



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วแบบประหยัดพลังงานในการผลิตน้ำมันปาล์มหีบรวม  
Drying of oil palm fruit with saving energy chamber  
by product mixed crude palm oil.

ผศ.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์  
นายวชร กาลาสี  
ดร.ศิระ สายศรี

RCH

ร/524๑

2555

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 137337

รับเดือนที่ 22 อ.ย. 2558

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

วิทยาเขตชุมพร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

b.12620051  
.....  
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ..เครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบรวม  
แหล่งเงิน ..เงินรายได้.....

ประจำปีงบประมาณ.....2555.....จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน.....180,000.....บาท

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

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

หัวหน้าโครงการ ผศ.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ วิทยาเขตชุมพร

ผู้ร่วมโครงการวิจัย นายวชร กาลาสี วิทยาเขตชุมพร

ดร.ศิระ สายศร วิทยาเขตชุมพร

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลการอบแห้งของผลปาล์มด้วยระบบลมร้อน ห้องอบมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกทำจากเหล็ก มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง 170 ซม. , ความสูง 150 ซม. และหนา 4 มม. ระบบได้มีการหมุนเวียนลมร้อนด้วยโบเวอร์ขนาด 1 แรงม้า ภายในห้องอบแห้งมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในถัง ระบบการให้ความร้อนให้หัวเผาซึ่งใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง สามารถผลิตความร้อนได้ที่ 16,000 กิโลแคลอรี มีระบบควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ ผลปาล์มสดมีค่าความชื้นเริ่มต้นประมาณ 48% มาตรฐานแห้ง โดยการควบคุมอุณหภูมิภายในที่  $105 \pm 5$  องศาเซลเซียส. จนกระทั่งผลปาล์มน้ำมันเหลือความชื้นประมาณ 8% และการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ ตามมาตรฐาน ISO 660,1996 ไม่เกิน 5% ซึ่งเป็นมาตรฐานของน้ำมันปาล์มดิบ การทดลองอบแห้งผลปาล์มโดยทดลองแบบกะ อบครั้งละประมาณ 500 กก./ ครั้ง. จากผลการทดลองการอบแห้งด้วยระบบเปิดใช้เวลา 340 นาที ค่าความชื้นในแต่ละชั้นไม่ค่อยสม่ำเสมอ ส่วนค่าใช้จ่ายรวมอยู่ที่ 0.52 บาท/กิโลกรัม และผลการทดลองของการอบแห้งระบบให้ไหลเวียนของลมร้อนใช้เวลา 260 นาที และมีค่าความชื้นใกล้เคียงทั้งห้องอบ ส่วนค่าใช้จ่ายรวมอยู่ที่ 0.3292 บาท/กิโลกรัม

คำสำคัญ : ผลปาล์มน้ำมัน, น้ำมันปาล์มดิบ, อบแห้งด้วยลมร้อน, อบแห้งแบบถังทรงกระบอก

**Research Title:** ..... Oven saving energy of oil palm fruit for total crude oil.....

**Researcher:** Asst.Panya Daungviluilux, Mr. Wachara Kalasee and Dr.Sira Saisorn.....

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

## ABSTRACT

This research studied the effect drying of a palm fruit with hot air. A chamber cylindrical tank made of steel with size of diameter of 170 cm, height of 150 cm and 4 mm. The system had circulated of hot air with bower at 1 HP. It had controlled temperature and humidity inside the tank. Use of gas Burner had used of gas type LPG at 16,000 kcal with semi-automatic machine. Materials preparation was oil palm fruit, which is selected based on initial moisture content about 48% by control by control at  $105 \pm 5$  °C. Until, the oil palm fruit moisture content was 8% and analysis of free fatty acids (Free fatty acid (as oleic acid) in accordance with ISO 660,1996 not exceed 5% of a crude palm oil standard. The experiment had used to 500 kg palm fruit/batch. The results of open system drying was 340 minutes, total cost at 0.52 bath/kg. At The system had circulated of hot air, used time at 260 minutes was obtained and optimal cost at 0.3292 bath/kg.

**Keywords :** oil palm fruit; crude palm oil; hot air drying, drying cylindrical tank

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้สำเร็จได้เพราะความร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน หน่วยงานแรกที่ต้องกล่าวขอบคุณก็คือ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ได้สนับสนุนทุนการวิจัยจาก จากแหล่งทุน เงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2555 และ ขอขอบคุณคุณไชยรัตน์ เพชรศิริ เจ้าหน้าที่ประจำอาคารปฏิบัติการสาขาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ความช่วยเหลือในการเบิก-ยืมและช่วยให้คำแนะนำ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายต่างๆ เช่นฝ่ายงานวิจัย ฝ่ายงานพัสดุ ฝ่ายงานแผนที่ช่วยสนับสนุนงานวิจัย ทั้งเรื่องขออนุมัติ เรื่องตั้งเบิกซื้อของ และอื่นๆ



หัวหน้าโครงการ ผศ.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์  
ผู้ร่วมโครงการวิจัย นายพร กาลาสี  
ดร.ศิระ สายศร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตการดำเนินการ.....	2
1.4 การดำเนินงาน.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....</b>	<b>4</b>
2.1 ประวัติความเป็นมาของอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม.....	4
2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์.....	4
2.3 ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.4 การจำแนกพันธุ์ปาล์มน้ำมัน.....	8
2.5 ลักษณะปาล์มน้ำมันพันธุ์ต่างๆ.....	8
2.6 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ.....	9
2.7 กระบวนการสกัดน้ำมันแปรรูป.....	9
2.8 กระบวนการสกัดน้ำมันแบบทอดผลปาล์ม.....	11
2.9 กระบวนการหีบน้ำมันผสม.....	13
2.10 การใช้ประโยชน์ผลิตผลปาล์มน้ำมัน.....	14
2.11 ผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์ม.....	15
2.12 มาตรฐานน้ำมันปาล์ม.....	15
<b>บทที่ 3 ทฤษฎีการออกแบบและการคำนวณ.....</b>	<b>20</b>
3.1 กระบวนการอบแห้ง.....	20
3.2 คำนวณหาขนาดเพลลา.....	23
3.3 การออกแบบโรลลิงแบร์ริง.....	26
3.4 คำนวณหาขนาดของมอเตอร์.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 คำนวณและออกแบบเฟือง.....	31
3.6 ระบบนิวแมติกส์.....	34
3.7 การคำนวณหาค่าปริมาณความร้อน.....	35
3.8 มาตรฐานการวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ.....	36
บทที่ 4 ส่วนประกอบและขั้นตอนการทดลองของเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วง.....	37
4.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วง.....	37
4.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	44
4.3 การหาค่ากรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid:FFA).....	50
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	53
5.1 ผลการทดลองการอบแห้งผลปาล์มด้วยลมร้อน.....	53
5.2 ตัวอย่างการหาค่ากรดไขมันอิสระ.....	54
5.3 หาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น.....	56
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	62
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	62
6.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน.....	63
6.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา.....	63
บรรณานุกรม.....	64
ภาคผนวก.....	65
ภาคผนวก ก..... ก ตารางผลการทดลองและการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์.....	66
ภาคผนวก ข..... แบบเครื่องเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วงแบบประหยัดพลังงาน.....	76
ประวัตินักวิจัย.....	99

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ก.1 ทดลองการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบรวมโดยเวลาเฉลี่ยในการหากรดไขมันอิสระ (FFA) (แบบไม่ใช่โบเวอร์).....	
ก.2 ทดลองการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบรวมโดยเวลาเฉลี่ยในการหากรดไขมันอิสระ (FFA) (แบบใช้โบเวอร์).....	
ก.3 ทดลองการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานในการผลิต น้ำมันปาล์มดิบรวมโดยเวลาเฉลี่ยในการหากรดไขมันอิสระ (FFA) (แบบใช้โบเวอร์)(ใช้ใบกวน).....	
ก.4 ทดสอบการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบดั้งเดิมในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบรวมโดยเวลาเฉลี่ยในการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (แบบไม่ใช่โบเวอร์).....	
ก.5 ทดสอบการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบดั้งเดิมในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบรวมโดยเวลาเฉลี่ยในการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (แบบใช้โบเวอร์).....	
ก.6 ทดสอบการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบดั้งเดิมในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบรวมโดยเวลาเฉลี่ยในการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (แบบใช้โบเวอร์) (ใช้ใบกวน).....	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ลักษณะของเมล็ดปาล์ม	1
1.2 การอบผลปาล์มร่วงแบบหีบรวมในปัจจุบัน	2
2.1 ลักษณะส่วนประกอบของทะเลายปาล์ม	4
2.2 ส่วนประกอบของทะเลายปาล์ม	5
2.3 ส่วนประกอบในผลปาล์ม	5
2.4 เครื่องอบไล่ความชื้นเมล็ดปาล์มร่วง	7
2.5 เครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับอินฟราเรดขึ้นในการอบเมล็ดปาล์ม	8
2.6 กระบวนการหีบน้ำมัน	10
2.7 กระบวนการหีบน้ำมันแบบทอดผลปาล์มในน้ำมัน	12
2.8 กระบวนการหีบน้ำมันผสม	14
3.1 แผนภูมิความร้อนสัมผัสของลมและขบวนการอบแห้งแบบอะเดียบาติก	20
3.2 ขอบเขตการอบแห้งและแนวเส้นการอบแห้งในถังลิก	21
3.3 สภาวะของลมเมื่อผ่านขบวนการอบแห้งแบบย้อนกลับ	23
3.4 เพลที่อยู่ภายใต้แรงต่างๆ	25
3.5 ส่วนประกอบของลูกปืน	27
3.6 บอลแบริ่งชนิดต่างๆ	29
3.7 เฟือง	31
3.8 เฟืองตรง	32
3.9 ตัวแปรอัตราเร็วของเฟือง	32
3.10 เฟืองขบกันภายนอก และเฟืองขบกันภายใน	33
3.11 เฟืองตัวตาม และเฟืองตัวขับ	33
3.12 ระบบนิวแมติกส์	34
4.1 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอบ	37
4.2 ชุดถังอบผลปาล์มร่วง	38
4.3 ชุดเตาเผา	38
4.4 ชุด Burner Gas	39
4.5 แก๊ส LPG	39
4.6 ท่อส่งลมร้อน	40
4.7 โบเวอร์	40
4.8 ท่อส่งลมร้อนและบอวลวาล์วระบายความชื้น	41
4.9 ท่อน้ำทิ้ง	41
4.10 ประตูเทพผลปาล์มออก	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.11 ตัวควบคุมอุณหภูมิ	42
4.12 เทอร์โมคัปเปิล	42
4.13 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น	43
4.14 ชุดใบกวน	43
4.15 ชุดควบคุม	44
4.16 นำผลร่ว่งปาล์มมาแยกเศษขยะออก	44
4.17 นำผลปาล์มร่ว่งมาชั่งน้ำหนัก	45
4.18 สุ่มเก็บตัวอย่างผลปาล์มก่อนอบ	45
4.19 นำผลปาล์มร่ว่งใส่ถังอบ	45
4.20 ให้ความร้อนด้วย Burner Gas	46
4.21 สุ่มเก็บตัวอย่างผลปาล์มทุก 20 นาที	46
4.22 นำผลร่ว่งปาล์มมาแยกเศษขยะออก	47
4.23 นำผลปาล์มร่ว่งมาชั่งน้ำหนัก	47
4.24 สุ่มเก็บตัวอย่างผลปาล์มก่อนอบ	48
4.25 นำผลปาล์มร่ว่งใส่ถังอบ	48
4.26 ให้ความร้อนด้วย Burner Gas	48
4.27 เปิดโบเวอร์ตลดการทดลอง	49
4.28 สุ่มเก็บตัวอย่างผลปาล์มทุก 20 นาที	49
4.29 น้ำมันปาล์ม	50
4.30 ทำการอุ่นที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส	50
4.31 นำน้ำมันปาล์มใส่ขวดรูปชมพู่ 4 มิลลิลิตร	51
4.32 เติมไอโซโพรพานอลและเติมสารละลายฟีนอล์ฟทาซีนอินดิเคเตอร์	5
4.33 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 M	52
4.34 เสร็จการไตเตรท	52
5.1 ตัวอย่างปาล์มก่อนเข้าอบด้วย Hot Air Oven	53
5.2 ตัวอย่างปาล์มหลังอบด้วย Hot Air Oven	53
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับอุณหภูมิเฉลี่ยของการอบปาล์ม(แบบไม่ใช่โบเวอร์)	56
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับค่าความชื้นเฉลี่ยของปาล์ม(แบบไม่ใช่โบเวอร์)	57
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับอุณหภูมิเฉลี่ยของการอบปาล์ม(แบบใช้โบเวอร์)	57
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับค่าความชื้นเฉลี่ยของปาล์ม(แบบใช้โบเวอร์)	58
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับอุณหภูมิเฉลี่ยของการอบปาล์ม (แบบใช้โบเวอร์และใบกวน)	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับค่าความชื้นเฉลี่ยของปาล์ม (แบบใช้โบเวอร์และใบกวน)	59
5.9 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปาล์มชั้นบน	59
5.10 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปาล์มชั้นกลาง	60
5.11 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปาล์มชั้นล่าง	60
ข.1 เครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานในการผลิตน้ำมันปาล์มหีบรวม	77
ข.2 ชื่อชิ้นส่วนเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วน	78
ข.3 โครงสร้าง	79
ข.4 ขนาดโครงสร้าง	80
ข.5 ถังอบเมล็ดปาล์ม	81
ข.6 ขนาดถังอบเมล็ดปาล์ม	82
ข.7 เตาเก็บความร้อน	83
ข.8 ขนาดเตาเก็บความร้อน	84
ข.9 ใบกวน	85
ข.10 ขนาดใบกวน	86
ข.11 ท่อส่งลมร้อน	87
ข.12 ขนาดท่อส่งลมร้อน	88
ข.13 ท่อลมร้อนพัดลมดูด	89
ข.14 ขนาดท่อลมร้อนพัดลมดูด	90
ข.15 ประตูทางออกเมล็ดปาล์ม	91
ข.16 ขนาดประตูทางออกเมล็ดปาล์ม	92
ข.17 มู่เล่	93
ข.18 ขนาดมู่เล่	94
ข.19 เฟืองขับ	95
ข.20 ขนาดเฟืองขับ	96
ข.21 เฟืองตาม	97
ข.22 ขนาดเฟืองตาม	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

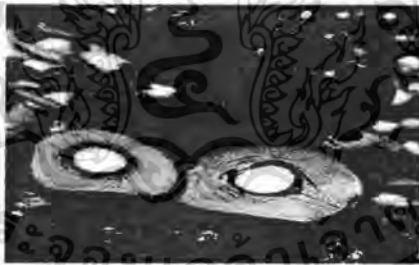
# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการ

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชน้ำมันอุตสาหกรรมชนิดเดียวของโลกที่สามารถให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันทุกชนิด สำหรับสถานการณ์การผลิตในปี 2553 คาดว่าจะมีพื้นที่ให้ผลผลิตแล้ว รวม 3.6 ล้านไร่ เพิ่มขึ้นจาก ปี 2552 ประมาณ 440,000 ไร่ เนื่องจากมีการปลูกใหม่เมื่อปี 2550 ทั้งในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และแหล่งผลิตเดิมในภาคใต้ ที่ปลูกทดแทนสวนไม้ผลเก่า เช่น ทุเรียน เงาะ กาแฟ รวมทั้งที่นา และพื้นที่ป่าพรุ พื้นที่ให้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นทำให้คาดว่าจะได้ผลผลิตปาล์มสด 10.28 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2552 จำนวน 1.9 ล้านตัน เนื่องจากสวนปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่เป็นปาล์มน้ำมันพันธุ์ดี และอยู่ในช่วงให้ผลผลิตสูง ประกอบกับปริมาณน้ำฝนและสภาพดินฟ้าอากาศเหมาะสม ส่งผลให้ต้นปาล์มให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร)

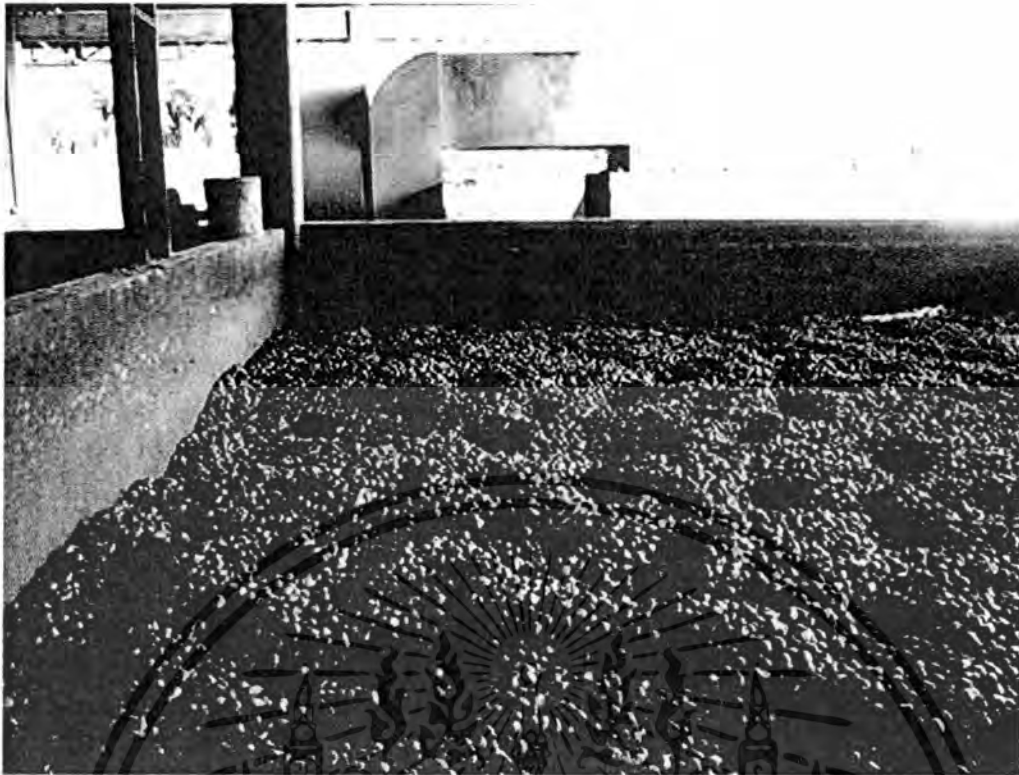
ปัจจุบันการบีบน้ำมันปาล์มแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม[1] คือ 1. การบีบน้ำมันแบบแยกเนื้อกับเมล็ดใน(โรงงานขนาดใหญ่) ใช้หม้อต้มไอน้ำที่ 140 °C ระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง มีกรดไขมันอิสระประมาณ 3-5 % มีการลงทุนสูง 2. การบีบแบบรวมระหว่างเนื้อกับเมล็ดในปาล์ม ใช้ความร้อนจากฟืน(อย่าง)ระยะเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ได้น้ำมันเกรด B มีกรดไขมันอิสระประมาณ 7-15 % 3.กระบวนการแบบทอดผลปาล์ม เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นในประเทศไทยผลปาล์มจะถูกนำไปทอดในเกลียวด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิไม่เกิน 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 12 – 20 นาที โดยให้ความร้อนด้วยไอน้ำไยรอบรางลำเลียงนั้น วัตถุประสงค์จำพวกปาล์มร่วงก็จะถูกนำเข้ามาทอดตรงจุดนี้เช่นกัน จากนั้นผลปาล์มที่สุกแล้วจะถูกนำเข้าสู่เครื่องบีบแบบเกลียวอัดคู่ น้ำมันที่บีบได้ก็จะถูกนำไปไล่ความชื้นในถังสูญญากาศที่อุณหภูมิ 80 – 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 30 – 60 นาที จากนั้นก็นำไปกรองผ่านเครื่องกรองแบบอัตโนมัติหลายชั้น เพื่อแยกสิ่งสกปรกก่อนจะบรรจุถังเก็บต่อไป



ภาพที่ 1.1 แสดงลักษณะของเมล็ดปาล์ม[1]

จากการศึกษาการสกัดน้ำมันปาล์มสำหรับกลุ่มเกษตรกรที่ต้องการผลิตน้ำมันปาล์มเพื่อเพิ่มมูลค่าสนใจในการผลิตน้ำมันแบบที่รวม เพราะไม่มีน้ำเสีย งบลงทุนน้อย ดังนั้นงานวิจัยเรื่องนี้ทำการศึกษาเรื่องกระบวนการอบผลปาล์มร่วงโดยปรับปรุงกระบวนการอบผลปาล์มร่วงที่มีใช้ในปัจจุบันดังภาพที่ 1.2 ที่สามารถอบผลปาล์มครึ่งละประมาณ 20 ตัน โดยใช้เวลาอบประมาณ 1-2 วัน และน้ำมันที่ได้มีสีเข้ม และค่ากรดไขมันอิสระประมาณ 7-15% เชื้อเพลิงที่ใช้ ไม้ฟืน ปัญหาหลักที่พบในปัจจุบันคือ ผลปาล์มที่อบสุกไม่พร้อมกัน จำเป็นต้องใช้คนกลับกอง บางครั้งก็เกิดไฟลุก ความร้อนส่วนใหญ่จะสูญเสียไม่ได้กลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.2 การอบผลปาล์มร่วงแบบหีบรวมในปัจจุบัน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 สร้างเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วงแบบหีบรวม สำหรับกลุ่มเกษตรกรขนาดเล็กได้
- 1.2.2 สร้างเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วงแบบหีบรวมที่ประหยัดงานและได้คุณภาพน้ำมันที่ดี

## 1.3 ขอบเขตโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาปริมาณการอบผลปาล์มในแต่ละครั้งประมาณ 500 กิโลกรัม
- 1.3.2 ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงเพื่อง่ายแก่การควบคุมค่าปริมาณความร้อน
- 1.3.3 มีการกระจายความร้อนโดยใช้โบเวอร์
- 1.3.4 เปอร์เซ็นความชื้นของผลปาล์มก่อนอบไม่เกิน 50% หลังอบแล้วความชื้นไม่เกิน 8%

มาตรฐานแห่ง

## 1.4 การดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูล
- 1.4.2 ออกแบบเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วง
- 1.4.3 สร้างเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วงด้วยแก๊สขึ้นมาใหม่
- 1.4.4 ทำการทดลองและแก้ไข
- 1.4.5 สรุปและวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถสร้างทางเลือกใหม่และสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่กลุ่มเกษตรกรได้
- 1.5.2 สามารถจำลองเครื่องอบผลปาล์มน้ำมันโดยลดค่าใช้จ่ายในการทดลองได้
- 1.5.3 สามารถผลิตน้ำมันปาล์มแบบหีบรวมได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น กรดไขมันอิสระไม่เกิน 5% น้ำมันมีสีใส
- 1.5.4 สามารถใช้เวลาในการอบผลปาล์มน้ำมันได้เร็วขึ้นและประหยัดพลังงาน
- 1.5.5 สามารถทราบถึงสมรรถนะของเครื่องอบปาล์มตามท้องตลาด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์

### 2.1 ประวัติความเป็นมาของอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่อยู่ในตระกูลปาล์มเช่นเดียวกับมะพร้าว ซึ่งปาล์มน้ำมันมีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในทวีปแอฟริกา และปาล์มน้ำมันที่ขึ้นในแอฟริกาส่วนใหญ่นั้นเป็นพันธุ์ที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า อีเลอสิกินีนซีล

ปาล์มน้ำมันได้ถูกนำเข้ามาปลูกในทวีปเอเชียเป็นครั้งแรกในประเทศอินโดนีเซีย และถัดมาอีกไม่กี่ปีก็มีการนำมาปลูกในเชิงธุรกิจในประเทศมาเลเซีย จนกระทั่งมาเลเซียได้กลายเป็นผู้ส่งออกน้ำมันปาล์มรายใหญ่ที่สุดของโลกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 เป็นต้นมา

สำหรับในประเทศไทยนั้น พบว่าได้มีผู้นำปาล์มน้ำมันเข้ามาปลูกที่จังหวัดสงขลา แล้วต่อมาได้มีการปลูกปาล์มน้ำมันในเชิงการค้าเป็นครั้งแรกในจังหวัด กระบี่ และสตูล โดยนำปาล์มมาจากมาเลเซียทั้งหมด ซึ่งต่อมาได้มีการปลูกสวนปาล์มกันอย่างแพร่หลายในอีกหลายจังหวัดทางภาคใต้ ส่งผลให้กิจการปาล์มขยายตัวอย่างต่อเนื่องเป็นต้นมา

### 2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ [2]

#### 2.2.1 ส่วนประกอบของทะลายปาล์มสด

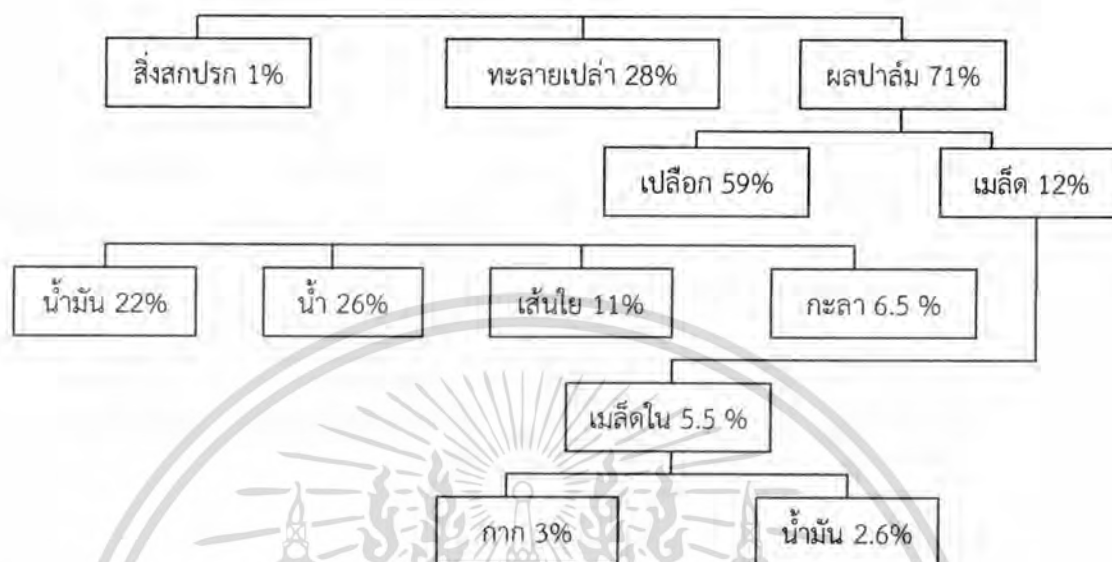
ทะลายปาล์มสดจะประกอบไปด้วย ทะลายเปล่า ผลปาล์ม ภายในผลจะประกอบด้วยส่วนของชั้นเปลือก ซึ่งชั้นนี้จะมีปาล์มน้ำมัน จากชั้นเปลือกจะมีกะลาหุ้มเมล็ดในอยู่ ภายในเมล็ดในจะมีน้ำมันอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า น้ำมันเมล็ดใน ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ลักษณะส่วนประกอบของทะลายปาล์ม [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำมันจากเปลือกซึ่งจะเป็นตัวที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงสุดนั้น จะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามอายุของปาล์ม ตลอดจนการดูแลรักษา ซึ่งในกรณีที่ปาล์มมีอายุน้อยจะมีปริมาณน้ำมันจากเปลือกน้อยตามด้วย สำหรับปาล์มที่เหนือกว่าอายุเกิน 8 ปีขึ้นไป มีส่วนประกอบโดยประมาณ ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของทะลายปาล์ม [1]

### 2.2.2 ผลปาล์มน้ำมัน

ผลปาล์มน้ำมันมีลักษณะเป็นผลเมล็ดแข็งไม่มีก้านผล (Sessile Drupe) รูปร่างหลายแบบ ตั้งแต่รูปรียาวแหลมจนถึงรูปไข่ หรือรูปยาวรี ความยาวผลอยู่ระหว่าง 2-5 เซนติเมตร น้ำหนักผลมีตั้งแต่ 3 กรัม จนถึงมากกว่า 30 กรัม

ผลปาล์มน้ำมันประกอบด้วยเปลือกนอก ซึ่งมีผิวเปลือก (Exocarp) สีเขียวอมดำเมื่อยังอ่อน และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมแดงเมื่อสุกแล้ว ชั้นเปลือก (Mesocarp) เป็นเนื้อเยื่อเป็นเส้นใยสีส้มแดงเมื่อสุก และมีน้ำมันอยู่ในชั้นนี้ ส่วนที่ 2 คือเมล็ดประกอบด้วยชั้นกะลา (Shell หรือ Endocarp) และเนื้อในสีขาว จำนวน 1-3 อัน ซึ่งมีน้ำมันอยู่มีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันมะพร้าว



ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบในผลปาล์ม [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายบัญญัติ นิยมวาส [3] ระบบอบแห้งผลปาล์มที่สร้างขึ้นมีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วนคือ เตาเผาไฮโดรเจน ถังอบแห้ง และพัดลมดูดอากาศ ส่วนต่างๆต่อถึงกันด้วยที่เหล็กทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านกลาง 0.3 เมตร เตาเผาเป็นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 เมตร เชื้อเพลิงสามารถใช้ได้ทั้ง แก๊ส ทะลายปาล์มและไม้ยางพารา ไฮโดรเจนเป็นชนิดประสิทธิภาพสูงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.51 เมตร ถังอบแห้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร โดยแบ่งออกเป็นถังชั้นล่างและถังชั้นบนซึ่งจะดึงความร้อนจากถังอบชั้นล่าง พัดลมดูดอากาศเป็นชนิดความดันสูงใช้กำลังขับเคลื่อนจากมอเตอร์ขนาด 15 กิโลวัตต์ จากการทดลองระบบอบแห้งผลปาล์มที่สร้างขึ้น โคนทำการทดลองที่อุณหภูมิ 120 C อัตราการไหลของอากาศ 1.8 ลูกบาศก์เมตร/วินาที พบว่าความชื้นผลปาล์มเริ่มต้น 29.9-41% จะลดลงเหลือ 18-22.1% ในเวลา 4-4.5 ชั่วโมง ระบบอบแห้งนี้สามารถอบแห้งผลปาล์มได้ 96.5 กิโลกรัม/ชั่วโมง ปริมาณการใช้ไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงคือ 82 กิโลกรัม พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการผลิต 0.98 เมกะจูล/กิโลกรัมปาล์ม ผลปาล์มที่ได้มีคุณภาพดีและสม่ำเสมอ

รศ.ดร.สมชาย ฉัตรรัตนา [4] จากการวิจัยและพัฒนา ให้ผลสนับสนุนแนวทางนี้ เริ่มต้นจากเป็นระบบกึ่งอัตโนมัติ ทำงานโดยเริ่มจากลูกปาล์มร่วง ระบบสายพานและระบบยกถังเทลูกปาล์มสู่ถังรับวัตถุดิบ สกรูป้อนลูกปาล์มร่วงเข้าสู่เครื่องอบ เครื่องอบลูกร่วงด้วยลมร้อน เพื่อลดกรดและกรดไขมันอิสระ เพราะจากการวิจัยพบว่า การอบลูกปาล์มที่ 80 C เป็นเวลา 30 นาที สามารถลดความชื้นและลดค่ากรดจากผลสดได้เป็น 15 เท่า จากนั้นถ้าแยกเนื้อและเมล็ดปาล์มออกจากกัน จะทำให้สกัดน้ำมันได้ดี กากปาล์มไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ แทนที่จะเอาไปเผาเป็นเชื้อเพลิงและเมล็ดปาล์มยังเอาไปสกัดเป็นน้ำมันต่างหากได้ จึงต้องมีการวิจัยและพัฒนาเครื่องแยกเนื้อและเมล็ดออกจากกันเนื่องจากไม่มีไอน้ำในกระบวนการก็ไม่ต้องมีน้ำเสียและไม่ต้องบำบัดน้ำเสียที่เหลือก็เป็นกระบวนการที่ประหยัดตามปกติ นำมากรองจะได้ น้ำมันปาล์มดิบ ความชื้นต่ำ กรดต่ำ กรดไขมันอิสระต่ำ

เอกรัตน์และคณะ [5] นักวิจัยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ในการสกัดน้ำมันปาล์ม โดยทั่วไป จะต้องใช้ไอน้ำเพื่อช่วยแยกเนื้อปาล์มออกจากกะลาปาล์มได้ง่ายขึ้น และเมื่อสกัดน้ำมันออกจากเนื้อปาล์มแล้วยังต้องมาผ่านกระบวนการไล่ความชื้นออกจากน้ำมันด้วย ซึ่งเกิดจากการที่ต้องใช้ไอน้ำในตอนแรก จึงทำให้มีน้ำเสียเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และยังใช้พลังงานมากด้วย ระบบที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้ไม่ต้องใช้ไอน้ำ แต่ใช้วิธีการอบผลปาล์มก่อนสกัดน้ำมันแทนเป็นเวลาครึ่งชั่วโมงที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการช่วยไล่ความชื้นออกจากผลปาล์ม ทำให้เนื้อปาล์มหลุดออกจากกะลาได้ง่ายขึ้น และยังช่วยยับยั้งเอนไซม์ไลเปส จึงทำให้ได้น้ำมันปาล์มคุณภาพดีในระดับเกรดเอ มีความชื้นและกรดไขมันอิสระต่ำ ซึ่งในขั้นตอนสุดท้ายก็ไม่ต้องไล่ความชื้นออกจากน้ำมันอีก จึงช่วยประหยัดพลังงาน และเมื่อไม่ได้ใช้น้ำในกระบวนการผลิต จึงไม่ก่อให้เกิดน้ำเสียออกมาอีกภายหลังจากอบผลปาล์ม ระบบจะลำเลียงผลปาล์มที่อบแล้วเข้าสู่เครื่องแยกเนื้อปาล์มออกจากกะลา แล้วลำเลียงเนื้อปาล์มเข้าสู่เครื่องสกัดน้ำมัน น้ำมันปาล์มที่ได้จะผ่านเครื่องกรองหยาบและกรองละเอียดขนาด 1 ไมครอน

เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งสามารถสกัดได้ประมาณ 1 ตันผลปาล์มต่อชั่วโมง ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 เครื่องอบไล่ความชื้นเมล็ดปาล์มร่วง [5]

ดร.กนกชัยและคณะ จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) [6] ทำโครงการศึกษาเปรียบเทียบแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการแปรรูปน้ำมันปาล์ม แบบไม่ใช้ไอน้ำที่จะทำให้เกิดน้ำเสียน้อยที่สุด การลงทุนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการลงทุนก่อสร้างโรงงานแบบใช้ไอน้ำ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการปลูกปาล์มนอกเขตเศรษฐกิจปาล์มที่เกษตรกรทั่วประเทศให้ความสนใจประธานกรรมการบริษัทปาล์มโมริช อธิบายพื้นฐานว่าไม่ได้เป็นวิศวกร แต่ก็สนใจศึกษาหาความรู้ลงมือทดลองอยู่กับโรงงานแปรรูปน้ำมันปาล์มแบบไม่ใช้ไอน้ำ และได้สรุปลงตัวว่ามี 2 ขั้นตอนสำคัญ คือ 1.การเตรียมผลปาล์มร่วง โดยนำปาล์มทั้งทะลาย มาเข้ากระบวนการแยกออกจากกัน ซึ่งต้องใช้พลังงานอย่างมาก เมื่อไม่ใช้ไอน้ำเข้าไปนึ่งให้ยุ่ยก็เปลี่ยนมาผ่านเครื่องสับแห้งหลายครั้ง สามารถแยกตัวทะลายออกมาได้และปัจจุบันเขาทำได้เพียงแห้งเดียว ขั้นตอนที่ 2 เป็นการอบแห้งและบีบสกัดน้ำมัน เริ่มจากการไล่ความชื้นและส่งเข้าเครื่องแยกผลปาล์มเข้าเครื่องสกัดน้ำมัน โรงงานนี้เป็นต้นแบบ การศึกษาพบว่าต้นทุนการแปรรูปแบบไม่ใช้ไอน้ำถูกกว่าแบบไอน้ำเกือบเท่าตัว แต่ผลที่ได้ต่างกัน แบบไม่ใช้ไอน้ำ ความชื้นจะระเหยเป็นไอ จึงไม่มีน้ำเสีย น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการแปรรูปวิธีนี้จะสูงกว่าแบบไอน้ำราว 10-20เปอร์เซ็นต์ ค่าความสดของน้ำมันก็ได้มาตรฐานและได้กรดไขมันไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

ผศ.ดร. กลอยใจ เขยกลั่นเทศ นักวิจัยจาก คณะเทคโนโลยีการเกษตร มทร.ธัญบุรี [7] ได้ออกแบบเครื่องอบเมล็ดปาล์มด้วยไมโครเวฟร่วมกับอินฟราเรดขึ้น ปัจจัยสำคัญในกระบวนการที่มองข้ามไม่ได้คือการทำให้เนื้อปาล์มสุกด้วยความร้อนและการแยกเนื้อปาล์มออกจากกะลา เพื่อทำลายเอนไซม์ไลเปสรวมทั้งลดการเกิดไฮโดรไลซิส รวมทั้งป้องกันการแยกตัวของน้ำมันเป็นกรดไขมันกลีเซอรินและลดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่จะทำให้น้ำมันปาล์มเกิดเหม็นหืน จึงมีพัฒนาการสกัดจากผลปาล์มแบบแห้งเรียกว่า ระบบแห้งหีบรวม ซึ่งมีขั้นตอนในการอบผลปาล์มก่อนการสกัดน้ำมันเพื่อไล่ความชื้นทำให้เนื้อปาล์มหลุดออกจากกะลาได้ง่ายขึ้นและช่วยยับยั้ง เอนไซม์ไลเปส วิธีการคือ ใช้ความร้อนจาก แหล่งความร้อนต่างๆที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอย่างน้อย 30 นาที วิธีนี้ช่วยให้ได้น้ำมันปาล์มคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกรดเอมีมากขึ้น กรดไขมันต่ำไม่ต้องไล่ความชื้นไม่มีน้ำเสีย และช่วยประหยัดพลังงาน ทำให้สกัดน้ำมันคุณภาพเกรดเอได้ปริมาณมากแต่จะอบได้ในปริมาณไม่มาก ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 เครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับอินฟราเรดขึ้นในการอบเมล็ดปาล์ม [9]

#### 2.4 การจำแนกพันธุ์ปาล์มน้ำมัน โดยพิจารณาลักษณะผล ดังต่อไปนี้

1. สีผิวเมื่อดิบ มี 2 ลักษณะ คือ สีเขียว (Nigrescens) และมีสีดำ (Virescens)
2. สีของเปลือกนอกเมื่อสุก มี 2 ลักษณะ คือ สีเหลืองซีด (Albescens) และสีส้มแดง
3. รูปร่างผล มี 2 ลักษณะ คือ ปกติ และมีเปลือกนอกผิดปกติ (Mantled Fruit)
4. ความหนาของกะลา มี 3 ลักษณะ คือ หนา (Dura) บาง (Tenera) และไม่มีกะลา (Pisifera)

#### 2.5 ลักษณะปาล์มน้ำมันพันธุ์ต่าง ๆ

1. พันธุ์ดुर่า (Dura) พบในแถบตะวันออกเฉียงใต้เรียกว่า Deli Dura มีเปลือกหนาที่มีน้ำมันและเนื้อหนา ปัจจุบันดुर่านี้ใช้เป็นแม่พันธุ์สำหรับผลิตลูกผสมเทนอระ

2. พันธุ์พิสิเฟอร์่า (Pisifera) เป็นพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูง มีกะลาบางมาก เมล็ดในเล็ก แต่มีข้อเสียคือ ขนาดของผลเล็ก ข้อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน และมีการผลิตหลายต่อต้นจำนวนต่ำปัจจุบันใช้พันธุ์พิสิเฟอร์่าเป็นพันธุ์พ่อสำหรับผลิตพันธุ์ลูกผสม

3. พันธุ์เทนอระ (Tenera) เป็นพันธุ์ผสมระหว่าง ดุระพันธุ์แม่ กับ พันธุ์พ่อพิสิเฟอร์่า พิสิเฟอร์่าเป็นพันธุ์ที่มีเปลือกสำหรับอัดน้ำมันมาก เนื้อหนาและให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันมาก มีกะลาบาง มีหลายตกกว่าพันธุ์ดुर่า จึงนิยมปลูกเป็นการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

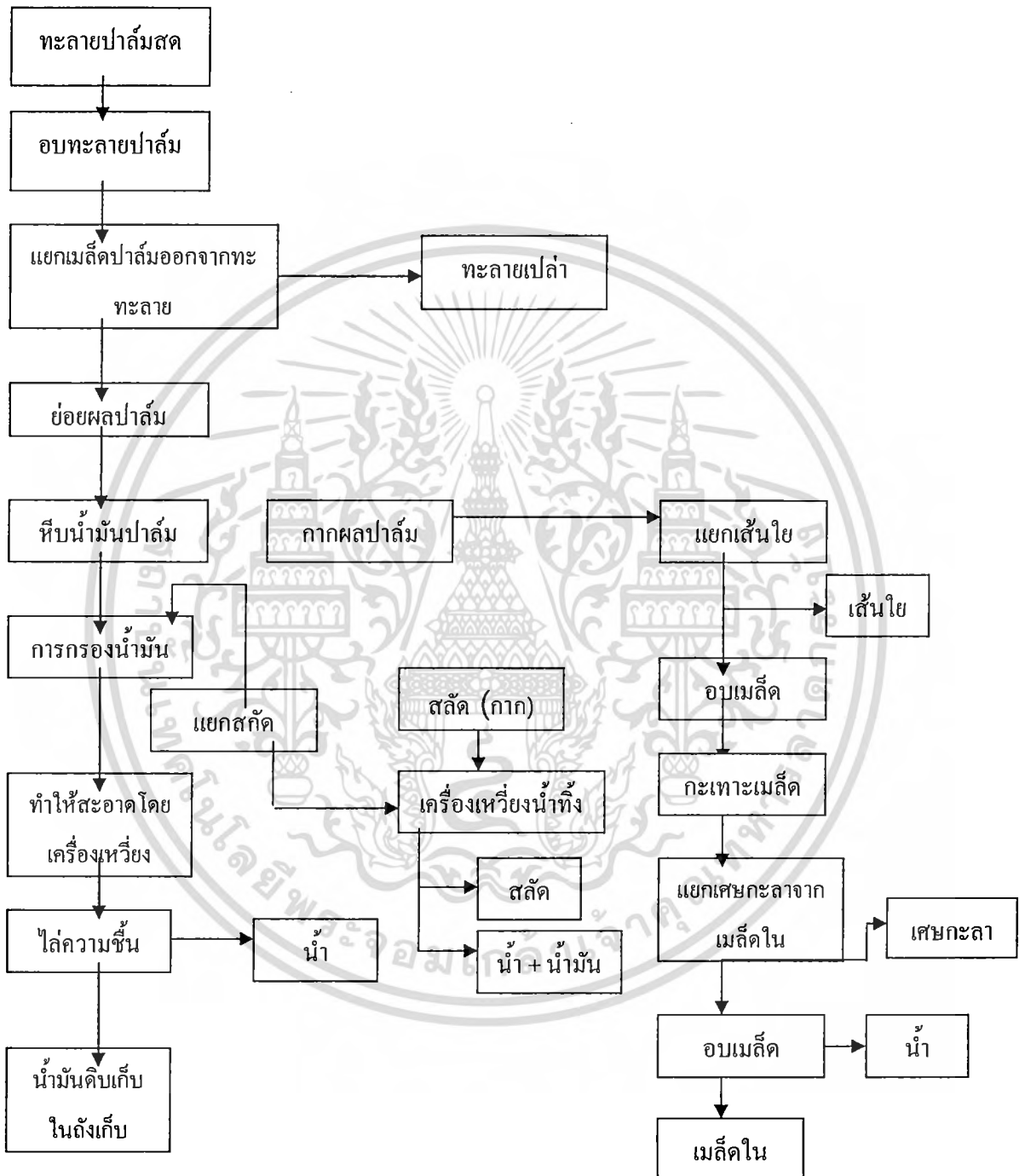
## 2.6 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

การสกัดน้ำมันปาล์มดิบจากทะลายปาล์มสดนั้น ได้เริ่มมีมาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยชาวพื้นเมืองได้นำเอาผลปาล์มจากปามาบีบเอาน้ำมันออกมาด้วยวิธีการง่ายๆ เช่น นำผลปาล์มมาต้มกับน้ำแล้วใส่ครกตำ จากนั้นก็นำไปต้มกับน้ำร้อน เพื่อแยกน้ำมันออกมาซึ่งได้ประสิทธิภาพต่ำมาก เครื่องบีบน้ำมันปาล์มในยุคแรกๆ มีหลายแบบ เช่น เครื่องบีบน้ำมันแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เครื่องบีบแบบไฮดรอลิก และเครื่องบีบแบบเกลียวอัด บางแบบได้เลิกใช้กันไปแล้ว และบางแบบก็ได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมจนใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน

## 2.7 กระบวนการสกัดน้ำมันแบบมาตรฐาน

กระบวนการผลิตแบบนี้เป็นกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน ซึ่งเครื่องจักรและเทคโนโลยีล้วนนำเข้ามาจากต่างประเทศทั้งสิ้น โรงงานประเภทนั้นเริ่มตั้งขึ้นครั้งแรกที่จังหวัด กระบี่ในราวปี พ.ศ. 2517 และต่อมาก็ได้มีการสร้างและอยู่ระหว่างดำเนินการก่อสร้างอีกรวมทั้งสิ้นเกือบ 20 โรงงาน โรงงานเหล่านี้จะมีกำลังการผลิตตั้งแต่ 10 ถึง 40 ตันทะลายต่อชั่วโมง และแต่ละโรงงานจะมีสวนปาล์มของตนเองตั้งแต่ 10,000 ไร่ ขึ้นไป โรงงานเหล่านี้จะใช้เงินทุนค่อนข้างสูง คือ ประมาณ 50 – 100 ล้านบาท

กระบวนการผลิตเริ่มจากนำทะลายปาล์มสดมาอบไอน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 120 – 130 องศาเซลเซียส มีความดันประมาณ 45 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลาประมาณ 45 นาที การอบทะลายมีจุดมุ่งหมายที่จะหยุดปฏิกิริยา ไลโปไลซิส ที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์มทำให้ผลปาล์มอ่อนนุ่มและซั่วน้ำตาลทะลายได้ง่ายทะลายปาล์มที่ถูกอบจะถูกนำไปป้อนเข้า เครื่องแยกผลปาล์มออกจากทะลายปาล์มซึ่งส่วนใหญ่เป็นเครื่องโรตารี หมุนด้วยความเร็วรอบประมาณ 23 รอบต่อนาที ทะลายปาล์มจะถูกลำเลียงไปเข้าเตาเผาทะลายเพื่อทำปุ๋ยต่อไป ส่วนผลก็จะถูกนำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์มซึ่งมีลักษณะเป็นถังกระบอก ข้างในมีใบพัดกวาดผลปาล์มให้ฉีกย่อยออกจากเมล็ดและเซลล์น้ำมันแตกตัวออกมาเพื่อง่ายต่อการบีบแบบเกลียวอัดซึ่งส่วนมากเป็นแบบเกลียวอัดคู่ ที่ทำงานอัตโนมัติ น้ำมันปาล์มที่สกัดได้จะถูกส่งไปเข้าเครื่องกรองซึ่ง จะแยกน้ำมันออกจากน้ำเศษใยและสิ่งสกปรกอื่นๆ ในครั้งแรก แล้วนำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำมันให้สะอาดขึ้นจากนั้นจะนำไปไล่ความชื้นให้ได้มาตรฐาน แล้วนำไปเก็บไว้ในถังเก็บน้ำมันขนาดใหญ่เพื่อเตรียมส่งจำหน่ายโรงกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์ต่อไป กระบวนการการผลิตได้แสดงไว้ ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 กระบวนการหีบน้ำมัน [1]

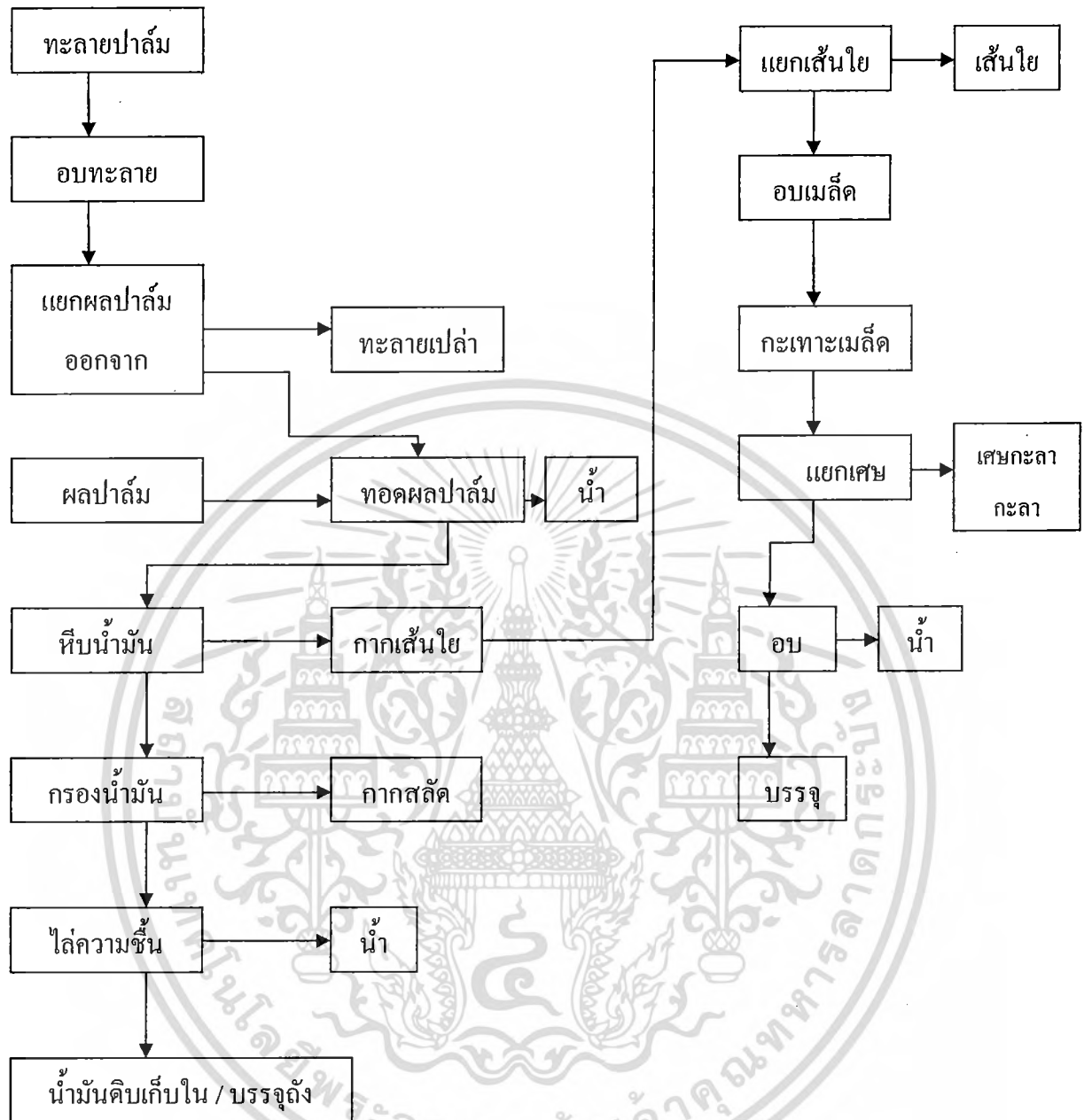
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 กระบวนการสกัดน้ำมันแบบทอดผลปาล์ม

กระบวนการแบบทอดผลปาล์ม เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นในประเทศไทยโดย นายชาญ และนาย ชิต ลีมวรพันธุ์ เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2522 ปัจจุบันมีโรงงานประเภทนี้เพียงโรงงานเดียว คือ บริษัท ตรีง สหปาล์มออยล์ จำกัด อำเภอเมือง จังหวัดตรัง ซึ่งมีกำลังการผลิตประมาณ 5 ตันทะเลายต่อชั่วโมง ใช้เงินลงทุนประมาณ 10 ล้านบาท

กระบวนการผลิตของโรงงานประเภทนี้สามารถใช้วัตถุดิบทั้งในรูปของทะเลายปาล์มสดและปาล์ม ร่วง วัตถุดิบพวกทะเลายสดจะนำมาเข้าเครื่องอบทะเลายเช่นเดียวกัน ต่อจากนั้นผลปาล์มจะถูกนำไปทอด ในเกลียวด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิไม่เกิน 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 12 – 20 นาที โดยให้ความร้อนด้วยไอน้ำ โยงรอบวงลำเลียงนั้น วัตถุดิบจำพวกปาล์มร่วงก็จะถูกนำเข้ามาทอดตรงจุดนี้เช่นกัน จากนั้นผลปาล์มที่สุกแล้วจะถูกนำเข้าเครื่องบีบแบบเกลียวอัดคู่ เช่นเดียวกับโรงงานประเภทแรก น้ำมันที่ บีบได้ก็จะถูกนำไปไล่ความชื้นในถังสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80 – 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 30 – 60 นาที จากนั้นก็นำไปกรองผ่านเครื่องกรองแบบอัดหลายชั้น เพื่อแยกสิ่งสกปรกก่อนจะบรรจุถังเก็บ ต่อไป ส่วนกากปาล์มก็จะนำแยกเอาเมล็ดในออกด้วยขั้นตอนเช่นเดียวกันกับประเภทแรกกระบวนการ ผลิตได้แสดงไว้ใน ดังภาพที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

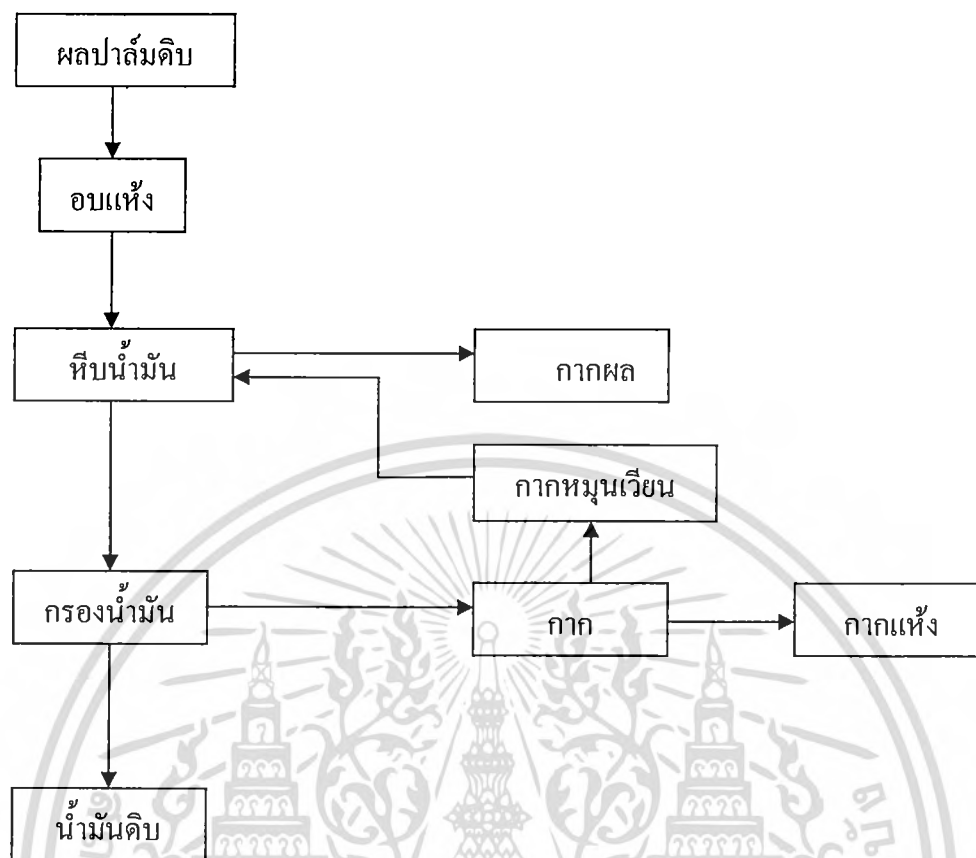


ภาพที่ 2.7 กระบวนการหีบน้ำมันแบบทอดผลปาล์มในน้ำมัน [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 กระบวนการหีบน้ำมันผสม

กระบวนการผลิตนี้เกิดขึ้นจากโรงงานหีบน้ำมันมะพร้าวซึ่งได้ดัดแปลงมาเป็นโรงงานหีบน้ำมันปาล์มเมื่อราวปี พ.ศ. 2518 – 2519 ปัจจุบันมีอยู่ประมาณกว่า 20 โรงงาน โรงงานประเภทนี้ใช้ผลปาล์มร่วงเป็นวัตถุดิบ โดยการนำเอาผลปาล์มร่วงมาทำกรวยที่อุณหภูมิประมาณ 180 – 200 องศาเซลเซียส ในกระบะโดยเป่าลมร้อนจากเตาพื้นน้ำมันโดนลมเป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง จากนั้นก็นำเอาผลปาล์มไปบิบน้ำมันด้วยเครื่องบิบน้ำมันมะพร้าว ซึ่งน้ำมันจากเปลือกและเมล็ดในจะผสมกันหมดน้ำมันก็จะถูกนำไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดหลายชั้น ส่วนกาก เส้นใย กะลา และเมล็ดใน ซึ่งปนกันอยู่จะบรรจุกระสอบจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์ต่อไป โรงงานประเภทนี้มีกำลังผลิตประมาณ 10 – 30 ตัน ผลปาล์มร่วงต่อวันใช้เงินลงทุนต่ำ และสามารถบิได้ทั้งผลปาล์ม มะพร้าว และเมล็ดอย่างพารา ฯลฯ กระบวนการผลิตก็ง่ายไม่ซับซ้อน ดังแสดงในภาพที่ 2.8 แต่มีข้อเสียของกระบวนการผลิตแบบนี้ก็มีหลายประการ กล่าวคือ น้ำมันจะไหม้ และฟอกสียาก เนื่องจากผลปาล์มถูกย่างด้วยความร้อนสูง น้ำมันจะสกปรก เพราะมีเขม่าควันมากจากการย่างผลปาล์ม และจะมีกรดไขมันอิสระสูงกว่า ประการสุดท้ายน้ำมันปาล์มกับน้ำมันเมล็ดในที่ผสมกันอยู่จะมีปัญหามากเมื่อนำไปกลั่นบริสุทธิ์จึงจำหน่ายได้ราคาต่ำกว่าน้ำมันที่ผลิตได้จากโรงงานสองประเภทแรก โดยเท่าที่ทราบโรงกลั่นจะนำไปทำสบู่หรือไม่ก็นำไปแยกกรดฟอสโฟและก็บรรจุบิขายเป็นน้ำมันหมูเทียม ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 กระบวนการหีบน้ำมันผสม [1]

## 2.10 การใช้ประโยชน์ผลิตผลปาล์มน้ำมัน [8]

น้ำมันปาล์มและน้ำมันในเมล็ดปาล์ม สามารถนำมาใช้แปรรูปได้โดยการกลั่นให้บริสุทธิ์ การทำให้ไขมันที่ไม่อิ่มตัวเปลี่ยนเป็นไขมันที่อิ่มตัว และการแยกองค์ประกอบของกรดไขมัน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมน้ำมันสำหรับการบริโภคและอุปโภคมากมาย

น้ำมันปาล์มและน้ำมันในเมล็ดปาล์ม ประกอบด้วยกรดไขมันอิสระชนิดต่างๆ ซึ่งเมื่อนำมาแยกและทำให้บริสุทธิ์จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ อย่างมากมายคือ กรดโอเลอิกเป็นกรดไขมันอิ่มตัว ตัวที่สำคัญที่สุด และกรดสเตียริก เป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่สำคัญที่สุดที่ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องเพื่อการอุปโภคต่างๆ สัดส่วนการใช้ประโยชน์น้ำมันปาล์มของอุตสาหกรรมต่อเนื่องเพื่อการบริโภคและอุปโภค

- อุตสาหกรรมเพื่อการบริโภค ร้อยละ 67.97 %
- อุตสาหกรรมนมข้นหวานและนมจืด ร้อยละ 4.81 %
- อุตสาหกรรมขนมสำเร็จรูป ร้อยละ 6.40 %
- อุตสาหกรรมเนยขาวและเนยเทียม ร้อยละ 1.00 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุตสาหกรรมครีมเทียม ร้อยละ 1.36 %
- อุตสาหกรรมของว่างและขบเคี้ยว ร้อยละ 9.37 %
- อุตสาหกรรมสบู ร้อยละ 10.13 %
- อุตสาหกรรมอุปโภคอื่นๆ เช่น พลาสติก เครื่องสำอาง น้ำมันหล่อลื่น และยางล้อรถยนต์ ร้อยละ 8.29 %

## 2.11 ผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์ม มีดังนี้

1. น้ำมันปรุงอาหาร ตามปกติน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิห้องจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ น้ำมันส่วนใสหรือโอเอลีน ซึ่งส่วนประกอบร้อยละ 65 – 70 และน้ำมันส่วนที่ขุ่น หรือสเตียร์น ซึ่งมีอยู่ร้อยละ 30 – 35 น้ำมันปรุงอาหารได้จากการนำเอาน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มาแยกส่วน เอาเฉพาะน้ำมันส่วนใสออกมาโดยกระบวนการแยกส่วน ซึ่งมีอยู่หลายวิธี น้ำมันโอเอลีนมีสภาพเป็นของเหลวใสที่อุณหภูมิ 18 – 20 องศาเซลเซียส แต่ถ้าต่ำลงมาถึง 7 องศาเซลเซียส น้ำมันจะเริ่มขุ่นเป็นตะกอน ดังนั้นจึงต้องนำไปผสมกับน้ำมันชนิดอื่นที่มีจุดขุ่นต่ำ เช่น ถ้าผสมกับน้ำมันถั่วเหลืองในอัตราส่วน 50 : 50 จุดขุ่นนี้จะลดเหลือประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส
2. มาการีน หรือเนยเทียม ทำมาจากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ทั้งนี้เพราะสมบัติทางกายภาพเหมาะสมกับการทำมาการีน คุณสมบัติพิเศษ คือ ละลายได้รวดเร็วเมื่อสัมผัสลิ้น
3. น้ำมันสำหรับทอดในวงการอุตสาหกรรมเนื่องจากมีราคาถูกและมีคุณสมบัติอยู่ตัวได้ดีกว่าชนิดอื่นๆ คือ ไม่ทำปฏิกิริยากับอากาศเมื่อถูกความร้อนจนมีกลิ่น จะใช้น้ำมันปาล์มเติมไฮโดรเจนซึ่งมีคุณสมบัติอยู่ตัวพิเศษและยังทำให้วัสดุที่นำมาทอดมีลักษณะกรอบอีกด้วย
4. เนยขาวน้ำมันปาล์มที่ฟอกบริสุทธิ์สามารถแปรรูปให้เป็นเนยขาวได้ โดยทำให้เย็นตัวลงจับพลันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
5. สบู่ น้ำมันปาล์มสามารถนำมาทำสบู่ได้
6. อาหารสัตว์ ในการผลิตอาหารสัตว์ซึ่งต้องการไขมันและวิตามินเป็นส่วนผสมมักนิยมใช้น้ำมันสเตียร์นผสมกับอาหารสัตว์

## 2.12 มาตรฐานน้ำมันปาล์ม [9]

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

2.12.1 ให้น้ำมันปาล์มที่ได้จากผลของต้นปาล์มที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า อีเลอีส กินีเอ็นซิส เอก (Elaeis Guineensis) เป็นอาหารควบคุมเฉพาะการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.12.2 น้ำมันปาล์มแบ่งออกได้ ดังต่อไปนี้

1. น้ำมันปาล์มจากเนื้อปาล์ม (Palm Oil)
2. น้ำมันปาล์มโอลีนจากเนื้อปาล์ม (Palm Olein)
3. น้ำมันปาล์มสเตียรีนจากเนื้อปาล์ม (Palm Stearin)
4. น้ำมันปาล์มจากเมล็ดปาล์ม (Palm Kernel Oil)
5. น้ำมันปาล์มโอลีนจากเมล็ดปาล์ม (Palm Kernel Olein)
6. น้ำมันปาล์มสเตียรีนจากเมล็ดปาล์ม (Palm Kernel Stearin)

### 2.12.3 การผลิตน้ำมันปาล์มให้ทำได้ ดังนี้

1. วิธีธรรมชาติ ทำโดยการบีบอัดหรือบีบอัดโดยใช้ความร้อนหรือวิธีธรรมชาติอื่น ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และนำมาทำให้สะอาดโดยการล้าง แล้วตั้งไว้ให้ตกตะกอน การกรอง หรือการหมุนเหวี่ยง
2. วิธีผ่านกรรมวิธี ทำโดยนำน้ำมันปาล์มที่ได้จากธรรมชาติหรือที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายตามที่ได้ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และนำมาผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง
3. วิธีอื่นตามที่ได้ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

2.12.4 น้ำมันปาล์มตามข้อ 2 (1) (2) และ (3) ที่ผลิตเพื่อจำหน่าย นำเข้าเพื่อจำหน่าย หรือที่จำหน่าย เพื่อใช้รับประทานหรือใช้ปรุงแต่งอาหาร ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

1. มีค่าของกรด (Acid Value) ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมัน 1 กรัม สำหรับน้ำมันปาล์มที่ทำโดยวิธีธรรมชาติ และไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัม โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมัน 1 กรัม สำหรับน้ำมันปาล์มที่ทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี
2. มีค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide Value) ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมสมมูลย์เพอร์ออกไซด์ ออกซิเจน ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม
3. มีส่วนประกอบของกรดไขมันเป็นร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด โดยใช้วิธีก๊าซลิควิดโครมาโตกราฟี หรือ จี แอล ซี (Gas Liquid Chromatography หรือ G L C) ดังนี้

กรดลอริก (Lauric Acid)

ไม่เกิน 1.2

กรดไมริสติก (Myristic Acid)

ระหว่าง 0.5 ถึง 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดปาล์มมิติก (Palmitic Acid)	ระหว่าง 32 ถึง 59
กรดปาล์มมิโตลิก (Palmitoleic Acid)	ไม่เกิน 0.6
กรดสเตียริก (Stearic Acid) กรดอาราซิดิก (Arachidic Acid)	ระหว่าง 1.5 ถึง 8.0
กรดโอลิก (Oleic Acid)	ระหว่าง 27 ถึง 52.0
กรดไลโนลิก (Linoleic Acid)	ระหว่าง 5.0 ถึง 14
กรดไลโนลินิก (Linolenic Acid)	ไม่เกิน 1.5

4. มีค่าสaponification (Saponification Value) ระหว่าง 190 ถึง 209 มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมัน 1 กรัม

5. มีค่าไอโอดีนแบบวิจส์ (Iodine Value, Wijs) ดังนี้

(ก) ระหว่าง 50 - 56 สำหรับน้ำมันปาล์มจากเนื้อปาล์ม

(ข) ไม่น้อยกว่า 55 สำหรับน้ำมันปาล์มโอลีนจากเนื้อปาล์ม

(ค) ไม่เกิน 48 สำหรับน้ำมันปาล์มสเตียรินจากเนื้อปาล์ม

6. มีสารที่สaponification ไม่ได้ (Unsaponifiable Matter) ไม่เกินร้อยละ 1.2 ของน้ำหนัก

7. มีสิ่งทีระเหยได้ (Volatile Matter) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ไม่เกินร้อยละ 0.2

ของน้ำหนัก

8. มีปริมาณสบู่ (Soap Content) ไม่เกินร้อยละ 0.005 ของน้ำหนัก

9. มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของน้ำมันปาล์มจากเนื้อปาล์ม

10. มีสิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (Insoluble Impurities) ไม่เกินร้อยละ 0.05 ของน้ำหนัก

11. มีปริมาณคาโรทีนอยทั้งหมด คำนวณเป็นเบตา-คาโรทีน ไม่น้อยกว่า 500 มิลลิกรัม ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม และไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัม ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม สำหรับน้ำมันปาล์มที่ทำโดยวิธีธรรมชาติ

12. ไม่มีกลิ่นหืน

13. ไม่มีน้ำมันแร่ น้ำมันปาล์ม ที่ผลิตตามวิธีอื่นในข้อ 3 (3) ให้ได้รับการยกเว้นไม่ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน (3) (4) (5) (6) (9) และ (11) แต่ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามที่ได้รับความคิดเห็นข้อบ่งชี้จากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ปรึกษาหารือ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.5 น้ำมันปาล์มตามข้อ 2 (4) (5) และ (6) ที่ผลิตเพื่อจำหน่าย นำเข้าเพื่อจำหน่าย หรือที่จำหน่าย เพื่อใช้รับประทานหรือใช้ปรุงแต่งอาหาร ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

1. มีค่าของกรด (Acid Value) ไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัม โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมัน 1 กรัม สำหรับน้ำมันปาล์มที่ทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี

2. มีค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value) ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ออกซิเจน ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม

3. มีส่วนประกอบของกรดไขมันเป็นร้อยละของกรดไขมันทั้งหมดโดยใช้วิธีก๊าซลิควิดโครมาโตกราฟี หรือ จี แอล ซี (Gas Liquid Chromatography) หรือ (G L C) ดังนี้ เว้นแต่น้ำมันปาล์ม โอ ลีอินจากเมล็ดปาล์มและน้ำมันปาล์มสเตียรีนจากเมล็ดปาล์ม ให้มีได้ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

กรดคาโปรอิก (Caproic Acid)		ไม่เกิน 0.5
กรดคาปริลิก (Caprylic Acid)	ระหว่าง	2.4 ถึง 6.2
กรดคาปริค (Capric Acid)	ระหว่าง	2.6 ถึง 7.0
กรดลอริก (Lauric Acid)	ระหว่าง	41 ถึง 55
กรดไมริสติก (Myristic Acid)	ระหว่าง	14 ถึง 20
กรดปาล์มมิติก (Palmitic Acid)	ระหว่าง	6.5 ถึง 11
กรดสเตียริก (Stearic Acid)	ระหว่าง	1.3 ถึง 3.5
กรดโอลีอิก (Oleic Acid)	ระหว่าง	10 ถึง 23
กรดไลโนลิก (Linoleic Acid)	ระหว่าง	0.7 ถึง 5.4

4. มีค่าสaponification (Saponification Value) ระหว่าง 230 ถึง 254 มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมัน 1 กรัม

5. มีค่าไอโอดีนแบบวิจส์ (Iodine Value, Wijs) ระหว่าง 13 ถึง 23 เว้นแต่น้ำมันปาล์มโอ ลีอินจากเมล็ดปาล์ม และน้ำมันปาล์มสเตียรีนจากเมล็ดปาล์ม ให้มีได้ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

6. มีสารที่สaponification ไม่ได้ (Unsaponifiable matter) ไม่เกินร้อยละ 1 ของน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. มีสิ่งทีระเหยได้ (Volatile matter) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของน้ำหนัก

8. มีปริมาณสบู่ (Soap content) ไม่เกินร้อยละ 0.005 ของน้ำหนัก

9. มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของน้ำมันปาล์มจากเมล็ดปาล์ม

10. มีสิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (Insoluble impurities) ไม่เกินร้อยละ 0.05 ของน้ำหนัก

11. ไม่มีกลิ่นหืน

12. ไม่มีน้ำมันแร่

13. น้ำมันปาล์มที่ใช้วัตถุเจือปนอาหาร (Food additives) หรือที่มีสารปนเปื้อน (Contaminants) ต้องใช้หรือมีได้ตามชนิดและปริมาณที่กำหนดไว้ในบัญชีท้ายประกาศนี้เท่านั้น

14. น้ำมันปาล์มที่ใช้ประโยชน์อย่างอื่นนอกจากใช้รับประทานหรือใช้ปรุงแต่งอาหาร ให้ได้รับการยกเว้นไม่ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในข้อ 4 ข้อ 5 และข้อ 6 แต่ต้องแสดงฉลากไว้ที่ภาชนะบรรจุว่า "ห้ามใช้รับประทาน" ด้วยตัวอักษรสีแดงขนาดไม่เล็กกว่า 1 เซนติเมตร ในกรอบพื้นสีขาว และในฉลากนั้นให้แสดงเครื่องหมายที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาออกให้ไว้ด้วย

15. ภาชนะบรรจุที่ใช้บรรจุน้ำมันปาล์มที่ใช้รับประทานหรือใช้ปรุงแต่งอาหาร ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ภาชนะบรรจุ

16. การแสดงฉลากของน้ำมันปาล์มที่ใช้รับประทานหรือใช้ปรุงแต่งอาหาร ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ฉลากประกาศฉบับนี้ไม่กระทบกระเทือนถึงใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหาร ซึ่งออกให้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ.2522) เรื่อง กำหนดน้ำมันและไขมันเป็นอาหารควบคุมเฉพาะและกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน วิธีการผลิต และฉลากสำหรับน้ำมันและไขมัน เว้นแต่เฉพาะส่วนที่เกี่ยวกับน้ำมันปาล์มจากเนื้อปาล์มตามข้อ 2 (1) (2) หรือ (3) หรือน้ำมันปาล์มจากเมล็ดปาล์มตามข้อ 2 (4) (5) หรือ (6) ให้ผู้ที่ได้รับใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับดังกล่าวมาดำเนินการแก้ไขตำรับอาหารให้มีรายละเอียดถูกต้องตามประกาศฉบับนี้ ภายในเก้าสิบวัน นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

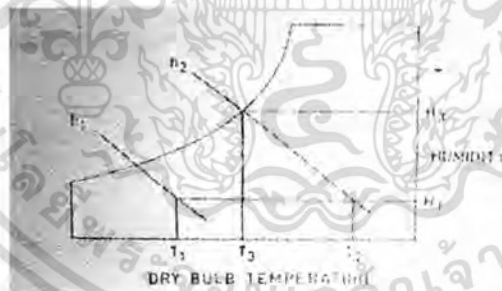
### ทฤษฎีและการออกแบบ

ในการออกแบบสร้างเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายชนิด ในการเลือกใช้ชิ้นส่วนแต่ละชนิดต้องเหมาะสมกับเครื่องที่ได้ทำการออกแบบไว้ ดังนั้นจะต้องมีการคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนตามหลักการของวิศวกรรมการออกแบบเครื่องจักรกลที่เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วน

#### 3.1 กระบวนการอบแห้ง [10]

โดยทั่วกระบวนการอบแห้งใช้หลักการทำให้เกิดลมร้อนและนำไปผ่านเมล็ดพืชหรือวัสดุที่ต้องการจะอบแห้ง เพื่อให้วัสดุนั้นร้อนขึ้นจนกระทั่งเกิดการระเหยน้ำ ปริมาณความร้อน (sensible heat) ที่ทำให้วัสดุร้อนขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความร้อนแฝงที่ต้องใช้ระเหยน้ำแล้วมีค่าน้อยมากและอาจไม่นำมาคิดถ้าให้การสูญเสียความร้อนระหว่างขณะอบแห้งเนื่องจากหาค่าความร้อนและการแผ่รังสีน้อยมากและไม่นำมาคิดเช่นกัน อาจถือได้ว่ากระบวนการอบแห้งเป็นกระบวนการอะเดียมาติก(Adiabatic process)

ความร้อนสัมผัส (Sensible Heating) และกระบวนการอบแห้งแบบอะเดียมาติกสำหรับเมล็ดพืชหรือวัสดุขึ้นแสดงในภาพที่ 3.1 อากาศถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก  $T_1$  ถึง  $T_2$  และเอนทัลปีเพื่อขึ้น  $h_1$  เป็น  $h_2$  ขณะการอบแห้งดำเนินอยู่อุณหภูมิลงมาจาก  $T_2$  ตกลงมา  $T_1$  เมื่ออากาศออกจากเครื่องอบและอัตราส่วนความชื้นจาก  $H_1$  เป็น  $H_2$



ภาพที่ 3.1 แผนภูมิความร้อนสัมผัสของลมและกระบวนการอบแห้งแบบอะเดียมาติก [10]

ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้สำหรับอัตราการไหลของลม  $m_a$

$$Q = m_a (h_2 - h_1) \quad (3.1)$$

เมื่อ

$m_a$  = อัตราการไหลมวลอากาศแห้ง Kg/sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$h_1$  = เอนเทลปีอากาศเข้าที่สภาวะ 1 KJ/Kg<sub>dry air</sub>

$h_2$  = เอนเทลปีอากาศเข้าที่สภาวะ 2 KJ/Kg<sub>dry air</sub>

อัตราความชื้นที่กำลังออกจากเมล็ดพืช หรือวัสดุ

$$\frac{dW}{dt} = m_a(H_2 - H_1) \quad (3.2)$$

เมื่อ

$dW/dt$  = อัตราการระเหยน้ำ Kg/sec

$H_1$  = อัตราส่วนความชื้นอากาศเข้าหรือสภาวะที่ 1 Kg<sub>water</sub>/ Kg<sub>dry air</sub>

$H_2$  = อัตราส่วนความชื้นอากาศเข้าหรือสภาวะที่ 2 Kg<sub>water</sub>/ Kg<sub>dry air</sub>

เมื่อการอบแห้งเมล็ดพืชเป็นแบบถังลึก (Deep Bed) ขณะที่การอบแห้งยังดำเนินอยู่จะมีส่วนที่เมล็ดพืชแบ่งออกได้ 3 ส่วนตามความลึกคือ ส่วนที่แห้งแล้ว (dried zone) ส่วนที่กำลังอบแห้ง (drying zone) และส่วนที่ยังไม่ได้อบ (undried zone) ดังภาพที่ 3.2 โดยแนวเส้นแบ่งเขตการอบแห้ง (drying front) จะค่อยเคลื่อนขึ้นข้างบนจนกระทั่งเมล็ดพืชถูกอบแห้งจนหมด ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ขอบเขตการอบแห้งและแนวเส้นการอบแห้งในถังลึก [10]

พิจารณาลมร้อนไหลบ่าในอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิ  $T_1$  อัตราส่วนความชื้น  $H_1$  เมล็ดพืชความชื้นเริ่มต้น  $M_1$  และลมที่ออกจากเครื่องมีอุณหภูมิ  $T_2$  อัตราส่วนความชื้น  $H_2$  และอยู่ในสภาวะไอน้ำอิ่มตัวความเร็วลมที่ไหลบ่าเป็น  $V_u$  m/s อัตราการเคลื่อนของแนวเส้นการอบแห้งเป็น  $V_d$  m/sec

สมมูลยวมวล

$$p_a A m_a (H_f - H_1) = p_a A w (M_f - M_1) \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$w = m_a \left[ \frac{p_a}{p_d} \right] \frac{(H_f - H_i)}{(M_f - M_i)} \quad (3.4)$$

เมื่อ

$dW/dt$  = อัตราการระเหยน้ำ Kg/sec

$P_a$  = ความหนาแน่นอากาศชื้น Kg/m<sup>3</sup>

$P_d$  = ความหนาแน่นอากาศชื้น Kg/m<sup>3</sup>

$H_f$  = อัตราส่วนความชื้นอากาศอิ่มตัว Kg<sub>water</sub>/ Kg<sub>dry air</sub>

$w$  = อัตราการเคลื่อนขอบเขตความชื้น m/sec

$M_f$  = ความชื้นที่ออก ทศนิยมหรือ %

$M_i$  = ความชื้นที่เข้า ทศนิยมหรือ %

การอบแห้งแบบย้อนกลับ (Drying with Recalculation)

ในการประหยัดพลังงานการนำลมร้อนบางส่วนออกจากเครื่องอบซึ่งยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ย้อนกลับมาใช้อีก สมบัติให้อัตราส่วนของลมที่นำกลับมาใช้ต่อมวลของกลมที่ใช้อบแห้งเป็น  $r$  สมดุลย์มวล

$$H_B = rH_D + (1-r)H_A \quad (3.5)$$

$$r = \frac{H_B - H_A}{H_D - H_A} = \frac{H_D - H_B}{H_D - H_A} \quad (3.6)$$

เมื่อ

$H_B$  = อัตราส่วนความชื้นอากาศที่สภาวะ B Kg<sub>water</sub>/ Kg<sub>dry air</sub>

$H_D$  = อัตราส่วนความชื้นอากาศที่สภาวะ D Kg<sub>water</sub>/ Kg<sub>dry air</sub>

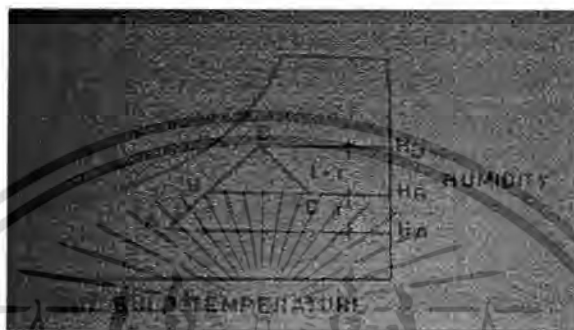
$H_A$  = อัตราส่วนความชื้นอากาศที่สภาวะ A Kg<sub>water</sub>/ Kg<sub>dry air</sub>

$r$  = อัตราส่วนการไหลย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาอัตราส่วนย้อนกลับ  $r$  ถ้า  $r$  เพิ่มขึ้นการเปลี่ยนแปลง  $H_D - H_B$  จะน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับ  $H_D - H_A$  มีผลให้การนำความชื้นออกจากวัสดุลดลง แต่เมื่อพิจารณาปริมาณความร้อนที่ต้องใช้จะน้อยกว่าการใช้อากาศทั่วไป

ภาพที่ 3.3 แสดงสถานะของลมที่ถูกนำย้อนกลับมาผสมกับลมภายนอก จุด A เป็นสถานะของลมภายนอก B เป็นจุดที่ลมภายนอกและที่ย้อนกลับถูกผสม C ลมถูกทำให้ร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้ง D เป็นจุดที่ลมออกจากเครื่องอบและบางส่วนถูกย้อนกลับไปผสมระยะ  $AB/BD = r/(1-r)$  และ  $AB/AD = r$



ภาพที่ 3.3 สถานะของลมเมื่อผ่านขบวนการอบแห้งแบบย้อนกลับ [10]

### 3.2 เฟลา [11]

เฟลาอาจได้รับแรงดึง แรงกด แรงบิด แรงดัด หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้น การคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เฟลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้น จึงต้องออกแบบเฟลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้นอกจากนั้นเฟลาจะต้องมีความแข็งแกร่ง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเฟลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ ระยะโก่ง (Deflection) ของเฟลาก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดเฟลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเฟลามีระยะโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤต (Critical Speed) ของเฟลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เฟลาเกิดการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเฟลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเฟลา เช่น บอลเบริง (Ball Bearing) ก็ต้องมีการเอียงแนว (Misalignment) ในการใช้งานที่พอเหมาะ กับเฟลาด้วย

#### 3.2.1 วัสดุเฟลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเฟลาทั่วไป คือ เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้ว มักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นที่จะทำเฟลา เช่น AISI 1347, 3140, 4120, 4340 เป็นต้น เฟลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 90 มิลลิเมตร มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้เฟลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา ก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 ขนาดของเพลลา

เพื่อให้เพลลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลลา ซึ่งเป็นขนาดระบุ (Nominal Size) ใน ISO/R 775 - 1969 เอาไว้สำหรับผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบร็งที่ผู้รองรับเพลลาด้วยขนาดระบุของเพลลา

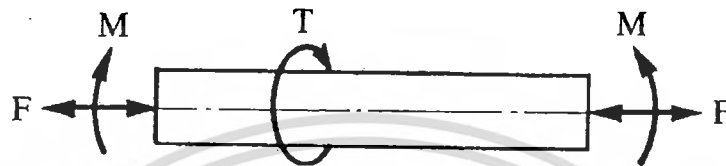
### 3.2.3 การพิจารณาในการออกแบบ

การคำนวณหาขนาดเพลลาที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการที่จะหาขนาดเพลลาเพื่อให้เพลลาทนต่อแรงที่มากระทำอย่างเดียวยังไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลลาลูกเบี้ยว (Cam Shaft) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ต้องการให้มีตำแหน่งเที่ยงตรง ดังนั้น มุมบิดของเพลลาที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือเพลลาจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ภายในพิกัดที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนด้วย ซึ่งอาจมีผลทำให้เฟืองและแบร็งที่รองรับเพลลาเกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐานสำหรับพิกัดมุมบิดของเพลลาในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิดของเพลลาในเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน 0.3 องศา ต่อความยาวเพลลา 1 เมตร สำหรับเพลลาส่งกำลังทั่วไปอาจจะให้มุมบิดได้ถึง 1 องศา ต่อความยาวเพลลา 20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา ในกรณีของเพลลาลูกเบี้ยวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้วจะให้มุมบิดได้ไม่เกิน 0.5 องศา ตลอดความยาวของเพลลาความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง ก็คือ ความแข็งแรงทางด้านระยะโคง เพราะอาจจะต้องใช้ระยะโคงของเพลลาที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญ ในตัวกำหนดระยะเบียด (Clearance) ระหว่างล้อสายพานและเฟืองโคจรของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของแบร็งสำหรับรองรับเพลลาให้เหมาะสม ถ้าเพลลามีระยะโคงมากเกินไปจะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขอบ (Contact Ratio) ของฟันเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังของฟันเฟืองลดลงด้วย และการส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควร การเลือกแบร็งมารองรับเพลลาก็เช่นกันจำเป็นต้องเลือก แบร็งชนิดที่อนุญาตให้มีการเอียงแนวสำหรับการใช้งานได้พอเหมาะกับระยะโคงของเพลลาที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นแบร็งธรรมดา หรือแบร็งแบบปรับแนวตัวเอง (Self - Aligning) ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าระยะโคงเป็นสำคัญ ระยะโคงดังที่กล่าวมาไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้เป็นแนวทางโดยทั่ว ๆ ไป ผู้ออกแบบอาจจะถือค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งแรงทางด้านระยะโคงได้ดังนี้ คือสำหรับเพลลาของเครื่องจักรทั่วไป ค่าระยะโคงระหว่างจุดที่รองรับด้วยแบร็งควรจะไม่เกิน 0.08 มิลลิเมตร สำหรับเพลลาที่มีเฟืองดอกจอก (Beble Gea) คุณภาพดีติดอยู่กับระยะโคง ณ ตำแหน่งที่เฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.075 มิลลิเมตร จากเหตุผลดังกล่าวจะเห็นว่าขนาดของเพลลา อาจจะมาได้โดยใช้ความแข็งแรงที่ต้องการแทนที่จะเป็นความแข็งแรงในการรองรับภายนอกได้ การหาระยะโคงเพลลาที่มีขนาดเท่ากันตลอดอาจทำได้ด้วยวิธีที่ได้เรียนรู้มาในวิชากลศาสตร์วัสดุ เช่น วิธีการอินทิเกรตสองชั้น (Double Integration) วิธีหาพื้นที่ของโมเมนต์ดัด (Moment Area) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 การออกแบบเพลตามรหัสของ ASME

วิธีดังกล่าวนี้ ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่คิดความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่จะเกิดขึ้นบนเพลลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตศาสตร์ (Static design method) ในการหาสมการสำหรับการออกแบบเพลลา ให้พิจารณาเพลลาในภาพที่ 3.4 ให้เพลลาเป็นแบบกลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ  $d_1$  และ  $d_2$  ตามลำดับ



ภาพที่ 3.4 เพลลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ [11]

เพลลาเป็นแบบเพลลาตันจะได้

ความเค้นดึงหรือกด

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.7)$$

ความเค้นดัด

$$\sigma_b = \frac{M_c}{I} \quad (3.8)$$

ความเค้นเฉือน

$$\tau_{xy} = \frac{\tau_r}{J} \quad (3.9)$$

เพลลาส่วนมากจะอยู่ใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร ทั้งนี้เพราะที่เพลลาหมุนตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำยังอาจจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเพลลาเกิดความเสียหายเนื่องจากความล้าที่เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงต้องการที่จะอาศัยตัวประกอบความล้า (Fatigue) มาเกี่ยวข้องด้วย ถ้าให้

$C_m$  คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

$C_t$  คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

โดยที่

$$K = \frac{d_i}{d_o} \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ไม่มีแรง  $F$  กระทำอยู่ด้วย

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-k^4)} [(C_T T^2) + (C_m M^2)]^{1/2} \quad (3.11)$$

หรือ ในกรณีของเพลาดัน  $k=0$

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau} [(C_T T^2) + (C_m M^2)]^{1/2} \quad (3.12)$$

นอกจากนี้รหัสของ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่าเพลาสีงมีใช้อยู่ในงานธรรมดาทั่วไป ควรมีค่าความเค้นเฉือนใช้ในงานดังนี้

$$\tau_d = 55 \text{ (N/mm}^2\text{) สำหรับเพลานี้มีร่องลึ้ม}$$

$$\tau_d = 41 \text{ (N/mm}^2\text{) สำหรับเพลานี้มีร่องลึ้ม}$$

### 3.3 โรลลิ่งแบร์ริง [12]

โรลลิ่งแบร์ริง (Rolling Bearings) หมายถึง แบร์ริงชนิดจะรับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบร์ริงที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบกลิ้ง และเป็นแบบผิวสัมผัสแบบเลื่อน (Sliding Contact) เนื่องจากแบร์ริงชนิดนี้มีค่าความเสียดทานน้อยมาก ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันทั่วไปในงานอุตสาหกรรมเรียกกันว่า แอนติฟริกชันแบร์ริง (Antifriction Bearing) เช่น บอลแบร์ริง (Ball Bearings) หรือตลับลูกปืน (ดังภาพที่ 3.5) ซึ่งประกอบด้วย วงแหวนเหล็กกล้าสองวงที่แยกออกจากด้วยกัน ลูกกลิ้งทรงกลม ลูกกลิ้งเหล่านี้รับแรงมาจากวงแหวนวงหนึ่ง แล้วส่งแรงนี้ผ่านไปยังวงแหวนอีกวงหนึ่งโดยการกลิ้งไปบนวงแหวน

เนื่องจากการใช้โรลลิ่งแบร์ริงอย่างแพร่หลาย ทางด้านสมาคมของผู้ผลิตโรลลิ่งแบร์ริง (AFBMA: Anti-Friction Bearing Manufacturers Association) จึงได้วางมาตรฐานการกำหนดขนาดและหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกแบร์ริงนี้ขึ้น จากการทำมาตรฐานนี้จะทำให้ที่ผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรสามารถเลือกแบร์ริงจากบัญชีรายการสินค้าของผู้ผลิตหนึ่ง และเปลี่ยนแบร์ริงนี้โดยการเลือกจากอีกผู้ผลิตหนึ่งได้ โดยที่แบร์ริงที่เลือกจากผู้ผลิตทั้งสองยังคงมีขนาดเท่ากันถึงแม้สมาคม AFBMA ได้วางมาตรฐานวิธีการเลือกแบร์ริงตามความต้องการของการรับแรงและอายุการใช้งานไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5. พื้นผิวที่สัมผัสกันน้อยมาก ดังนั้นภาระต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (ความเค้น) ที่เกิดขึ้นจึงมีค่าสูง ทำให้อายุการใช้งานสั้นกว่า

ร่องลื่นลูกปืนกลมถ้าแบ่งตามลักษณะรูปร่างของลูกกลิ้ง แบ่งประเภทคือ ลูกปืนทรงกลม และ ร่องลื่นลูกปืนทรงกลม แต่ถ้าแบ่งตามลักษณะของโหลดก็แบ่งออกได้เป็นสองประเภทด้วยกัน คือ เรเดียนแบร์ริง (Radial Bearing) และทรัสแบร์ริง (Thrust Bearing)

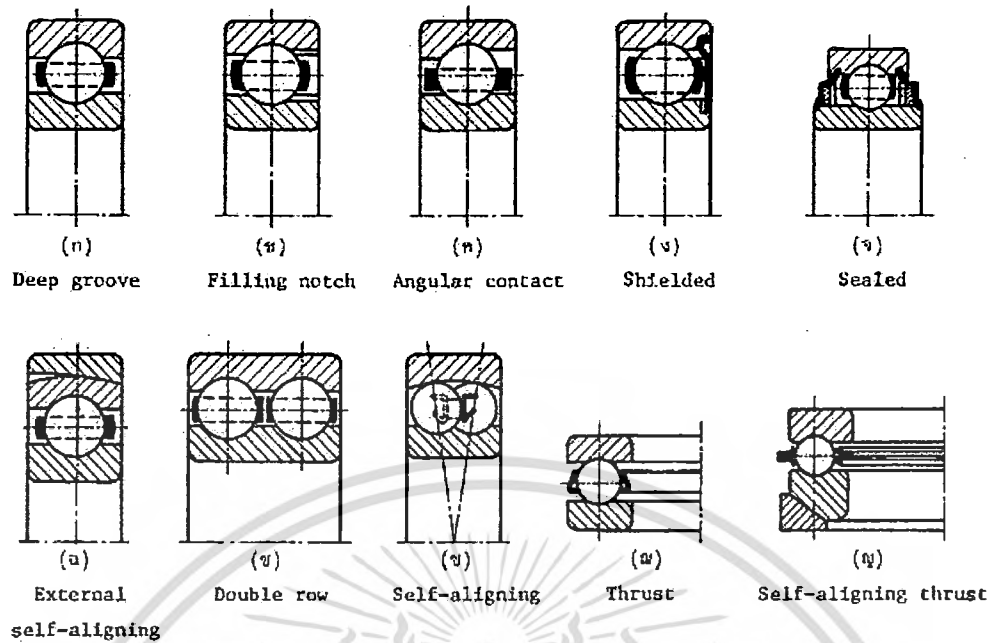
### 3.3.2 ส่วนสำคัญของร่องลื่นลูกปืนกลม

ส่วนสำคัญของร่องลื่นลูกปืนกลมประกอบด้วย ลูกกลิ้ง (Rolling Element) คือ ทรงกลมหรือร่องลื่น (Roller) อยู่ระหว่างวงแหวนนอกและวงแหวนใน (Outer Ring and Inner Ring) และส่วนตัวแยก (Seperator) เป็นโลหะคั่นแยกระยะของทรงกลม (Ball) วงแหวนในและนอกของร่องลื่นลูกปืน ส่วนมากทำจากเหล็ก SAE 52100 มีความแข็ง RC 60 ถึง 67 ส่วนรางของวงแหวนในและนอก (Inner and Outer ring Raceway) จะเป็นผิวเจียรระไนที่มีความละเอียดมาก ลูกกลิ้งโดยทั่วไปจะเป็นทรงกลม (Ball) หรือไม่ก็เป็นร่องลื่น (Roller) ซึ่งทำจากวัสดุเดียวกัน และมีผิวสำเร็จเหมือนรางของวงแหวน ตัวแยกของลูกกลิ้งใช้เป็นตัวคั่นระยะของลูกกลิ้ง วัสดุที่ใช้ทำก็ขึ้นอยู่กับประเภทของงานที่ใช้

### 3.3.3 ชนิดของแบร์ริง

โรลลิ่งแบร์ริงจะแบ่งประเภทออกได้ คือ บอลแบร์ริง ซึ่งมีลูกกลิ้ง (Roller Element) ที่เป็นรูปทรงกลมและโรลเลอร์แบร์ริง (Rolling Bearing) ซึ่งมีลูกกลิ้งเป็นรูปทรงกระบอกตรง (Straight Roller) หรือเป็นรูปทรงกระบอกเรียว (Tapered Roller) ก็ได้ โดยปกติแล้วแบร์ริงเหล่านี้จะรับแรงในแนวรัศมีรุนแรง ยกเว้นโรลเลอร์แบร์ริงแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกตรงเท่านั้น แบร์ริงทั้งสองพวกนี้แยกออกเป็นชนิดต่างๆ ดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 3.6

บอลแบร์ริงชนิดมีลูกกลิ้งหนึ่งแถวมีร่องลึก (Single-row deep-groove) เป็นแบร์ริงชนิดที่มีการใช้งานมากที่สุด ประกอบด้วยร่องลึกเป็นทางกลิ้งสำหรับลูกกลิ้งทรงกลม ดังรูป 3.6 (ก) สามารถรับแรงได้ทั้งในแนวรัศมีและแนวแกน อัตราส่วนของแรงในแนวแกนต่อแรงในแนวแกนรัศมีที่รับได้ประมาณ 0.7 และสามารถรับการเยื้องแนวของเพลลาได้ประมาณ 0 - 15 องศา เมื่อต้องการความสามารถในการรับแรงในแนวรัศมีขึ้นไปอีก ก็อาจทำได้โดยการเพิ่มจำนวนลูกกลิ้งที่บรรจุในรางให้มากขึ้นจำเป็นที่จะต้องทำตัดผิวหน้าวงแหวนด้านหนึ่งให้มีช่องสำหรับใส่ลูกกลิ้ง (Filling Notch) เพิ่มขึ้นดังในรูป 3.6 (ข) การทำเช่นนี้ จะทำให้แบร์ริงรับแรงในแนวรัศมีเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 20 - 40 เปอร์เซ็นต์ แต่ความสามารถในการรับแรงในแนวแกนจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่สำหรับรับแรงในแนวนั้นลดลงนั่นเอง



ภาพที่ 3.6 บอลแบริงชนิดต่างๆ [12]

สำหรับแบริงชนิดนี้มีการใช้แผ่นโลหะไว้ระหว่างช่องว่างของวงแหวน เพื่อป้องกันให้กับสิ่งสกปรก และจะช่วยรักษาปริมาณของสารหล่อลื่นมิให้รั่วไหลออกจากแบริง ดังภาพที่ 3.6 (ง) ส่วนในภาพที่ 3.6 (จ) เป็นการใส่โลหะแผ่นปิดเพื่อเป็นการปิดแบบตายตัว (Sealed)

บอลแบริงชนิด (Angular Contact) ดังภาพที่ 3.6 (ค) เป็นแบริงที่ใช้รับแรงในแนวแกน ซึ่งมีความสูงโดยมีมุมสัมผัส (Contact Angle) ต่าง ๆ กันไป เมื่อมุมสัมผัสเพิ่มขึ้นแบริงก็จะสามารถรับแรงในแนวแกนเพิ่มขึ้นด้วย แต่จะรับแรงในแนวรัศมีได้น้อยลง ในกรณีที่ต้องการใช้รับแรงในแนวแกนสองทิศทางก็ให้ใช้แบบลูกกลิ้งสองแถว (Double Row) ดังภาพที่ 3.6 (ข) หรือใช้แบริงสองอันหันหน้าเข้าหากัน

บอลแบริงชนิดปรับแนวเอง (Self Aligning) ออกแบบใช้สำหรับในกรณีที่เพลลาอาจที่จะมีการเอียงแนวเป็นมุมที่ค่อนข้างมาก ดังแสดงในภาพที่ 3.6 (ฉ) และ 3.6 (ช) แบริงในภาพที่ 3.6 (ช) เป็นแบบปรับแนวได้เองภายใน ซึ่งอาศัยผิวทรงกลมของวงแหวนภายในช่วยปรับมุมได้ถึง  $\pm 2^{\circ} 30'$  ส่วนแบริงในภาพที่ 3.6 (ฉ) เป็นแบบปรับแนวได้เองภายนอก สามารถปรับมุมสูงได้ โดยเจียรระโนผิวด้านนอกวงแหวนให้รับกับผิวด้านหน้าของตัวรับแบริง (Rearing Housing)

บอลแบริงกันรุน (Thrust Ball Bearing) ดังภาพที่ 3.6 (ณ) ออกแบบสำหรับที่รับแรงในแนวของแกนโดยเฉพาะ ถ้ามีแรงในแนวรัศมีอยู่ด้วยแล้วจะต้องใช้แบริงชนิดอื่นช่วยรับแรงนี้ ดังนั้นในกรณีที่มีแรงทั้งสองอยู่พร้อมกันแล้วก็ควรที่จะเลือกใช้ชนิด Angular Contact

### 3.3.4 อายุการใช้งานของแบริง

แบริงที่ได้รับการติดตั้งและหล่อลื่นอย่างดี ตลอดจนดูแลรักษาให้ปราศจากฝุ่น หรือเศษผงต่างๆ และไม่อยู่ภายใต้แรงกระทำที่มีค่าสูงมากเกินความสามารถที่แบริงจะรับไว้ได้ แบริงจะเสียหายเนื่องจากความล้าที่เกิดขึ้นในวัสดุแบริงเท่านั้น ดังจะเห็นได้ว่าแบริงที่เสียจะมีเศษผงโลหะหลุดออกมาเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนมาก ทั้งนี้เพราะพื้นที่สัมผัสระหว่างลูกกลิ้งกับวงแหวนมีค่าน้อย ดังนั้นที่ความเค้นที่เกิดขึ้นในลูกกลิ้งหรือวงแหวนจึงมีค่าสูงเข้าใกล้ความเค้นของเฮิร์ซ (ในที่นี้จะไม่กล่าวถึงการหาและที่มาของความเค้นเฮิร์ซ ซึ่งต้องใช้ทฤษฎีทางอีลาสติซิตี) ในขณะที่ลูกกลิ้งหมุนไปรอบวงแหวน วัสดุส่วนที่รับแรงของแบร์ริงจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่มีค่าเปลี่ยนจากศูนย์ไปยังค่าสูงสุดแล้วกลับลงมาเป็นศูนย์ (Repeated Stress) อยู่ตลอดเวลา แต่เนื่องจากค่าความเค้นนี้ สูงกว่าขีดจำกัดความทนทาน (Endurance Limit) ของวัสดุแบร์ริง ดังนั้นจึงเกิดการเสียหายขึ้น โดยความล้าซึ่งก็แสดงว่า อายุใช้งานของแบร์ริงมีระยะเวลาจำกัดขึ้นอยู่กับค่าความเค้นที่กระทำซ้ำ

### 3.3.5 การประเมินอายุการใช้งานของแบร์ริง

สมาคม AFBMA ได้ตั้งนิยามและวิธีการเลือกแบร์ริงดังต่อไปนี้

อายุการใช้งาน (Life) ของโรลลิ่งแบร์ริง คือ จำนวนรอบที่หมุน (หรือจำนวนชั่วโมงการใช้งานที่มีความเร็วคงที่) ซึ่งแบร์ริงหมุนได้ก่อนที่จะเกิดความล้าขึ้นในวงแหวนเนื้อลูกกลิ้ง

อายุประเมิน (Rating Life) คือ การนำแบร์ริงมาจำนวนหนึ่งเพื่อนำมาทดลองทั้งหมดจำนวนรอบตามกำหนดทุก ๆ ตัว ถ้าปรากฏว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนแบร์ริงทั้งหมดไม่เกิดความเสียหาย

แรงสถิตประเมิน (Basic Static Load Rating) ใช้แทนด้วย  $C_0$  ถ้าแบร์ริงรับแรงสูงและที่อยู่เนิ่นนาน อาจทำให้เกิดการยุบตัวอย่างถาวรจึงต้องมีการตรวจสอบว่า แรงที่มากกระทำมีค่ามากกว่า  $C_0$

แรงพลวัตประเมิน (Basic Dynamic Load Rating) ใช้แทนค่าด้วยสัญลักษณ์  $C$  สำหรับ  $C$  ของแบร์ริงอนุกรมต่าง ๆ ความสามารถในการรับภาระจลน์ หมายถึงการนำแบร์ริงมาจำนวนหนึ่งหมุนไปล้านรอบ (ความเร็ว) 33.3 รอบต่อนาที หลังจากครบแล้วถ้าจำนวนได้ 90 เปอร์เซ็นต์  $L_{10}$  ของตลับลูกปืนทั้งหมดไม่ได้เกิดความเสียหาย เนื่องจากความล้า การทดสอบปรากฏว่าอายุประเมินกับโหลดมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^K \quad (3.13)$$

โดยที่  $L_{10}$  = อายุประเมิน หน่วยเป็นล้านรอบ

$P$  = โหลดจลน์เทียบเท่า

$K$  = 3.0 สำหรับบอลแบร์ริง

$C$  = แรงประเมินโรลเลอร์แบร์ริง

ถ้าต้องการมีหน่วยเป็นชั่วโมง ให้ใช้สมการ

$$L_{10} = \left( \frac{10^6}{60n} \right) \times \left( \frac{C}{P} \right)^K \quad (3.14)$$

เมื่อ

$n$  = ความเร็วรอบเป็น รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 คำนวณหาขนาดของมอเตอร์

จากสมการหาค่ากำลังมอเตอร์ แล้วใช้ค่าแรงบิดรวมที่ใช้ในการขับเคลื่อนค่าที่กำหนดให้ ใช้รอบในการขับเคลื่อน 970 รอบต่อนาที และมีขนาด 10 แรงม้า (จากป้ายติดที่มอเตอร์)

จากสูตรแรงบิดที่กระทำต่อเพลตามสมการ

$$T = Fr \quad (3.15)$$

กำหนดให้  $T$  = แรงบิด (นิวตันเมตร)

$F$  = แรงที่ได้จากทดสอบ (นิวตัน)

$r$  = รัศมีเพลาคับ (เมตร)

จากสูตรหาขนาดแรงม้า

$$WP = \frac{2\pi TN}{60} \quad (3.16)$$

จากสมการกำหนดให้

$WP$  คือ แรงม้า

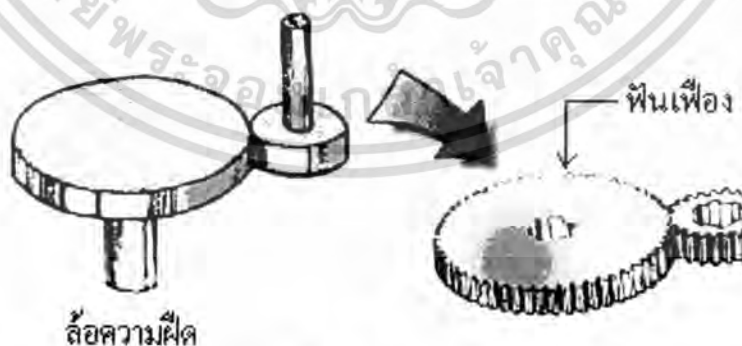
$T$  คือ โมเมนต์บิด (นิวตันเมตร)

$N$  คือ ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)

มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า = 745.7 วัตต์

### 3.5 หลักการของเฟือง [13]

การถ่ายทอดการหมุนจากต้นกำลังนั้น ทำได้หลายวิธี เช่น ด้วยการใช้สายพาน โซ่ ล้อความฝืด เป็นต้น ล้อความฝืดก็คือ ล้อสองล้อที่ถูกกดให้ติดกัน เมื่อล้อหนึ่งหมุน หรือเป็นล้อขับก็จะทำให้ล้ออีกหนึ่งหมุนตาม เพราะผิวหน้าของล้อทั้งสองเกิดความฝืด เนื่องจากการสัมผัส แต่ถ้าหากมีภาระมากๆ เช่น มีการส่งกำลังสูงๆ จะทำให้เกิดการลื่นไถล การส่งกำลังจึงไม่แน่นอน เพื่อให้จะแก้ไขข้อเสียเหล่านี้จึงได้มีการนำเอาฟันเฟืองมาติดไว้ที่ผิวของล้อโดยรอบล้อ จึงมีลักษณะเป็นล้อฟันเฟือง ซึ่งต่อๆมาเราจึงเรียกว่า "เฟือง" ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สามารถส่งกำลังหรือถ่ายทอดการหมุนได้แม่นยำเที่ยงตรง และไม่มีการลื่นไถล ดังภาพที่ 3.7

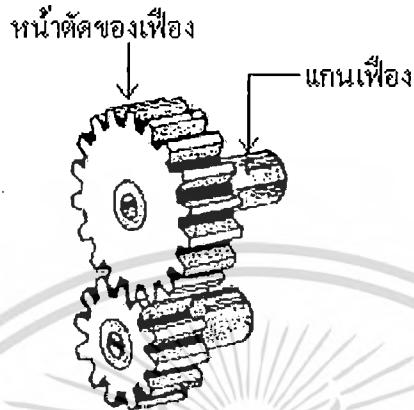


ภาพที่ 3.7 เฟือง [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.1 เฟืองตรง (Spur gear)

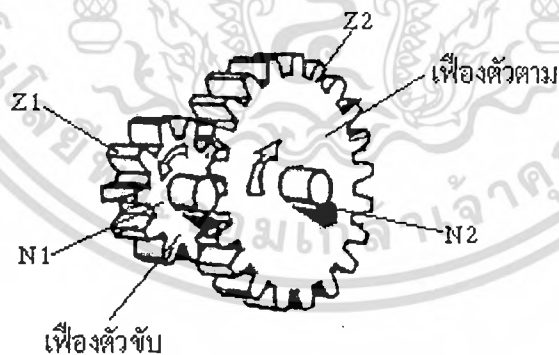
เป็นเฟืองที่มีลักษณะเป็นล้อทรงกระบอก มีฟันขนานกับแกนของตัวเฟือง มีหน้าตัดของฟันเฟืองขนานเท่ากัน และเหมือนกันตลอดทั้งเฟือง ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 เฟืองตรง [13]

### 3.5.2 ความเร็วของเฟือง

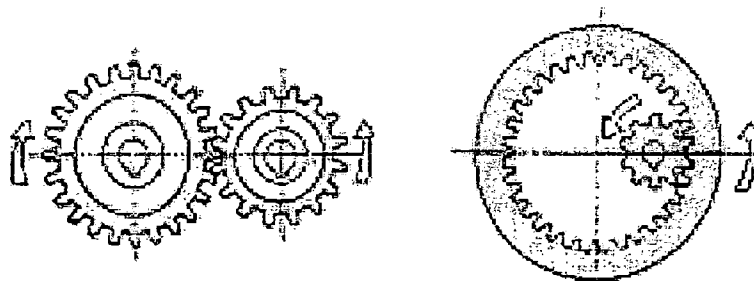
การส่งกำลังจากเฟืองตัวขับไปยังเฟืองตัวตามนั้น [13] ต้องมีการขบกันของเฟือง ส่วนอัตราเร็วของเฟืองจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนฟันเฟืองของเฟือง ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง และการเคลื่อนที่ของเฟืองตัวขับ จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่สวนกัน ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ตัวแปรอัตราเร็วของเฟือง [13]

เมื่อเฟืองตัวขับเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟัน ฟันของเฟืองตัวก็จะขับให้เฟืองตัวตามเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟันด้วยและการขบกันของเฟืองอาจขบกันภายนอกหรือภายในก็ได้ดังภาพที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เฟืองขบกันภายนอก

เฟืองขบกันภายใน

ภาพที่ 3.10 เฟืองขบกันภายนอก และเฟืองขบกันภายใน [13]

เฟือง เป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรกล ที่ถ่ายทอดกำลังจากเพลลาอันหนึ่ง ไปยังอีกอันหนึ่ง การถ่ายทอดกำลังนั้นขึ้นอยู่กับอัตราเร็ว และจำนวนฟันของเฟืองจำเป็นจะต้องทราบ คือ ชนิดของเฟือง ความสัมพันธ์ของจำนวนฟันเฟือง ( $Z$ ) และอัตราเร็วของเฟือง ( $N$ ) โดยทั่วไปหน่วยอัตราความเร็วของเฟือง มักนิยมบอกเป็นจำนวนรอบต่อนาที

สิ่งเหล่านี้มีความสัมพันธ์กัน คือ ถ้าสมมุติให้

$$\text{- อัตราเร็วของเฟืองตัวขับ} = N_1$$

$$\text{- อัตราเร็วของเฟืองตัวตาม} = N_2$$

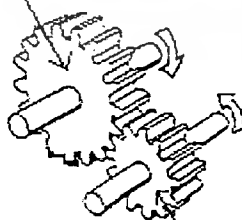
$$\text{- จำนวนฟันของเฟืองตัวขับ} = Z_1$$

$$\text{- จำนวนฟันของเฟืองตัวตาม} = Z_2$$

ตัวตามคูณด้วยจำนวนฟันของเฟืองหรือเขียนง่ายได้ดังนี้

$$N_1 Z_1 = N_2 Z_2 \quad (3.17)$$

เฟืองตัวตาม



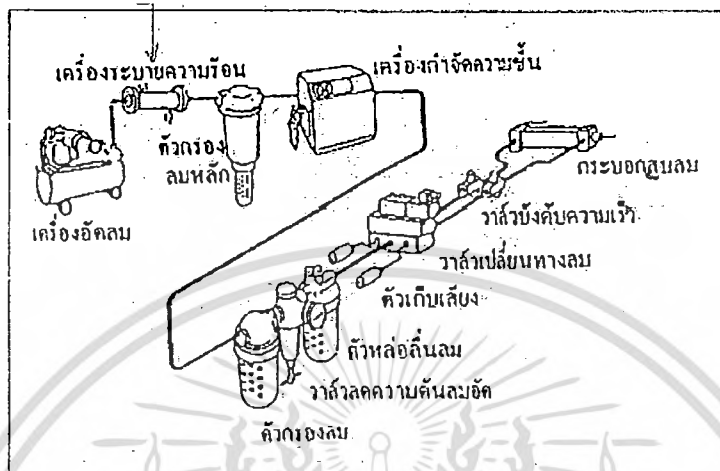
เฟืองตัวขับ

ภาพที่ 3.11 เฟืองตัวตาม และเฟืองตัวขับ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 ระบบนิวแมติกส์ [14]

ระบบนิวแมติกส์ หมายถึง ระบบการส่งถ่ายกำลังโดยอาศัยความดันลมเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายกำลัง โดยมีอุปกรณ์ เช่น กระจบอกสูบ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกล



ภาพที่ 3.12 ระบบนิวแมติกส์ [14]

ข้อดีของระบบนิวแมติกส์

- มีความเร็วในการทำงาน ลมอัดมีความเร็วในการทำงานสูง
- ทนต่อการระเบิด เพราะลมไม่ติดไฟ และไม่ระเบิด
- มีความปลอดภัย เนื่องจากอุปกรณ์ในระบบนิวแมติกส์ไม่เกิดความเสียหายเมื่อใช้งานเกินกำลัง
- สามารถปรับความเร็วในระบบได้ง่าย และสะดวกในการติดตั้ง
- การส่งถ่ายลม สามารถส่งไปตามท่อหรือสายลมในระยะทางไกล ๆ ได้โดยง่าย ส่วนลมที่ใช้แล้วสามารถปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศได้ทันที โดยไม่ก่อให้เกิดมลพิษ

ข้อเสียของระบบนิวแมติกส์

- เมื่อลมมีความชื้น และเมื่อความชื้นเข้าไปในระบบจะเกิดสนิม ทำให้อายุการใช้งานของ อุปกรณ์ที่วัสดุทำปฏิกิริยากับความชื้นเสียหายได้
- ความดันลมจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงลมอัดจะมีความดันสูง และความดันจะลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำลง
- ลมสามารถอัดตัวได้ จึงทำให้การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ทำงานไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการยุบตัวของลมอัด
- มีเสียงดัง

#### 3.6.1 อุปกรณ์ระบบนิวแมติกส์

- เครื่องอัดลม (Air Compressor) ทำหน้าที่ผลิตลมอัดให้ได้ความดันตามที่ต้องการ โดยจะดูดอากาศที่ความดันบรรยากาศแล้วอัดให้มีความดันเพิ่มสูงขึ้น ลมอัดที่ผลิตได้จะถูกเก็บไว้ที่ถังพักลมอัดก่อนที่จะจ่ายให้ระบบ

- ถังพักลมอัด (Receiver) มีหน้าที่เก็บปริมาณลมอัดที่ผลิตได้จากเครื่องอัดลม ให้มีปริมาณลมอัดที่เพียงพอต่อการจ่ายให้กับระบบและยังช่วยรักษาระดับความดันให้คงที่ซึ่งช่วยระบายความร้อนจากลมอัดที่มากเกินไปอีกด้วย อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัด ซึ่งจะทำให้ไอน้ำที่ผสมเข้ามากับลมอัดเกิดการควบแน่นเป็นน้ำอยู่ที่ถังพัก และสามารถระบายออกได้ที่วาล์วระบายด้านล่าง

- เครื่องระบายความร้อนลมอัด (After Cooler) ทำหน้าที่ระบายความร้อนลมอัดให้มีอุณหภูมิ ลดลงทำให้ไอน้ำหรือความชื้นที่ผสมกับลมอัดกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ จึงเป็นตัวดึงเอาไอน้ำออกจากลมอัด

- เครื่องกรองลมหลัก (Main Air Filter) มีหน้าที่กรองเศษฝุ่นละออง และไอน้ำที่ผสมมากับลมอัดให้สะอาดก่อนนำลมอัดไปใช้งาน ซึ่งลมอัดที่เข้ามาจะมีความดัน และจะไหลลงไปที่ตัวกรองที่เป็นรูปกรวย ทำให้เกิดการหมุนเหวี่ยงเศษฝุ่นผงซึ่งจะไปติดค้างที่ไส้กรอง และน้ำจะตกลงด้านล่างซึ่งมีรูระบายออก จึงทำให้ลมอัดที่ไหลออกไปมีความแห้งและสะอาดยิ่งขึ้น

- เครื่องกำจัดความชื้น (Air Dryer) ทำหน้าที่กำจัดความชื้นออกจากลมอัด โดยปกติเครื่องระบายความร้อนไม่สามารถที่จะกำจัดความชื้นหรือไอน้ำออกได้หมด จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ทำให้ลมอัดแห้งปราศจากความชื้น เพื่อไม่ให้เกิดสนิมภายในอุปกรณ์

- ชุดปรับสภาพของลมอัด (Service Unit) ในระบบนิวแมติกส์ก่อนนำลมอัดไปใช้งานจะต้องมีอุปกรณ์ช่วยทำความสะอาดลมอัดอีกครั้งหนึ่ง รวมทั้งจะต้องรักษาแรงดันลมอัดให้ได้ตามต้องการ และบางครั้งต้องผสมละอองหล่อลื่นให้กับอุปกรณ์ในวงจรนิวแมติกส์ด้วยประกอบด้วย

- ตัวกรองลมอัด (Filter) มีหน้าที่กำจัดสิ่งสกปรกฝุ่นละออง และไอน้ำที่ผสมมากับลมอัด

- ตัวควบคุมความดัน (Pressure Regulator) มีหน้าที่ควบคุมความดันลมอัดด้านใช้งานให้คงที่ และรักษาปริมาณลมอัดในการใช้งานให้คงที่

- ตัวผสมละอองน้ำมันหล่อลื่น (Lubricator) มีหน้าที่จ่ายสารหล่อลื่นให้กับอุปกรณ์นิวแมติกส์ เพื่อช่วยลดการสึกหรอ และป้องกันการเกิดสนิมในอุปกรณ์ต่างๆ

- เกจวัดความดัน (Pressure Gauge) ใช้สำหรับวัดความดัน ปกติจะติดตั้งอยู่ทางออกของตัวควบคุมความดันลมอัด

### 3.6.2 อุปกรณ์ทำงานในวงจรควบคุมนิวแมติกส์

- วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional Control Valve) มีหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการไหลของลมอัดทำให้อุปกรณ์ทำงานของระบบนิวแมติกส์เคลื่อนที่ตามทิศทางที่ต้องการ

- วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow Control Valve) มีหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ทำงาน ให้ช้าหรือเร็ว โดยการปรับอัตราการไหลของลมอัด

- กระบอกสูบ (Cylinder) เป็นอุปกรณ์ทำงานชนิดหนึ่งในระบบนิวแมติกส์ที่มีการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดเป็นพลังงานกล

## 3.7 การคำนวณหาค่าปริมาณความร้อน [15]

อุณหภูมิเปลี่ยน

$$Q = mc\Delta t \quad (3.18)$$

Q = ปริมาณความร้อน มีหน่วยเป็น (cal)

m = มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น (g)

c = ความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอ มีหน่วยเป็น (cal/g)

$\Delta t$  = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปอาจจะเพิ่มหรือลด มีหน่วยเป็น ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8 มาตรฐานการวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ

แทนค่าในสูตรการหากรดไขมัน Free fatty as palmitic ,

$$\text{Free fatty acids as palmitic, \%} = \frac{\text{ml of alkali} \times N \times 28.2}{\text{wt of sample}} \quad (3.19)$$

#### ตัวอย่างการคำนวณ

ถ้าปาล์มน้ำหนัก 500 kg ที่อุณหภูมิ 25 – 100 ° C จะต้องใช้ปริมาณความร้อนเท่าใด

$$Q = mc\Delta t$$

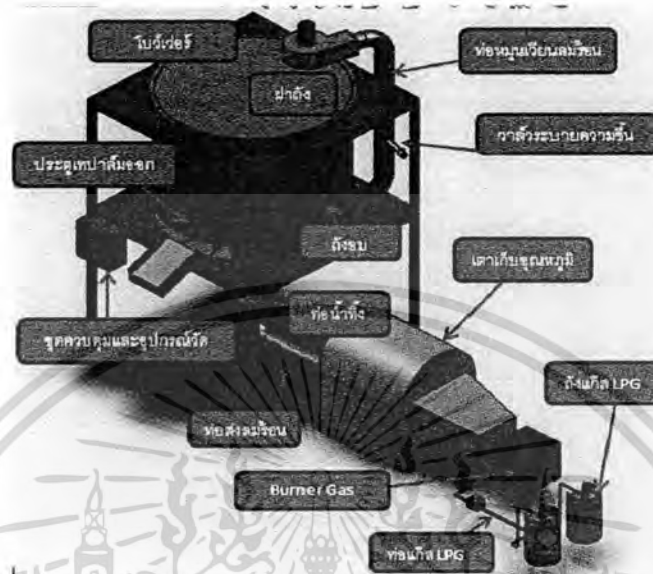
$$Q = 500000 \times 1 \times (100 - 25)$$

$$Q = 37500 \text{ kg cal / g}$$

แปลงให้เป็นจำนวนวัตต์ ที่ต้องใช้ต่อ Burner Gas = 43.6125 kw / hr

## บทที่ 4

### ชิ้นส่วนอุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง



ภาพที่ 4.1 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอบ

#### 4.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วง

4.1.1 ถังอบ ส่วนประกอบของถังอบประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆคือ

4.1.1.1 ส่วนกรวย ประกอบด้วยขนาดกรวยล่างรัศมี 25 เซนติเมตรเจาะรูสำหรับใส่ท่อส่งลมร้อนขนาด 6 นิ้ว และรัศมีกรวยบนขนาด 85 เซนติเมตร สูง 80 เซนติเมตร การทำงานคือรับลมร้อนจากท่อส่งลมร้อนเพื่อนำเข้าสู่ถังอบโดยผ่านทางรูขนาดรัศมี 8 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 4.2

4.1.1.2 ส่วนถังอบ คือส่วนที่ใส่ผลปาล์มร่วงจำนวน 500 กิโลกรัม เพื่อทำการอบประกอบด้วยถังทรงกระบอกขนาดรัศมี 85 เซนติเมตร สูง 150 เซนติเมตร ด้านล่างติดกับส่วนกรวย ส่วนด้านบนมีฝาสามารถปิดเปิดได้ ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ชุดถังอบผลปาล์มร่วง

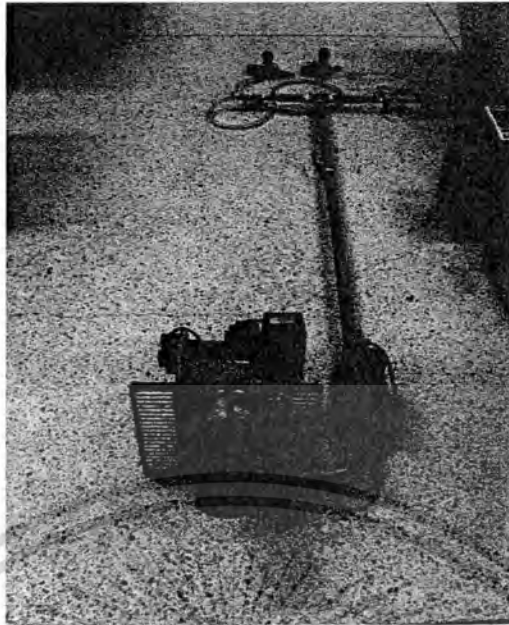
4.1.2 เตาเผา การทำงานของเตาเผา คือ เป็นตัวรับความร้อนจาก Burner Gas เพื่อจะส่งความร้อนผ่านไปยังท่อส่งความร้อน เตาเผาทำจากโครงเหล็กโดยมีขนาด สูง 100 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร กว้าง 90 เซนติเมตร ก่อโดยอิฐทนความร้อนรุ่น ISOLITE C 2 ผสมกับปูนทนไฟรุ่น SRIC 43 HM ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ชุดเตาเผา

4.1.3 ชุดเชื้อเพลิง การทำงาน ใช้ Burner Gas เป็นตัวให้พลังงานความร้อนใช้แก๊ส LPG ขนาด 30 กิโลกรัมจำนวน 2 ถังเป็นเชื้อเพลิงโดยต่อถังแก๊สกับชุด Burner Gas ด้วยท่อเหล็กขนาด 2 นิ้ว ยาว 1.25 เมตรผ่านเพรสเซอร์เกจจากถังแก๊สจำนวน 2 ตัว และ Burner Gas รุ่น GAS X3CE ตั้งค่า Burner Gas ที่ต้องการใช้คือ พลังงานความร้อนที่ 81 กิโลวัตต์ หัวปรับไฟขนาด 0.5 ขนาดองศาลมเข้าโบเวอร์ 12.5 องศา อากาศระบายความดัน 3.3 มิลลิบาร์ Gas LPG 8.8 มิลลิบาร์ ดังภาพที่ 4.4 และ ภาพที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 ชุด Burner Gas



ภาพที่ 4.5 แก๊ส LPG

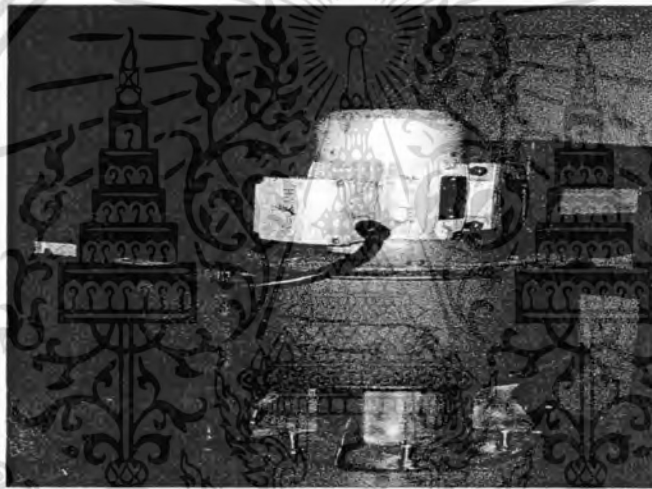
4.1.4 ท่อส่งลมร้อน คือส่วนที่ทำหน้าที่นำลมร้อนจากเตาเผาเข้าสู่ถังอบ ประกอบด้วยท่อตรงขนาด 6 นิ้ว ยาว 100 เซนติเมตร และ ท่องอ 90 องศาขนาด 6 นิ้ว ดังภาพที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ท่อส่งลมร้อน

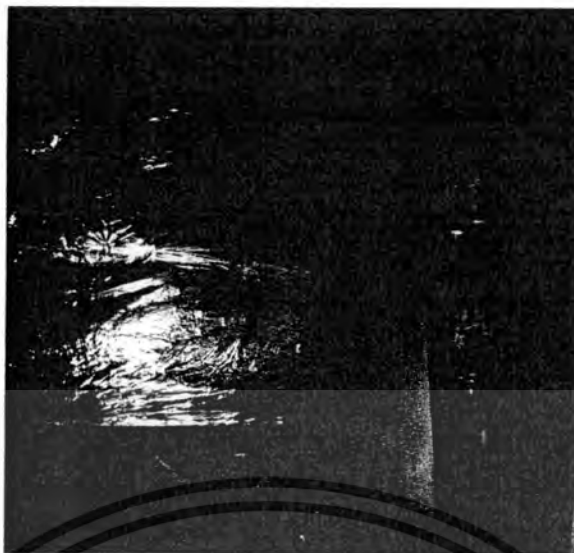
4.1.5 โบเวอร์ มีขนาด 1 แรงม้า การทำงานคือดูดลมร้อนจากถังอบเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 โบเวอร์ ขนาด 1 แรงม้า

4.1.6 ท่อส่งลมร้อนและวาล์วระบายความชื้น ประกอบด้วยบอลวาล์วขนาด 2 นิ้ว 2 ตัว ท่อเหล็กตรงขนาด 6 นิ้ว ยาว 180 เซนติเมตร ท่องอ 90 องศา 2 ตัว การทำงานคือเปิดเอาอากาศออก จากถังอบ 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อที่จะเอาความชื้นออกจากถังอบ ส่วนอากาศอีก 80 เปอร์เซ็นต์ จะถูกนำกลับมาใช้ใหม่โดยผ่านเข้าสู่ทางกรวยด้านล่างของถังอบ ดังภาพที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 ท่อส่งลมร้อนและบอวลวาล์วระบายความชื้น

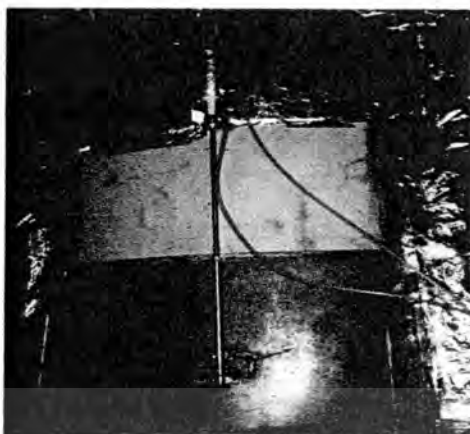
4.1.7 ท่อน้ำทิ้ง คือท่อขนาด 1 นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตรที่ปลายมีฝาสามารถปิดเปิดได้ การทำงานคือเป็นที่ระบายน้ำทิ้งที่เกิดจากการอบ ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ท่อน้ำทิ้ง

4.1.8 ประตูลมออก คือประตูขนาดความกว้าง 60 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร การทำงานเปิดด้วยระบบนิวมอเตอร์ิก เพื่อนำลมออกจากถังอบเมื่อเสร็จการทดลอง ดังภาพที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



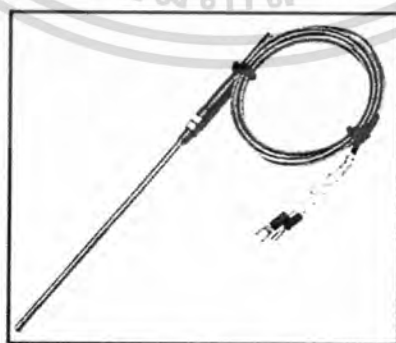
ภาพที่ 4.10 ประตูแสดงผลปาล์มออก

4.1.9 ตัวควบคุมอุณหภูมิ ทำหน้าที่ เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิและอ่านค่าอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเกินค่าที่ตั้งไว้ตัวควบคุมอุณหภูมิจะตัดไฟที่จ่ายให้กับ Burner Gas ใช้งานร่วมกับเทอร์โมคัปเปิลยี่ห้อที่ใช้ คือ RKC Temperature controller รุ่น REX-C100 ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ตัวควบคุมอุณหภูมิ

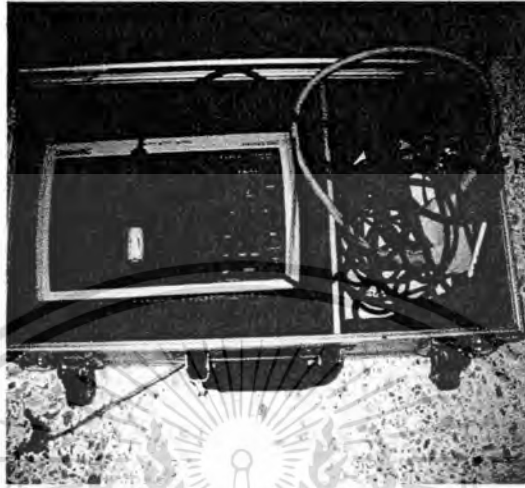
4.1.10 เทอร์โมคัปเปิล ทำหน้าที่ เป็นอุปกรณ์หน้าที่วัดอุณหภูมิ แล้วส่งค่ามาให้ตัวควบคุมอุณหภูมิใช้งานร่วมกับตัวควบคุมอุณหภูมิ ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 เทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.11 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น Data logger การทำงานวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในถังอบ ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น

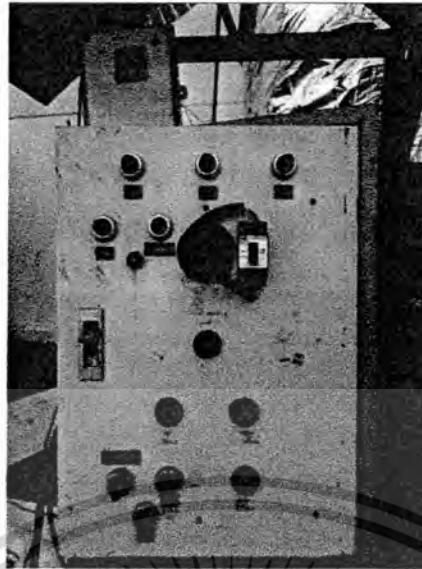
4.1.12 ชุดใบกวน การทำงาน ใช้ในการกวนปาล์มขณะอบอยู่และใช้ลำเลียงปาล์มออกหลังจากอบปาล์มเสร็จ ใบกวนมีขนาดความหนา 0.4 เซนติเมตร กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4.14 ชุดใบกวน



ภาพที่ 4.14 ชุดใบกวน

4.1.13 ชุดควบคุม การทำงาน ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์การทดลองทั้งระบบ ดังภาพที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 ชุดควบคุม

## 4.2 ขั้นตอนการทดลอง

### 4.2.1 ขั้นตอนการทดลองแบบไม่ใช้ไมโครเวฟ

1. นำปาล์มจำนวน 500 กิโลกรัมมาทำการแยกเศษขยะออกจากผลปาล์ม ดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 นำผลร่วงปาล์มมาแยกเศษขยะออก

2. นำผลปาล์มร่วงที่ได้ทำการแยกเศษขยะออกแล้ว มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 500 กิโลกรัม ดังภาพที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.17 นำผลปาล์มร่วงมาชั่งน้ำหนัก

3. สุ่มเก็บตัวอย่างปาล์มเพื่อนำไปหาค่ากรดไขมันอิสระ(FFA)เริ่มต้น ก่อนที่จะเข้าถังอบ ดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 สุ่มเก็บตัวอย่างผลปาล์มก่อนอบ

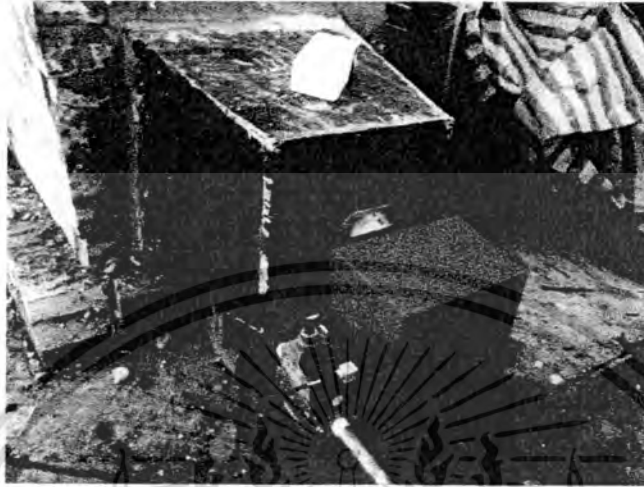
4. นำผลร่วงปาล์มใส่ถังอบ ดังภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 นำผลปาล์มร่วงใส่ถังอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปิดระบบให้ความร้อนด้วย Burner Gas เพื่อเริ่มกระบวนการอบเมล็ดปาล์มร่วง ดังภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 ให้ความร้อนด้วย Burner Gas

6. สุ่มเก็บตัวอย่างปาล์มทุก 20 นาที เพื่อหาค่าค่าความชื้นของผลปาล์มและค่ากรดไขมันอิสระ(FFA) ดังภาพที่ 4.21



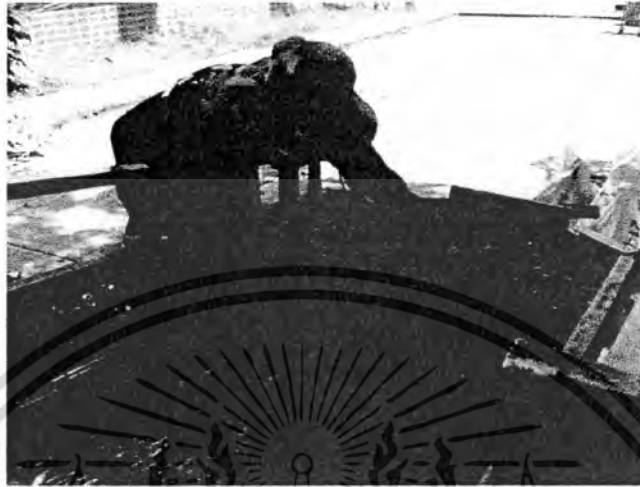
ภาพที่ 4.21 สุ่มเก็บตัวอย่างผลปาล์มทุก 20 นาที

7. อบผลปาล์มร่วงจนกว่า ค่าความชื้นของผลปาล์มน้อยกว่า 8 % และค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) น้อยกว่า 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ขั้นตอนการทดลองแบบใช้โบเวอร์

1. นำปาล์มจำนวน 500 กิโลกรัมมาทำการแยกเศษขยะออกจากผลปาล์ม ดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 นำผลร่วงปาล์มมาแยกเศษขยะออก

2. นำผลปาล์มร่วงที่ได้ทำการแยกเศษขยะออกแล้ว มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 500 กิโลกรัม ดังภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.23 นำผลปาล์มร่วงมาชั่งน้ำหนัก

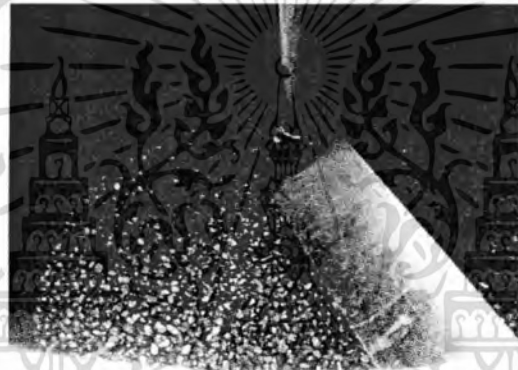
3. สุ่มเก็บตัวอย่างปาล์มเพื่อนำไปหาค่ากรดไขมันอิสระ(FFA)เริ่มต้น ก่อนที่จะเข้าถังอบ ดังภาพที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.24 สุ่มเก็บตัวอย่างผลปาล์มก่อนอบ

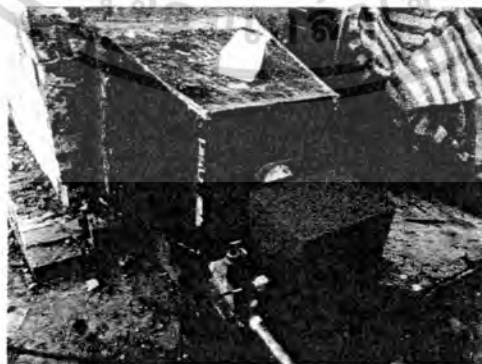
4. นำผลร่วงปาล์มใส่ถังอบ ดังภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 นำผลปาล์มร่วงใส่ถังอบ

5. เปิดระบบให้ความร้อนด้วย Burner Gas เพื่อเริ่มกระบวนการอบเมล็ดปาล์มร่วง ดัง

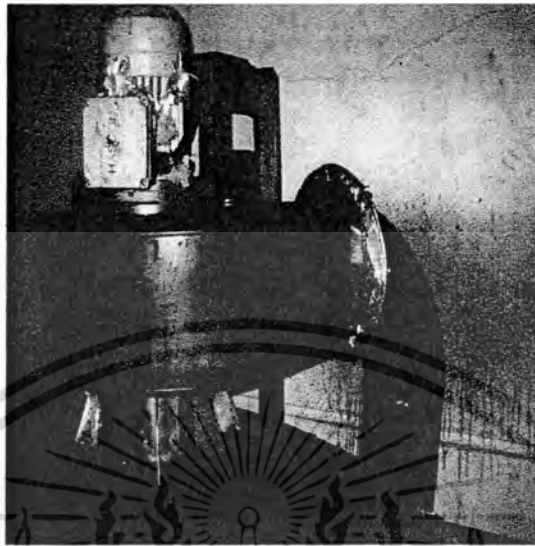
ภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.26 ให้ความร้อนด้วย Burner Gas

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการเปิดโบเวอร์ตลอกการทดลอง ดังภาพที่ 4.27



ภาพที่ 4.27 เปิดโบเวอร์ตลอกการทดลอง

7. สุ่มเก็บตัวอย่างปาล์มทุก 20 นาที เพื่อหาค่าค่าความชื้นของผลปาล์มและค่ากรดไขมันอิสระ(FFA) ดังภาพที่ 4.28



ภาพที่ 4.28 สุ่มเก็บตัวอย่างผลปาล์มทุก 20 นาที

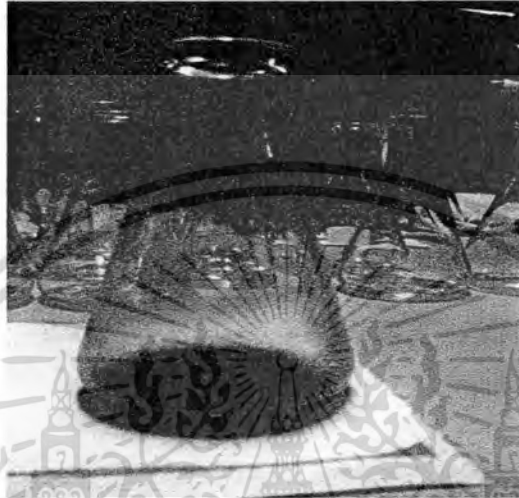
8. อบผลปาล์มร่วจนกว่า ค่าความชื้นของผลปาล์มน้อยกว่า 8 % และค่ากรดไขมันอิสระ (FFA)น้อยกว่า 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การหาค่ากรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid:FFA)

การไตเตรท

1. น้ำมันปาล์มที่ทำการบีบจำนวน 4 มิลลิลิตร นำมาใส่ขวดรูปชมพู่ ดังภาพที่ 4.29



ภาพที่ 4.29 น้ำมันปาล์ม

2. ทำการอุ่นน้ำมันปาล์มให้ได้ประมาณ 60 องศาเซลเซียส เพื่อไม่ให้ น้ำมันปาล์มแข็งตัว ดังภาพที่

4.30



ภาพที่ 4.30 ทำการอุ่นที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตวงน้ำมันปาล์มใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 4 มิลลิลิตร ดังภาพที่ 4.31



ภาพที่ 4.31 นำน้ำมันปาล์มใส่ขวดรูปชมพู่ 4 มิลลิลิตร

4. เติมน้ำโซโครพานอลและเติมน้ำละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ประมาณ 3 - 5 หยด ใส่ลงในขวดชมพู่ ดังภาพที่ 4.32



ภาพที่ 4.32 เติมน้ำโซโครพานอลและเติมน้ำละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์

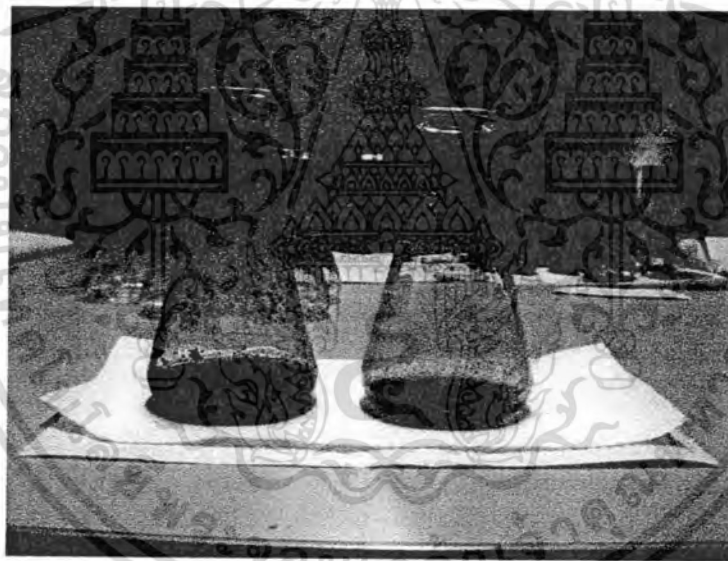
5. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 M (NaOH 4 กรัม: น้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร) ลงในบิวเรต ดังภาพที่ 4.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.33 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 M

6. สังเกตการเปลี่ยนสีของสารละลายในขวดเมื่อถึงจุดยติน้ำมันปาล์มแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู ดังภาพที่ 4.34



ภาพที่ 4.34 เสร็จการไทรเตรท

7. อ่านค่าที่ได้แล้วทำการบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

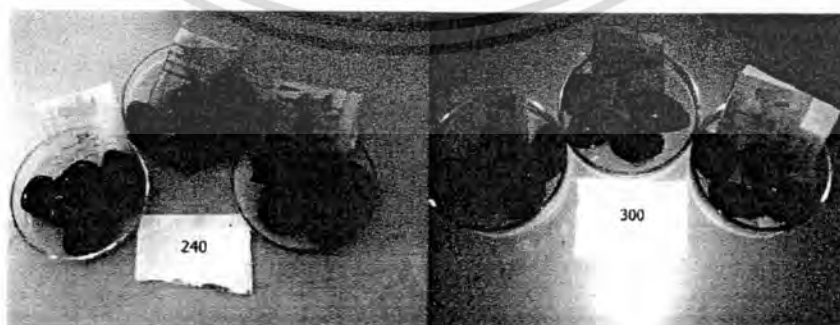
### ผลการทดลอง

#### 5.1 ผลการทดลองการอบแห้งผลปาล์มด้วยลมร้อน

ตัวอย่างผลปาล์มก่อนและหลังเข้าอบด้วย Hot Air Oven ภาพที่ 5.1 ซึ่งผ่านกระบวนการอบจากเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานสกัดน้ำมันปาล์มที่บรวม ตัวอย่างผลปาล์มชุดนี้เก็บมาเพื่อเข้าอบด้วย Hot Air Oven เพื่อหาปริมาณค่าความชื้นที่ได้ในเมล็ดปาล์ม



ภาพที่ 5.1 ตัวอย่างปาล์มก่อนเข้าอบด้วย Hot Air Oven



ภาพที่ 5.2 ตัวอย่างปาล์มหลังอบด้วย Hot Air Oven ที่เวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างปาล์มหลังอบด้วย Hot Air Oven ที่เวลาต่าง ๆ โดยภาพที่ 5.2 เป็นผลปาล์มตัวอย่างที่ได้ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานทั้งระบบปิและระบบเปิด หลังจากนั้น ออกมาก็จะชั่งน้ำหนักเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นในเมล็ดปาล์ม

## 5.2 ตัวอย่างการหากรดไขมันอิสระ

$$\% \text{ FFA} = [(\text{ml}) \text{ of NaOH} \times \text{ความเข้มข้น NaOH} \times \text{Mw}] / (\text{g}) \text{ ตัวอย่าง}$$

จากตัวอย่างผลปาล์มน้ำมันนำมาทดลองหาเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระได้ประมาณ 3.25 % ดังนั้นถ้าค่าเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระได้ เกินจาก 5% ของช่วงการอบ แสดงว่าเอ็นไซม์ไลเปส ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไลโปไลซิส ที่อยู่ในผลปาล์มน้ำมันยังไม่ตาย เมื่อถูกอากาศจะมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระได้สูงขึ้น แสดงว่าที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวยังไม่เพียงพอต่อการยับยั้งปฏิกิริยาจากเอ็นไซม์ได้ ค่าที่หาได้จากตัวอย่างการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานในการผลิตน้ำมันปาล์มที่บวม ที่เวลา 20 นาที (แบบไม่ใช่โบเวอร์)

$$\begin{aligned} \text{ปาล์มชั้นบน} \quad \% \text{ FFA} &= \frac{24.9 \times 0.1 \times 28.2}{4.013} \\ &= 17.49\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปาล์มชั้นกลาง} \quad \% \text{ FFA} &= \frac{24.7 \times 0.1 \times 28.2}{4.023} \\ &= 17.31\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปาล์มชั้นล่าง} \quad \% \text{ FFA} &= \frac{24.1 \times 0.1 \times 28.2}{4.021} \\ &= 16.90\% \end{aligned}$$

\* แสดงว่า ยังไม่สามารถยับยั้งหยุดปฏิกิริยา ไลโปไลซิส ได้

ค่าที่หาได้จากตัวอย่างการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานในการผลิตน้ำมันปาล์มที่บวม ที่เวลา 300 นาที (แบบไม่ใช่โบเวอร์)

$$\begin{aligned} \text{ปาล์มชั้นบน} \quad \% \text{ FFA} &= \frac{7.3 \times 0.1 \times 28.2}{4.051} \\ &= 5.08\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปาล์มชั้นกลาง} \quad \%FFA &= \frac{6.4 \times 0.1 \times 28.2}{4.089} \\ &= 4.41\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปาล์มชั้นล่าง} \quad \%FFA &= \frac{5.9 \times 0.1 \times 28.2}{4.095} \\ &= 4.09\% \end{aligned}$$

\* แสดงว่า ยังสามารถยับยั้งหยุดปฏิกิริยา ไลโปไลซิส ได้

ค่าที่หาได้จากตัวอย่างการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานในการผลิตน้ำมันปาล์มที่บวม ที่เวลา 20 นาที (แบบใช้เวอร์)

$$\begin{aligned} \text{ปาล์มชั้นบน} \quad \%FFA &= \frac{24.9 \times 0.1 \times 28.2}{4.153} \\ &= 16.92\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปาล์มชั้นกลาง} \quad \%FFA &= \frac{24.5 \times 0.1 \times 28.2}{4.038} \\ &= 16.78\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปาล์มชั้นล่าง} \quad \%FFA &= \frac{24.2 \times 0.1 \times 28.2}{4.134} \\ &= 16.45\% \end{aligned}$$

\* แสดงว่า ยังไม่สามารถยับยั้งหยุดปฏิกิริยา ไลโปไลซิส ได้

ค่าที่หาได้จากตัวอย่างการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานในการผลิตน้ำมันปาล์มที่บวม ที่เวลา 300 นาที (แบบใช้โบเวอร์)

$$\begin{aligned} \text{ปาล์มชั้นบน} \quad \%FFA &= \frac{5.9 \times 0.1 \times 28.2}{4.124} \\ &= 4.03\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปาล์มชั้นกลาง} \quad \%FFA &= \frac{5.5 \times 0.1 \times 28.2}{4.085} \\ &= 3.80\% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปาล์มขึ้นล่าง

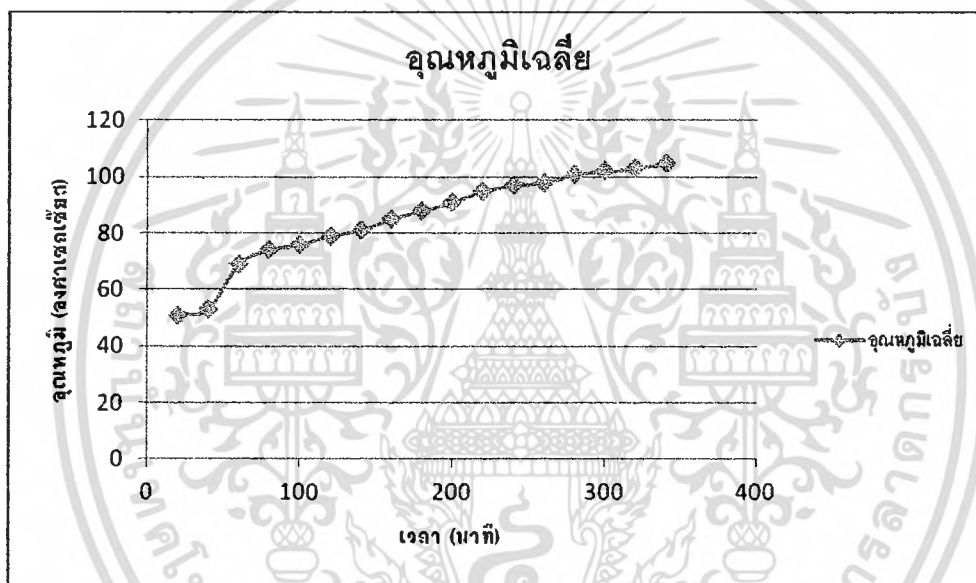
$$\%FFA = \frac{5.1 \times 0.1 \times 28.2}{4.026}$$

$$= 3.57\%$$

### 5.3 หาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

หาได้จาก

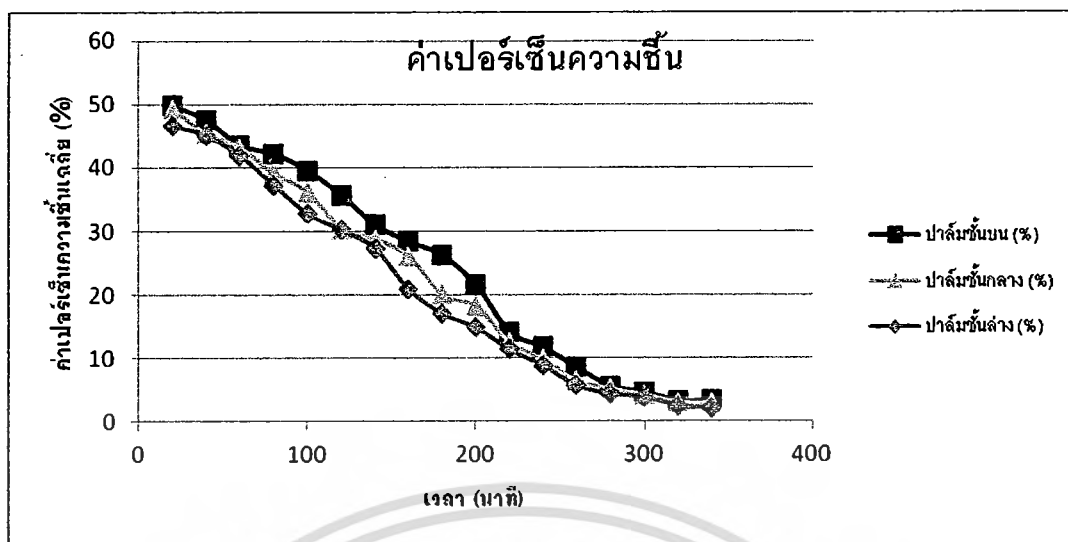
$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = (\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ} / \text{น้ำหนักหลังอบ}) \times 100$$



ภาพที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับอุณหภูมิเฉลี่ยของการอบปาล์ม(แบบไม่ใช่โบเวอร์)

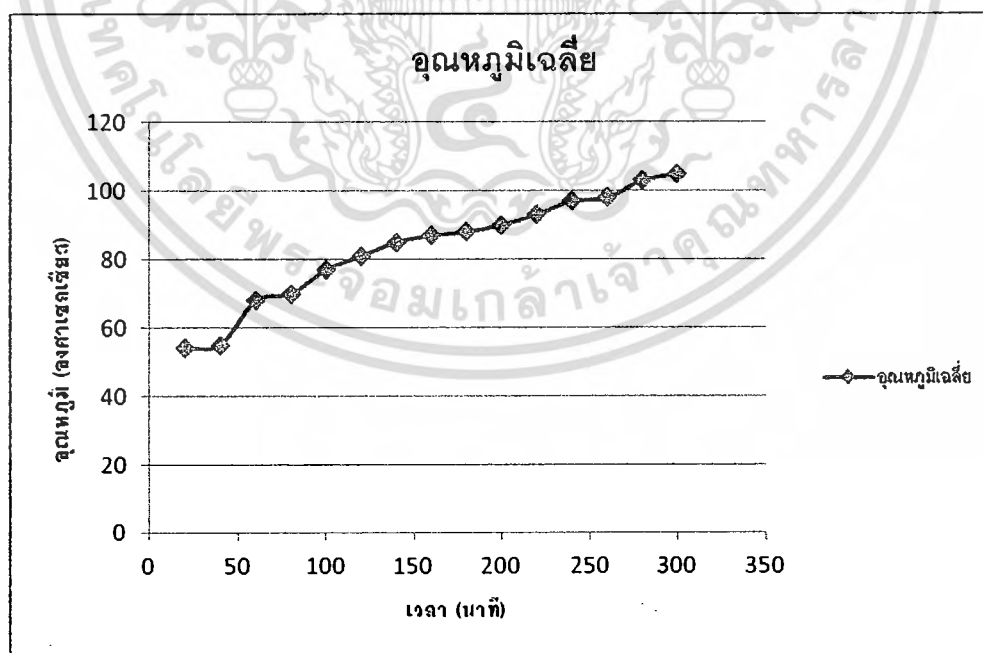
จากภาพที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับอุณหภูมิเฉลี่ยของการอบปาล์ม จะเห็นได้ว่า เวลาการอบที่เวลา 20 นาที อุณหภูมิยังไม่สูงจะอยู่ที่ประมาณ 51 °C และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อุณหภูมิ ก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่นเดียวกัน และที่เวลา 280 - 340 นาที เป็นเวลาที่อุณหภูมิอยู่ที่ 100 - 105 °C เป็น อุณหภูมิที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับค่าความชื้นเฉลี่ยของปาล์ม(แบบไม่ใช้โบเวอร์)

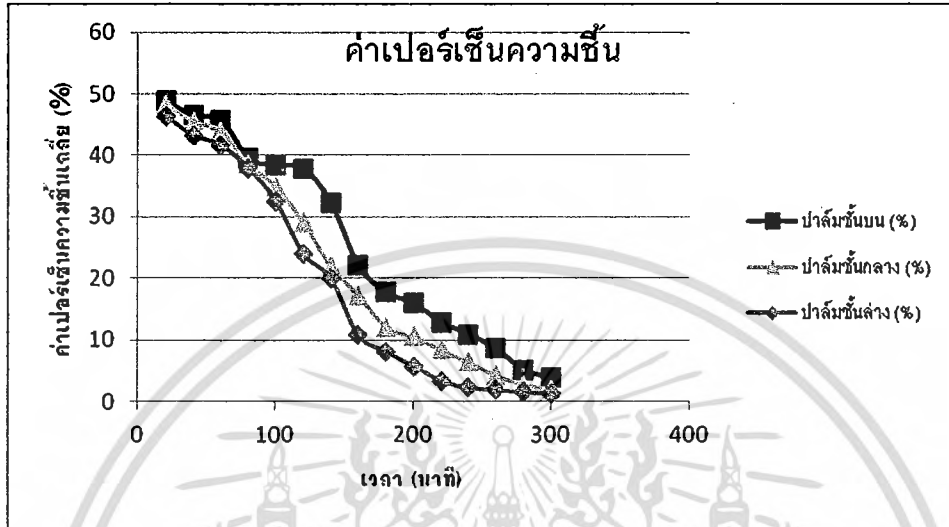
ภาพที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับค่าความชื้นเฉลี่ยของปาล์ม จะเห็นได้ว่าเวลาการอบที่ 20 นาที จึงทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในปาล์มยังคงมีมาก แต่เวลาที่ 200 นาที เป็นเวลาที่มีอุณหภูมิที่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในปาล์มลดน้อยลง และที่เวลา 340 นาที ทำให้ค่าความชื้นในปาล์มเหลือน้อยลงเรื่อยๆ ซึ่งเป็นเวลาที่เหมาะสมเพราะค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะคงที่แล้ว



ภาพที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับอุณหภูมิเฉลี่ยของการอบปาล์ม(แบบใช้โบเวอร์)

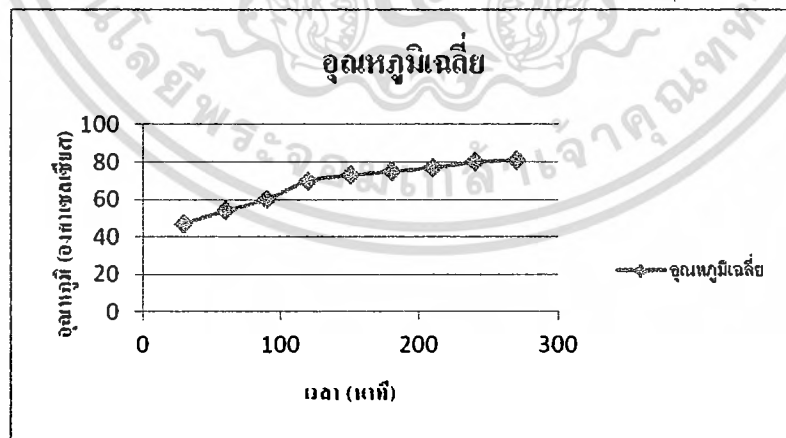
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับอุณหภูมิเฉลี่ยของการอบปาล์ม จะเห็นได้ว่า เวลาการอบที่เวลา 20 นาที อุณหภูมิยังไม่สูงจะอยู่ที่ประมาณ 54 °C และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อุณหภูมิ ก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่นเดียวกัน และที่เวลา 200 - 300 นาที เป็นเวลาที่อุณหภูมิอยู่ที่ 90 - 105 °C เป็น อุณหภูมิที่เหมาะสม



ภาพที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับค่าความชื้นเฉลี่ยของปาล์ม(แบบใช้โบริเวอร์)

ภาพที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับค่าความชื้นเฉลี่ยของปาล์ม จะเห็นได้ว่าเวลาการอบ ที่ 20 นาที จึงทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในปาล์มยังคงมีมาก แต่เวลาที่ 200 นาที เป็นเวลาที่ที่มีอุณหภูมิ ที่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในปาล์มลดน้อยลง และที่เวลา 300 นาที ทำให้ค่าความชื้นในปาล์มเหลือน้อยลงเรื่อยๆ ซึ่งเป็นเวลาที่เหมาะเพราะค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะคงที่แล้ว

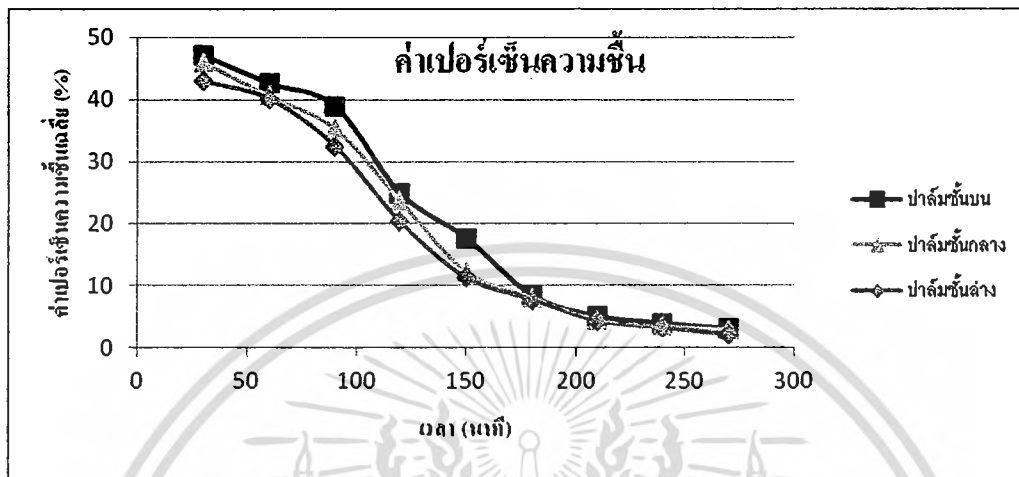


ภาพที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับอุณหภูมิเฉลี่ย

ของการอบปาล์ม(แบบใช้โบริเวอร์และโบริกวน)

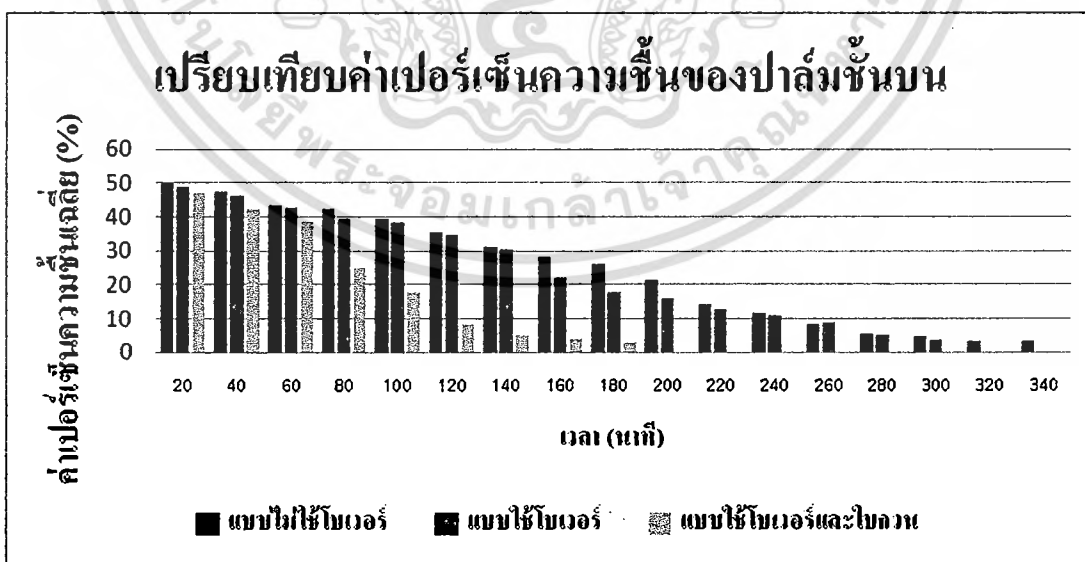
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับอุณหภูมิเฉลี่ยของการอบปาล์ม จะเห็นได้ว่า เวลาการอบที่เวลา 30 นาที อุณหภูมิยังไม่สูงจะอยู่ที่ประมาณ 47 °C และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อุณหภูมิ ก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่นเดียวกัน และที่เวลา 210 – 270 นาที เป็นเวลาที่อุณหภูมิอยู่ที่ 77 - 81 °C เป็น อุณหภูมิที่เหมาะสม



ภาพที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับค่าความชื้นเฉลี่ยของปาล์ม(แบบใช้โอบเวอร์และโอบกวน)

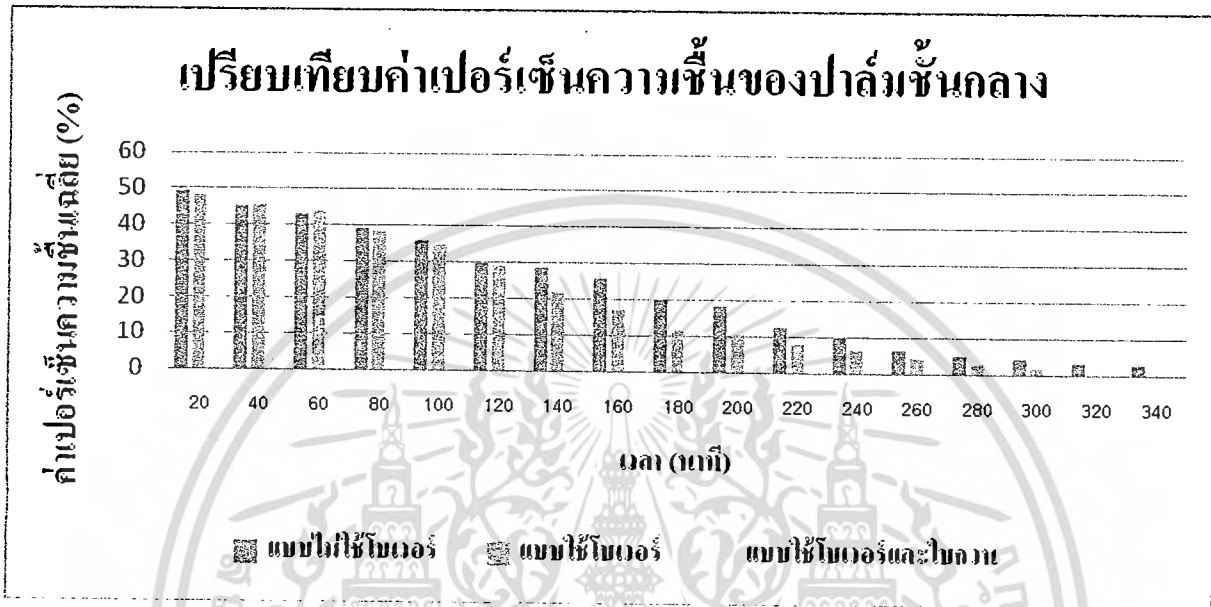
ภาพที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบกับค่าความชื้นเฉลี่ยของปาล์ม จะเห็นได้ว่าเวลาการอบ ที่ 30 นาที จึงทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในปาล์มยังคงมีมาก แต่เวลาที่ 210 นาที เป็นเวลาที่มีอุณหภูมิ ที่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในปาล์มลดน้อยลง และที่เวลา 270 นาที ทำให้ค่าความชื้นในปาล์มเหลือ น้อยลงเรื่อยๆ ซึ่งเป็นเวลาที่เหมาะเพราะค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะคงที่แล้ว



ภาพที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปาล์มชั้นบน

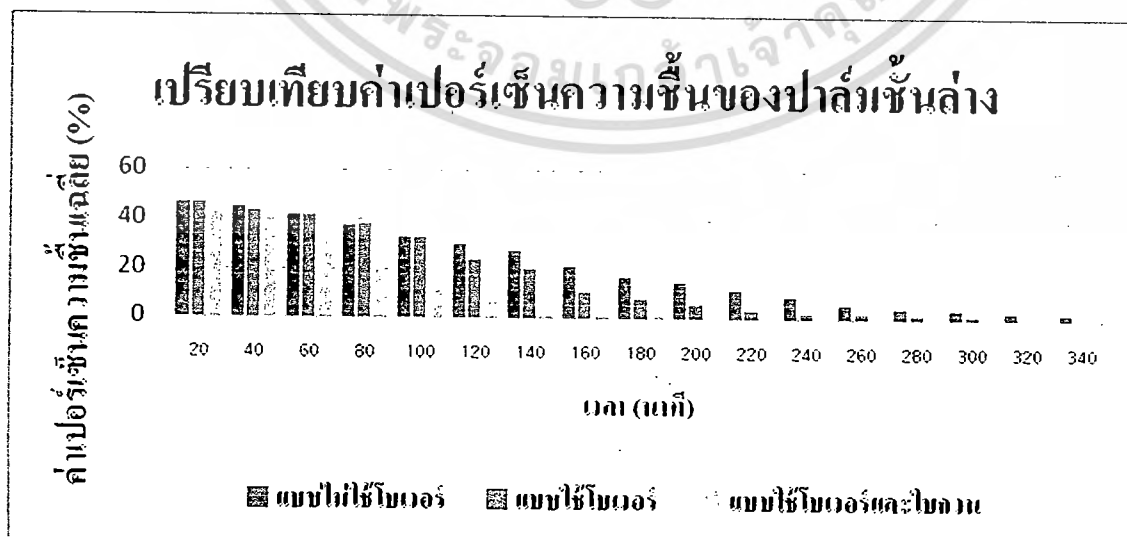
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปาล์มชั้นบน จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปาล์มชั้นบน แบบไม่ใช้โบเวอร์จะสูงกว่าแบบใช้โบเวอร์ ฉะนั้นผลที่ดีที่สุดคือแบบใช้โบเวอร์และใบกวน เพราะจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงเร็วกว่าแบบไม่ใช้โบเวอร์



ภาพที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปาล์มชั้นกลาง

ภาพที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปาล์มชั้นกลาง จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปาล์มชั้นกลาง แบบไม่ใช้โบเวอร์จะสูงกว่าแบบใช้โบเวอร์ ฉะนั้นผลที่ดีที่สุดคือแบบใช้โบเวอร์และใบกวน เพราะจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงเร็วกว่าแบบไม่ใช้โบเวอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปาล์มชั้นล่าง จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปาล์มชั้นล่าง แบบไม่ใช้โบเวอร์จะสูงกว่าแบบใช้โบเวอร์ ฉะนั้นผลที่ดีที่สุดคือแบบใช้โบเวอร์และใบกวน เพราะจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงเร็วกว่าแบบไม่ใช้โบเวอร์

ภาพที่ 5.11 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปาล์มชั้นล่าง จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปาล์มชั้นล่าง แบบไม่ใช่ไบโเวอร์จะสูงกว่าแบบใช้ไบโเวอร์ ฉะนั้นผลที่ดีที่สุดคือแบบใช้ไบโเวอร์และใบกวน เพราะจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นลดลงเร็วกว่าแบบไม่ใช่ไบโเวอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบลมร้อนเพื่อเปรียบเทียบว่าหาประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของการอบแห้งด้วยลมร้อน 3 แบบ ได้แก่

1. การอบเมล็ดปาล์มร่วนด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานในการสกัดน้ำมันปาล์มที่บรวม การทดลองแบบไม่ใช้โบเวอร์ จากการอบที่อุณหภูมิไม่เกิน 105 องศาเซลเซียส ที่เวลาผ่านไป 340 นาที อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส ทราบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเมล็ดปาล์มชั้นบนเหลือ 4.61 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นในเมล็ดปาล์มชั้นกลางเหลือ 4.24 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นในเมล็ดปาล์มชั้นล่างเหลือ 3.84 เปอร์เซ็นต์ และค่ากรดไขมันอิสระ(FFA)ชั้นบน เหลือ 5.08 เปอร์เซ็นต์ ค่ากรดไขมันอิสระ(FFA)ชั้นกลางเหลือ 4.41 เปอร์เซ็นต์ และค่ากรดไขมันอิสระ(FFA)ชั้นล่างเหลือ 4.09 เปอร์เซ็นต์ ฉะนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและค่ากรดไขมันอิสระ(FFA) จะมีค่าคงที่และไม่เปลี่ยนแปลง ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงอยู่ที่ 8.3 กิโลกรัม

2. การอบเมล็ดปาล์มร่วนด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานในการสกัดน้ำมันปาล์มที่บรวม การทดลองแบบใช้โบเวอร์ จากการอบที่อุณหภูมิไม่เกิน 105 องศาเซลเซียส ที่เวลาผ่านไป 300 นาที อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทราบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเมล็ดปาล์มชั้นบนเหลือ 3.88 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นในเมล็ดปาล์มชั้นกลางเหลือ 1.99 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นในเมล็ดปาล์มชั้นล่างเหลือ 1.39 เปอร์เซ็นต์ และค่ากรดไขมันอิสระ(FFA)ชั้นบน เหลือ 4.03 เปอร์เซ็นต์ ค่ากรดไขมันอิสระ(FFA)ชั้นกลางเหลือ 3.80 เปอร์เซ็นต์ และค่ากรดไขมันอิสระ(FFA)ชั้นล่างเหลือ 3.57 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการหมุนเวียนของลมร้อนทำให้ลมร้อนสามารถกระจายได้ทั่วถึงอบ ฉะนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและค่ากรดไขมันอิสระ(FFA) จะมีค่าคงที่และไม่เปลี่ยนแปลง ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงอยู่ที่ 8 กิโลกรัม

3. การอบเมล็ดปาล์มร่วนด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานในการสกัดน้ำมันปาล์มที่บรวม การทดลองแบบใช้โบเวอร์และใบกวน จากการอบที่อุณหภูมิไม่เกิน 105 องศาที่เวลาผ่านไป 270 นาที อุณหภูมิ 81 องศาเซลเซียส ทราบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเมล็ดปาล์มชั้นบนเหลือ 3.02 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นในเมล็ดปาล์มชั้นกลางเหลือ 2.96 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นในเมล็ดปาล์มชั้นล่างเหลือ 2.06 เปอร์เซ็นต์ และค่ากรดไขมันอิสระ(FFA)ชั้นบน เหลือ 2.83 เปอร์เซ็นต์ ค่ากรดไขมันอิสระ(FFA)ชั้นกลางเหลือ 2.64 เปอร์เซ็นต์ และค่ากรดไขมันอิสระ(FFA)ชั้นล่างเหลือ 2.16 เปอร์เซ็นต์ ฉะนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและค่ากรดไขมันอิสระ(FFA) จะมีค่าคงที่และไม่เปลี่ยนแปลง แต่ผลปาล์มจะแตกทำให้น้ำมันในผลปาล์มไหลออก ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงอยู่ที่ 7.5 กิโลกรัม

ฉะนั้นจากการทดลองทั้ง 3 แบบ ผลการทดลองที่ดีที่สุดคือแบบใช้โบเวอร์เนื่องจากการหมุนเวียนของลมร้อนเพราะลมร้อนที่ใช้ในการอบจะหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลาและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่และยังมีวาล์วปล่อยลมร้อนออกบางส่วนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์เพื่อนำไอน้ำออกจากถังอบ ส่วนแบบไม่ใช้โบเวอร์ลมร้อนที่ใช้จะไม่มีการปล่อยออกจึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่าแบบใช้โบเวอร์และเวลาในการทดลองนานกว่า และ ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ค่ากรดไขมันอิสระ(FFA) เวลาในการทดลอง การอบแบบใช้โบเวอร์จะน้อยกว่าการอบแบบไม่ใช้โบเวอร์ ส่วนแบบใช้โบเวอร์และใบกวน แม้เวลาที่ใช้ในการอบจะน้อยกว่าการอบแบบใช้โบเวอร์และแบบไม่ใช้โบเวอร์แต่การอบแบบใช้โบเวอร์และใบกวนมีข้อเสียคือเมื่อใบกวนทำงานผลปาล์มจะแตกเพราะใบกวนกระทบกับผลปาล์มทำให้น้ำมันในผลปาล์มไหลออกจากผลปาล์ม เพราะลม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนที่ใช้ในการอบจะหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลาและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่และยังมีวาล์วปล่อยลมร้อนออกบางส่วนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแบบไม่ใช้โบเวอร์ลมร้อนที่ใช้จะไม่มีลมร้อนออกจึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่าแบบใช้โบเวอร์และเวลาในการทดลองนานกว่า

การเปรียบเทียบการอบแบบที่ทดลองกับแบบโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มแบบที่รวบรวมทั่วไป ดังรูปที่ 2 ซึ่งการอบแบบนี้ใช้อุณหภูมิที่ 110 องศาเซลเซียส อบปาล์มได้ครั้งละ 96.5 กิโลกรัม/ชั่วโมง เวลาที่ใช้ในการอบ 4-4.5 ชั่วโมง ใช้ไม้ย่างพาราเป็นเชื้อเพลิงประมาณ 82 กิโลกรัมปริมาณความชื้นที่ได้ของผลปาล์มในแต่ละชั้นจะแตกต่างกันมาก และปริมาณความร้อนบางส่วนจะสูญเสียไปโดยไม่ได้กลับนำมาใช้ ต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 0.6 บาทต่อกิโลกรัมส่วนการอบของงานวิจัยเรื่องนี้ใช้ห้องอบมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกทำจากเหล็ก มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง 170 ซม. , ความสูง 150 ซม. และหนา 4 มม. ระบบได้มีการหมุนเวียนลมร้อนด้วยโบเวอร์ขนาด 1 แรงม้า ภายในห้องอบได้มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในถัง ระบบการให้ความร้อนให้หัวเผาซึ่งใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง สามารถผลิตความร้อนได้ที่ 16,000 กิโลแคลอรี มีระบบควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ ใช้เชื้อเพลิงก๊าซแอลพีจีประมาณ 8 กิโลกรัม ต่อครั้ง ผลปาล์มสดมีค่าความชื้นเริ่มต้นประมาณ 48% มาตรฐานแห้ง โดยการควบคุมอุณหภูมิภายในที่  $105 \pm 5$  องศาเซลเซียส. จนกระทั่งผลปาล์มน้ำมันเหลือความชื้นประมาณ 8% และการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ ตามมาตรฐาน ISO 660,1996 ไม่เกิน 5% ซึ่งเป็นมาตรฐานของน้ำมันปาล์มดิบ การทดลองอบแห้งผลปาล์มโดยทดลองแบบกะ อบครั้งละประมาณ 500 กก./ ครั้ง. จากผลการทดลองการอบแห้งด้วยระบบเปิดใช้เวลา 340 นาที ค่าความชื้นในแต่ละชั้นไม่ค่อยสม่ำเสมอ ส่วนค่าใช้จ่ายรวมอยู่ที่ 0.52 บาท/กิโลกรัม และผลการทดลองของการอบแห้งระบบให้ไหลเวียนของลมร้อนใช้เวลา 260 นาที และมีค่าความชื้นใกล้เคียงทั้งห้องอบ ส่วนค่าใช้จ่ายรวมอยู่ที่ 0.3292 บาท/กิโลกรัม ครั้งละประมาณ 500 กก./ ครั้ง. จากผลการทดลองการอบแห้งด้วยระบบเปิดใช้เวลา 340 นาที ค่าความชื้นในแต่ละชั้นไม่ค่อยสม่ำเสมอ ส่วนค่าใช้จ่ายรวมอยู่ที่ 0.52 บาท/กิโลกรัม และผลการทดลองของการอบแห้งระบบให้ไหลเวียนของลมร้อนใช้เวลา 260 นาที และมีค่าความชื้นใกล้เคียงทั้งห้องอบ ส่วนค่าใช้จ่ายรวมอยู่ที่ 0.3292 บาท/กิโลกรัม

## 6.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

1. ในบางครั้งเมล็ดปาล์มที่ซื้อมาจากท้องตลาดไม่ได้คุณภาพ
2. การลำเลียงเมล็ดปาล์มเข้าสู่ห้องอบ จะมีการล่วงหล่นของผลปาล์มบ้าง
3. เมื่อใช้ระบบใบกวนทำงานผลปาล์มน้ำมันผิวจะแตกทำให้น้ำมันไหลออกเป็นจำนวนมากมีเอกสารติดไฟได้ง่าย
4. การนำผลปาล์มที่อบเสร็จแล้วออกจากห้องอบ

## 6.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา

1. เลือกทะลายปาล์มที่สดจากลานปาล์ม
2. จัดทำสายพานลำเลียง และถ่วงคลุม
3. ทำใบพัดใบกวนเป็นแบบสกรูลำเลียง หรือ เพิ่มท่อกระจายลมร้อนในห้องอบเพิ่มขึ้น
4. ฐานด้านล่างของตะแกรงควรทำให้เอียงเพื่อให้ผลปาล์มไหลออกมาตอนยกบานประตู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] พีรวิษณุ พรพิพัฒน์ศิริกุลและคณะ.2552. “การพัฒนาเครื่องหีบเปลือกปาล์มสำหรับกลุ่มเกษตรกรขนาดเล็ก”. พิมพ์ ครั้งที่ 1 ภาควิชาชีพวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] บุษบา ล้อประเสริฐ, ปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตร, 2548
- [3] บัญญัติ นิยมวาส. “ การพัฒนาระบบอบแห้งผลปาล์ม”. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2544.
- [4] สมชาย ฉัตรรัตน. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. แหล่งที่เข้าถึง : <http://www.nstda.or.th> [13 มีนาคม 2554]
- [5] ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ. แหล่งที่เข้าถึง : <http://www.mtec.or.th/> [21 March 2010]
- [6] จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. แหล่งที่เข้าถึง: <http://www.riclib.nrct.go.th/> [ 7 พฤศจิกายน 2554 ]
- [7] กลอยใจ เขยกลิ่นเทศ. เครื่องอบเมล็ดปาล์มด้วยไมโครเวฟร่วมกับอินฟราเรด. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. [1 สิงหาคม 2544]
- [8] อาชัย พิทยภาคย์ และ คณะ. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการสกัดน้ำมันพืชเชิงกลสำหรับใช้ในชุมชนท้องถิ่น, เชียงใหม่ 50200
- [9] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา,ประกาศกระทรวงสาธารณสุข( ฉบับที่ 205 ) พ.ศ. 2543 เรื่องน้ำมันและไขมัน.แหล่งที่เข้าถึง: <http://www.fda.moph.go.th/> [ 17 ธันวาคม 2554 ]
- [10] ศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. เทคโนโลยีอบแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2548
- [11] ชาญ ถนัดงาน. “การออกแบบเครื่องจักรกล 1,2”, เอช-เอ็นการพิมพ์ , 2523
- [12] วรินทร์ อึ้งภากรณ์. “การออกแบบเครื่องจักรกล 1,2”, เอช-เอ็นการพิมพ์ , 2523
- [13] ธวัช มณีขัติย์ และ คณะ. “โมเดลหุ่นยนต์แสดงทิศทางการวัดถั่ว”. มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. 2550
- [14] ปานเพชร ชินิทร, ขวัญชัย สันทิพย์สมบูรณ์, นิวเมติกส์ อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2531.
- [15] Frank P.Incropera, “Introduction to Heat Transfer” Fourth edition. John Wiley & Sons, 2002



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ทดลองการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานในการผลิต น้ำมันปาล์มที่บวมโดยเวลาเฉลี่ยในการหากรดไขมันอิสระ (FFA) (แบบไม่ใช่โบเวอร์)

เวลาเฉลี่ยการอบปาล์ม (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	กรดไขมันอิสระเฉลี่ยของน้ำมันปาล์ม (FFA) (%)		
		ปาล์มชั้นบน	ปาล์มชั้นกลาง	ปาล์มชั้นล่าง
20	51	17.49	17.31	16.90
40	53	16.93	16.85	16.74
60	69	16.83	16.78	16.63
80	74	16.52	15.93	15.27
100	76	16.28	15.72	15.19
120	79	14.47	14.66	13.48
140	81	13.24	12.26	11.53
160	85	12.46	11.31	10.62
180	88	11.02	10.50	8.52
200	91	10.37	9.43	7.26
220	95	9.48	8.48	6.02
240	97	7.98	6.73	5.26
260	98	6.83	5.92	4.65
280	101	6.60	5.31	4.39
300	102	5.08	4.41	4.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ทดลองการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานในการผลิต น้ำมันปาล์มที่บวมโดยเวลาเฉลี่ยในการหาคัดไขมันอิสระ (FFA) (แบบใช้โบเวอร์)

เวลาเฉลี่ยการอบปาล์ม (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	กรดไขมันอิสระเฉลี่ยของน้ำมันปาล์ม (FFA) (%)		
		ปาล์มชั้นบน	ปาล์มชั้นกลาง	ปาล์มชั้นล่าง
20	54	16.92	16.78	16.45
40	55	15.63	15.83	15.67
60	68	15.09	15.22	14.16
80	70	14.68	13.92	11
100	77	13.54	13.12	10.27
120	81	13.06	12.16	9.42
140	85	11.57	10.48	8.41
160	87	10.07	9.4	7.70
180	88	8.84	7.82	6.65
200	90	8.42	7.10	6.12
220	93	7.03	6.40	5.17
240	97	5	4.42	4.03
260	98	4.18	4.02	3.64
280	103	4.09	3.93	3.60
300	105	4.03	3.80	3.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ทดลองการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบประหยัดพลังงานในการผลิต น้ำมันปาล์มที่บวมโดยเวลาเฉลี่ยในการหากรดไขมันอิสระ (FFA) (แบบใช้โบเวอร์)(ใช้ใบกวน)

เวลาเฉลี่ยการอบปาล์ม (นาท)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	กรดไขมันอิสระเฉลี่ยของน้ำมันปาล์ม (FFA) (%)		
		ปาล์มชั้นบน	ปาล์มชั้นกลาง	ปาล์มชั้นล่าง
30	47	16.52	16.37	15.64
60	54	15.48	15.14	14.92
90	60	15.03	14.55	11.14
120	70	14.19	13.74	10.48
150	73	11.59	10.23	8.72
180	75	9.41	8.32	6.15
210	77	4.91	4.39	3.52
240	80	3.39	3.28	2.87
270	81	2.83	2.64	2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ทดสอบการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบถังกลมในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ  
รวม

โดยเวลาเฉลี่ยในการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (แบบไม่ใช่โบลเวอร์)

เวลาที่ เก็บ ตัวอย่าง ปาล์ม (นาทื)	อุณหภูมิ ขณะเก็บ ตัวอย่าง (องศา เซลเซียส)	น้ำหนักตัวอย่างปาล์มที่อบด้วยเครื่องอบ Hot Air Owen ที่ อุณหภูมิ 105 ° C (กรัม)						ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ย (%)		
		ก่อนอบ			หลังอบ			ปาล์ม ชั้นบน	ปาล์ม ชั้น กลาง	ปาล์ม ชั้นล่าง
		ปาล์ม ชั้นบน	ปาล์ม ชั้น กลาง	ปาล์ม ชั้นล่าง	ปาล์ม ชั้นบน	ปาล์ม ชั้น กลาง	ปาล์ม ชั้นล่าง			
20	51	63.36	65.51	63.25	42.28	43.91	43.16	49.85	49.19	46.54
40	53	68.19	62.25	65.55	46.21	42.82	45.18	47.56	45.37	45.08
60	69	68.26	67.51	68.53	47.54	47.16	48.31	43.58	43.15	41.85
80	74	69.20	64.30	62.75	48.67	46.24	45.72	42.18	39.05	37.24
100	76	61.53	68.74	65.47	44.07	50.51	49.34	39.51	36.09	32.69
120	79	60.51	66.58	66.70	44.62	51.27	51.24	35.61	30.31	30.17
140	81	63.07	66.04	69.53	48.15	51.23	54.64	30.98	28.80	27.25
160	85	66.53	64.45	63.17	51.83	51.14	52.26	28.36	26.02	20.87
180	88	63.45	65.57	64.74	50.28	54.64	55.31	26.19	20	17.04
200	91	62.77	67.81	64.61	51.64	57.36	56.24	21.55	18.21	14.88
220	95	64.48	64.63	61.45	56.47	57.41	55.17	14.18	12.57	11.38
240	97	62.04	63.29	63.42	55.52	57.61	58.26	11.74	9.85	8.85
260	98	63.84	65.74	65.56	58.82	61.75	62.04	8.53	6.46	5.67
280	101	65.47	64.86	67.25	62.03	61.34	64.43	5.54	5.23	4.37
300	102	62.36	61.57	64.12	59.61	59.06	61.84	4.61	4.24	3.84
320	103	60.58	63.36	62.38	58.71	61.46	60.86	3.18	3.09	2.49
340	105	61.44	61.24	68.87	59.42	59.76	67.45	3.39	2.99	2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ทดสอบการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบถังกลมในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ  
รวม โดยเวลาเฉลี่ยในการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (แบบใช้โบเวอร์)

เวลาที่ เก็บ ตัวอย่าง ปาล์ม (นาท)	อุณหภูมิ ขณะเก็บ ตัวอย่าง (องศา เซลเซียส)	น้ำหนักตัวอย่างปาล์มที่อบด้วยเครื่องอบ Hot Air Owen ที่ อุณหภูมิ 105 ° C (กรัม)						ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ย (%)		
		ก่อนอบ			หลังอบ			ปาล์ม ชั้นบน	ปาล์ม ชั้น กลาง	ปาล์ม ชั้นล่าง
		ปาล์ม ชั้นบน	ปาล์ม ชั้น กลาง	ปาล์ม ชั้นล่าง	ปาล์ม ชั้นบน	ปาล์ม ชั้น กลาง	ปาล์ม ชั้นล่าง			
20	54	68.05	63.37	64.78	45.72	42.72	44.24	48.84	48.33	46.26
40	55	65.78	65.24	65.50	44.91	44.97	45.75	46.47	45.57	43.16
60	68	64.52	63.57	62.54	44.28	44.15	44.16	42.7	43.98	41.62
80	70	62.85	68.76	65.77	45.03	49.63	47.72	39.57	38.54	37.78
100	77	62.07	60.52	66.07	44.87	44.87	49.86	38.33	34.87	32.53
120	81	65.25	61.18	65.04	47.34	47.41	52.46	34.83	29.09	23.98
140	85	62.12	62.58	67.57	46.94	51.34	56.32	30.33	21.89	19.97
160	87	62.53	67.56	62.56	53.12	57.62	56.48	22.16	17.25	10.76
180	88	65.56	66.47	60.79	55.69	59.31	56.25	17.72	12.07	8.07
200	90	63.57	67.25	61.22	54.83	60.84	57.89	15.94	10.53	5.75
220	93	64.17	62.54	65.77	56.85	57.71	63.64	12.87	8.36	3.34
240	97	67.22	69.72	67.92	60.62	65.53	66.45	10.88	6.39	2.21
260	98	662.95	64.36	63.59	57.96	61.74	62.41	8.6	4.24	1.89
280	103	63.92	62.52	62.13	60.38	60.82	61.23	5.16	2.79	1.46
300	105	61.46	63.48	64.32	59.45	62.24	63.95	3.88	1.99	1.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ทดสอบการอบปาล์มด้วยเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วนแบบถังกลมในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ  
รวม โดยเวลาเฉลี่ยในการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (แบบใช้โบเวอร์) (ใช้ใบกวน)

เวลาที่ เก็บ ตัวอย่าง ปาล์ม (นาท)	อุณหภูมิ ขณะเก็บ ตัวอย่าง (องศา เซลเซียส)	น้ำหนักตัวอย่างปาล์มที่อบด้วยเครื่องอบ Hot Air Owen ที่ อุณหภูมิ 105 ° C (กรัม)						ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ย (%)		
		ก่อนอบ			หลังอบ			ปาล์ม ชั้นบน	ปาล์ม ชั้น กลาง	ปาล์ม ชั้นล่าง
		ปาล์ม ชั้นบน	ปาล์ม ชั้น กลาง	ปาล์ม ชั้นล่าง	ปาล์ม ชั้นบน	ปาล์ม ชั้น กลาง	ปาล์ม ชั้นล่าง			
30	47	68.47	57.32	63.42	46.99	39.27	44.38	46.99	45.96	42.90
60	54	71.58	62.12	67.29	50.24	44.21	48.19	42.47	40.51	39.96
90	60	57.72	65.20	62.41	41.58	48.19	47.12	38.81	35.29	32.44
120	70	70.96	63.42	61.68	56.81	52.87	51.27	24.87	23.69	20.30
150	73	64.32	51.94	54.16	54.68	46.25	48.52	17.62	12.30	11.26
180	75	73.26	72.59	53.76	67.59	67.15	49.91	8.38	8.10	7.71
210	77	64.37	60.46	61.28	61.28	57.87	58.75	5.04	4.47	4.30
240	80	72.15	52.04	58.23	64.42	50.33	56.41	3.93	3.45	3.22
270	81	54.77	55.38	51.46	53.16	42.71	50.42	3.02	2.96	2.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ ครอบคลุมการหาต้นทุนค่าใช้จ่าย ระยะเวลาคืนทุน และจุดคุ้มทุน

ต้นทุน (Cost) หมายถึง จำนวนเงินหรือสิ่งแลกเปลี่ยนอย่างอื่น เพื่อให้มาได้ซึ่งทรัพย์สินหรือบริการใดๆ โดยต้นทุนจะมีความหมายใกล้เคียงกับค่าใช้จ่ายในการทำงาน โดยจะแบ่งต้นทุนออกไปดังนี้

- ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) คือต้นทุนที่ไม่แปรไปตามระดับกิจการต่างๆ เช่น ต้นทุนของเครื่องจักรที่ซื้อมา ค่าเช่าที่ดิน ค่าโรงอาหาร และค่าติดตั้ง เป็นต้น
- ต้นทุนผันแปร (Variable Cost) คือ ต้นทุนที่แปรตามระดับกิจกรรม เช่น ค่าวัสดุ ค่าแรงงาน ค่าพลังงาน (น้ำมัน ไฟฟ้า) ต้นทุนผันแปรนี้จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นตามจำนวนหน่วยกิจการ
- ค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) คือ ค่าใช้จ่ายที่ไม่ต้องการจ่ายจริง แต่ต้องเสียไปเนื่องจากใช้ทรัพยากร

จุดคุ้มทุน (Breakeven Point) หมายถึง จำนวนหน่วยการผลิตหรือบริการของโครงการที่ทำให้เกิดรายรับของโครงการเท่ากับต้นทุนของโครงการ จำนวนหน่วยที่เป็นจุดคุ้มทุนนี้โครงการจะยังไม่มีการกำไรหรือกำไรเป็นศูนย์

$$\text{จุดคุ้มทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายคงที่}}{\text{อัตราค่าจ้าง} - \text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน}}$$

ระยะการคืนทุน คือ การหาคำตอบว่าเมื่อใดหรือนานเท่าไรที่กิจการจะคุ้มทุนหรือจะเริ่มมีกำไรขึ้นมา

$$\text{ระยะคืนทุน} = \frac{\text{ราคาซื้อเครื่อง}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิ}}$$

โดยที่

ผลประโยชน์สุทธิคือผลประโยชน์ที่ได้รับ - ต้นทุนรวม

ผลประโยชน์ที่ได้รับ คือ อัตราจ้างในการปีบ  $\times$  กับชั่วโมงทำงานต่อปี

ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) คือ มูลค่าของทรัพย์สินที่ลดลงตามเวลาและการใช้งาน การเสื่อมราคาจะเป็นไปตลอดเวลาจนทรัพย์สินหมดอายุ โดยทั่วไปค่าเสื่อมราคาในระยะเริ่มต้นจะสูงกว่าในระยะปลายของอายุ เมื่อหมดอายุทรัพย์สินจะมีมูลค่าขายทิ้ง หรือมูลค่าขายต่อก็แล้วแต่สภาพของซาก

วิธีคำนวณค่าเสื่อมราคา คือ การคำนวณเพื่อจัดสรรการกระจายของต้นทุนของทรัพย์สินหนึ่ง หรือต้นทุนทั้งหมดของธุรกิจในระยะเวลานึง ซึ่งเรียกว่า ช่วงเสื่อมราคา การคำนวณในการกรณีนี้ใช้วิธีเส้นตรง (Straight Line Depreciation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$DP = (P-S) / L$$

โดยที่

DP = ค่าเสื่อมราคา (บาท)

P = ค่าซื้อเครื่อง (บาท)

S = ราคาขายหรือคงเหลือเมื่อเครื่องจักรหมดอายุ (บาท)

L = อายุการใช้งานของเครื่องจักร (ปี)

### ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

#### จำนวนต้นทุน

จากสูตร

จำนวนวัตต์ของเครื่องใช้ไฟฟ้า × จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า / 1000 × จำนวนชั่วโมงที่ใช้  
งานใน 1 วัน = จำนวนหน่วยหรือยูนิท (1 หน่วย = 3.4 บาท)

ต้นทุน Burner Gas

$$0.75 \text{ (กิโลวัตต์)} \times 1 / 1000 \times 5 \text{ (ชั่วโมง)} = 0.00375 \text{ (หน่วย)} \times 3.4 \\ = 0.01275 \text{ บาท}$$

ต้นทุน Blower

$$110 \text{ (กิโลวัตต์)} \times 1 / 1000 \times 5 \text{ (ชั่วโมง)} = 0.55 \text{ (หน่วย)} \times 3.4 \\ = 1.87 \text{ บาท}$$

ต้นทุน Gas LPG

$$\text{Gas LPG 1 กิโลกรัม} = 20 \text{ บาท}$$

จากสูตร

$$\text{จำนวน Gas LPG ที่ใช้} \times 20 = \text{ราคาที่ใช้}$$

$$7.5 \text{ (กิโลกรัม)} \times 20 = 150 \text{ บาท}$$

ราคาต้นทุนรวมทั้งหมด

$$0.01275 + 1.87 + 150 = 151.8 \text{ บาท}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้นในการอบปาล์มจำนวน 500 กิโลกรัม ในแต่ละครั้งใช้เวลาในการอบ 5 ชั่วโมง ค่าใช้จ่ายทั้งหมด 151.8 บาท

การคำนวณดัชนีการใช้พลังงาน

จากข้อมูลข้างต้น

- ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ = 0.75 Kwh x 110 Kwh  
= 82.5 Kwh  
= 82.5 Kwh x 3.6 MJ/Kwh  
= 297 MJ
- คิดเป็นพลังงานขั้นต้น = 297/0.45 MJ  
= 660 MJ
- ปริมาณความร้อนที่ใช้ (LPG) = 8 Kg  
= 8 Kg x 50.22 KJ/Kwh  
= 401.76 MJ
- ปริมาณพลังงานรวมที่ใช้ = 660 + 401.76 MJ  
= 1061.76 MJ
- น้ำหนักปาล์มรวม = 500 Kg

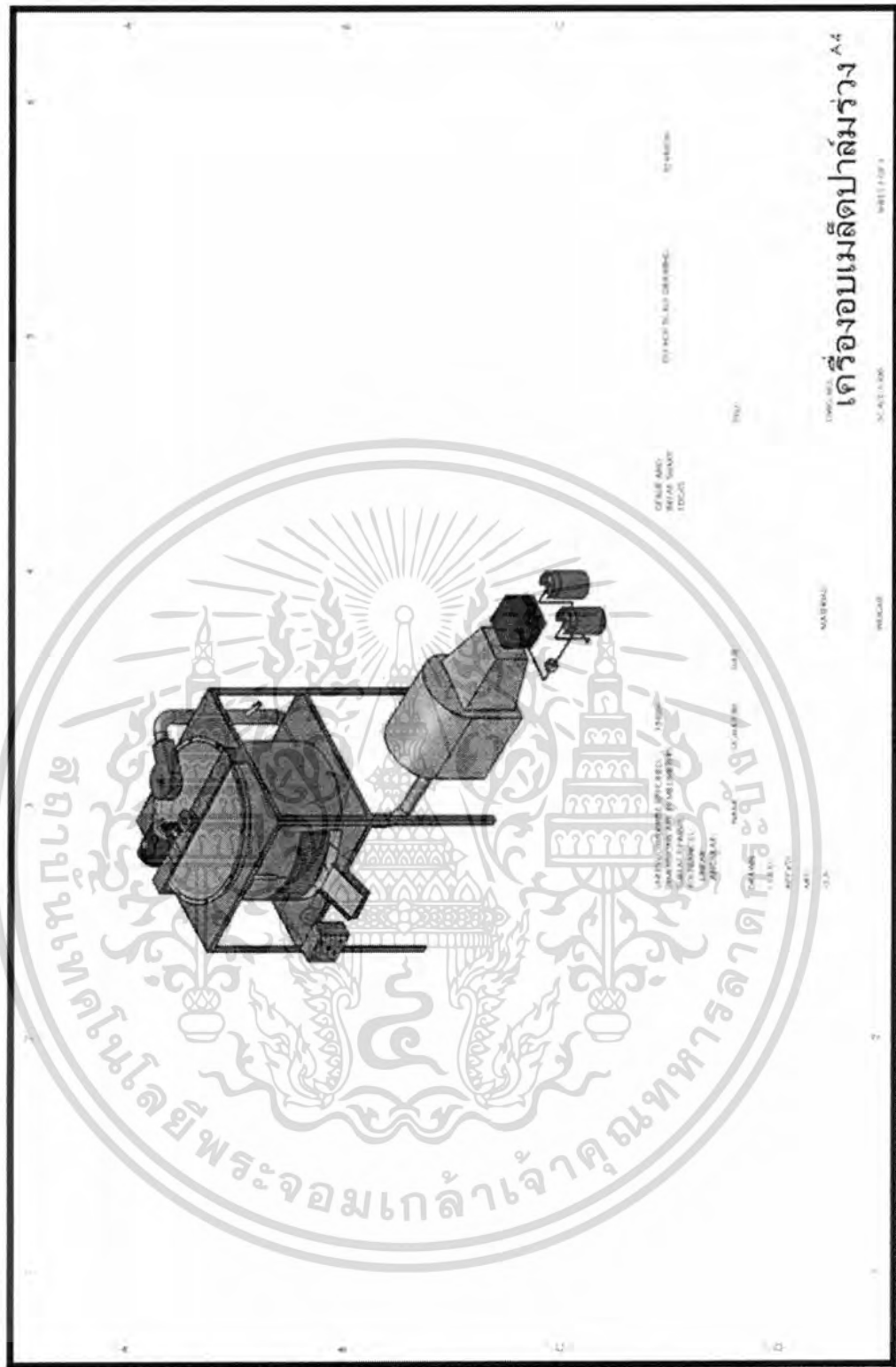
ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีการใช้พลังงานสำหรับเครื่องอบ ประสิทธิภาพ} &= \frac{\text{ปริมาณการใช้พลังงาน/น้ำหนักปาล์ม}}{\text{ที่ต้องการอบ}} \\ &= \frac{1061.76}{500} \text{ MJ/Kg} \\ &= 2.12 \text{ MJ/Kg} \end{aligned}$$

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงานเครื่องอบปาล์ม} = 2.12 \text{ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)}$$

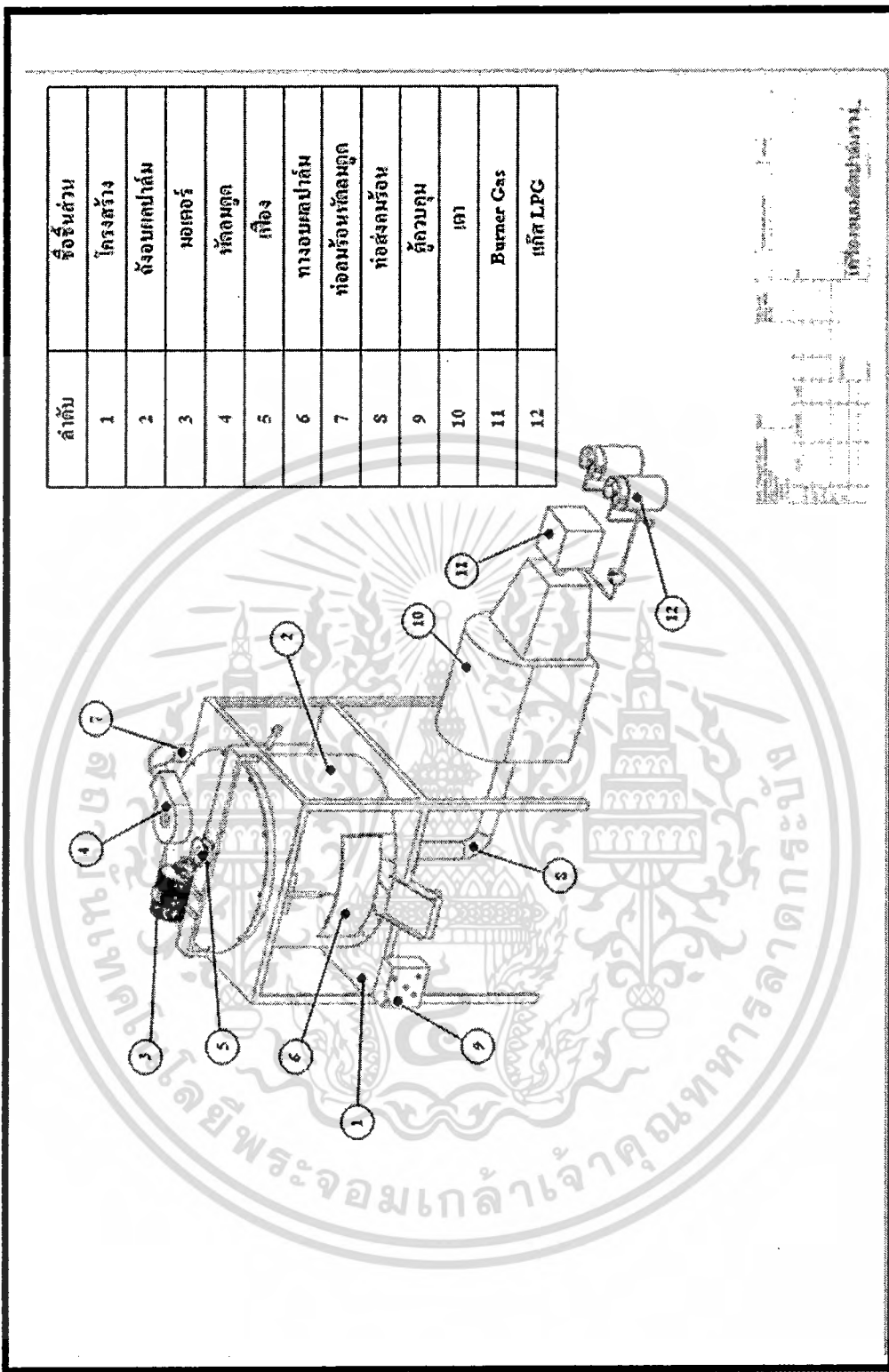
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





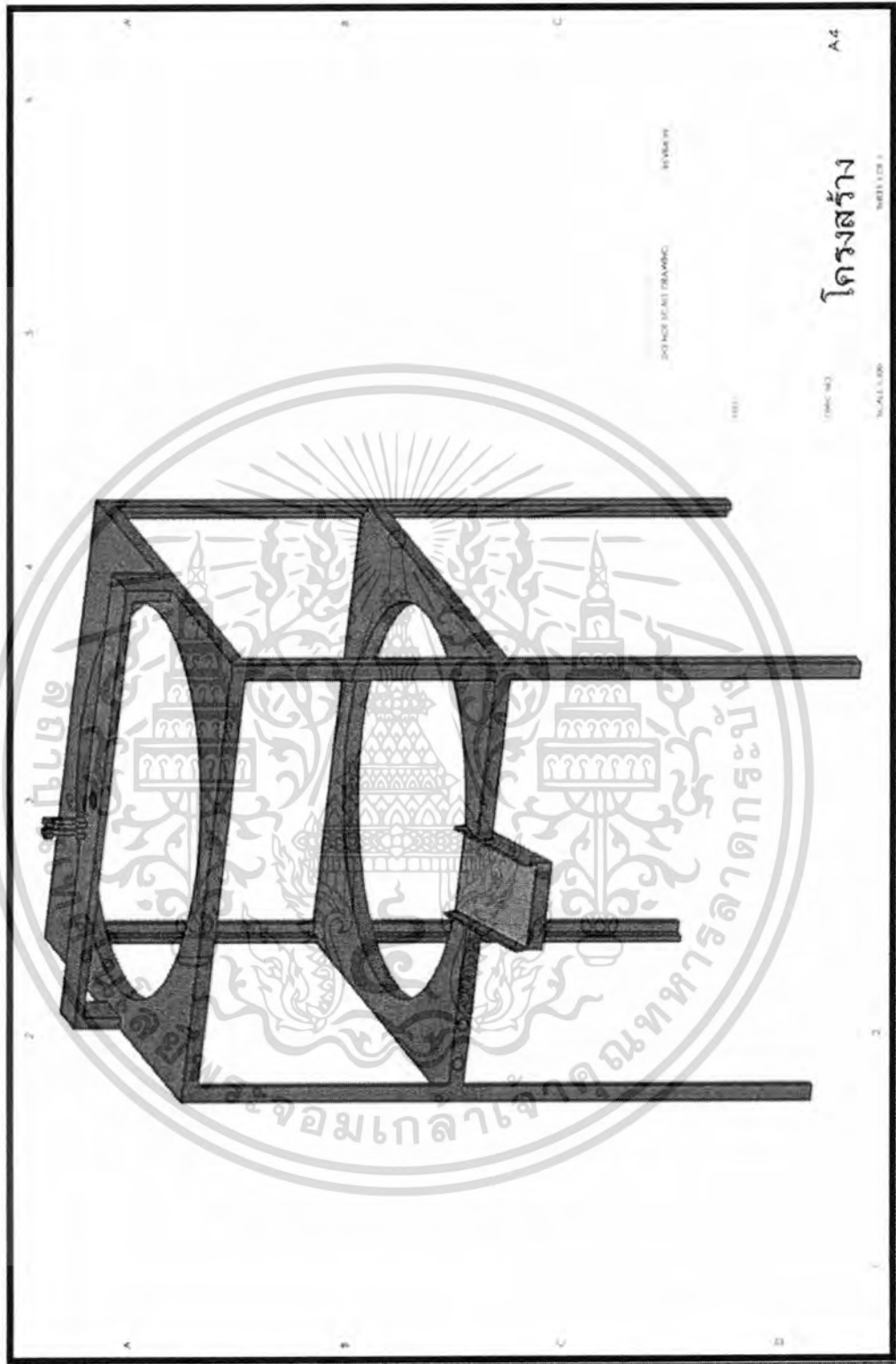
รูปที่ ข.1 เครื่องอบเมล็ดปาล์มร่วงแบบประหยัดพลังงาน ในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



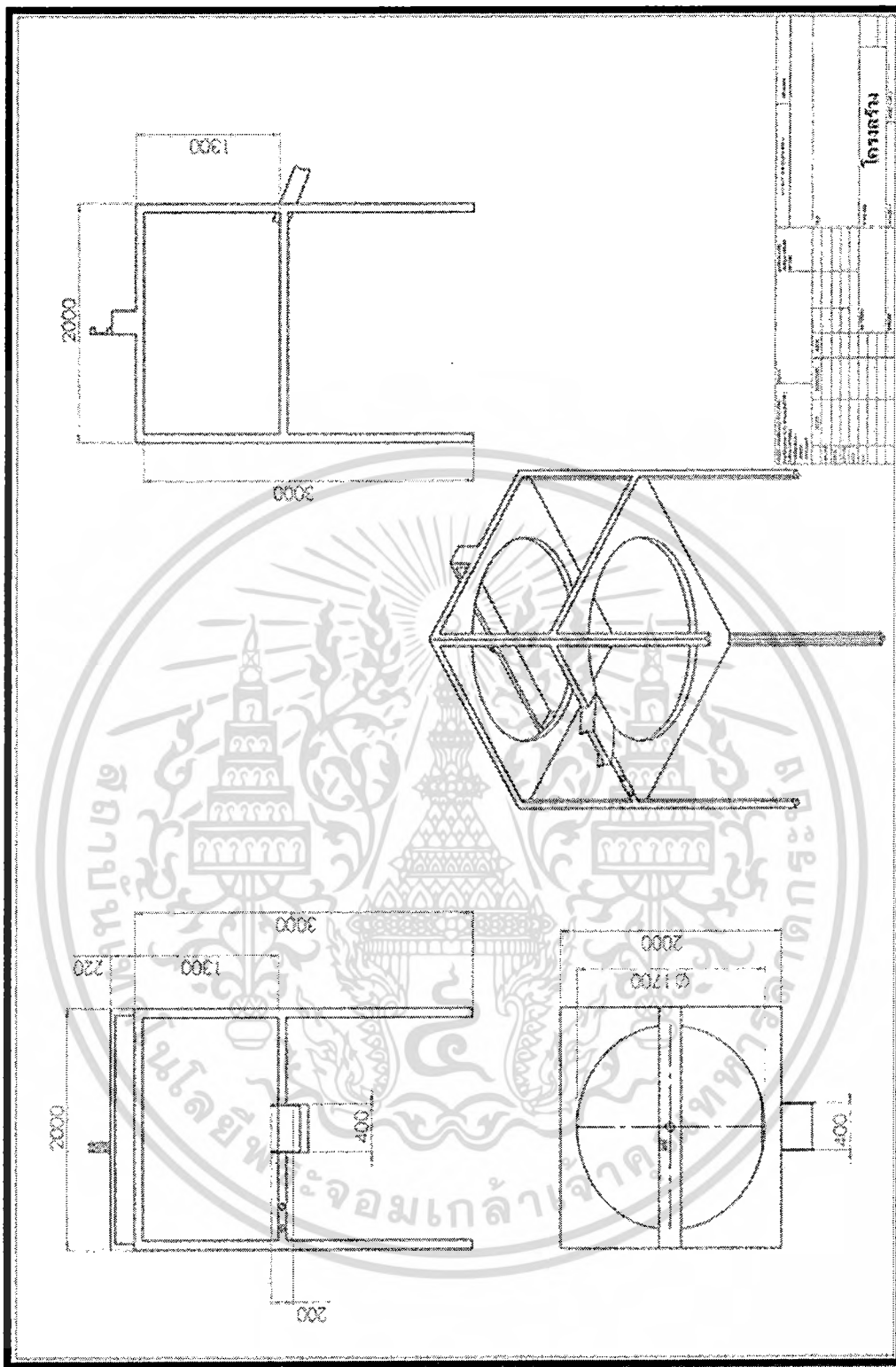
รูปที่ ๗.2 ชื่อชิ้นส่วนเครื่องอบเมล็ดปาล์มร่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 โครงสร้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

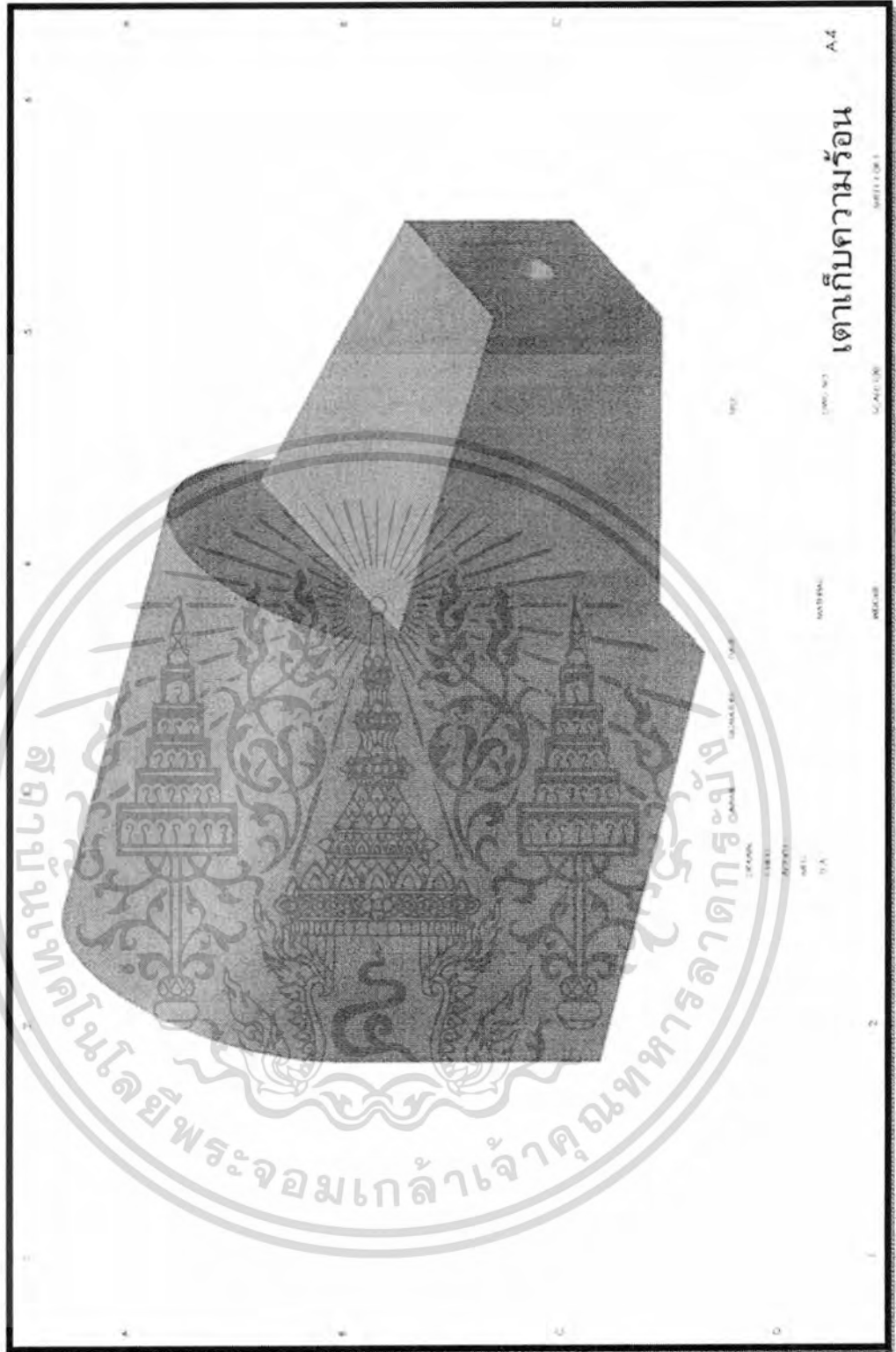


รูปที่ ข.4 ขนาดโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

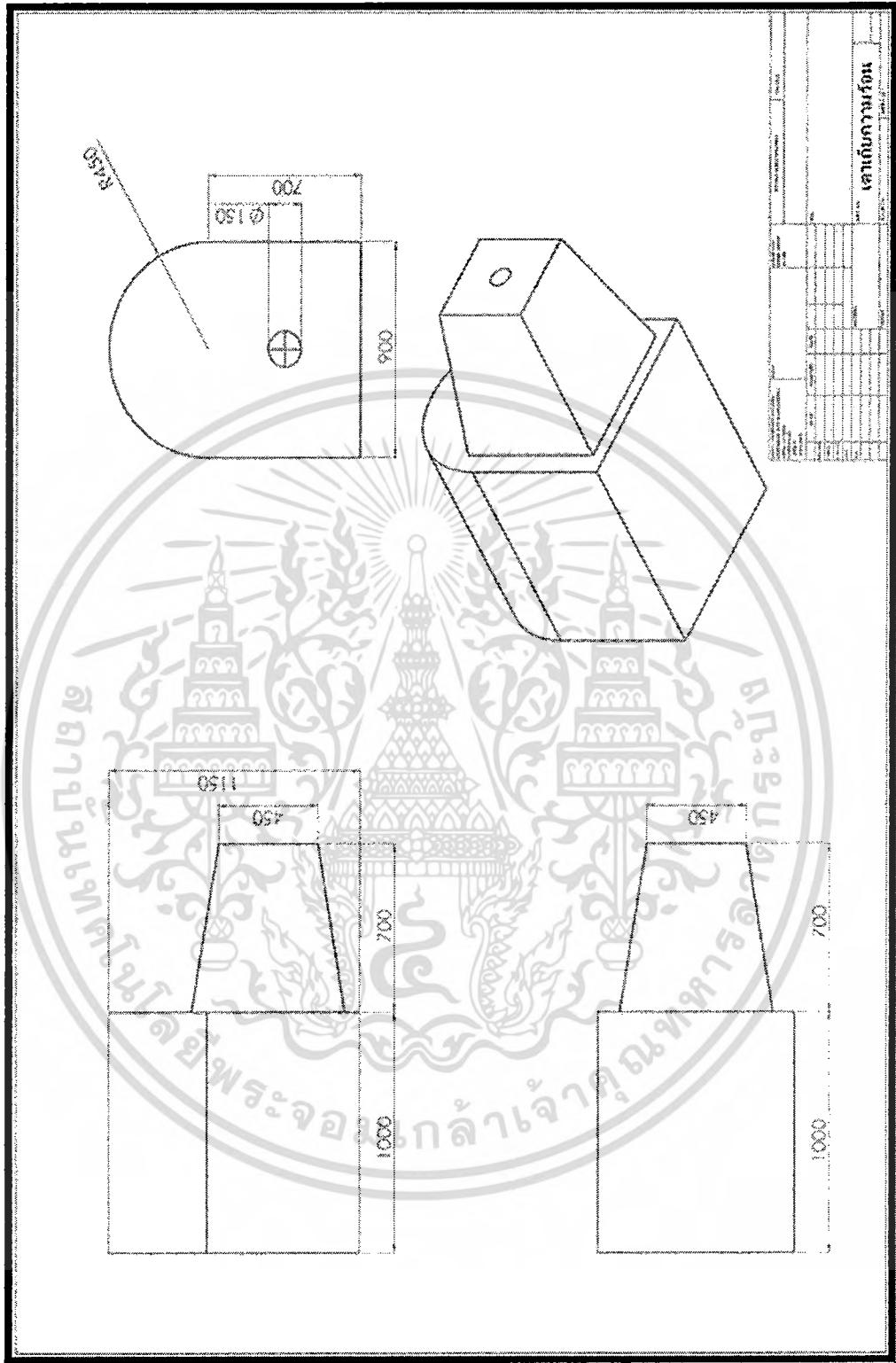






รูปที่ ข.7 เตาเก็บความร้อน

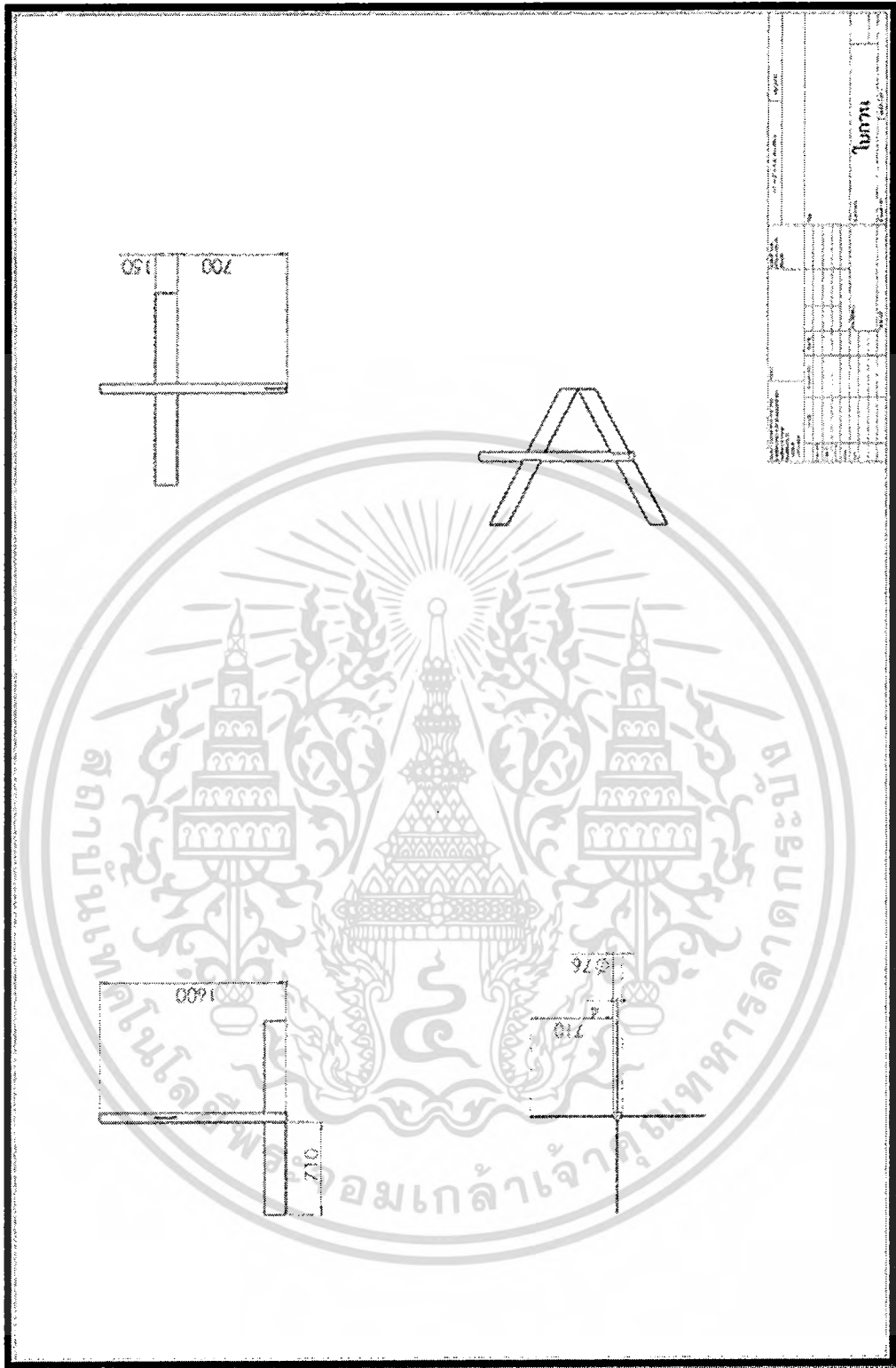
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.8 ขนาดเท่าเก็บความร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





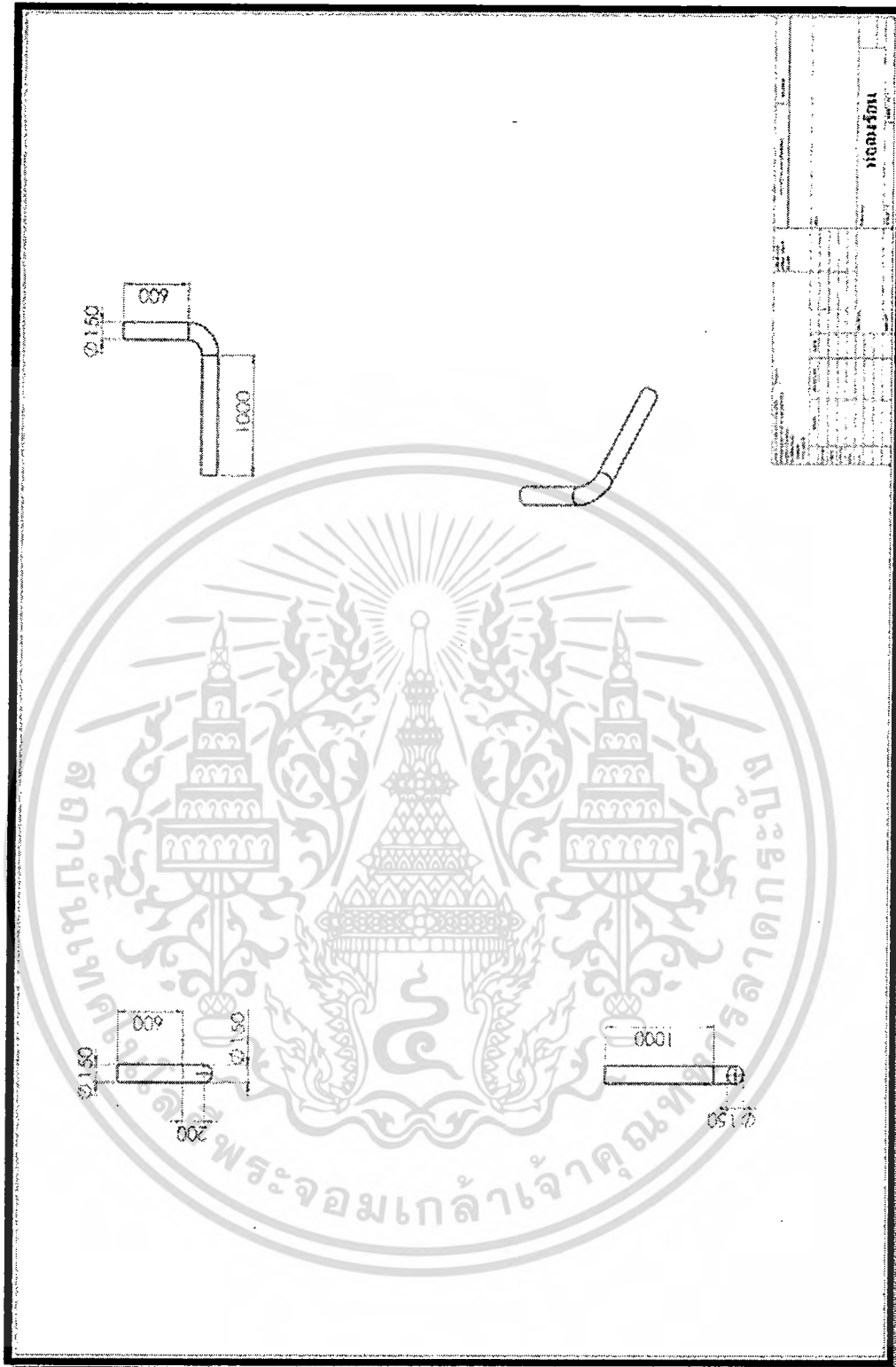
รูปที่ ข.10 ขนาดไมกาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.11 ทอลมร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.12 ขนาดต่อส่งมร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

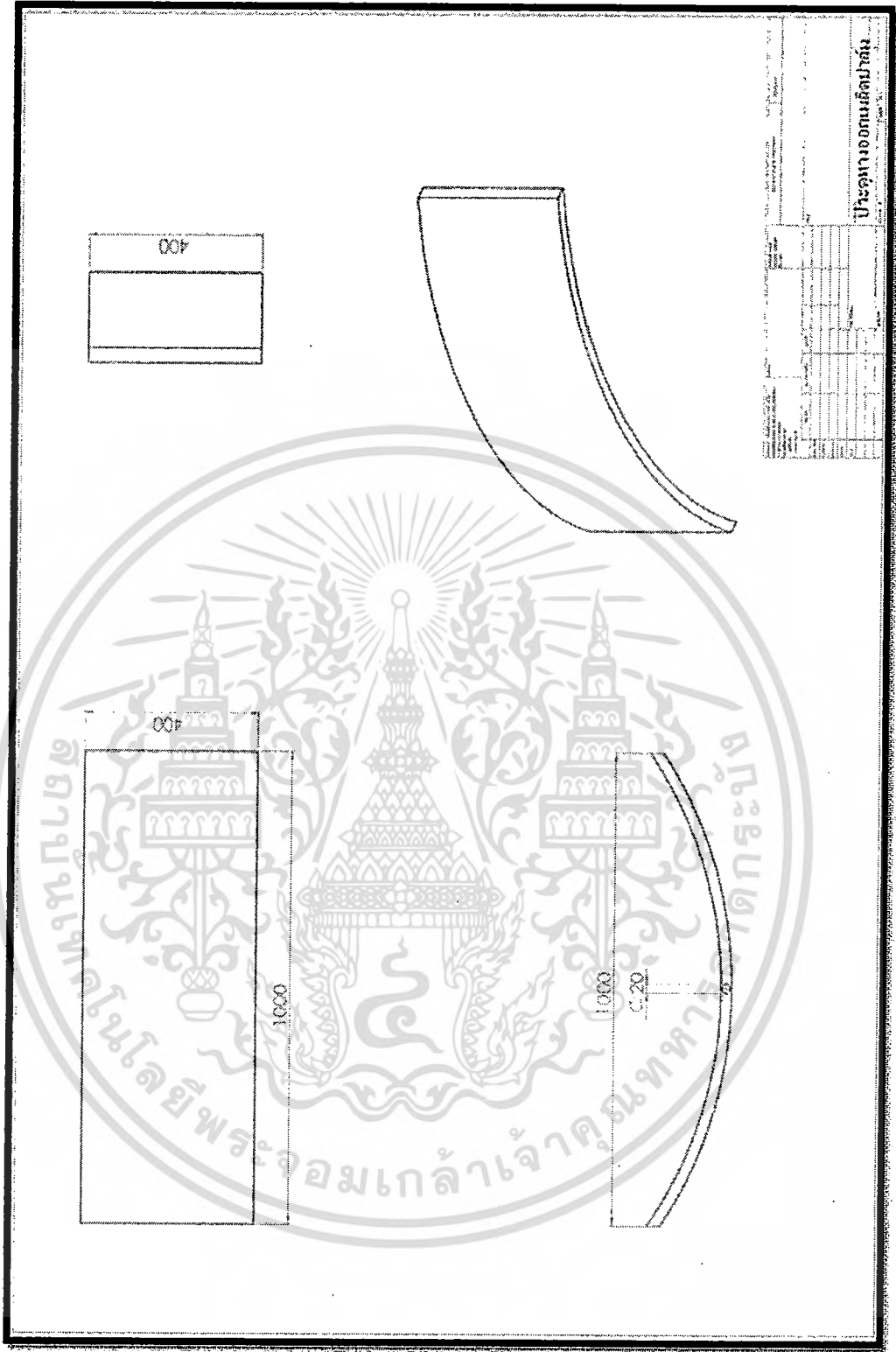






รูปที่ ข.15 ประตutangออกเม็ดปาลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



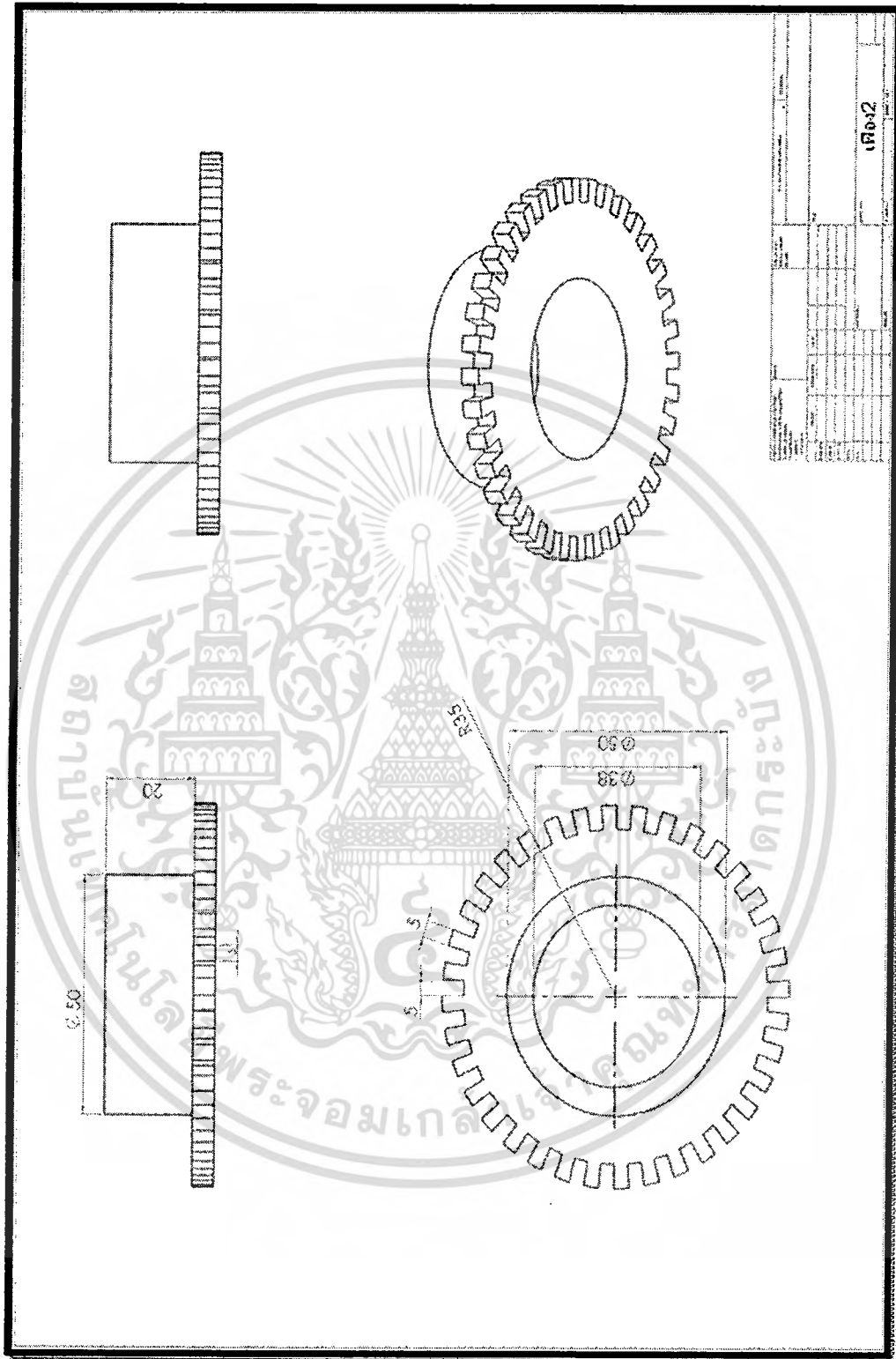
รูปที่ ข.16 ขนาดประตูทางออกเมตดิป่าถ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



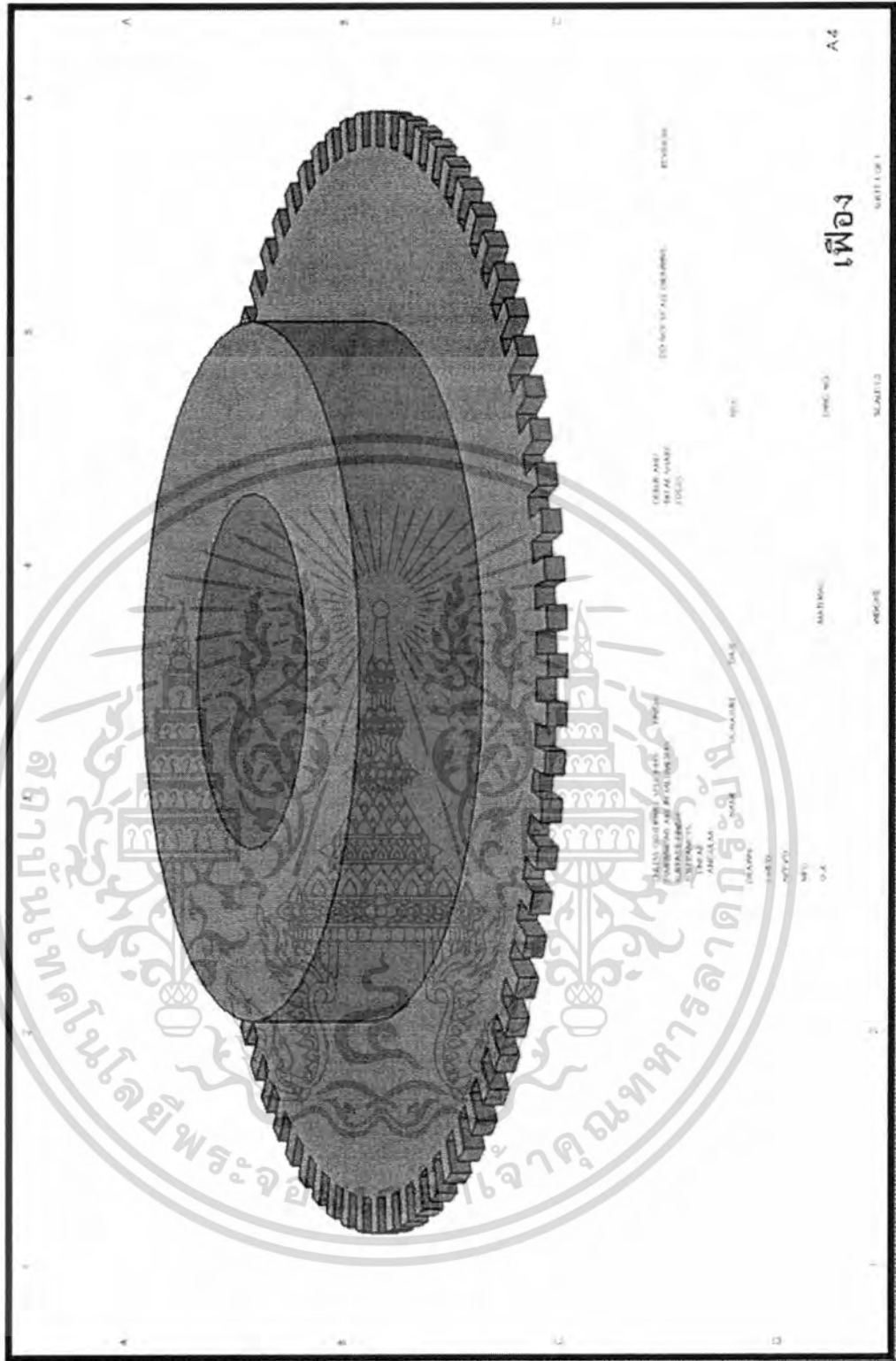






รูปที่ ข.20 ขนาดเพื่อจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.21 เฟืองตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ประวัตินักวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

## ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายปัญญา แดงวิไลลักษณ์

เพศ  ชาย  หญิง วันเดือนปีเกิด 5 เม.ย. 2517 อายุ 38 ปีสถานภาพ  โสด  สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน

## ประวัติการศึกษา

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

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

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

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

## ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

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

## ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

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

## การเสนอผลงานวิชาการ

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

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

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ศิริสา สหายศร, วสันต์ ดวงคำจันทร์, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ “การศึกษากลไกการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วมกับฟลูอิดไดซ์เบด”การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18, หน้าที่ 860-863. ตุลาคม 2547, จ.ขอนแก่น

ศิริสา สหายศร, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ “การเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวโพดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟและเครื่องอบแห้งแบบหมุนร่วมกับไมโครเวฟ”. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, หน้าที่ 1079-1084. ตุลาคม 2548, จ.ภูเก็ต

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

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

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

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

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

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

ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

..... “เครื่องแยกผลปาล์มจากทะเลาะ ชนิดถังกลมและฐานหมุน” จำลอง ปรานแก้ว,  
..... 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 ประจำเดือนมกราคม 2546. และจดหมายข่าว ปาล์มน้ำมัน ปีที่ 3 ฉบับที่ 4 เดือน ธันวาคม 2545 – กุมภาพันธ์ 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

## ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายวชร กาลาสี

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

ตำแหน่งปัจจุบัน

## ประวัติการศึกษา

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

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) การออกแบบเครื่องจักรกลการเกษตร, ยางพารา, พลังงาน

## ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

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

## ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

## ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่/การเสนอผลงานวิชาการ(ระดับชาติ)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

## ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายศิริระ สายศรี

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

ตำแหน่งปัจจุบัน

## ประวัติการศึกษา

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

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา).....การไหลสองสถานะในท่อขนาดไมโครแชนเนล, เทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

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

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

## ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ).....

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ผลงานวิชาการอื่น ๆ (เช่น Proceeding ตำรา ฯลฯ)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้