษาความแข็งแรงของลำต้นยังคงสภาพเดิมแม้จะฉีกขาดไปส่วนหนึ่ง ซึ่งจากการทดสอบแรงดึงพบว่าค่าความเค้นดึงสูงสุดของไม้ที่อบด้วยลมร้อน 90 °C มีค่าอยู่ที่ 0.36681 เมกะปาสคา ซึ่งเป็นค่าความเค้นดึงที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการทดลองอย่างอื่น



ภาพที่ 4.23 การส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ลักษณะของไม้หลังจากการอบด้วยไมโครเวฟด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป พบว่าลักษณะของตัว Fibres มีการบีบอัดและหดตัวเข้าหากันเนื่องจากในขณะอบนั้น คลื่นไมโครเวฟได้ให้ความร้อนทั่วทุกจุดซึ่งทำให้ไม้เกิดการคลายน้ำอย่างรวดเร็ว ทำให้โครงสร้างของไม้หลังจากการอบตัว Fibres จะบีบเข้าหากันซึ่งการบีบตัวนี้จะทำให้สามารถทำให้รอยขาดในระหว่างการอบหายไป แต่ก็จะไม่สามารถรับแรงดึงได้ดีเนื่องจากโครงสร้างถูกทำลาย ซึ่งจากการทดสอบแรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยนพบว่าค่าความเค้นเฉือนตั้งฉากเสี้ยนสูงสุดของไม้ที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W มีค่าอยู่ที่ 19.474 เมกะปาสคา ซึ่งเป็นค่าความเค้นเฉือนตั้งฉากเสี้ยนที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการทดลองอย่างอื่น



ภาพที่ 4.24 การส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้บางที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

จากการวิเคราะห์ลักษณะของไม้หลังจากการอบด้วยไมโครเวฟด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป พบว่าลักษณะของตัว Fibres ของไม้ที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจะมีบางส่วนที่ใกล้กับ Vascular bundle จะเกิดการหดตัวเข้าหาตัวท่อลำเลียง เนื่องจากตัว Vascular bundle จะเป็นส่วนที่มีความชื้นสูงซึ่งทำหน้าที่เป็นท่อลำเลียงของไม้ จึงทำให้เวลาอบตัว Fibres ที่อยู่บริเวณใกล้ๆจะหดตัวเข้าไป แต่เมื่อพิจารณาจากโดยรอบจะพบว่าตัว Fibres ยังคงเรียงตัวกันสภาพเดิมไม่มีการบีบอัด แต่จะเกิดการขาดเนื่องจากการหดตัวของ Fibres รอบๆ ซึ่งจากการทดสอบคุณสมบัติทางกล ไม้ที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C มีค่าการทดสอบทางกลอยู่ในระดับที่สูงโดยมีค่าความเค้นดึง, ความเค้นเฉือนตั้งฉาก, ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนอยู่ที่ 0.31030 เมกะปาสคา, 17.586 เมกะปาสคา และ 1.4158 เมกะปาสคา ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 เครื่องปอกไม้บางชนิด veneer จากการทดลองพบว่าในการปอกไม้บางชนิด veneer ความชื้นของไม้ปาล์มที่นำมาปอกมีผลเป็นอย่างมาก เนื่องจากหากไม้ปาล์มที่นำมาปอกมีความชื้นที่น้อยเกินไป ในระหว่างการปอกไม้ที่แห้งจะทำให้ไม้เกิดการขาดจากแรงของตัวไม้ที่กำลังหมุนทำให้ความยาวของไม้ที่ออกมามีค่าที่น้อย แต่ถ้าหากความชื้นของไม้มีมากจนเกินไปจะทำให้ระหว่างที่เคลื่อนป้อมมีดเพื่อทำการปอก ตัวลูกกลิ้งที่ใช้บังคับให้ไม้หมุนจะบีบอัดไม้ทำให้ไม้ไม่โดนมีดเมื่อปอกไประยะหนึ่ง เนื่องจากไม้ที่มีความชื้นมากผิวของไม้จะนิ่มจนไม่สามารถทนแรงกดของลูกกลิ้งที่ใช้ประคองไม้ได้ โดยวิธีการแก้ไขในครั้งนี้จะแก้ไขโดยการปรับความเร็วรอบของตัวป้อมมีดเครื่องปอกไม้บาง ที่ความเร็วรอบต่างๆ และจากการทดลองพบว่าความชื้นของไม้ตามมาตรฐานแห้งที่ 164.7 % และความเร็วของป้อมมีดอยู่ที่ 0.22 เมตรต่อนาที จะสามารถปอกไม้ออกมาได้ยาวที่สุดที่ 3,737 มิลลิเมตร ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้งานในการอบต่อไป

5.1.2 เครื่องอบไม้ปาล์มชนิดสายพานลำเลียง จากการทดลองอบไม้ปาล์มและสังเกตลักษณะหลังจากการอบ พบว่าในการอบด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที ลักษณะไม้ภายนอกเกิดการบิดงอน้อย เนื่องจากในการอบด้วยลมร้อนจะมีการพาความชื้นของไม้ที่เกาะอยู่ตามผนังของเครื่องอบออกไปสู่บรรยากาศข้างนอกทำให้ความชื้นไม่เกิดการสะสมแต่จะใช้เวลาในการอบนาน ต่อมาเป็นการอบด้วยไมโครเวฟที่พลังงานต่างๆพบว่า ลักษณะไม้จะเกิดการบิดงอเป็นอย่างมากและเกิดการหดตัวม้วนเข้าหากัน สาเหตุก็มาจากการที่ไม้เกิดการคายความชื้นอย่างรวดเร็วเกินไปและไม่สามารถพาความชื้นที่คายออกมาออกไปสู่บรรยากาศข้างนอกได้ จึงทำให้ไม้เกิดการบิดงอ ส่วนการอบไม้ด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนนั้น ลักษณะของไม้จะคล้ายคลึงกับการอบด้วยลมร้อนแต่จะใช้เวลาน้อยกว่าอย่างมาก จากการทดลอง การอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C ใช้เวลาในการอบ 50 นาที ลักษณะของไม้พบว่าเกิดการบิดงอและหดตัวในระดับหนึ่ง การอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C ใช้เวลาในการอบ 25 นาที ลักษณะของไม้พบว่าเกิดการบิดงอและหดตัวน้อย การอบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ใช้เวลาในการอบ 45 นาที ลักษณะของไม้พบว่าเกิดการบิดงอและหดตัวอย่างมาก และการอบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C ใช้เวลาในการอบ 8 นาที ลักษณะของไม้พบว่าเกิดการบิดงอและหดตัวน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 การทดสอบทางกล และ การส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) จากการทดสอบคุณสมบัติทางกลในการทดสอบแรงดึงและการทดสอบแรงเฉือนขานเสี้ยน พบว่าค่าความเค้นสูงสุดของไม้ที่อบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C มีค่าความเค้นสูงสุดอยู่ที่ 0.36681 เมกะ-ปาสคา และ 1.9265 เมกะปาสคา ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) พบว่าตัว Fibres ของไม้จะมีการบีบอัดกันจำนวนหนึ่งและมีรอยขาดอยู่เล็กน้อยทำให้สามารถรับแรงดึงได้มาก และการทดสอบแรงเฉือนในแนวขนานเสี้ยนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป เนื่องจากในการทดสอบเราไม่สามารถคาดคะเนได้ว่าโครงสร้างภายในของการทดสอบแนวขนานเสี้ยนเกิดการขาดของ Fibres มากน้อยแค่ไหน แต่ในการทดสอบทั้งหมด เราสามารถรู้ได้ว่าการทดสอบแรงเฉือนขนานเสี้ยนจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.73383 เมกะปาสคา ถึง 1.9265 เมกะปาสคา และการทดสอบแรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยน พบว่าค่าความเค้นสูงสุดของไม้ที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W มีค่าความเค้นสูงสุดอยู่ที่ 19.474 เมกะปาสคา โดยเมื่อพิจารณาจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) พบว่าตัว Fibres มีลักษณะอัดกันแน่นและไม่มีรอยขาดจึงทำให้สามารถรับแรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยนได้มาก ส่วนค่าความเค้นของไม้ที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C มีค่าความเค้นแรงดึง, ความเค้นแรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยน และ ความเค้นแรงเฉือนขนานเสี้ยนอยู่ที่ 0.3103 เมกะปาสคา, 17.586 เมกะปาสคา และ 1.4158 เมกะปาสคา ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับสูงทั้งหมดโดยเมื่อพิจารณาจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM) พบว่าโครงสร้างของ Fibres รวมถึง Vascular bundle จะมีการหดตัวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ดังนั้น จากการทดลองจึงสรุปผลได้ว่าในการทำไม้บางชนิด veneer ไม้ปาล์มที่นำมาปอกควรมีความชื้นอยู่ในช่วง 150-170 % และใช้ความเร็วการเคลื่อนของป้อมมีดที่ 0.22 เมตรต่อนาที จะสามารถปอกไม้ได้ยาวที่สุดที่ 3,731 มิลลิเมตร และการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C จากการทดสอบทางกลมีค่าความเค้นในแรงดึงและแรงเฉือนขนานเสี้ยนสูงสุด เหมาะแก่การนำไปใช้งานในงานจำพวกที่ต้องการแรงดึงสูงๆ ส่วนการอบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W จากการทดสอบทางกลมีค่าความเส้นแรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยนสูงสุด เหมาะแก่การนำไปใช้งานในงานจำพวกก่อสร้างเช่นคานที่ต้องรับแรงเฉือนหรือใช้ในงานประเภทโครงสร้างเฟอร์นิเจอร์ แต่ถ้าหากเป็นการใช้งานที่ต้องการทั้งแรงดึงและแรงเฉือนในเวลาเดียวกันควรใช้ไม้ที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เนื่องจากผลการทดสอบทางกลค่าความเค้นต่างๆอยู่ในระดับค่อนไปทางสูงทุกค่า จึงสามารถใช้งานได้หลากหลายประเภทมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการปอก ควรจะมีมีดที่ด้านซ้ายและขวาของเครื่องเพื่อใช้จับตัวท่อนไม้ไม่ให้เกิดการสไลด์ในขณะที่ทำการปอก

2. การอบไม้บางควรจะกำหนดขนาดให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการทำไปใช้ก่อนเข้าอบ เพราะหากเรานำไม้บางที่ได้หลังจากการอบไปแปรรูป หรือตัดแบ่ง จะทำให้ไม้เกิดการแตกออกจากกันได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] SuthonSrivaro, NirundornMatan and Frank Lam. 2015 "Stiffness and strength of oil palmwood core sandwich panel under center point bending." **Materials and Design.** 84 : 154-162.

[2] ปองพล สุดวิไลพร, ณัฐพงศ์ พุทธสะแสง และ สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย. 2013 **"ระบบการอบแห้งเห็ดหูหนูขาวโดยใช้ไมโครเวฟกำลังต่ำที่ป้อนคลื่นสองตำแหน่งร่วมกับระบบสุญญากาศ." การประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย.** 27

[3] S. Vongpradubchai and P. Rattanadecho. 2009 "The microwave processing of wood using a continuous microwave belt drier." **Chemical Engineering and Processing.** 48 : 997-1003

[4] Panya Daungvilaiux. 2012 "Evaluation of oil palm wood drying process using Microwave by using a Continous Belt." **TSME International Conference on Mechanical Engineering.** 3 : 1

[5] P. Rattamadecho. 2006 "The simulation of microwave heating of wood using a rectangular wave guide." **Influence of frequency and sample size.** 61 : 4798- 4811

[6] ทรงกลด จารุสมบัติ 2548. **"คุณสมบัติของไม้ทางกล."** [Online].Available : http://www.baannatura.com/th/ mat/content/detail/115.html

[7] ทนงศักดิ์ วัฒนา. 2001. **การเลือกเทคโนโลยีการอบแห้งในอุตสาหกรรมและเพื่อลดต้นทุนการผลิต.** 1. กรุงเทพฯ : ไทยแลนด์อินดัสตรี้

[8] ปริวรรต ภู่ขำ, ศตวรรษ ยลแก้ว และ อานนท์ พรมน้อย. 2556 **"การศึกษาเครื่องทำไม้บางสำหรับลำต้นปาล์มน้ำมัน."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์.

[9] วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน. 2556. การออกแบบเครื่องกล. เล่มที่1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น

[10] สุทัศน์ ยอดเพ็ชร. 2554. การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล. นครราชสีมา : มหาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

[11] ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี. 2551. "การหาแรงดึงสายพานขนถ่ายวัสดุมวลกองมาตรฐาน CEMA." **เทคนิคเครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหกรรม.** 24(283) : 107-112.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[12] อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์. 2556. การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการผลิตคอนกรีตมวลเบาสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย. เพชรบูรณ์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

[13] กรจินันท์ จัทร์กาญขน์, กิจภูมิ วิจิตรโสภา และ ต่อตระกูล ไชยอิน. 2555 "การพัฒนาเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจน และลมร้อน." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์.

[14] ศูนย์วิจัยฟิล์มบาง. 2558. Field Emission Scanning Electron Microscope. [Online].Available : http://thep-center.org/src/machine_fe-sem.php

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ผลการทดลองปอกไม้ปาล์มด้วยเครื่องปอกไม้บาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 บันทึกผลการทดลอง การทำไม้บางด้วยไม้ปาล์มน้ำมันโดยใช้ความเร็วรอบลูกกลิ้งประคองไม้ที่ 140 รอบต่อนาที

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)	ความเร็วในการป้อนชุดมีด (m/min)	ความยาว (mm)	ความหนาของไม้ที่ปอกได้ (mm)
81.55	0.17	755	1.8
	0.22	783	1.8
	0.26	749	2
151.13	0.17	1,777	2
	0.22	3,572	2
	0.26	1,857	1.9
164.70	0.17	2,578	1.8
	0.22	3,731	2
	0.26	1,823	1.9
215.36	0.17	821	2
	0.22	1,132	1.9
	0.26	1,053	1.9
242.82	0.17	-	-
	0.22	609	2
	0.26	1,153	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยลมร้อนและไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 บันทึกผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยลมร้อนในตู้อบทุกๆ 5 นาทีที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 50 °C)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก(กรัม)			อุณหภูมิที่ผิวไม้ (°C)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)			ความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ย (%)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	13.09	9.68	6.97	28.9	28.9	28.9	164.70	164.70	164.70	164.70
5	10.26	8.34	5.88	31.7	33.5	32.9	137.12	148.63	146.16	143.97
10	8.03	7.40	4.78	34.4	33.6	34.4	101.69	133.89	118.88	118.15
15	7.07	6.63	4.36	36.9	35.3	35.1	79.55	118.70	104.84	101.03
20	7.03	5.44	3.90	40.3	40.9	40.1	78.50	86.76	85.98	83.75
25	6.34	5.17	3.64	40.5	40.9	40.2	58.23	77.47	73.22	69.64
30	5.98	4.65	3.48	40.8	41.4	40.5	45.80	56.53	64.41	55.58
35	5.61	4.41	3.16	40.9	41.9	40.7	31.37	45.20	44.13	40.23
40	5.45	4.18	2.94	41.1	42.6	41.1	24.52	33.12	27.63	28.42
45	5.36	4.06	2.86	41.5	44.2	42.4	20.48	26.28	20.99	22.58
50	5.30	3.93	2.81	42.3	44.7	42.5	17.72	18.39	16.66	17.59
55	5.24	3.88	2.77	43.5	45.1	43.1	14.89	15.22	13.08	14.39
60	5.17	3.85	2.74	45.8	44.9	45.2	11.51	13.27	10.32	11.70

ตารางที่ ข.2 บันทึกผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยลมร้อนในตู้อบทุกๆ 5 นาทีที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 70°C)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก(กรัม)			อุณหภูมิที่ผิวไม้ (°C)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)			ความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ย (%)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	9.52	10.36	6.20	28.9	28.9	28.9	164.70	164.70	164.70	164.70
5	8.47	9.11	4.66	32.5	32.2	32.2	152.30	150.98	131.65	144.98
10	7.16	8.13	3.60	38.4	39.8	38.7	131.74	137.27	92.48	120.50
15	6.11	5.88	3.48	39.6	40.7	38.8	108.89	88.51	86.54	94.65
20	4.98	5.17	3.12	45.5	45.8	44.6	73.54	64.31	65.98	67.94
25	4.42	4.83	2.88	50.1	50.8	49.2	49.32	50.21	49.42	49.65
30	4.15	4.42	2.67	55.3	52.2	53.3	35.30	30.31	32.49	32.70
35	4.04	4.32	2.58	60.4	55.3	56.9	29.06	24.89	24.39	26.11
40	3.94	4.25	2.53	60.5	57.3	57.4	23.08	20.94	19.64	21.22
45	3.86	4.20	2.48	60.9	58.2	57.8	18.07	18.03	17.70	16.93
50	3.78	4.09	2.45	61.1	58.8	58.3	12.85	11.40	11.64	11.96

ตารางที่ ข.3 บันทึกผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยลมร้อนในตู้อบทุกๆ 5 นาทีที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 90°C)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก(กรัม)			อุณหภูมิที่ผิวไม้ (°C)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)			ความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ย (%)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	8.28	9.51	1.37	28.9	28.9	28.9	164.70	164.70	164.70	164.70
5	5.80	6.21	7.33	55.5	53.6	53.9	121.94	111.56	123.23	118.91

10	4.12	4.29	4.88	70.7	69.3	67.8	63.73	43.02	52.20	52.98
15	3.40	3.95	4.29	72.1	70.1	69.3	21.17	23.94	22.98	22.70
20	3.31	3.89	4.22	81.5	85.3	73.5	14.55	20.23	18.97	17.91
25	3.26	3.76	4.11	89.5	88.2	85.2	10.71	11.77	12.39	11.63

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟในตู้อบทุกๆ 5 นาที โดยใช้พลังงาน 1,800 W

เวลา (นาที)	น้ำหนัก(กรัม)			อุณหภูมิที่ผิวไม้ (°C)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)			ความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ย (%)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	8.52	11.70	14.42	28.9	28.9	28.9	164.70	164.70	164.70	164.70
5	7.06	9.62	12.36	28.2	28.0	29.1	144.02	143.08	148.03	145.04
10	5.59	7.86	9.92	29.5	27.9	30.5	112.28	115.85	119.34	115.82
15	4.38	6.70	8.44	30.3	29.4	31.3	70.18	90.07	93.85	84.70
20	3.97	5.69	6.77	31.1	30.3	32.2	50.09	59.08	51.70	53.62
25	3.72	5.40	6.27	33.5	32.1	33.4	35.67	48.03	34.72	39.47
30	3.67	5.07	6.02	38.6	37.8	36.9	32.55	33.93	25.17	30.55
35	3.62	4.95	5.93	40.4	40.5	40.8	29.34	28.34	21.53	26.40
40	3.59	4.89	5.84	42.3	41.6	41.3	27.37	25.44	17.78	23.53
45	3.47	4.77	5.78	46.5	47.1	45.9	19.17	19.42	15.22	17.93
50	3.38	4.62	5.74	49.5	49.9	50.1	12.63	11.45	13.48	12.52
55	3.33	4.57	5.64	53.2	52.2	53.9	8.84	8.68	9.03	8.85

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟในตู้อบทุกๆ 5 นาที โดยใช้พลังงาน 2,400 W

เวลา (นาที)	น้ำหนัก(กรัม)			อุณหภูมิที่ผิวไม้ (°C)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)			ความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ย (%)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	10.36	9.54	11.79	28.9	28.9	28.9	164.70	164.70	164.70	164.70
5	7.94	6.90	9.01	32.5	33.1	31.9	134.22	126.44	133.85	131.50
10	5.59	4.97	6.22	35.3	35.2	33.5	79.37	72.75	75.15	75.76
15	5.07	4.41	5.45	38	38.8	37.2	60.36	48.37	48.37	52.37
20	4.66	4.24	5.07	42.5	43.2	41.2	42.38	39.70	32.16	38.08
25	4.33	4.03	5.03	45.1	44.3	44.9	25.44	27.98	30.31	27.91
30	4.09	3.82	4.98	47.3	46.9	46.5	11.40	14.96	27.95	18.10
35	4.06	3.90	4.90	51.8	52.4	52.1	9.53	20.08	24.09	17.90
40	4.05	3.76	4.65	53.5	53.6	53.9	8.90	10.98	11.15	10.34
45	4.03	3.71	4.62	54.2	55.1	54.9	7.63	7.56	9.51	8.23

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟในตู้อบทุกๆ 5 นาที โดยใช้พลังงาน 3,200 W

เวลา (นาที)	น้ำหนัก(กรัม)			อุณหภูมิที่ผิวไม้ (°C)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)			ความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ย (%)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	12.04	11.44	10.06	28.9	28.9	28.9	164.70	164.70	164.70	164.70
5	9.26	8.54	7.40	35.7	35.5	36.9	134.68	130.74	128.75	131.39
10	6.29	5.67	5.85	45.1	44.9	45.2	73.29	62.94	92.73	76.32

15	5.44	4.71	4.35	53.1	52.9	52.4	43.38	21.81	33.44	32.87
20	4.69	4.44	3.96	62.3	61.2	62.6	7.98	7.04	10.66	8.56

ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,800 W ทุกๆ 5 นาที ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 50 °C)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก(กรัม)			อุณหภูมิที่ผิวไม้ (°C)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)			ความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ย (%)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	9.68	12.35	12.17	28.9	28.9	28.9	164.70	164.70	164.70	164.70
5	6.26	8.10	9.14	33.8	34.9	35.1	110.07	112.23	131.55	117.95
10	4.83	6.29	6.55	36.8	37.5	38.6	64.29	68.36	78.90	70.51
15	4.55	5.53	5.74	40.2	42.3	39.3	51.95	41.37	52.68	48.67
20	4.3	5.10	5.40	42.4	46.2	42.8	39.58	22.51	39.33	33.82
25	4.13	5.05	5.17	49.8	48.6	44.2	30.32	20.15	29.30	26.59
30	4.04	5.03	4.99	50.3	51.8	47.3	25.10	19.17	20.81	21.69
35	3.96	4.98	4.91	50.5	52.1	50.3	20.26	16.71	16.84	17.93
40	3.84	4.84	4.80	54.5	51.5	50.6	12.62	9.53	11.16	11.10

ตารางที่ ข.8 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,800 W ทุกๆ 5 นาที ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 70 °C)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก(กรัม)			อุณหภูมิที่ผิวไม้ (°C)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)			ความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ย (%)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	6.95	8.34	6.56	28.9	28.9	28.9	164.70	164.70	164.70	164.70
5	4.13	5.30	4.11	50.9	55.3	55.2	96.42	107.34	105.09	102.95
10	3.31	4.18	3.54	60.1	63.6	60.8	54.73	65.18	79.39	66.43
15	3.07	3.73	3.13	65.5	65.2	60.8	38.32	41.11	55.12	44.85
20	2.96	3.58	2.87	68.8	66.4	60.4	29.90	31.74	36.13	32.59
25	2.83	3.35	2.64	70.5	65.7	61.4	19.12	15.74	16.22	17.03
30	2.74	3.30	2.58	71.4	69.2	68.5	11.05	11.97	10.44	11.15

ตารางที่ ข.9 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 1,800 W ทุกๆ 5 นาที ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 90 °C)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก(กรัม)			อุณหภูมิที่ผิวไม้ (°C)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)			ความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ย (%)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	7.96	7.88	7.53	28.9	28.9	28.9	164.70	164.70	164.70	164.70
5	4.82	4.61	4.30	32.5	33.2	35.9	99.55	93.77	89.58	94.30
10	3.68	3.56	36.9	41.3	45.2	43.7	48.40	43.35	60.63	50.79
15	3.45	3.33	3.37	66.9	62.3	65.9	33.98	28.06	41.26	34.43
20	3.33	3.17	3.10	84.1	82.3	85.9	25.66	16.12	21.80	21.19
25	3.26	3.15	3.02	88.3	85.1	86.1	20.53	14.54	15.36	16.81
30	3.14	3.11	2.96	89.3	87.2	88.4	11.20	11.32	10.31	10.94

ตารางที่ ข.10 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 2,400 W ทุกๆ 5 นาที ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 50 °C)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก(กรัม)			อุณหภูมิที่ผิวไม้ (°C)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)			ความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ย (%)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	7.71	5.70	5.73	28.9	28.9	28.9	164.70	164.70	164.70	164.70
5	4.94	4.23	3.70	45.9	44.3	41.5	108.63	129.95	109.84	116.14
10	3.64	2.93	2.86	50.1	49.4	49.9	52.89	70.16	64.35	62.47
15	3.35	2.54	2.54	55.5	58.6	65.2	34.55	40.29	39.11	37.98
20	3.26	2.39	2.36	69.7	68.7	59.4	28.20	26.21	21.90	25.44
25	3.11	2.30	2.32	69.8	68.9	59.5	16.79	16.87	17.72	17.13
30	3.04	2.26	2.27	61.3	70.7	71.4	11.08	12.49	12.28	11.95

ตารางที่ ข.11 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 2,400 W ทุกๆ 5 นาที ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 70 °C)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก(กรัม)			อุณหภูมิที่ผิวไม้ (°C)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)			ความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ย (%)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	4.19	4.96	4.12	28.9	28.9	28.9	164.70	164.70	164.70	164.7
5	2.88	3.16	3.01	45.2	43.9	39.5	108.63	119.21	107.74	127.82
10	1.92	2.30	1.98	55.5	51.5	53.2	46.47	49.05	56.62	50.71
15	1.75	2.05	1.79	59.5	59.4	64.6	25.27	22.75	34.53	27.52
20	1.68	2.01	1.66	63.4	69.5	64.2	15.30	17.93	16.51	16.58
25	1.65	1.96	1.62	64.1	69.5	64.8	10.76	11.64	10.38	10.93

ตารางที่ ข.12 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 2,400 W ทุกๆ 5 นาที ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 90 °C)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก(กรัม)			อุณหภูมิที่ผิวไม้ (°C)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)			ความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ย (%)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	9.12	9.39	9.8	28.9	28.9	28.9	164.70	164.70	164.70	164.70
5	5.71	6.14	6.1	59.7	59.3	6.1	104.98	111.77	104.04	106.93
10	3.72	3.92	4.12	65.1	64.8	64.7	19.54	25.16	23.84	23.84
15	3.68	3.83	3.96	88.9	88.2	89.3	16.87	19.53	17.23	17.88
20	3.59	3.71	3.88	89.5	89.1	89.3	10.66	11.60	12.12	11.46

ตารางที่ ข.13 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 3,200 W ทุกๆ 2 นาที ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 50 °C)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก(กรัม)			อุณหภูมิที่ผิวไม้ (°C)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)			ความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ย (%)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	8.26	5.94	5.26	28.9	28.9	28.9	164.70	164.70	164.70	164.70
2	5.46	4.15	3.39	37.9	35.4	39.3	112.87	121.57	109.54	114.66
4	4.32	3.30	2.81	42.7	36.8	34.9	72.80	84.70	77.51	78.34
6	3.56	2.70	2.28	43.7	37.3	35.2	31.83	44.70	34.02	36.84
8	3.48	2.41	2.22	44.7	37.5	39.1	26.48	18.23	27.76	24.16
10	3.39	2.36	2.16	46.0	39.3	40.2	20.16	13.01	21.18	18.11
12	3.32	2.32	2.07	46.3	39.4	42.5	15.0	8.67	10.59	11.42

ตารางที่ ข.14 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 3,200 W ทุกๆ 2 นาที ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 70 °C)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก(กรัม)			อุณหภูมิที่ผิวไม้ (°C)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)			ความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ย (%)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	6.89	10.83	8.26	28.9	28.9	28.9	164.70	164.70	164.70	164.70
2	4.07	8.06	5.46	42.9	46.1	44.3	95.41	130.33	113.42	113.05
4	3.50	5.19	4.04	65.3	65.5	60.2	67.84	56.03	60.24	61.37
6	2.86	4.86	3.78	68.6	66.4	63.2	23.79	41.86	46.18	37.28
8	2.71	4.31	3.29	70.2	69.3	65.4	10.46	13.42	13.64	12.51
10	2.69	4.28	3.25	71.7	69.8	67.7	8.57	11.66	10.55	10.30

ตารางที่ ข.15 ผลการทดลองนำไม้เข้าอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ 3,200 W ทุกๆ 2 นาที ร่วมกับลมร้อนที่ความเร็วลม 2.1 เมตรต่อวินาที (ที่อุณหภูมิ 90 °C)

เวลา (นาที)	น้ำหนัก(กรัม)			อุณหภูมิที่ผิวไม้ (°C)			ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)			ความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ย (%)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	5.60	10.49	11.35	28.9	28.9	28.9	164.70	164.70	164.70	164.70
2	3.14	6.49	7.36	86.6	85.3	87.4	86.36	103.07	110.49	99.97
4	2.43	4.72	5.34	84.4	86.4	84.3	34.25	42.45	52.15	42.95
6	2.19	4.21	4.67	84.6	83.2	85.2	8.99	15.53	21.66	15.39
8	2.17	4.11	4.46	86.2	88.5	87.5	6.64	9.47	10.22	8.77

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ค.
การทดสอบเชิงกลของไม้ปาล์มน้ำมัน ที่อบด้วยเครื่องอบไม้ปาล์มด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ค.1 การต้านแรงดึงของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบ

ตาราง ค.1 ผลการทดสอบต้านแรงดึงของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบ

Sample Test	Width (mm)	Length (mm)	Area (mm^2)	Load at Upper Yield (N)	Stress at Upper Yield (Mpa)	Strain at Upper Yield
Sample 1	29.5	43.9	1295.05	102.79	0.07937	0.033840
Sample 2	30.1	44.1	1327.41	194.96	0.14692	0.050439
Sample 3	29.5	44.9	1324.55	485.86	0.36681	0.129070
Sample 4	27.7	48.1	1332.37	208.54	0.15652	0.059603
Sample 5	29.1	45.7	1329.87	337.43	0.25373	0.080973
Sample 6	27.9	46.9	1308.51	438.17	0.33486	0.107860
Sample 7	27.1	48.9	1325.19	347.31	0.26208	0.084323
Sample 8	30.1	45.0	1354.50	186.30	0.13754	0.041571
Sample 9	28.9	46.9	1355.41	286.00	0.21100	0.086194
Sample 10	29.2	45.9	1340.28	477.56	0.35631	0.108890
Sample 11	30.5	44.5	1357.25	306.24	0.22564	0.070929
Sample 12	49.2	26.4	1298.88	184.32	0.14191	0.054992
Sample 13	29.9	43.6	1303.64	340.13	0.26091	0.089116
Sample 14	30.5	42.9	1308.45	255.20	0.19504	0.060418
Sample 15	26.7	48.1	1284.27	398.51	0.31030	0.099568

Note:

Sample 1 = Hot air 50 °C

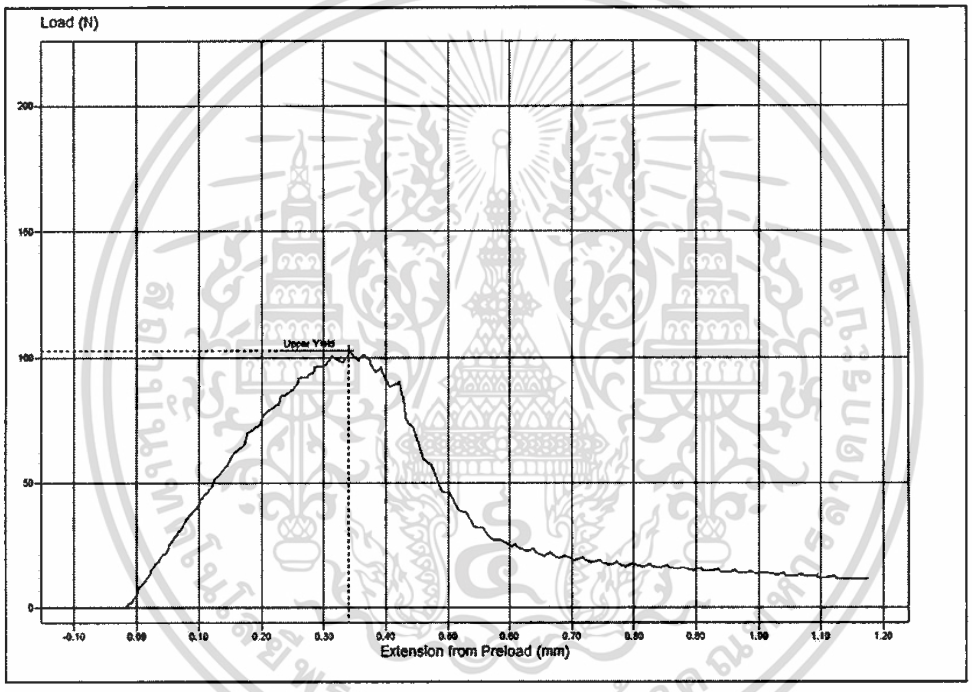
Sample 2 = Hot air 70 °C

Sample 3 = Hot air 90 °C

Sample 4 = Microwave 1800 W

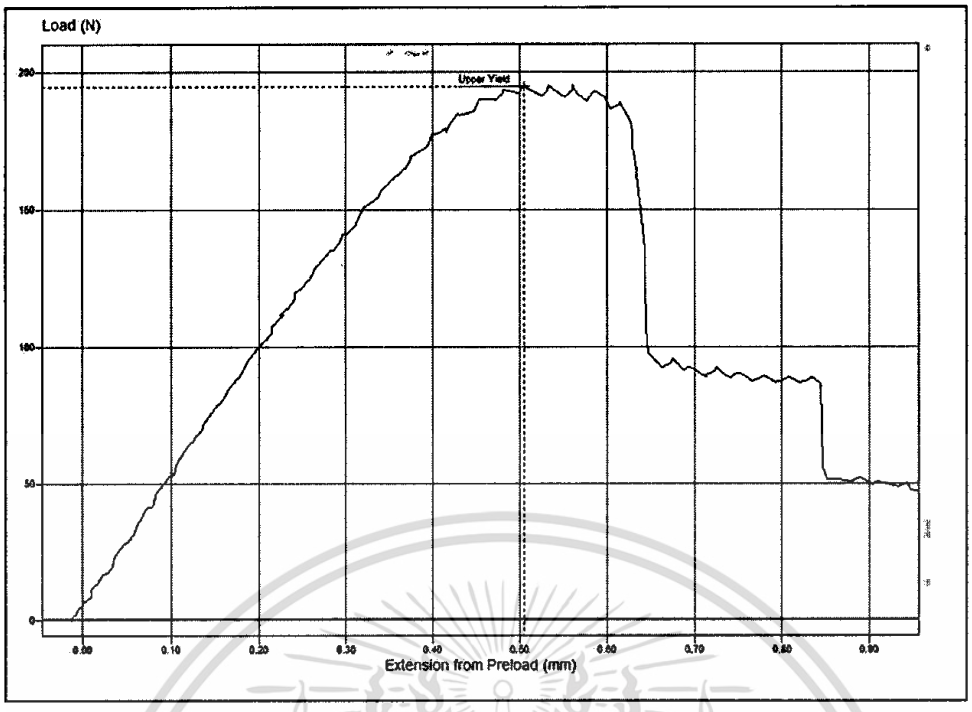
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sample 5 = Microwave 2400 W
Sample 6 = Microwave 3200 W
Sample 7 = Microwave 1800 W + Hot air 50 °C
Sample 8 = Microwave 1800 W + Hot air 70 °C
Sample 9 = Microwave 1800 W + Hot air 90 °C
Sample 10 = Microwave 2400 W + Hot air 50 °C
Sample 11 = Microwave 2400 W + Hot air 70 °C
Sample 12 = Microwave 2400 W + Hot air 90 °C
Sample 13 = Microwave 3200 W + Hot air 50 °C
Sample 14 = Microwave 3200 W + Hot air 70 °C
Sample 15 = Microwave 3200 W + Hot air 90 °C

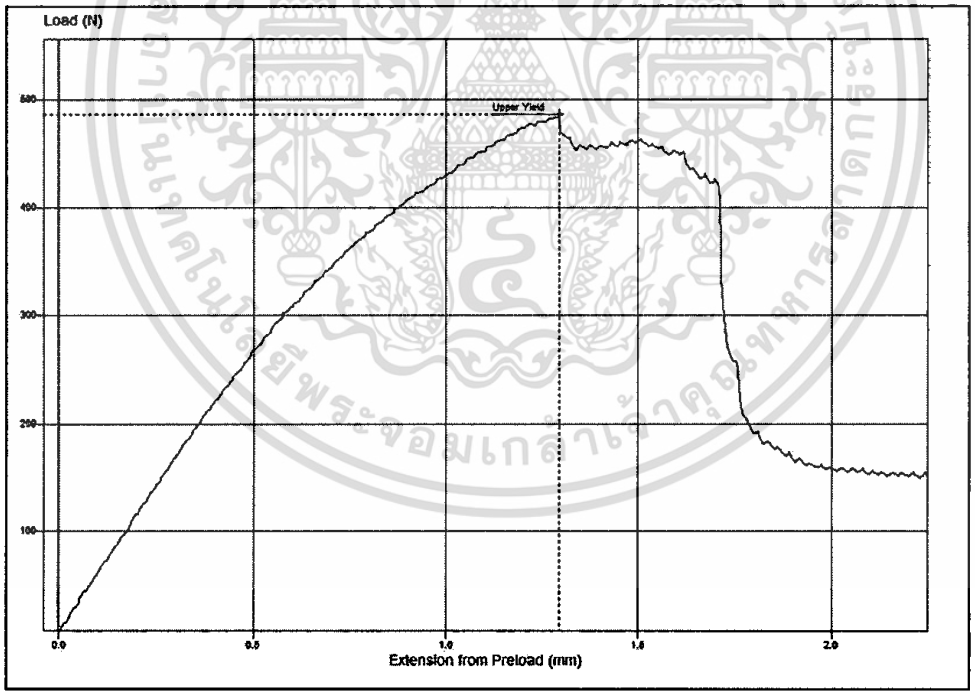


ภาพที่ ค.2 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 50 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

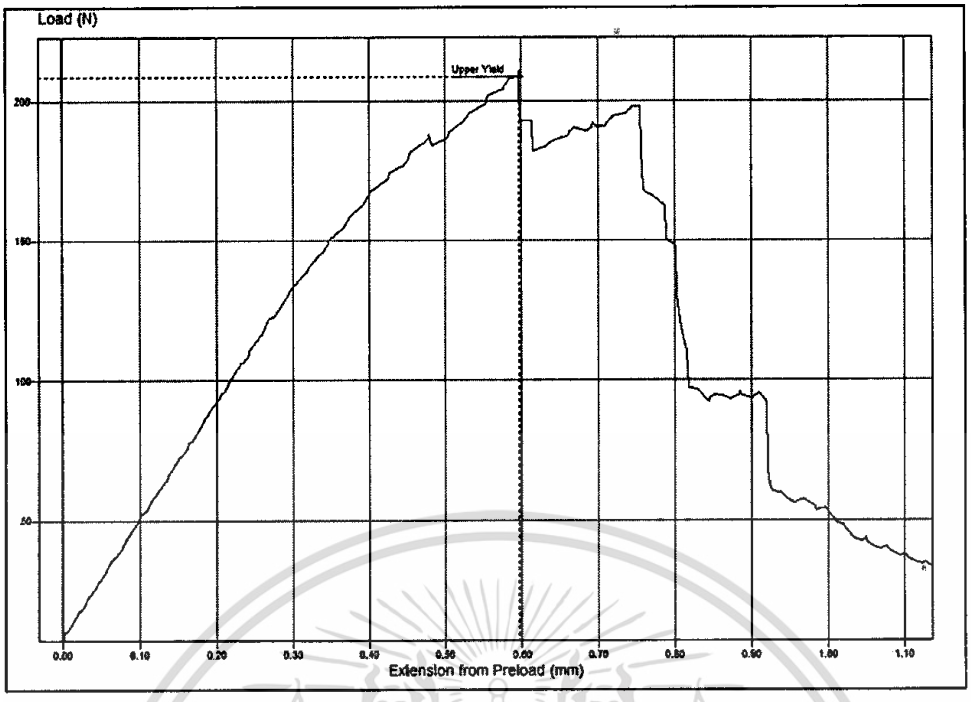


ภาพที่ ค.3 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 70 °C

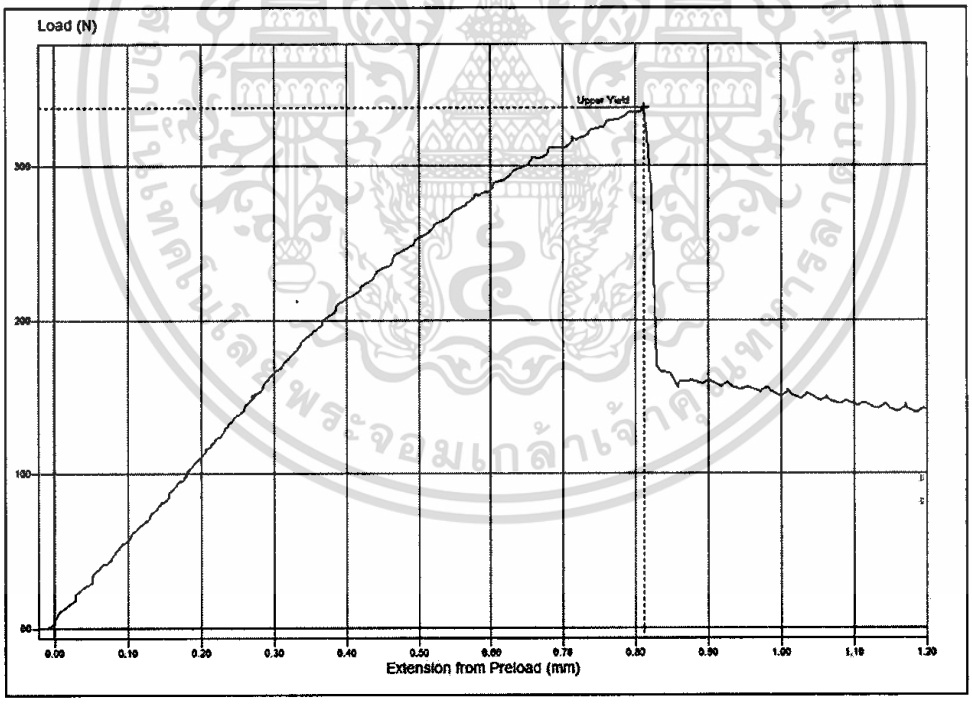


ภาพที่ ค.4 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

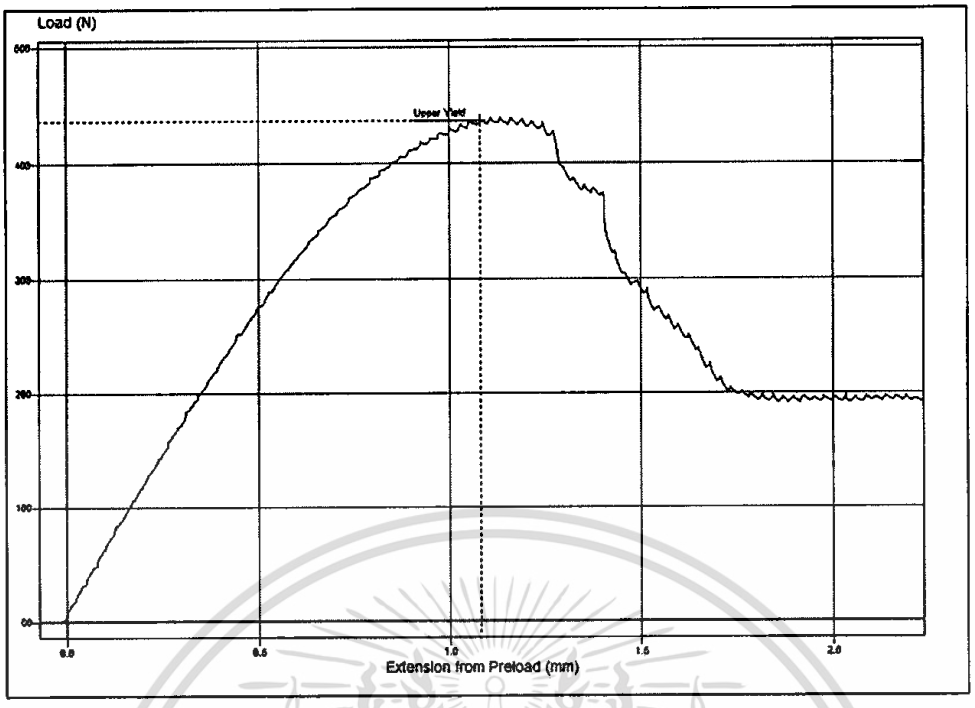


ภาพที่ ค.5 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W

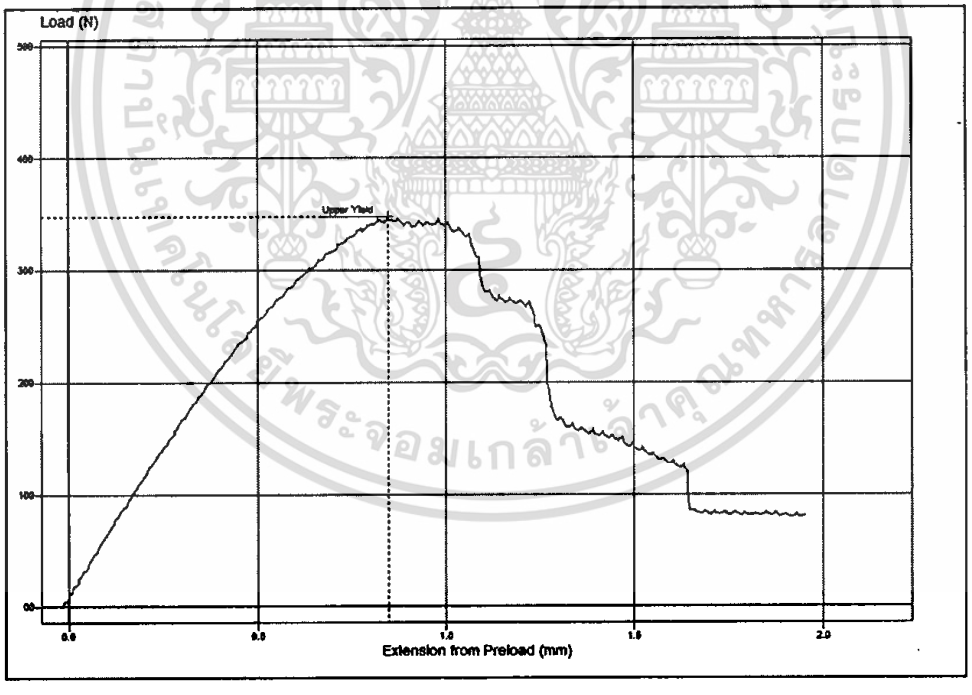


ภาพที่ ค.6 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

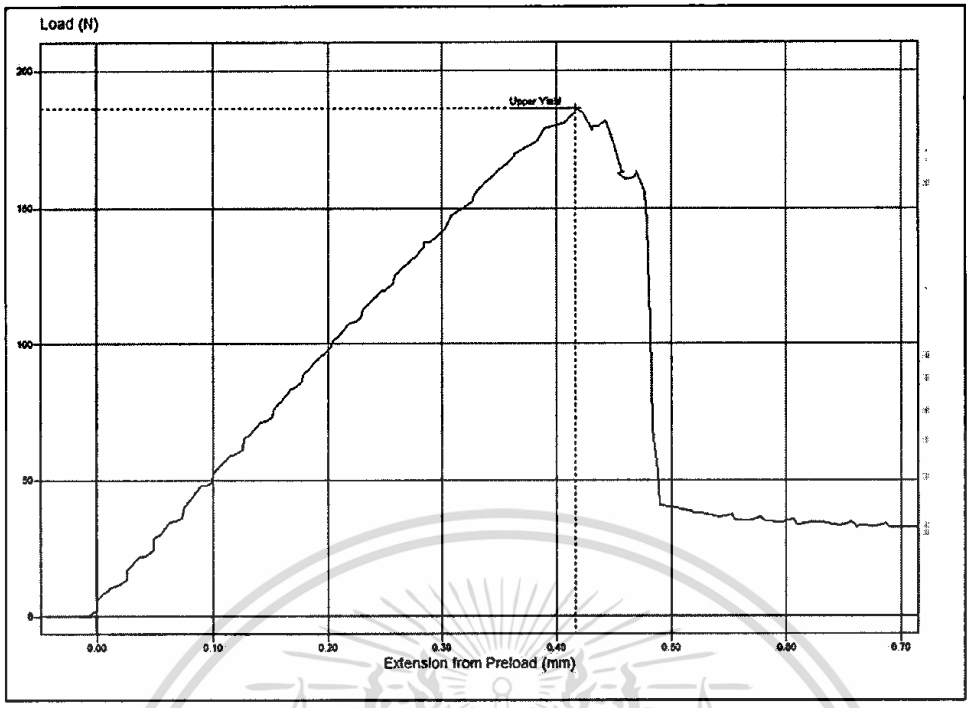


ภาพที่ ค.7 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W

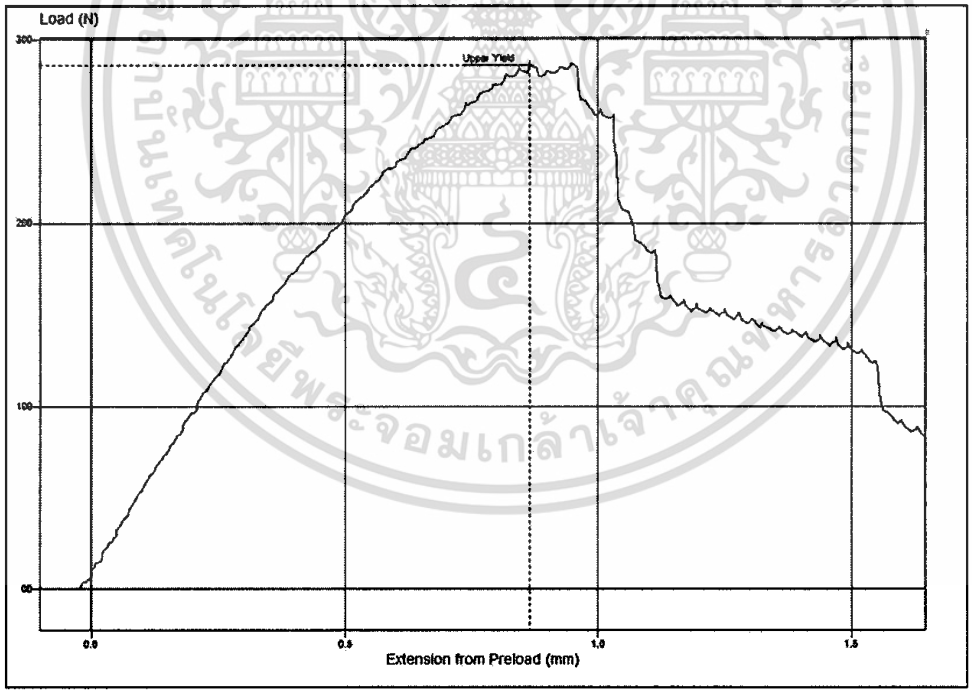


ภาพที่ ค.8 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

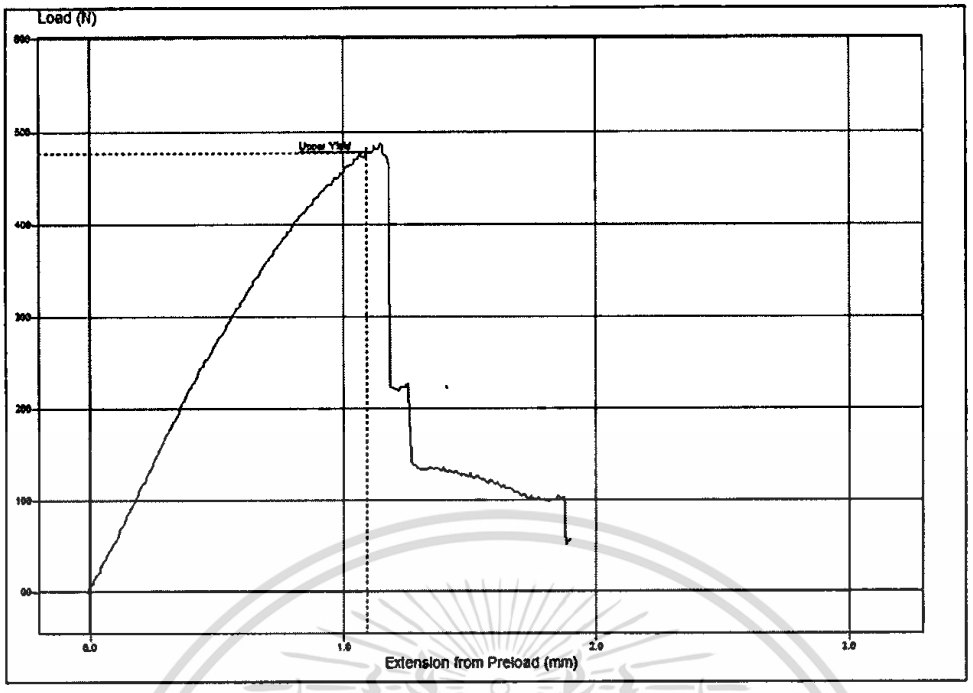


ภาพที่ ค.9 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C

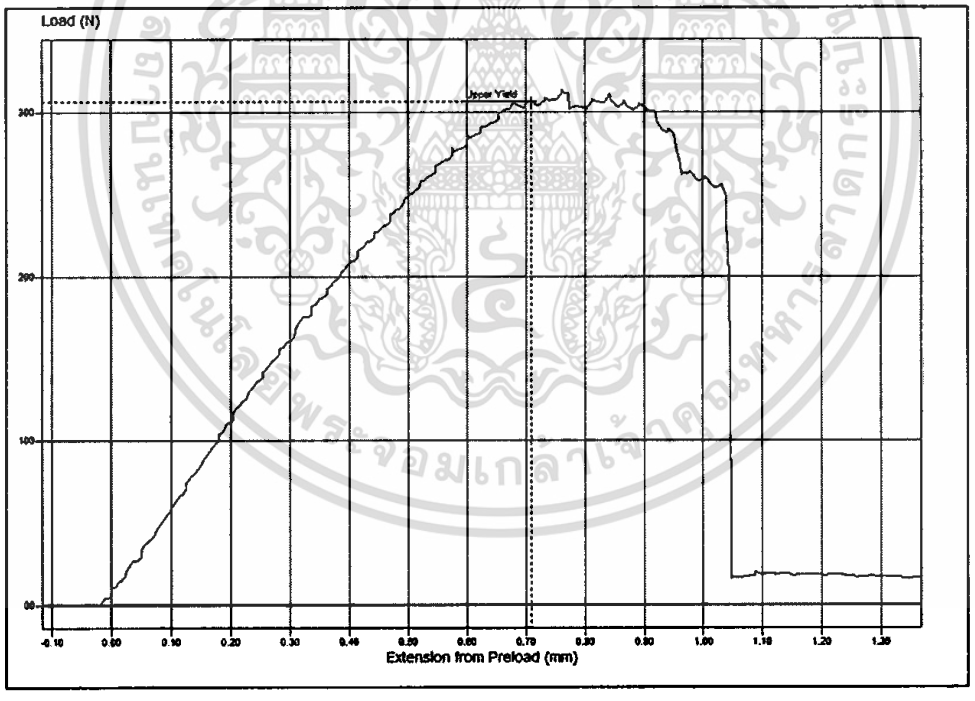


ภาพที่ ค.10 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

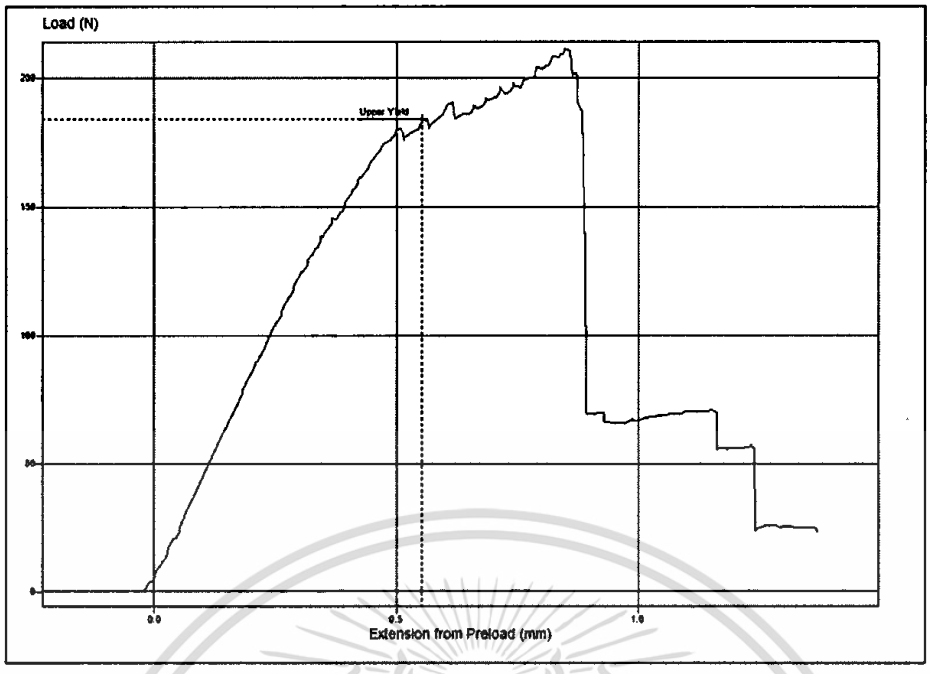


ภาพที่ ค.11 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C

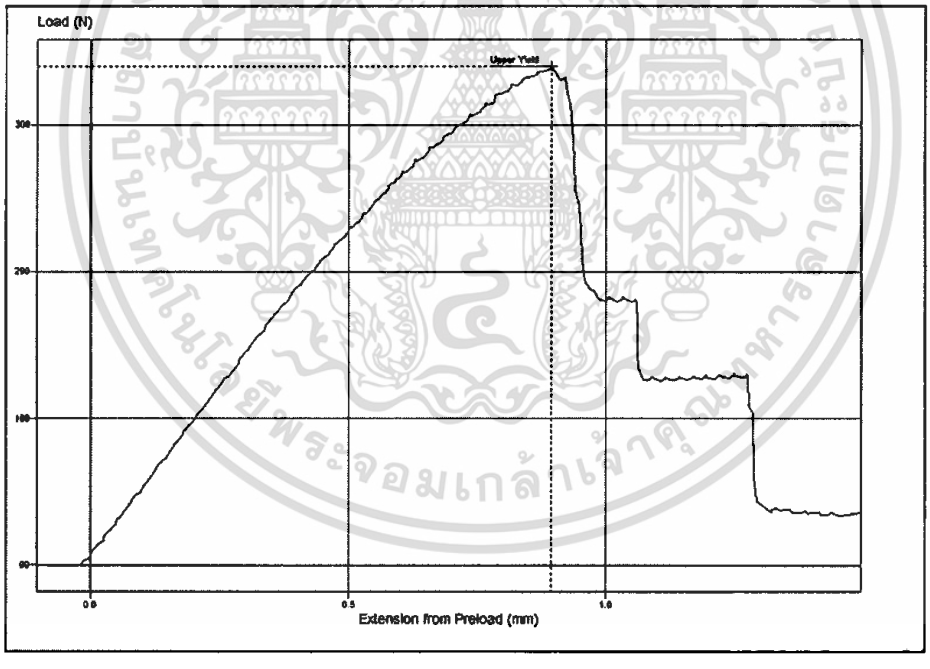


ภาพที่ ค.12 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

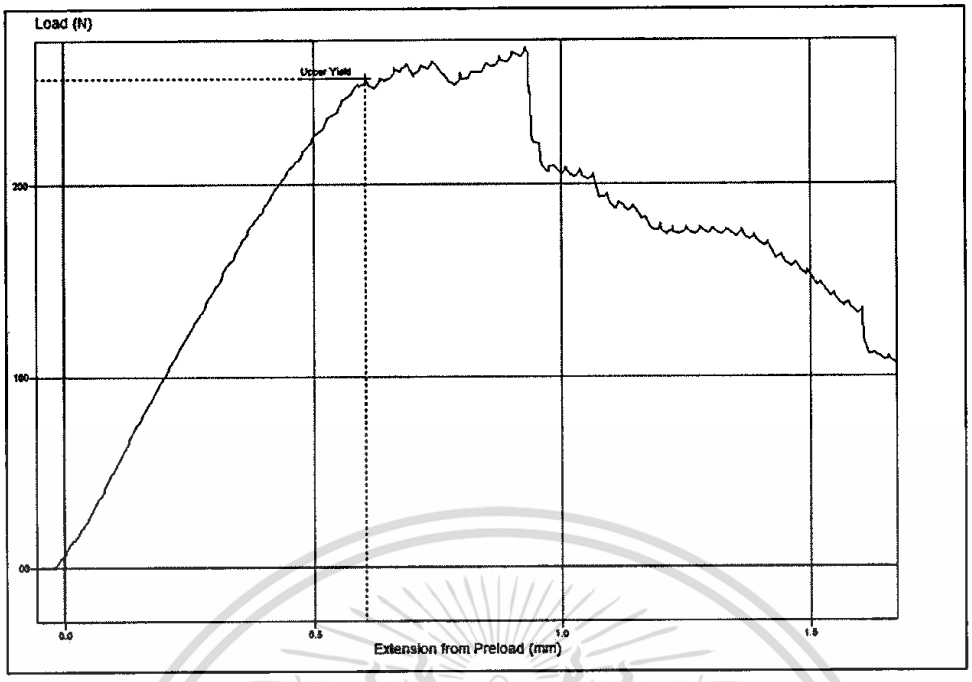


ภาพที่ ค.13 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C

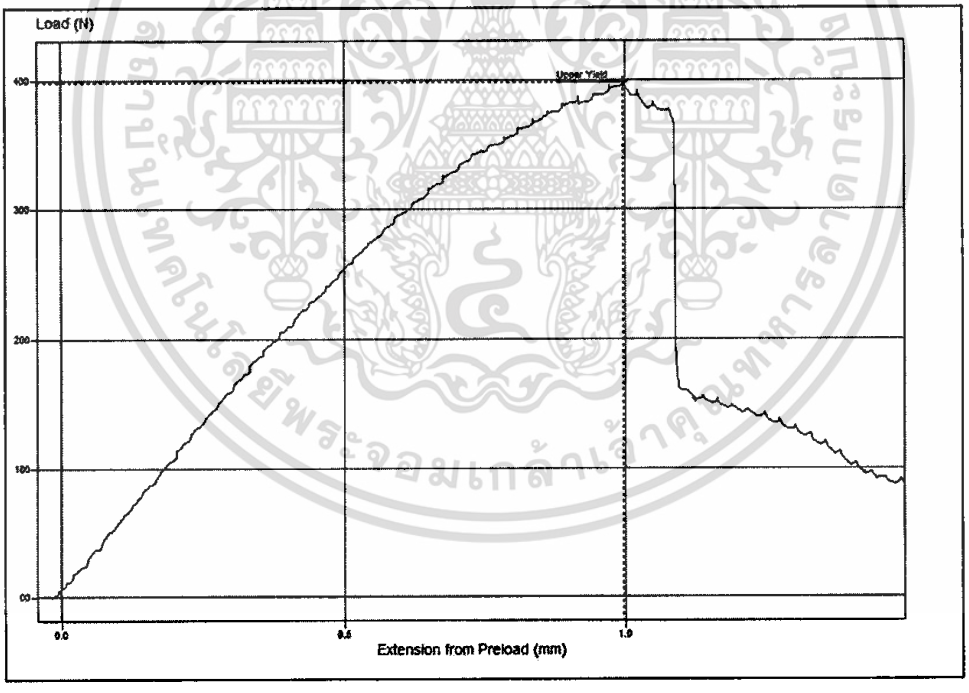


ภาพที่ ค.14 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

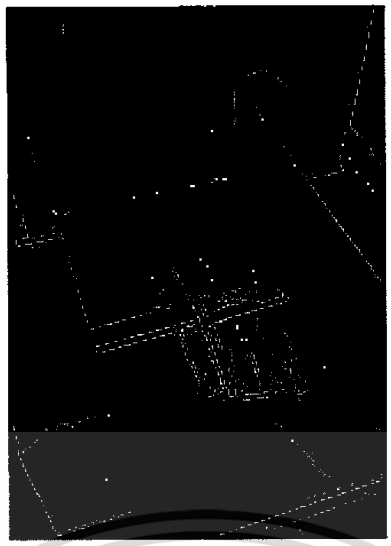


ภาพที่ ค.15 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C



ภาพที่ ค.16 กราฟต้านแรงดึงของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

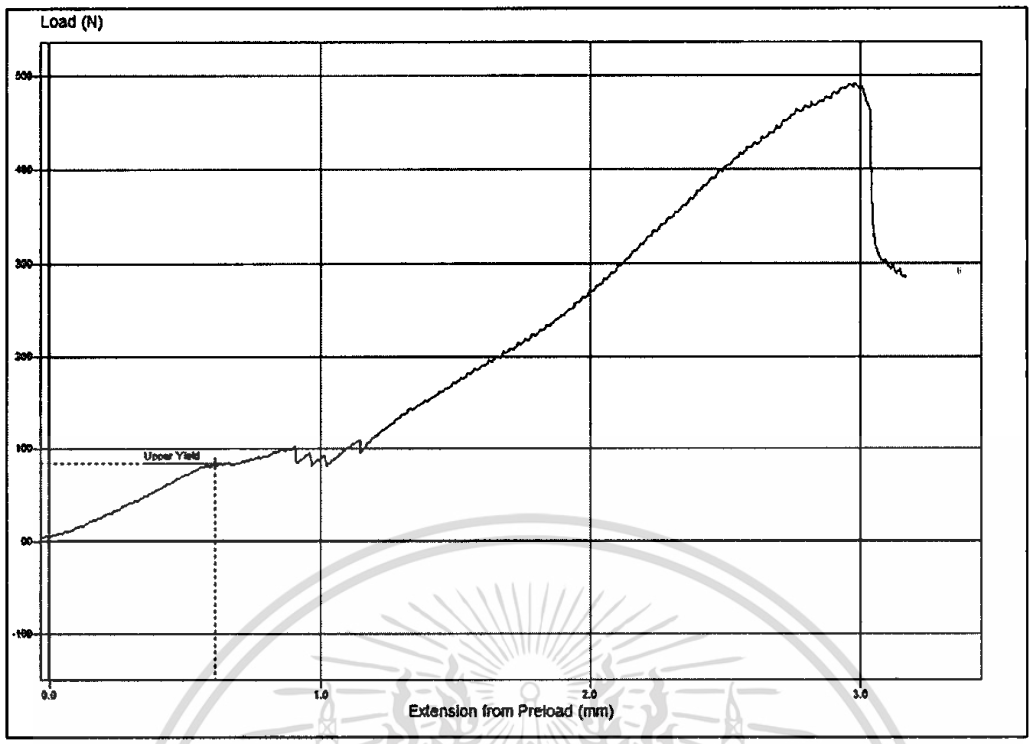


ภาพที่ ค.17 การทดสอบแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบ

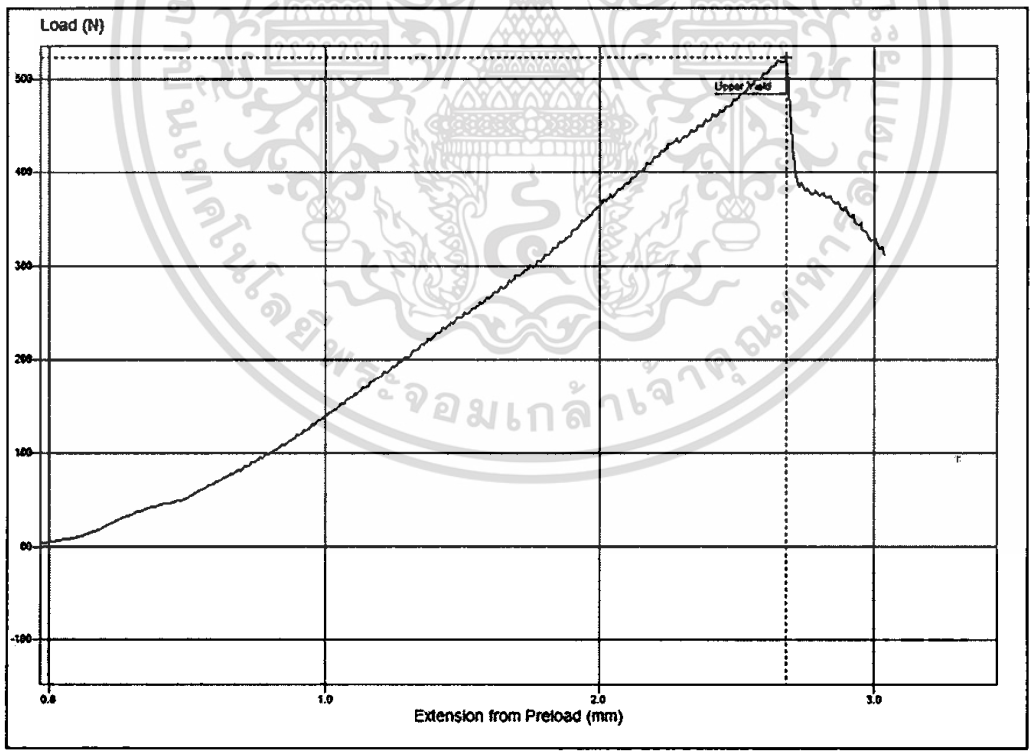
ตาราง ค.2 บันทึกผลการทดสอบแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบ

Sample Test	Width (mm)	Thickness (mm)	Area (mm^2)	Load at Upper Yield (N)	Stress at Upper Yield (Mpa)	Strain at Upper Yield
Sample 1	20.1	1.32	26.532	84.543	3.1865	0.069378
Sample 2	20.8	1.38	28.704	522.49	18.203	0.33183
Sample 3	19.8	1.32	26.136	235.63	9.157	0.15858
Sample 4	20.4	1.40	28.560	343.32	11.986	0.21405
Sample 5	19.6	1.38	27.048	512.56	19.474	0.23826
Sample 6	19.4	1.30	25.220	363.91	13.383	0.24692
Sample 7	19.2	1.38	26.496	195.26	7.2189	0.18580
Sample 8	18.8	1.40	26.320	311.90	12.367	0.21973
Sample 9	20.1	1.30	26.130	362.68	13.688	0.21507
Sample 10	20.4	1.42	28.968	265.48	9.1645	0.19024
Sample 11	19.2	1.38	26.496	358.57	12.378	0.22701
Sample 12	20.6	1.32	27.192	298.37	11.261	0.16612
Sample 13	20.8	1.28	26.624	304.29	11.190	0.19023
Sample 14	20.2	1.32	26.664	338.51	12.695	0.16924
Sample 15	18.8	1.48	27.824	489.31	17.586	0.26556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

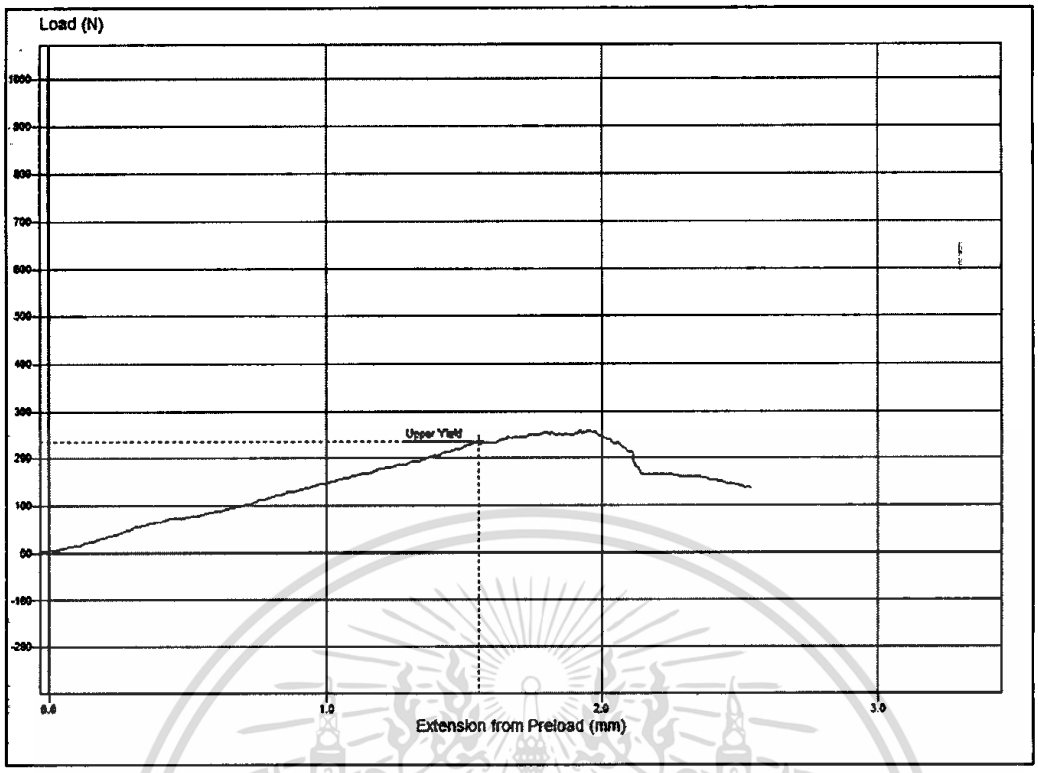


ภาพที่ ค.18 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 50 °C

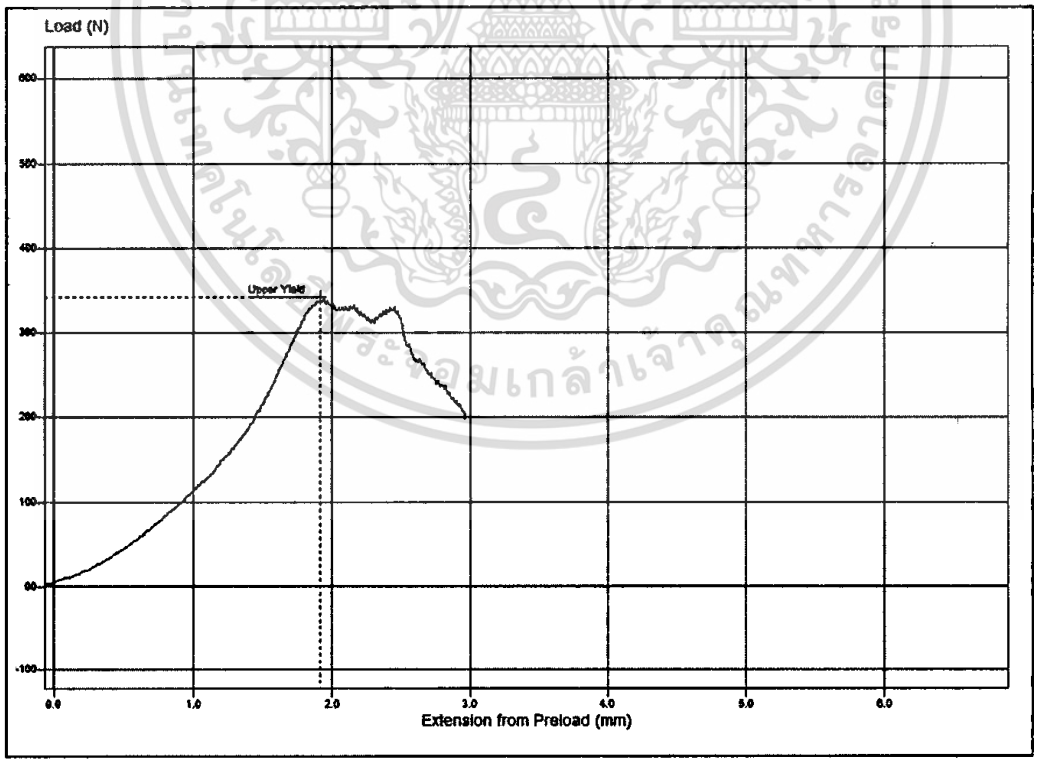


ภาพที่ ค.19 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

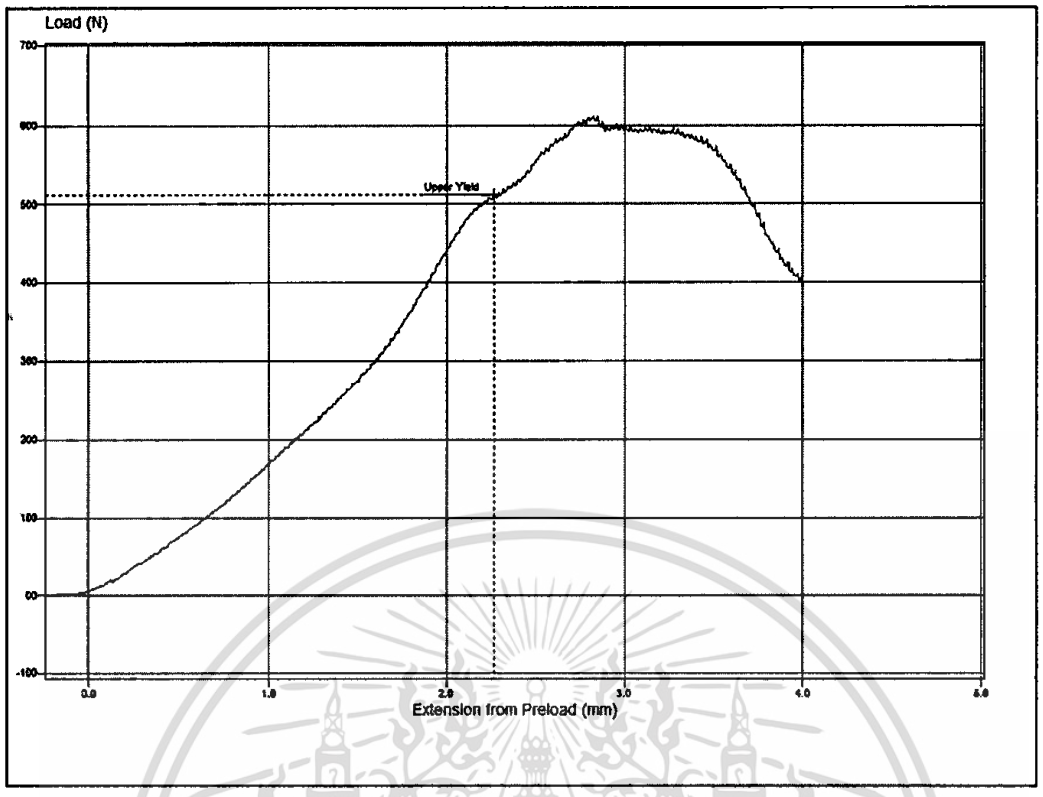


ภาพที่ ค.20 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 90 °C

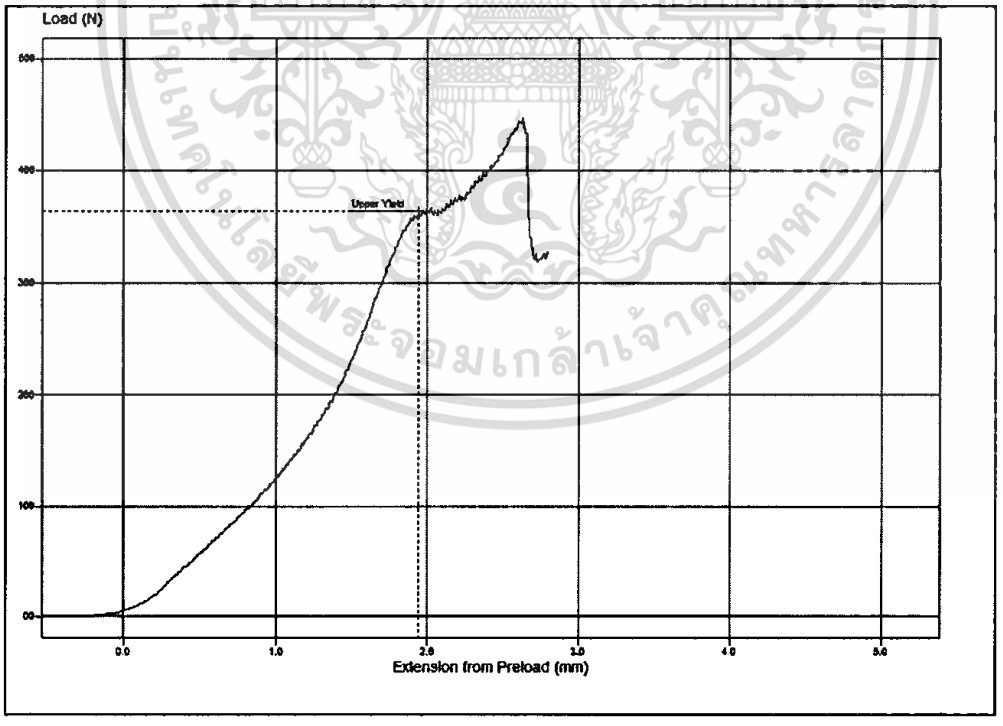


ภาพที่ ค.21 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

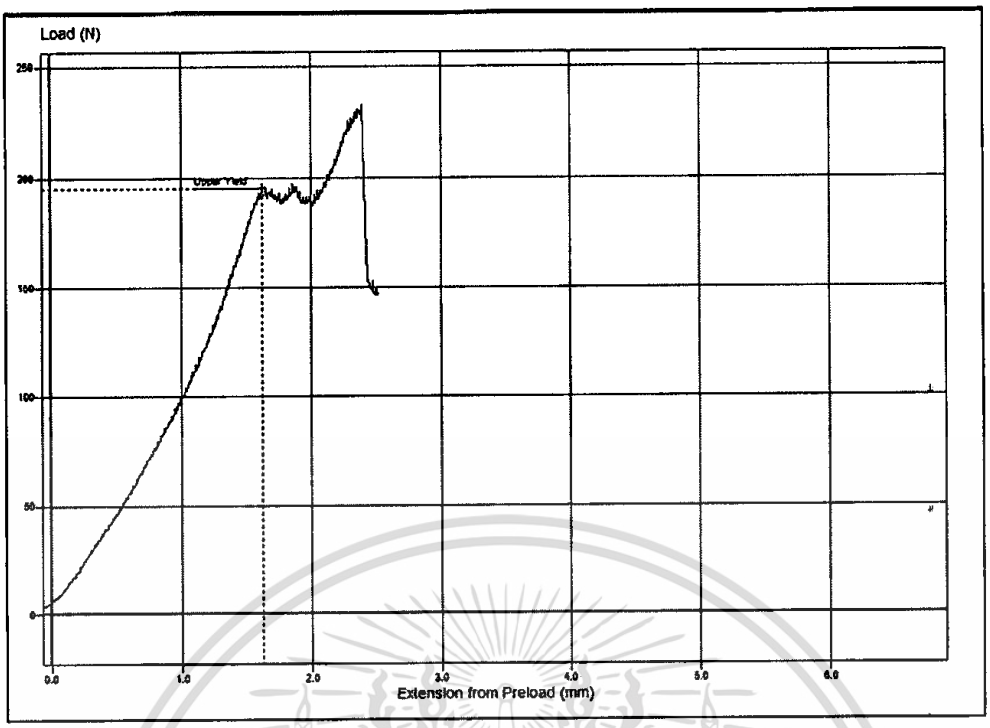


ภาพที่ ค.22 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W

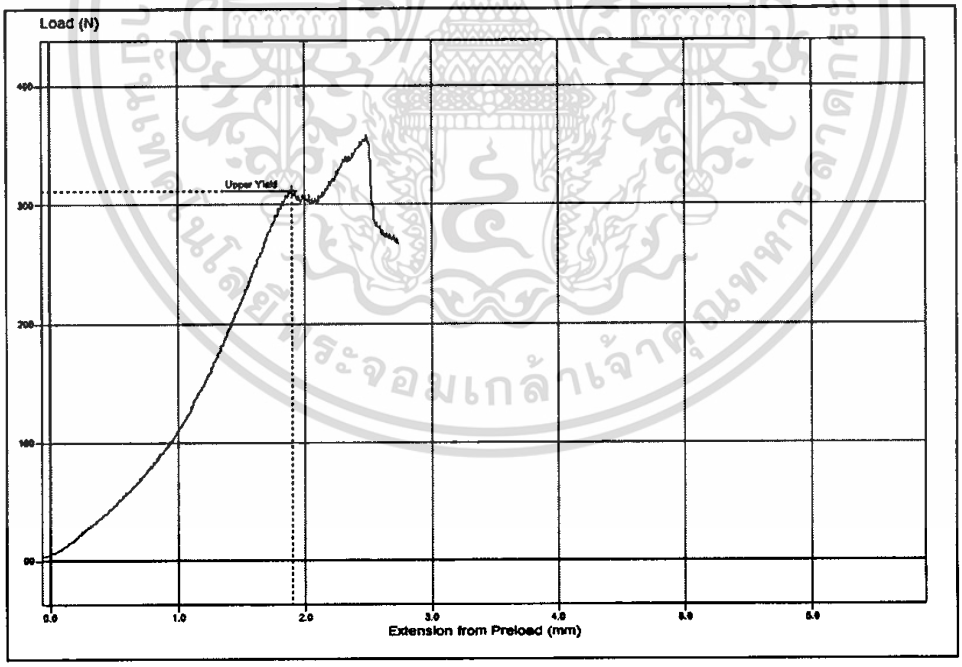


ภาพที่ ค.23 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

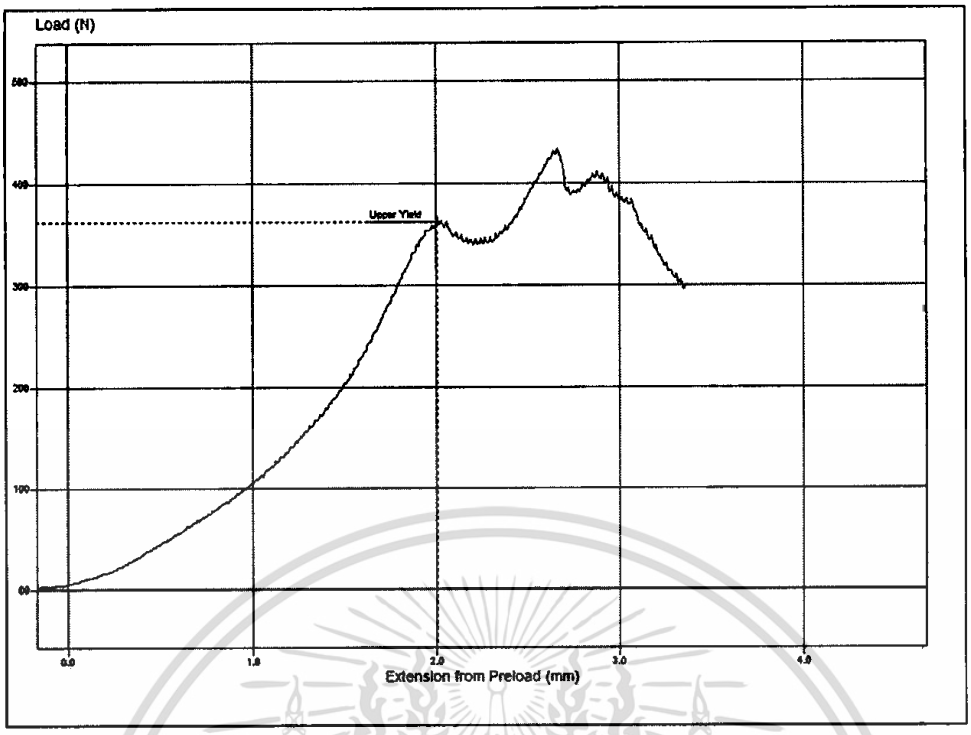


ภาพที่ ค.24 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C

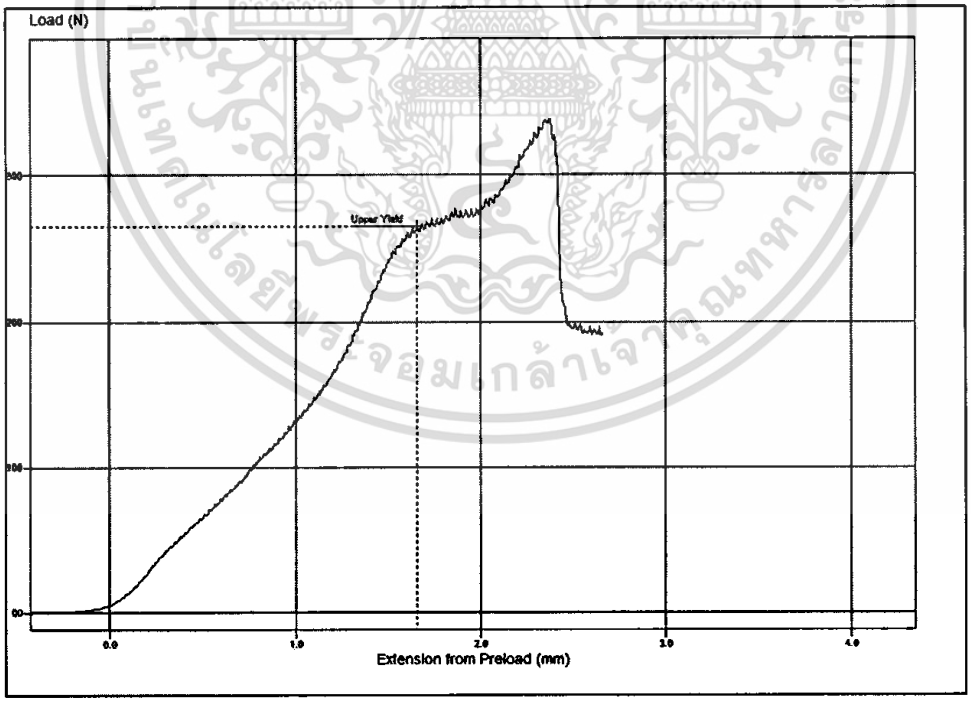


ภาพที่ ค.25 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

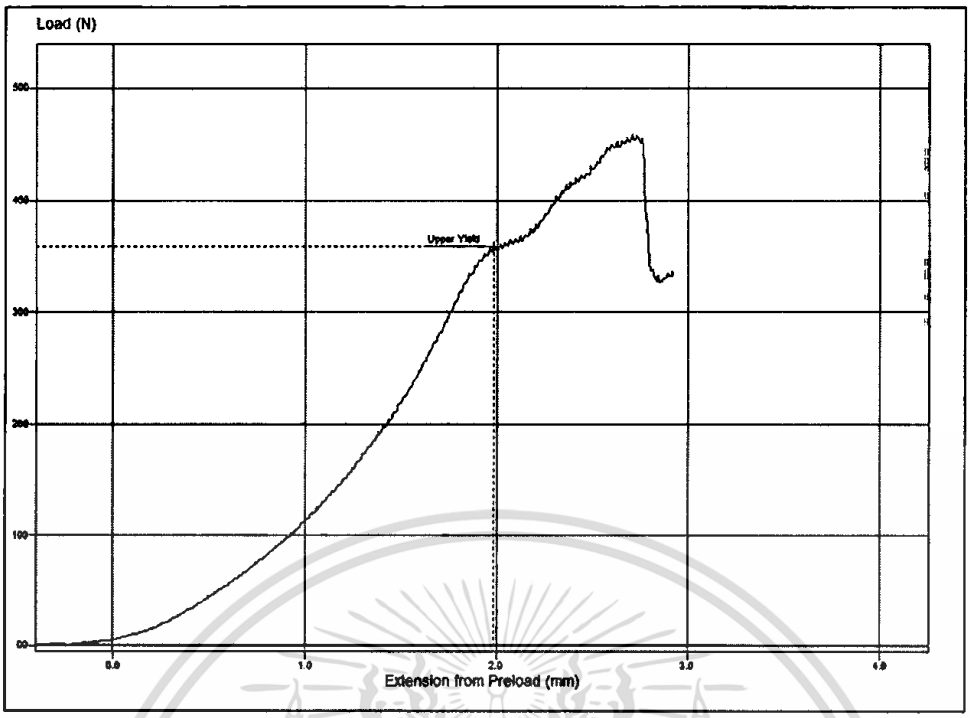


ภาพที่ ค.26 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C

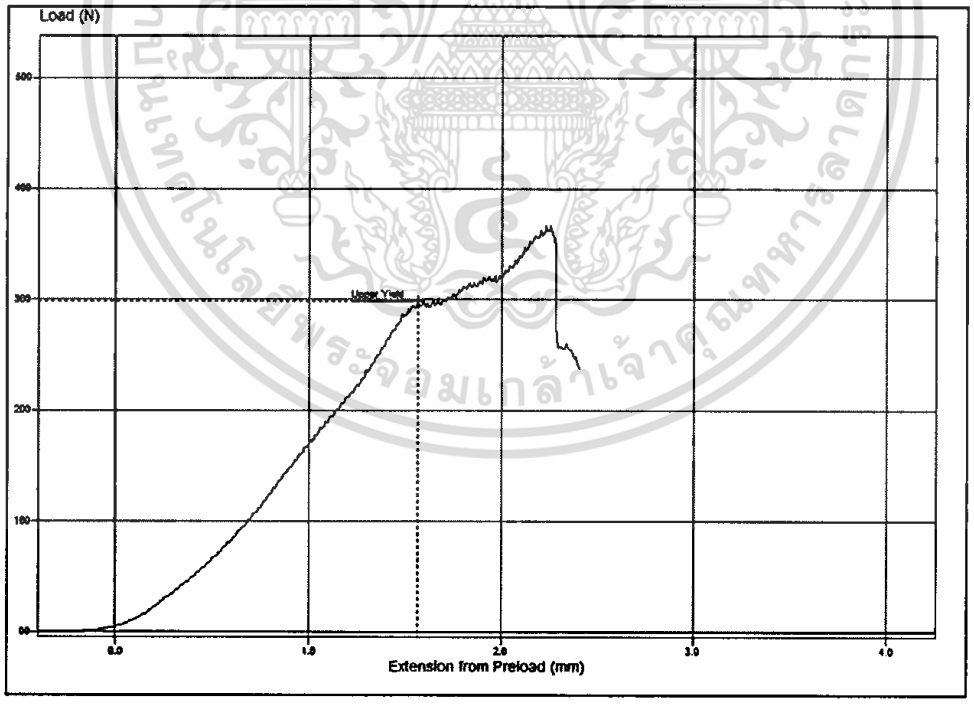


ภาพที่ ค.27 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

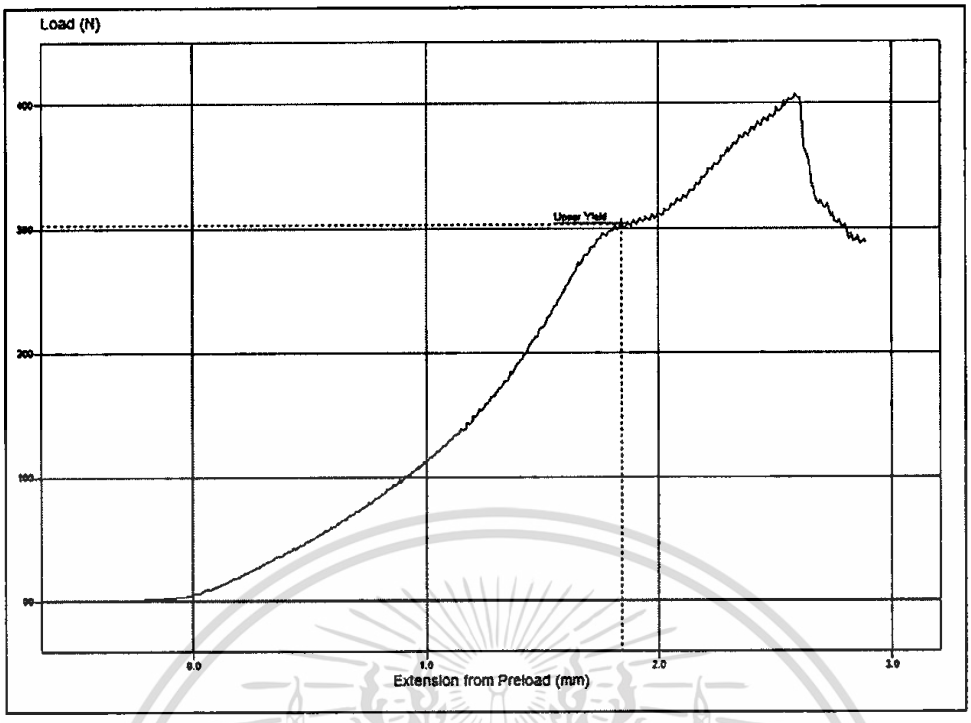


ภาพที่ ค.28 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C

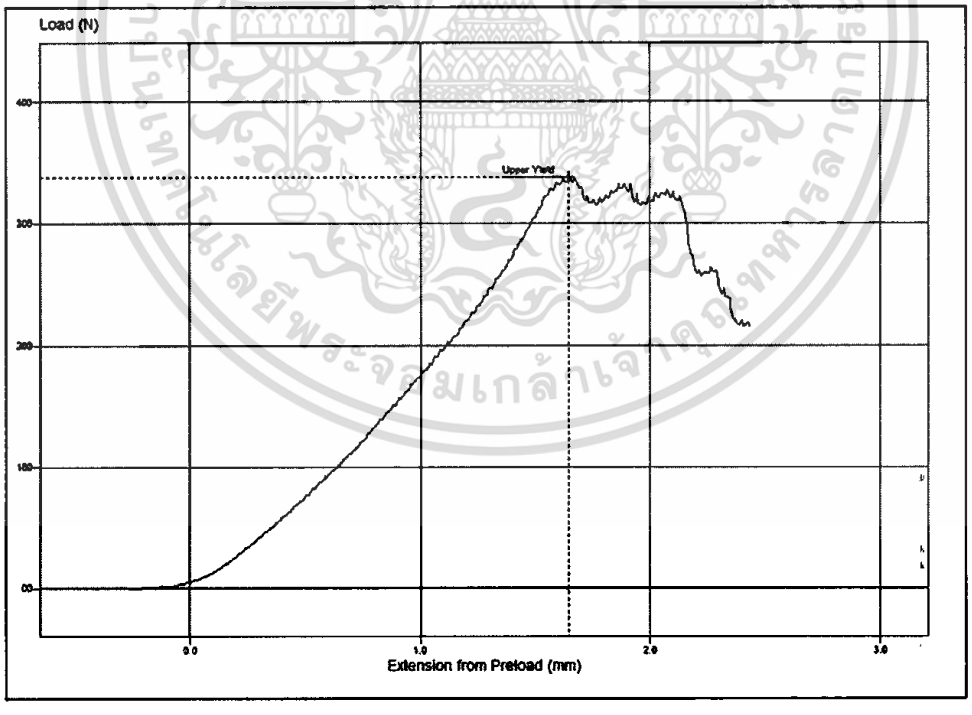


ภาพที่ ค.29 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

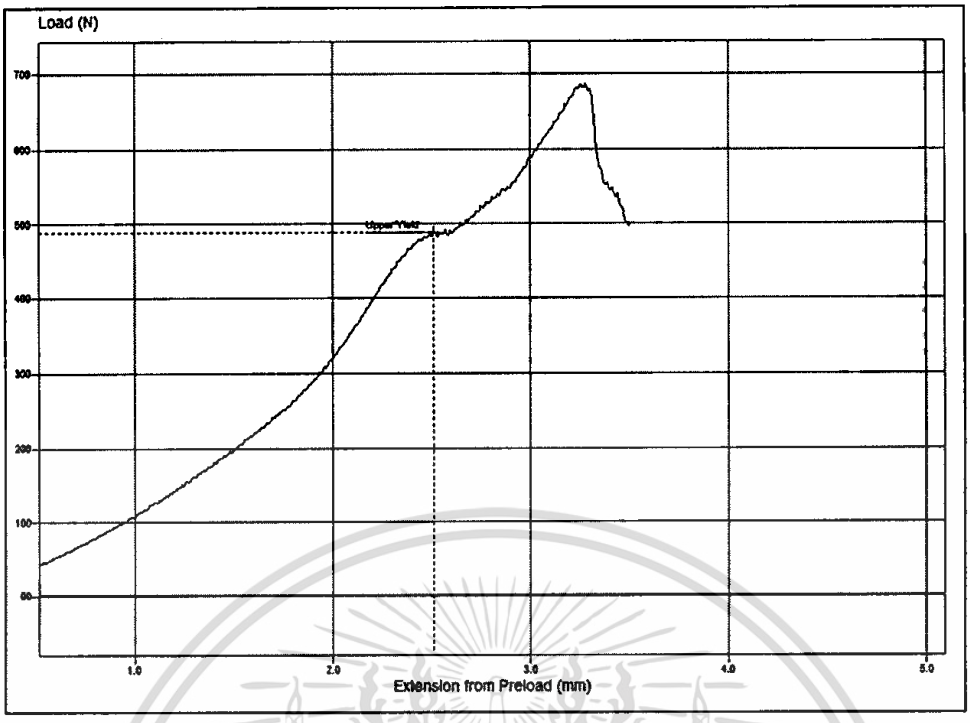


ภาพที่ ค.30 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C



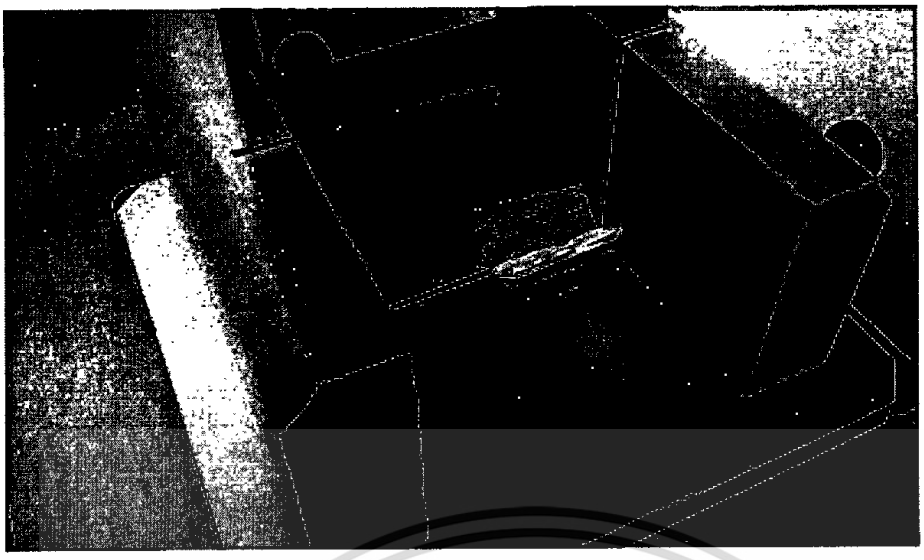
ภาพที่ ค.31 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค.32 กราฟต้านแรงเฉือนตั้งฉากกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

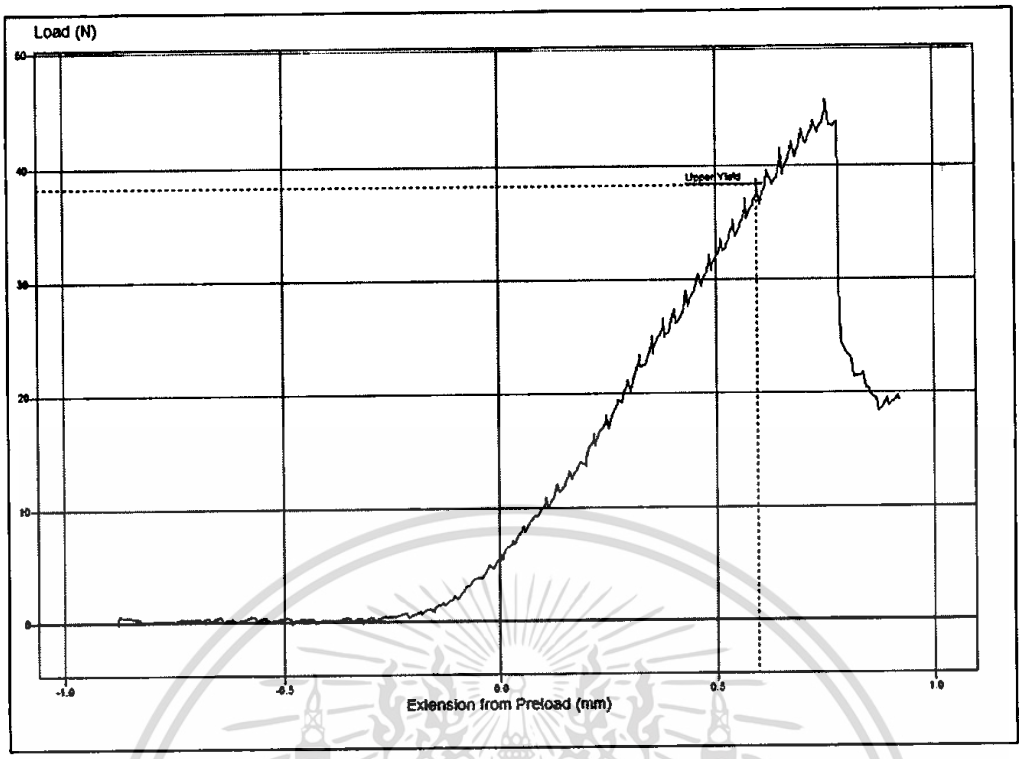


ภาพที่ ค.33 การทดสอบแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบ

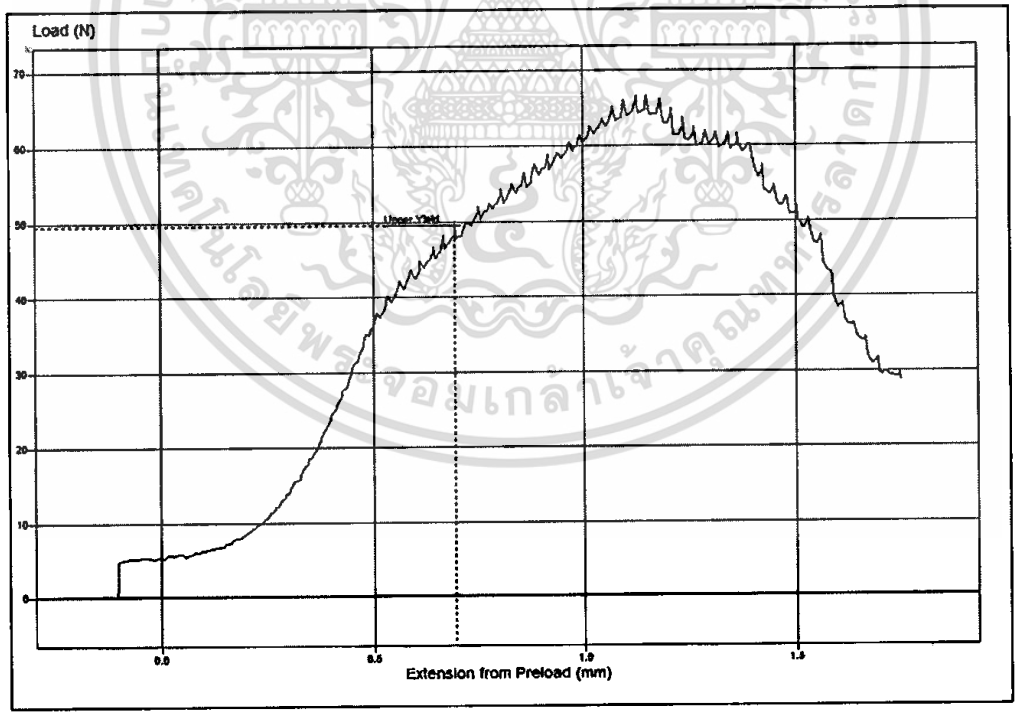
ตาราง ค.3 ผลการทดสอบแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบ

Sample Test	Width (mm)	Thick-ness (mm)	Area (mm^2)	Load at Upper Yield (N)	Stress at Upper Yield (Mpa)	Strain at Upper Yield
Sample 1	21.1	1.32	27.852	38.336	1.4098	0.065316
Sample 2	21.3	1.36	28.968	49.464	1.8095	0.070483
Sample 3	20.9	1.36	28.424	51.878	1.9265	0.072781
Sample 4	21.3	1.34	28.542	25.823	0.98823	0.046855
Sample 5	20.1	1.34	26.934	40.456	1.5024	0.072228
Sample 6	19.8	1.34	26.532	20.986	0.77526	0.048494
Sample 7	20.2	1.38	27.876	21.484	0.79766	0.047149
Sample 8	20.6	1.32	27.192	49.056	1.8489	0.080757
Sample 9	20.5	1.36	27.880	31.530	1.1657	0.059257
Sample 10	19.6	1.38	27.048	20.948	0.79397	0.038934
Sample 11	20.1	1.32	26.532	31.154	1.1518	0.073904
Sample 12	20.2	1.34	27.068	20.355	0.73383	0.039780
Sample 13	20.8	1.38	28.704	35.276	1.2289	0.099480
Sample 14	20.2	1.32	26.664	34.286	1.2858	0.072395
Sample 15	20.6	1.36	28.016	38.310	1.4158	0.067989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

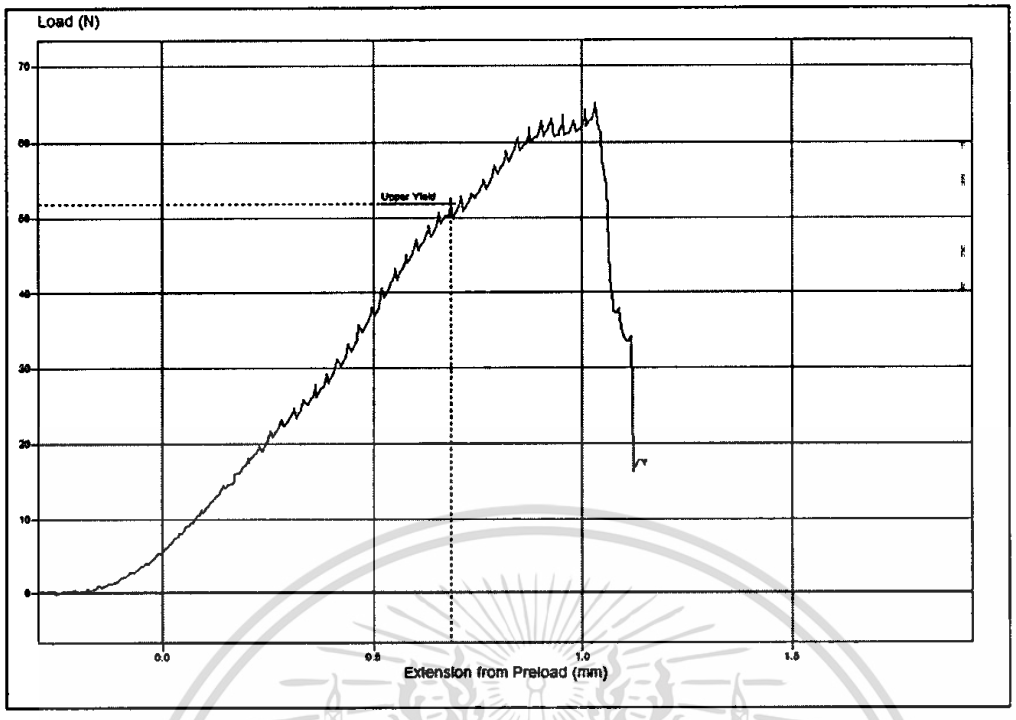


ภาพที่ ค.34 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบลมร้อน 50 °C

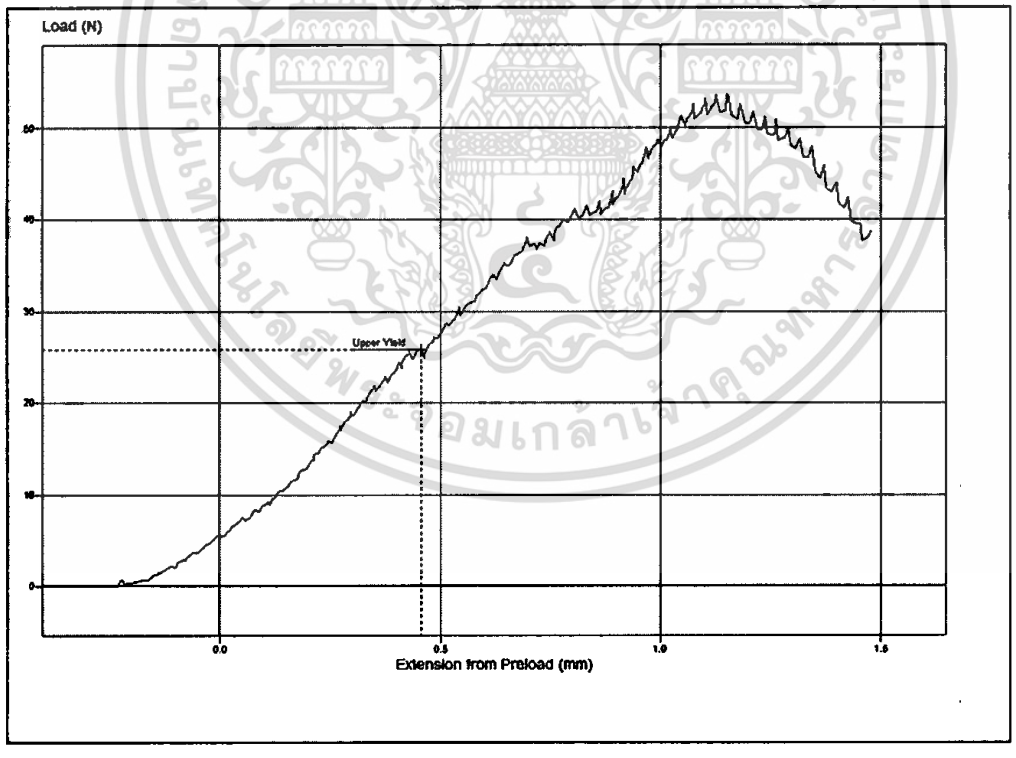


ภาพที่ ค.35 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบลมร้อน 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

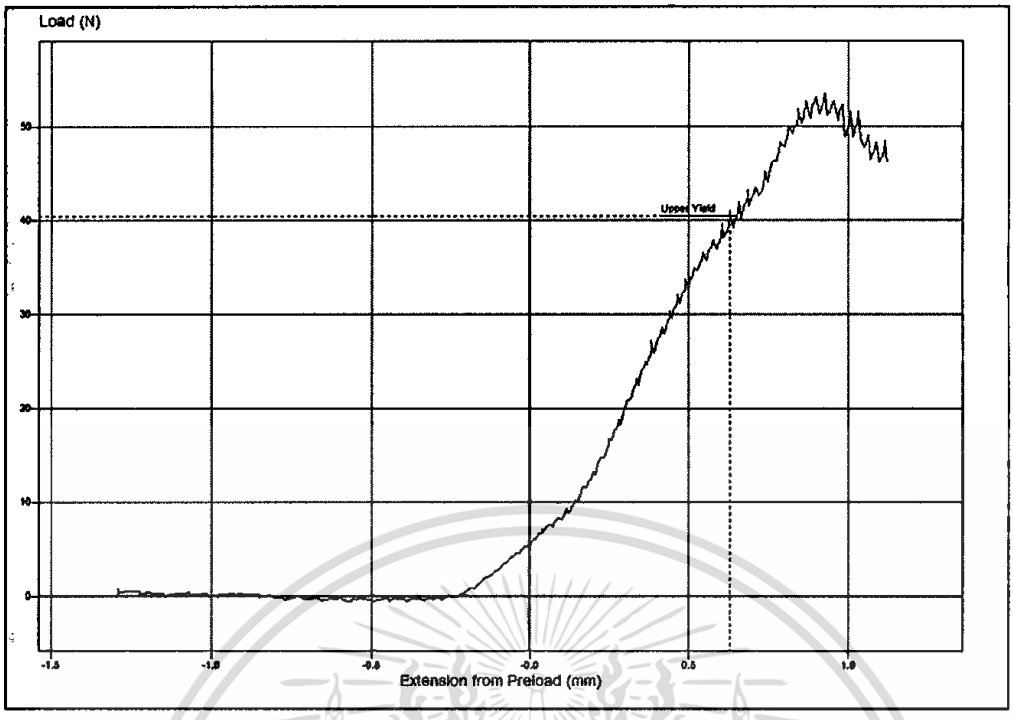


ภาพที่ ค.36 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบลมร้อน 90 °C

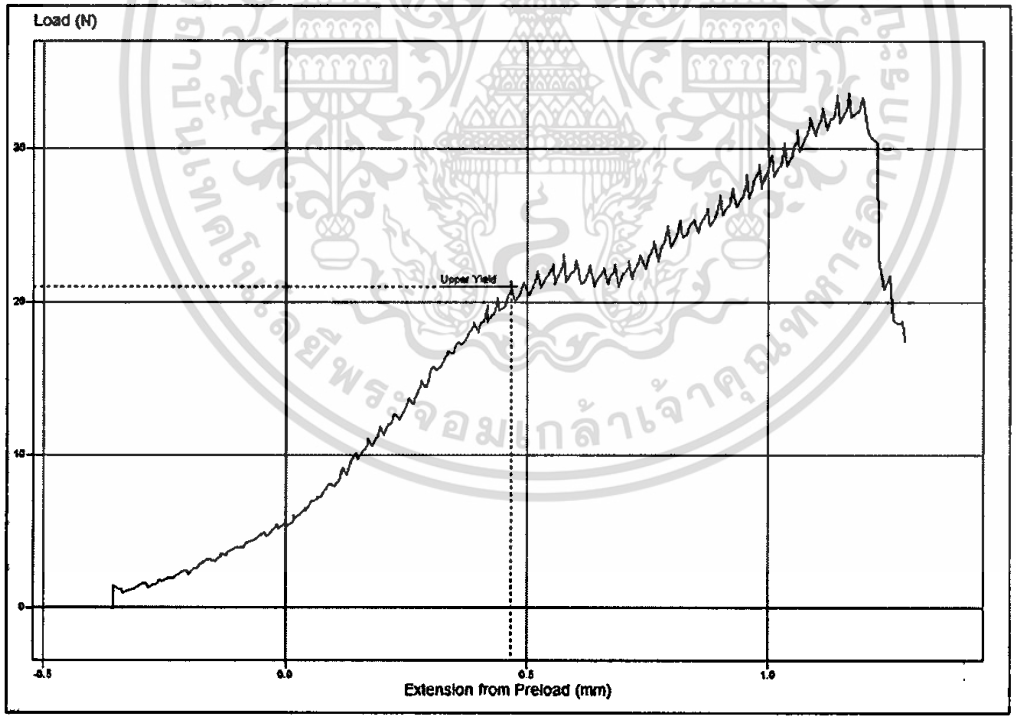


ภาพที่ ค.37 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

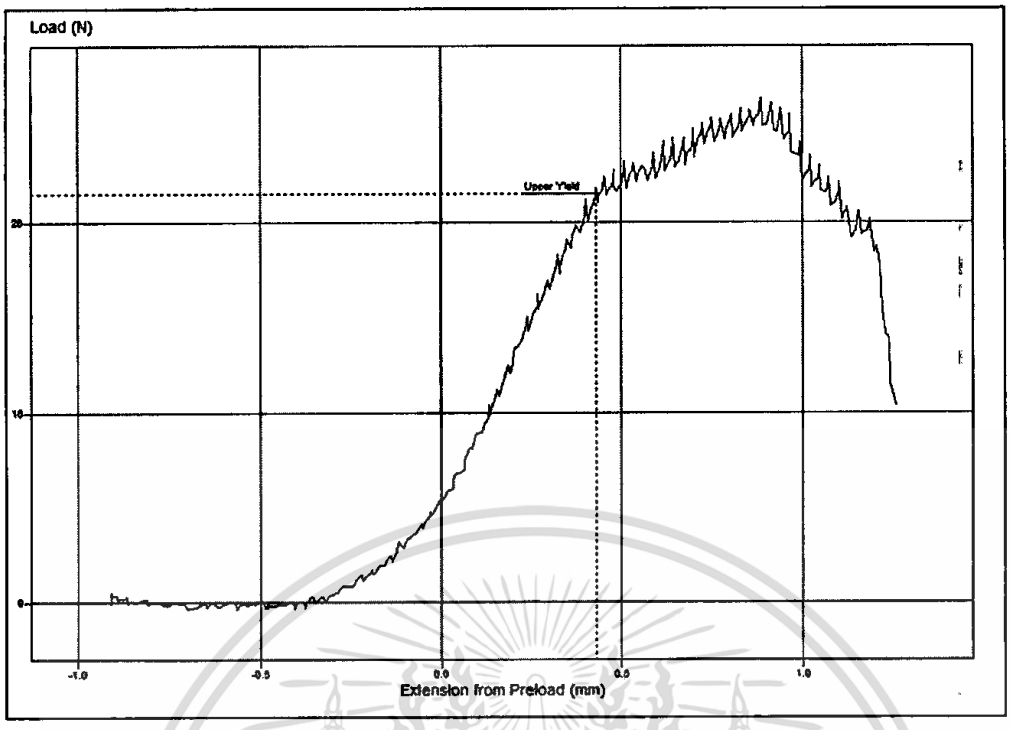


ภาพที่ ค.38 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W

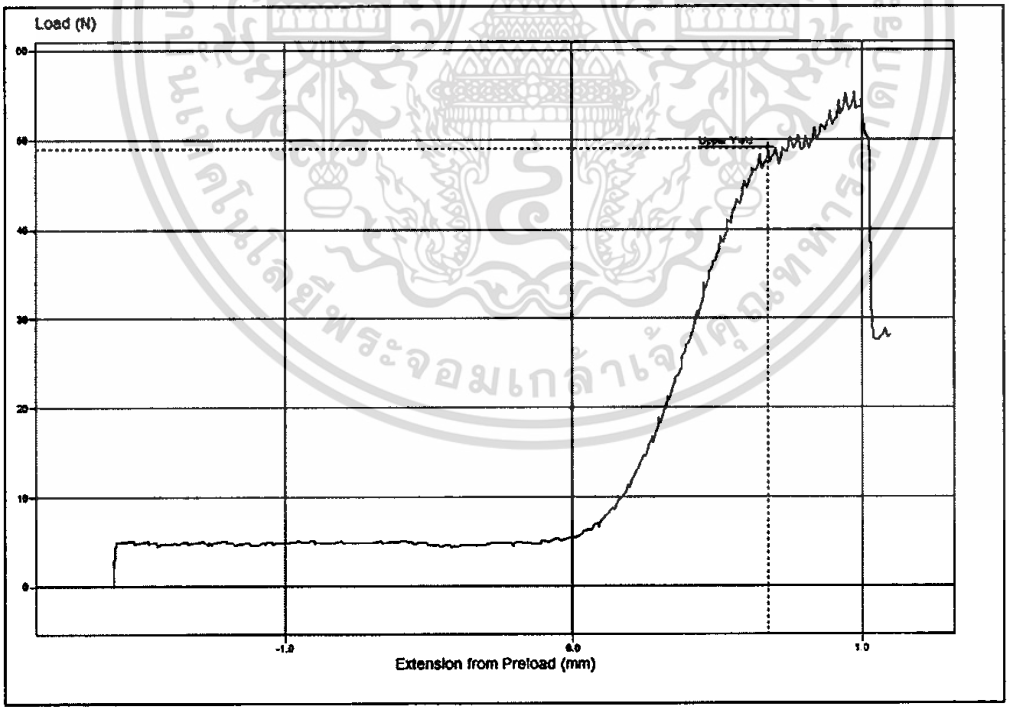


ภาพที่ ค.39 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

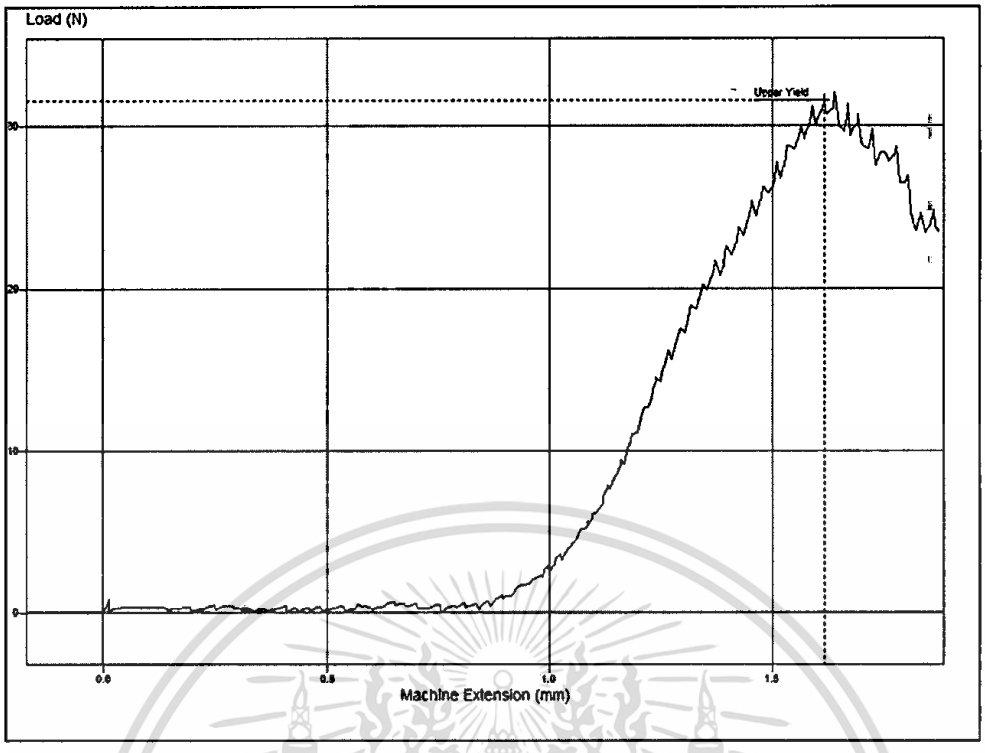


ภาพที่ ค.40 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C

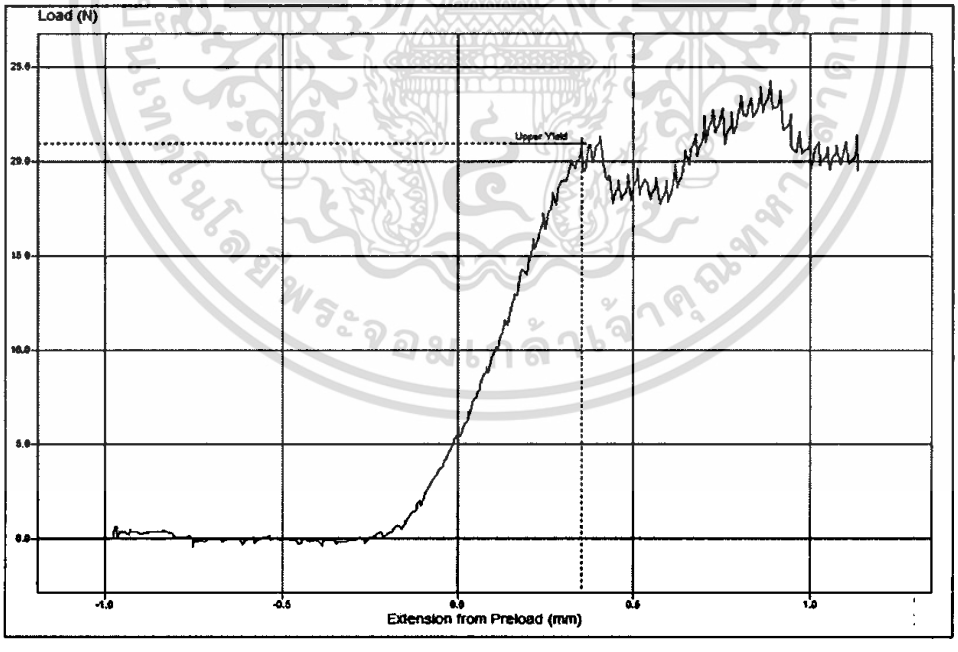


ภาพที่ ค.41 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

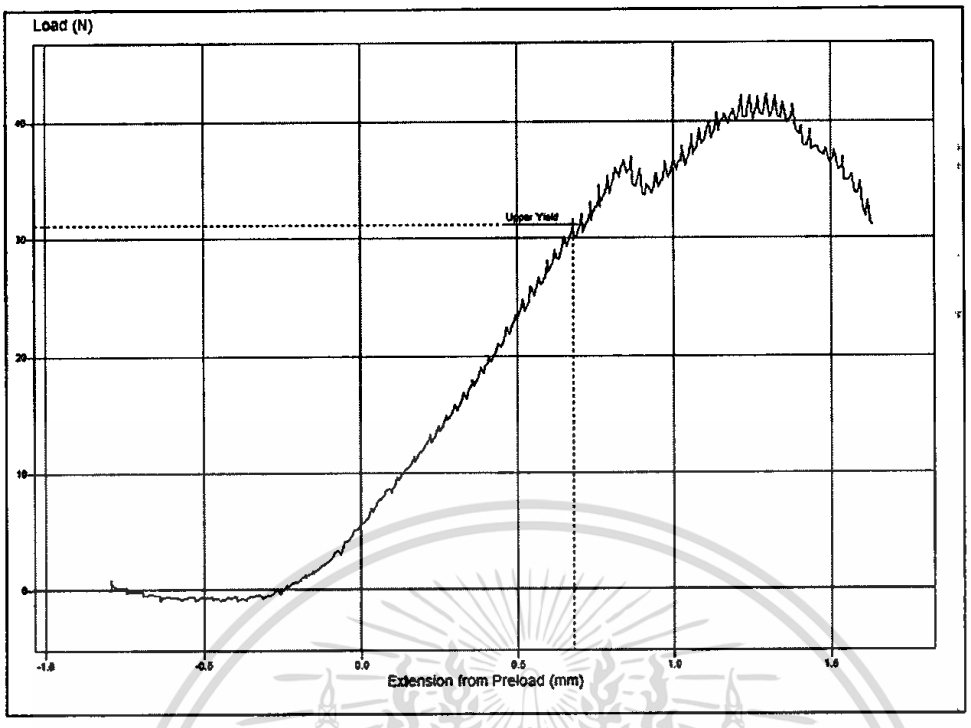


ภาพที่ ค.42 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C

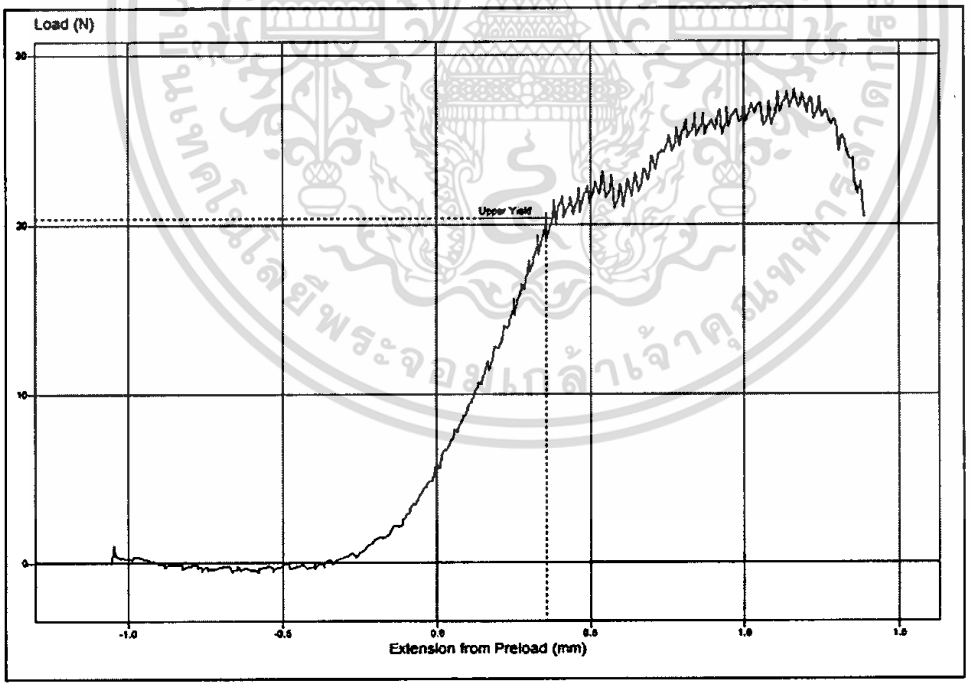


ภาพที่ ค.43 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

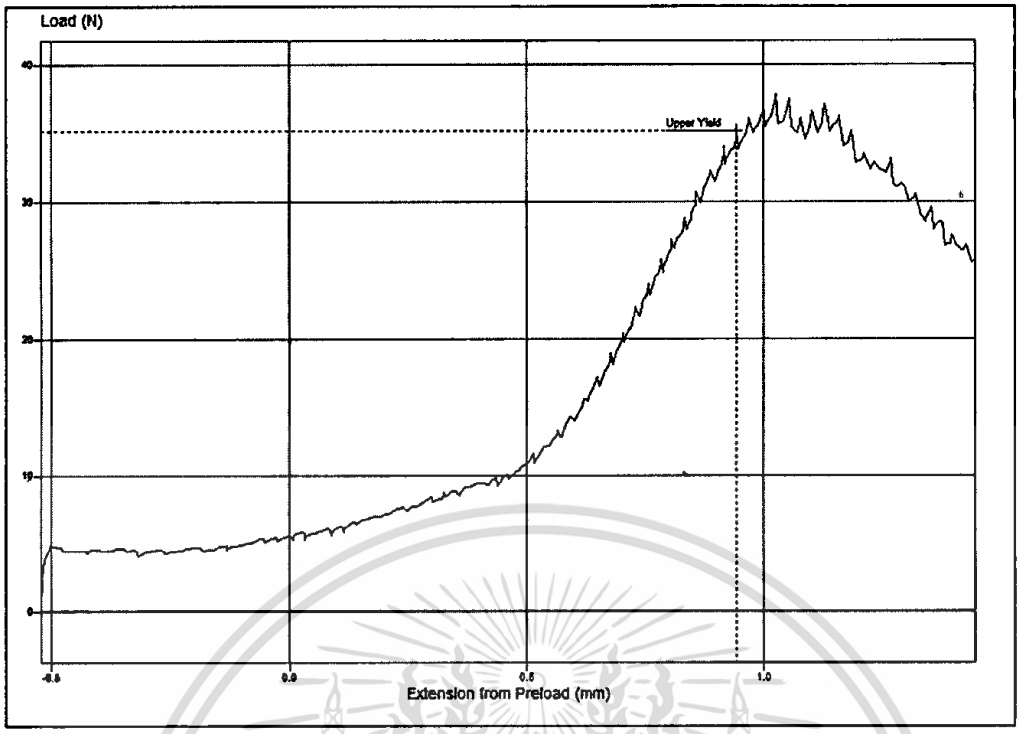


ภาพที่ ค.44 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C

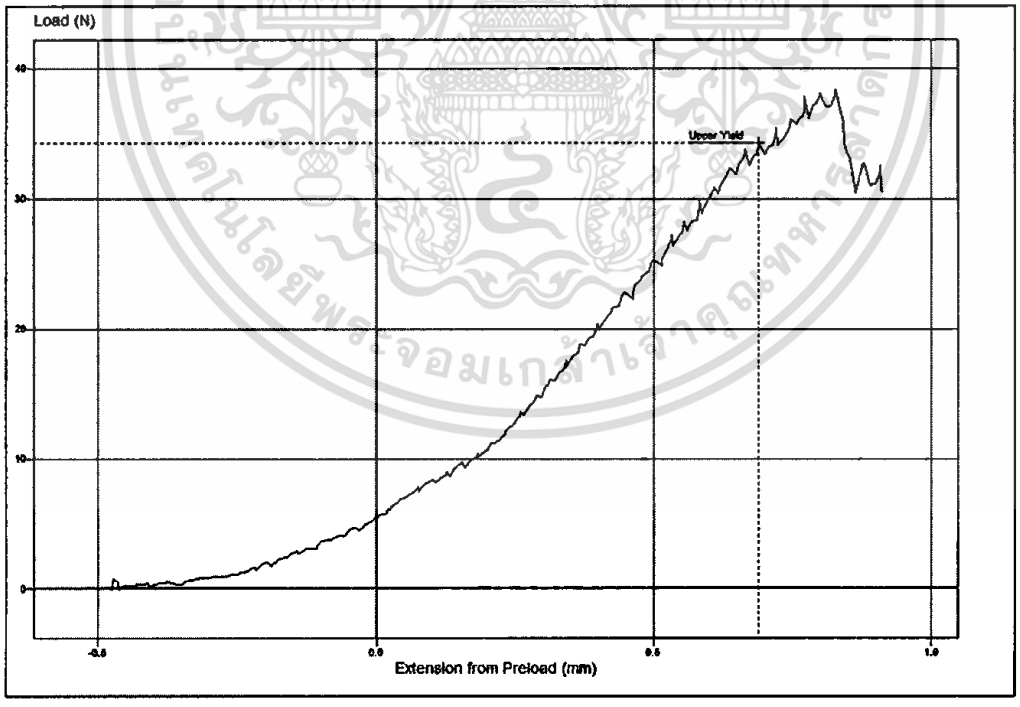


ภาพที่ ค.45 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

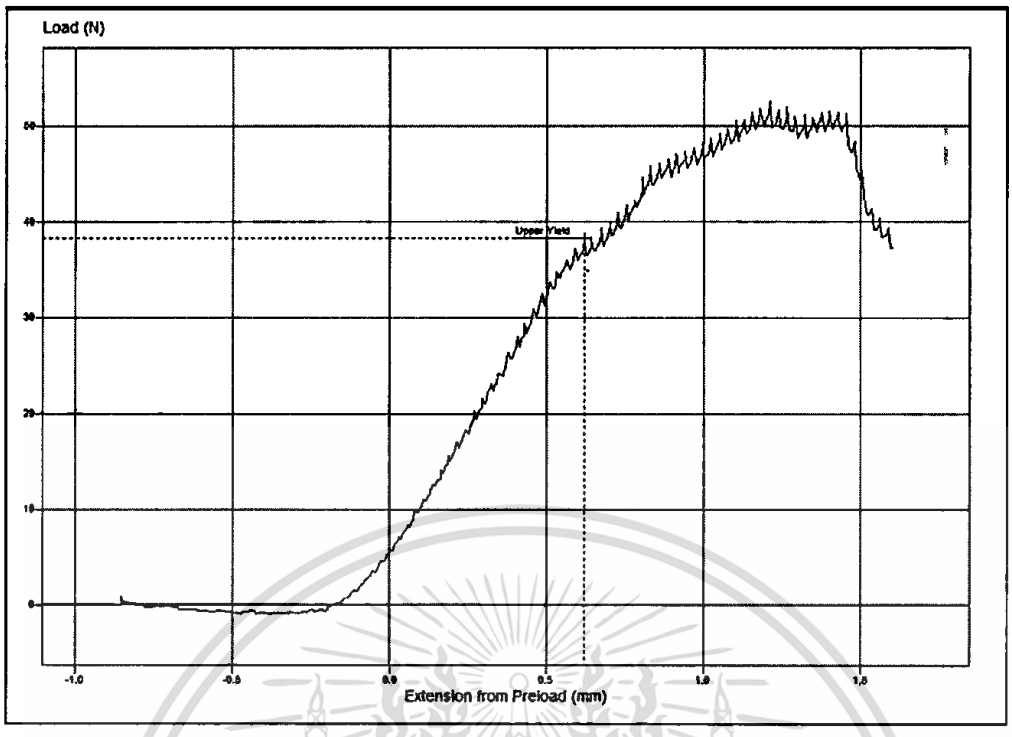


ภาพที่ ค.46 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C



ภาพที่ ค.47 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



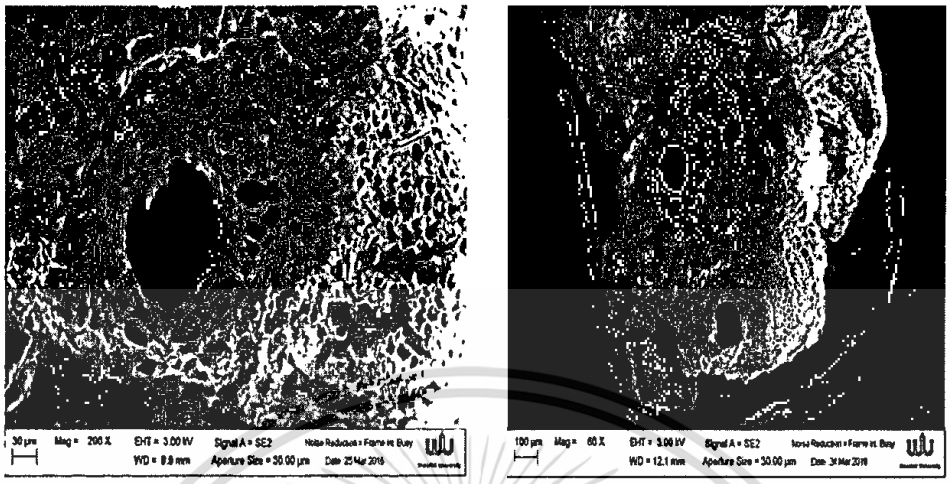
ภาพที่ ค.48 กราฟต้านแรงเฉือนขนานกับเสี้ยนของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับ ลมร้อน 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

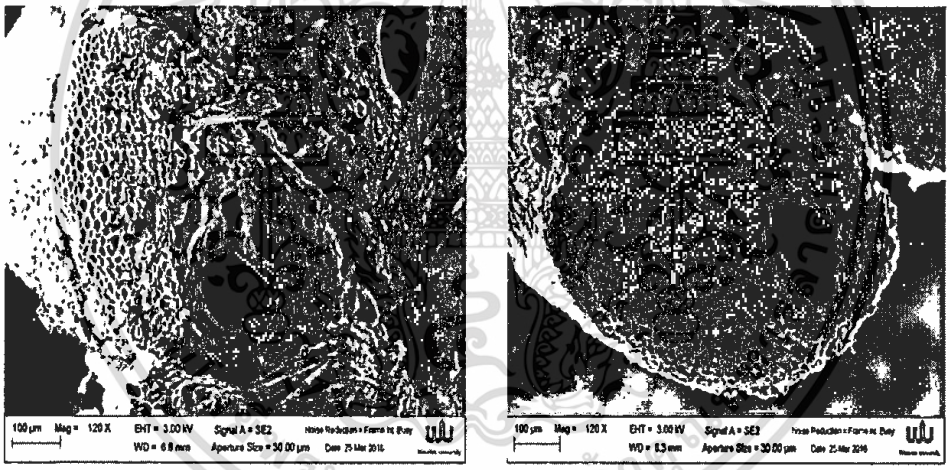
ภาคผนวก ง.
การวิเคราะห์ภายที่ผ่านการอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป(SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ภายที่ผ่านการอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป (SEM)

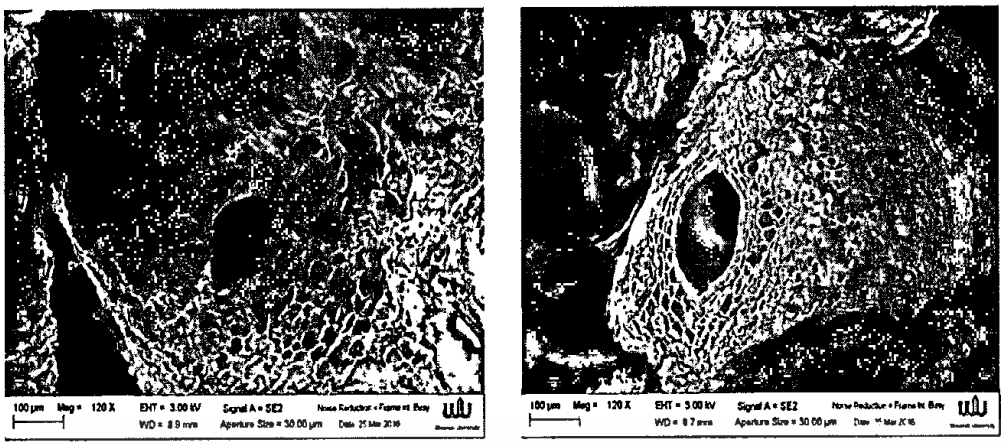


ภาพที่ ง.1 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 50 °C

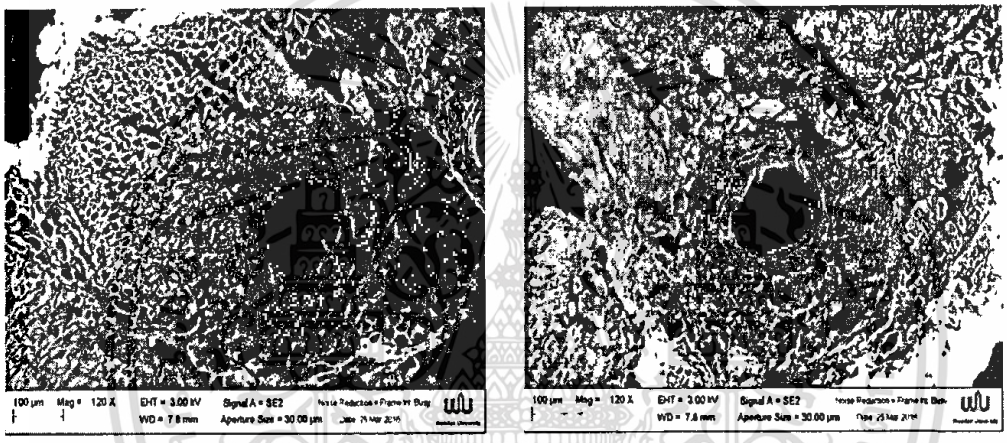


ภาพที่ ง.2 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 70 °C

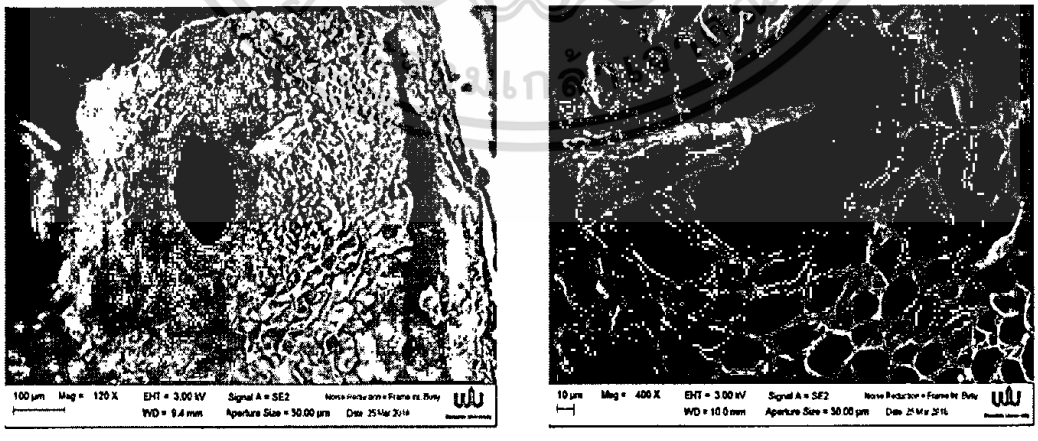
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ง.3 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยลมร้อน 90 °C

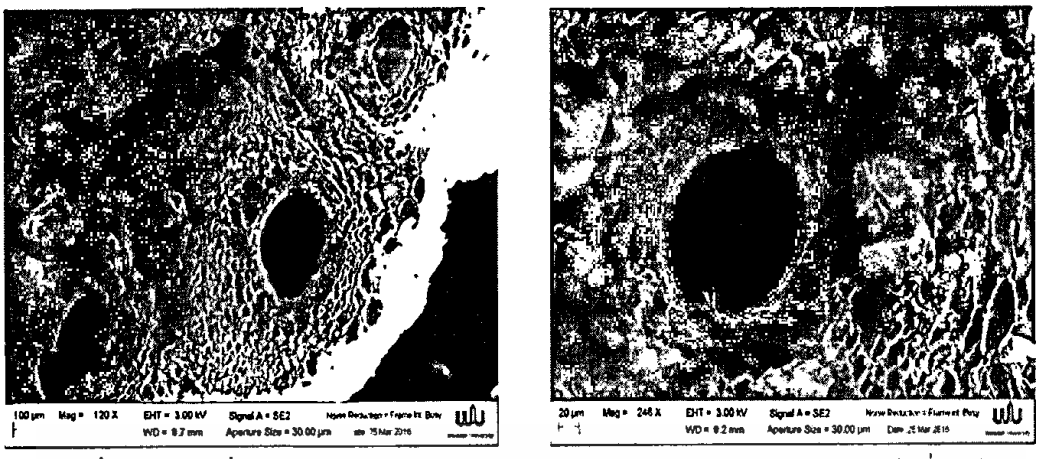


ภาพที่ ง.4 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W

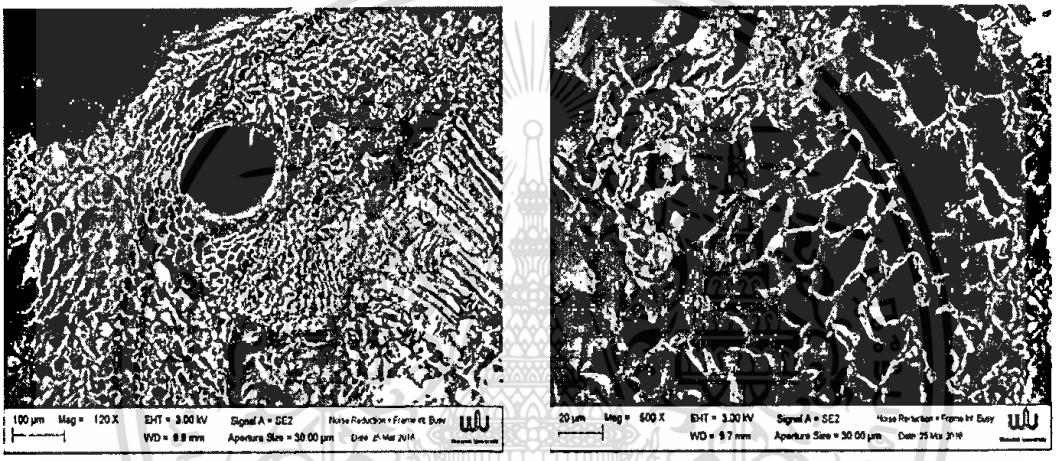


ภาพที่ ง.5 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W

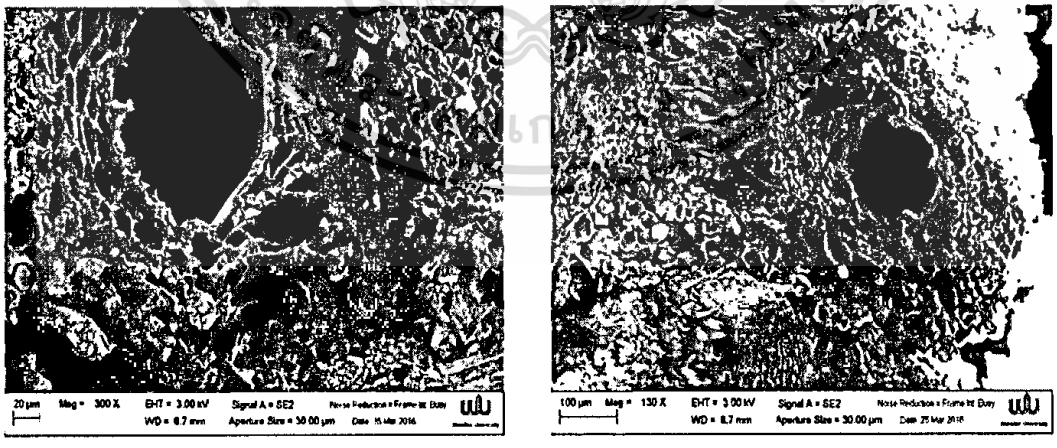
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ง.6 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W

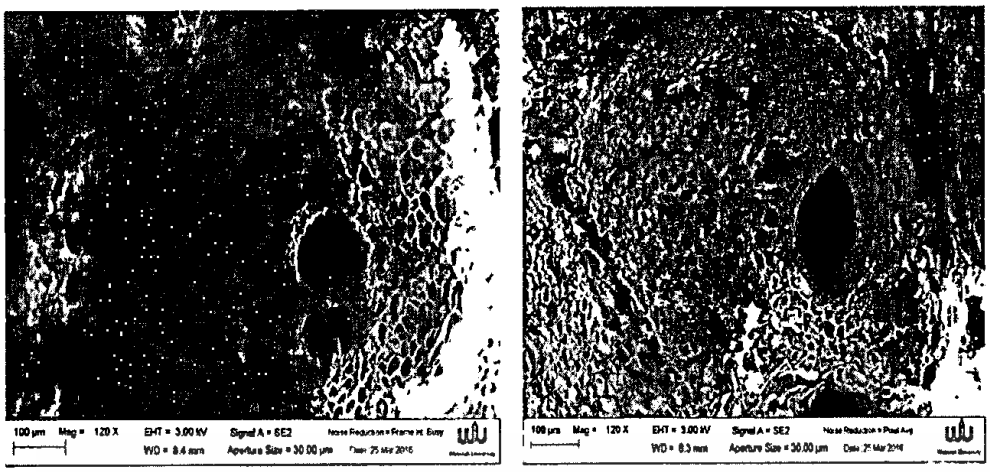


ภาพที่ ง.7 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C

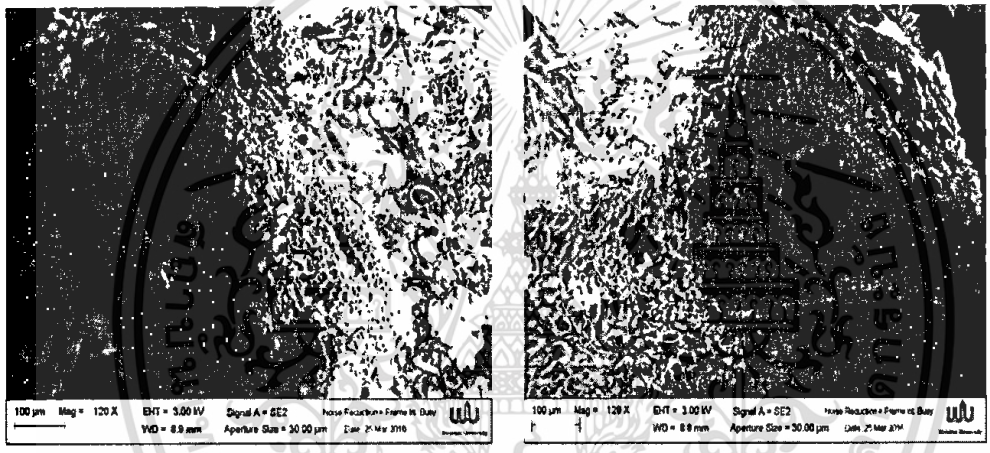


ภาพที่ ง.8 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C

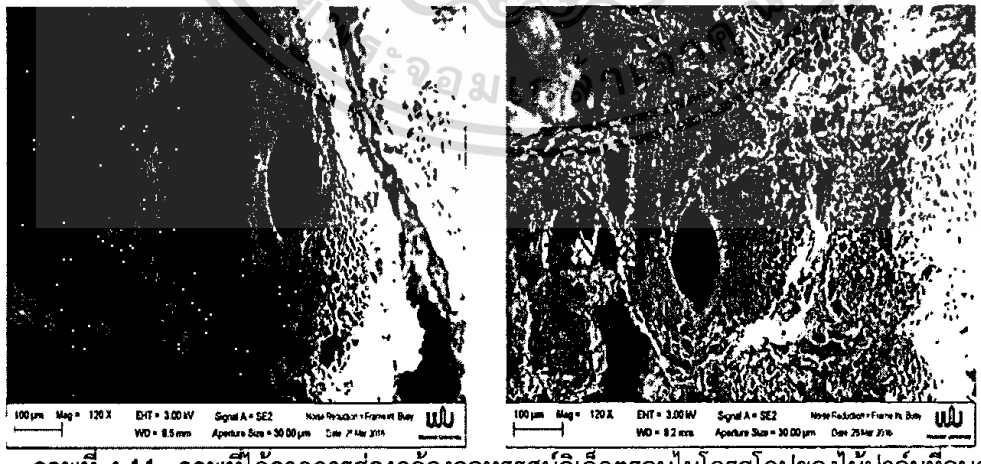
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ง.9 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 1,800 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C

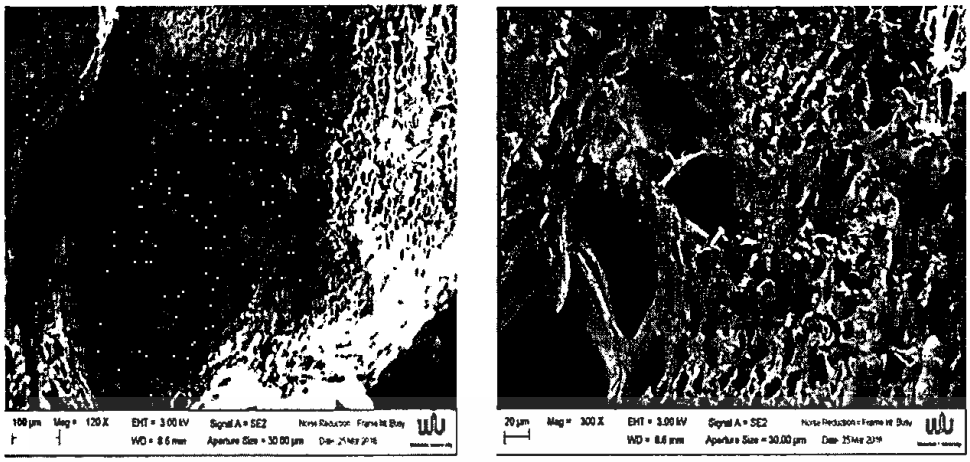


ภาพที่ ง.10 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C

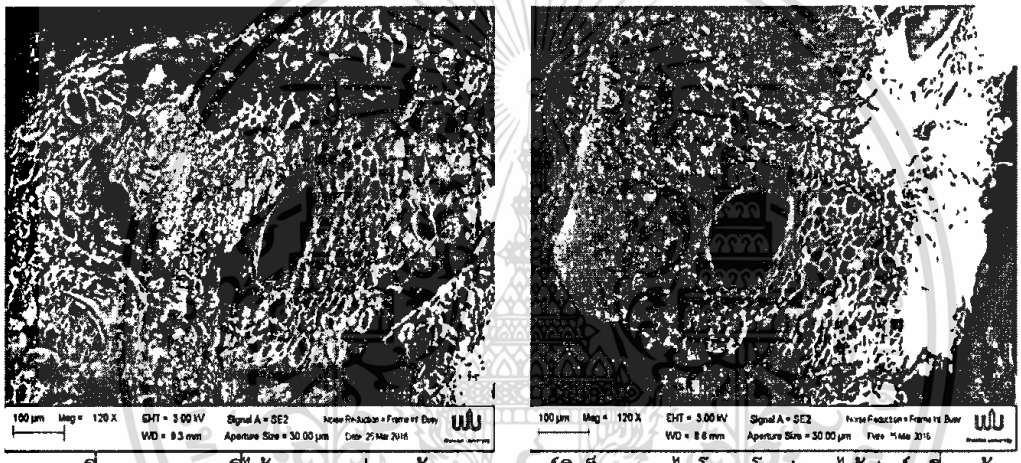


ภาพที่ ง.11 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C

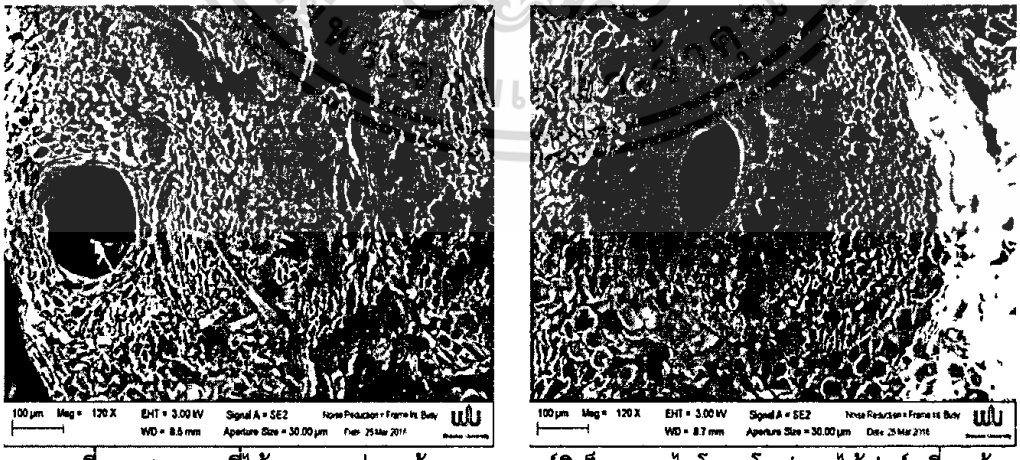
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ง.12 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 2,400 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C

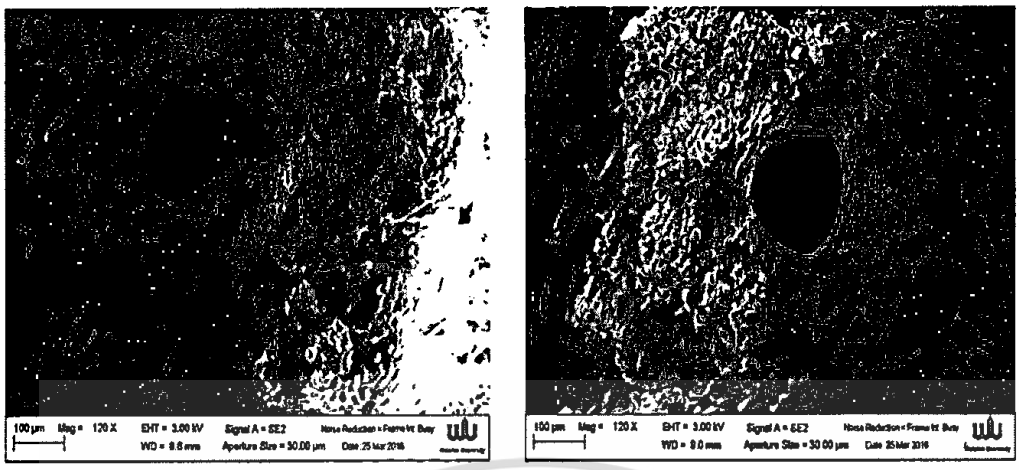


ภาพที่ ง.13 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 50 °C



ภาพที่ ง.14 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200W ร่วมกับลมร้อน 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ง.15 ภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปของไม้ปาล์มที่อบด้วยไมโครเวฟ 3,200 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย ให้แนบแบบรายงานการใช้จ่ายเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสโครงการ/รหัสสัญญา.....

แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 4 รอบ 12 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2559
หน่วยงาน วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

☑ แหล่งงบประมาณแผนดิน (แบบปกติ) ☐ แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาเครื่องอบไม้บางจากลำต้นปาล์มน้ำมันด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกันลมร้อนโดยใช้สายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง

(ภาษาอังกฤษ) Education of drying for veneer wood of palm oil trunk by microwave combine hot air by using a continuous conveyor

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย (อ./ดร./ผศ./รศ./ศ.) ปัญญา แดงวิไลลักษณ์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2558 ถึงวันที่ 30 ส.ค. 2559

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี - เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ต.ค. 2558 ถึงวันที่ 30 ก.ย.255 9

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1 410,210 บาท 85 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) 11 พ.ย. 2558

งวดที่ 2 72,390 บาท 15 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) 1 ก.ค. 2559

2. <u>สรุปงบประมาณค่าใช้จ่าย</u>ที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร :ค่าจ้างชั่วคราว	111,600	111,600	
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน			
ค่าใช้สอย	81,000	142,161	
ค่าวัสดุ	290,000	228,839	
ค่าสาธารณูปโภค			
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	-		
รวม	482,600	482,600	

.....
(ผศ.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์)
ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน
...../...../.....

.....
(.....)
ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน/เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง
...../...../.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

1.ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ-สกุล ผศ.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์

ตำแหน่งปัจจุบัน ประธานหลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร หมู่ 6 ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160 โทรศัพท์ และโทรสาร 0-77 59-1450, 086-7546234 e-mail : kdpanya@kmitl.ac.th

1.1 ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชาเอก	วิชาเอก	สถาบันการศึกษา	ประเทศ
2542	โท	วศ.ม.	วิศวกรรมเครื่องกล	Thermo fluids	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ไทย
2539	ตรี	วศ.บ.เกียรตินิยมอันดับ 2	วิศวกรรมเครื่องกล	-	มหาวิทยาลัยสยาม	ไทย

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

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2559	ครูผู้สอนดีเด่น	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

ประชุมวิชาการในระดับชาติ

1.ศิระ สายศร, วสันต์ ด้วงคำจันทร์, **ปัญญา แดงวิไลลักษณ์** "การศึกษากลไกการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วมกับฟลูอิดไดซ์เบด"การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18, หน้าที่ 860-863. ตุลาคม 2547, จ.ขอนแก่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ศิระ สายศร **ปัญญา แดงวิไลลักษณ์** "การเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวโพดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟและเครื่องอบแห้งแบบหมุนวนร่วมกับไมโครเวฟ", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, หน้าที่ 1079-1084. ตุลาคม 2548, จ.ภูเก็ต

3.**ปัญญา แดงวิไลลักษณ์** จำลอง ปราบแก้ว."เครื่องบีบน้ำมันปาล์มขนาดเล็กสำหรับกลุ่มเกษตรกร", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, หน้าที่ 360-365. ตุลาคม 2548, จ.ภูเก็ต

4.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.

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

6.**ปัญญา แดงวิไลลักษณ์**, ศิระ สายศร "เครื่องบีบน้ำมันปาล์มแบบสายพานกรองอัดขนาดเล็กสำหรับกลุ่มเกษตรกร" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2018-20 ตุลาคม 2549 จังหวัดนครราชสีมา

7.กฤช สมนึก **ปัญญา แดงวิไลลักษณ์** วชร กาลาสี "พัฒนาการอบปาล์มน้ำมันด้วยไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง"การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ ,22 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

8.**ปัญญา แดงวิไลลักษณ์** จำลอง ปราบแก้ว "เครื่องแยกผลปาล์มออกจากทะลายแบบลากจูง"การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ ,22 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

9.**ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ และ** กฤช สมนึก "เครื่องเคลือบไขผลส้มโอ"การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 10 ประจำปี 2552,1 – 3 เมษายน 2552 ณ สุรสัมมนาคาร ม. เทคโนโลยีสุรนารี

10.**ปัญญา แดงวิไลลักษณ์,** วชร กาลาสี "การพัฒนาเครื่องไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่องในการอบผลหมาก"การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 4 – 7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่

11.**ปัญญา แดงวิไลลักษณ์** "การทำความเย็นแบบแอร์ฟอร์ชคูลลิ่งสำหรับกล้วยเล็บมือนางบรรจุกล่อง"การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

12.**ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ และ** จำลอง ปราบแก้ว **"การพัฒนาเครื่องแยกเนื้อและเมล็ดปาล์มกึ่งอัตโนมัติสำหรับกลุ่มเกษตรกร"** การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

13.พุทธิพงศ์ เลขะชัยวรกุล, **ปัญญา แดงวิไลลักษณ์**, ณัฐวุฒิ ประภากุล, ทัตเทพ ไกยสิทธิ์, ภาคภูมิ รอดอุปการ, สุวโรจน์ จันทร์ศรี "การศึกษาการอบไม้บางจากไม้ปาล์มฐ้ามันด้วยลมร้อน/ไมโครเวฟ : จลนพลศาสตร์และการทดสอบแรงดึง" การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 1 The 1st National Conference on

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Sciences and Technology 2016

ประชุมวิชาการในระดับนานาชาติ

1.Patara Suppatkul, **Panya Daungvilailus** and Chamlong Prabkeao. "Development of Palm Oil Pressing Machine Without Sterilization Process" International Workshop Strengthening the Application of Agricultural Engineering and Post harvest Technology for Effective and Sustainable Development in Agricultural Production, pp 129, Dec 2005, Hanoi, Vietnam

2.**Panya Daungvilailus** "Para rubber seed cracking and separating machine" International Workshop Strengthening the Application of Agricultural Engineering and Post harvest Technology for Effective and Sustainable Development in Agricultural Production, pp 129, Dec 2005, Hanoi, Vietnam

3.**Panya Daungvilailux**, Charuwat Chareonsuk."Development Of Cashew Kernel(Anacardium Occidentale Of Fumigato) With Microwave By Using A Continuous Belt, The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering 19-21 October, 2011, Krabi

4.**Panya Daungvilailux**, The study of separate machine crude palm oil with hot water and centrifugation from mesocarp palm for farmer usage, The International conference of the Thai Society of Agricultural Engineering 2012, April 4 – 5, 2012, Chiangmai, Thailand

5.**Panya Daungvilailux**, Jarruwat Charoensuk, Evaluation of oil palm wood drying process using Microwave by using a Continuous Belt., The 3rd TSME International Conference on Mechanical Engineering 24-27 October 2012, Chiang Rai

6.**Panya Daungvilailux**, The study of drying oil palm fruit with hot air using cylindrical tank. , The 4th TSME International Conference on Mechanical Engineering 16-18 October 2013, Pattaya, Chonburi

7.**Panya Dangvilailux**, Warunee Limmun, The Palm Nut Cracking Machine with Rotor type., The 5th TSME International Conference on Mechanical Engineering 17-19th December 2014, Chiang Mai

8. Naruebodee srisang, Chairat phetkeri, **Panya daungvilailux**, Germinated Cereals Drying Using Hot Air Fluidization Technique Combined with Halogen Lamp. proceedings of 40th the ires international conference, zurich, switzerland, 10th june 2016.

9. **Panya Dangvilailux**, Jarruwat Charoensuk, The study of microwave and hot air drying on mechanical properties of oil palm timbers., The 9th Thai Society of Agricultural Engineering Internatial Conference, 8-10 September 2016

10. **Panya Dangviluilux**, Dithaporn Thungsotanon and Chompoonud Kulketwong. The Study machine separate of nut and kernel palm by Hydro-cyclone. The 9th Thai Society of Agricultural Engineering Internatial Conference, 8-10 September 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

สิ่งประดิษฐ์ " เครื่องแยกผลปาล์มจากทะลาย ชนิดถังกลมและฐานหมุน"จำลอง ปราบแก้ว , จารุวัตร เจริญสุข และ **ปัญญา แดงวิไลลักษณ์** " ผลงานดีเด่น สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี พ ศ.2545ได้รับอนุสิทธิบัตร เลขที่ 1339 เมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2546. และได้เผยแพร่ใน วารสารสมาคมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ปีที่ 2 เล่มที่ 3 ประจำเดือนกุมภาพันธ์- มีนาคม 2546 , วารสาร UP DATE, ปีที่ 18 ฉบับที่ 185 ประจำเดือน มกราคม 2546. และจดหมายข่าว ปาล์มน้ำมัน ปีที่ 3 ฉบับที่ 4 เดือน ธันวาคม – กุมภาพันธ์ 2545

อื่นๆ

ประสบการณ์ด้านที่ปรึกษา

1.ที่ปรึกษาพัฒนาอุตสาหกรรมของศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาค 10 กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม บริษัทเข้าร่วมโครงการ บริษัท สมอทองน้ำมันปาล์ม จำกัด ปี 2556-2557

2.ที่ปรึกษา บริษัท ศรีสุขปาล์ม จำกัด ปี 2555-ปัจจุบัน

3.ที่ปรึกษา ตำแหน่งวิศวกรรมเครื่องกล "โครงการปรับปรุงและพัฒนาระหัดวิดน้ำ" ของ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ปี 2557-2558

4. ที่ปรึกษา ตำแหน่งวิศวกรรมเครื่องกล "โครงการศึกษาการสูบน้ำด้วยกังหันลมในพื้นที่การเกษตร"ของ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ปี 2558-2559

5.ที่ปรึกษา ตำแหน่งวิศวกรรมเครื่องกล "การบูรณาการจัดทาแผนรองรับยุทธศาสตร์สินค้าเกษตรเป็นรายพืชเศรษฐกิจ 4 สินค้า เพื่อผลิตพลังงานทดแทน"ของ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ปี 2560

6.ที่ปรึกษา ตำแหน่งหัวหน้าโครงการ "กิจกรรมพัฒนาการรวมกลุ่มและเชื่อมโยงอุตสาหกรรม (Industrial Cluster Development) กลุ่มอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปีที่ 2 ภายใต้โครงการสร้างและพัฒนาเครือข่าย และการรวมกลุ่มอุตสาหกรรมในรูปแบบคลัสเตอร์"ของ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ปี 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1.ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายศรีรัตน์ ช่วยบุญ

2. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Srirat Chuayboon

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

มือถือ 087-7479115 e-mail: ksadirek@kmitl.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2553
วศ.ม.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2556

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

1.Internal Combustion Engine 2. Biomass

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

Journal Papers:

S. Chuayboon, S. Prasertsan, T. Theppaya, K. Maliwan and P. Prasertsan, Effects of CH_4, H_2 and CO_2 Mixtures on SI Gas Engine, Energy Procedia, 2013 (Accepted).

Conference:

S. Chuayboon, S. Prasertsan, T. Theppaya, K. Maliwan and P. Prasertsan, 2013. Effects of CH_4, H_2 and CO_2 Mixtures on SI Gas Engine. International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies, Bangkok, Thailand, 30-31 May 2013.

ศรีรัตน์ ช่วยบุญ สุธีระ ประเสริฐสรรพ์ กิตตินันท์ มลิวรรณ ฐานันดร์ศักดิ์ เทพญา และพูนสุข ประเสริฐสรรพ์ การวิเคราะห์ราคาเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานร่วม การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26 ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย

- โครงการวิจัยที่รับการสนับสนุน

1. โครงการวิจัย เรื่อง การผลิตไฮโดรเจนและมีเทน (ไบโอไฮเทน) จากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการหมักไร้อากาศแบบสองขั้นตอนที่อุณหภูมิสูงและประยุกต์ใช้ไบโอไฮเทน" ที่สนับสนุนโดยสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (สวก.) ตำแหน่ง ผู้ร่วมวิจัย (สถานะงาน : โครงการวิจัยเสร็จสิ้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล นางสาววารุณี ลิ่มมั่น
Miss Warunee Limmun

2. เลขหมายประจำตัวประชาชน -

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. หน่วยงานที่อยู่ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร17 ม.6 ต. ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160
โทรสาร. 0-77591445 อีเมลล์: klwarune@kmitl.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยศิลปากร	2551
วศ.ม.	เทคโนโลยีพลังงาน	ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2553

6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

การออกแบบเครื่องจักรกลด้วย CAD (Computer-aided design), กระบวนการผลิตไบโอดีเซล, พลังงานทดแทน

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

"Production of Biodiesel Using Non-Thermal Energy Reactor", Limmun, W., Pairintra, R. and Krisnangkura, K., 2010, Conference on Energy Technology Network of Thailand; E-NETT, May 5-7, Holiday Inn Resort Regent Beach Cha-Am.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล ดร.นฤบดี ศรีสังข์
Dr. Naruebodee Srisang

2. เลขหมายประจำตัวประชาชน -

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. หน่วยงานที่อยู่ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร17 ม.6 ต. ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160
โทรสาร. 0-77591445 อีเมลล์: oat_2520@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2543
วศ.ม.	เทคโนโลยีพลังงาน	ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2547
ปร.ด.	เทคโนโลยีพลังงาน	ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2554

6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

1. เทคโนโลยีการใช้พลังงานทดแทน
2. เทคโนโลยีการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

1. ผลงานตีพิมพ์ภายในประเทศ

- นฤบดี ศรีสังข์, เพชรรัตน์ คุณานพรัตน์, ศิริชัย เทพา, พิชัย นามประกาย และรัตนชัย ไพรินทร์, 2004, "A Development of Solar for Brooding Broiler Chicks", "Innovation of Agricultural Engineering for Increasing The Product'' The 5th Thainational Association of Agricultural Engineering Conference, April 26-30, Bangkok, Thailand.
- นฤบดี ศรีสังข์, ทรงธรรม ไชยพงษ์, ปราโมทย์ กุศล, วชร กาลาสี, 2549, "ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคผงชอล์กของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต", **นเรศวรวิจัยครั้งที่ 2**, กรกฎาคม 26-28, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก
- วชร กาลาสี, นฤบดี ศรีสังข์, ภัทร สุพพัตกุล และ พีระพงศ์ ทีฆสกุล, 2549, "ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต: ส่วนที่ 1 อนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้ง", **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20**, ตุลาคม 18-20, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา
- นฤบดี ศรีสังข์, จรัสชัย เย็นพยับ, พีระพงศ์ ทีฆสกุล และ วชร กาลาสี , 2549, "ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคเขม่าควันของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต: ส่วนที่ 2 ผลกระทบของความต่างศักย์", **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20**, ตุลาคม 18-20, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นฤบดี ศรีสังข์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และวารุณี วารัญญานนท์, 2553, "ผลกระทบของตัวกลางอบแห้งและอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอก", **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, ฉบับที่ 41(พิเศษ), เล่มที่ 3/1, หน้า 397-400.
- นฤบดี ศรีสังข์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และวารุณี วารัญญานนท์, 2552, "การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยฟลูอิไดซ์เบดแบบอากาศร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่ง", **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, ฉบับที่ 40 (พิเศษ), เล่มที่ 3, หน้า 285-288.
- นฤบดี ศรีสังข์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และวารุณี วารัญญานนท์, 2552, "การอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยฟลูอิไดซ์เบดแบบอากาศร้อน", **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, ฉบับที่ 40 (พิเศษ), เล่มที่ 1, หน้า 449-452.

2. ผลงานตีพิมพ์ในต่างประเทศ

- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S. and Varanyanond, W., 2008, "Fluidized bed drying of germinated brown rice", **Proceedings of the 4th International Conference on Innovations in Food Processing Engineering and Technology**, Asian Institute of Technology, December 2-4, Bangkok, Thailand.
- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S. and Varanyanond, W., 2009, "Comparative study of germinated brown rice drying using hot air and superheated steam fluidized bed", **Proceedings of the 6th Asia-Pacific Drying Conference (ADC2009)**, October 19-21, Bangkok, Thailand.
- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S. and Varanyanond, W., 2010, "Effects of drying media and temperatures on the drying kinetics and quality attributes of germinated brown rice", **Proceedings of the 17th International Drying Symposium (IDS 2010)**, October 3-6, Magdeburg, Germany.
- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Varanyanond, W. and Soponronnarit, S., 2011, "Germinated brown rice drying by hot air fluidization technique", **Drying Technology**, Vol. 29, pp. 55-63.
- Srisang, N., Varanyanond, W., Soponronnarit, S. and Prachayawarakorn, S., 2011, "Effects of heating media and operating conditions on drying kinetics and quality of germinated brown rice", **Journal of Food Engineering**, Vol. 107, pp. 385-392.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้