



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งและผ่าหมากด้วยรังสีอินฟราเรด  
Design and Creation of Betel Nut Cutter and Dryer by Infrared Ray



นายณฤบดี ศรีสังข์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



T145334

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งและผ่าหมากด้วยรังสีอินฟราเรด  
Design and Creation of Betel Nut Cutter and Dryer by Infrared Ray



นายณฤดี ศรีสังข์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 145334  
ชั้นเดือนปี 14 ก.พ. 2560

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558  
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งและผ่าหมากด้วยรังสีอินฟราเรด

ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ) Design and Creation of Betel Nut Cutter and Dryer by Infrared Ray

แหล่งเงิน เงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 70,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558

หัวหน้าโครงการ นายณฤติ ศรีสังข์ หน่วยงานต้นสังกัด สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จ.ชุมพร

ผู้ร่วมโครงการวิจัย -

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการอบแห้งผลหมากใช้วิธีการตากแดด ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของผลหมาก เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งและผ่าหมากด้วยรังสีอินฟราเรด ตัวเครื่องประกอบด้วย ห้องอบแห้งขนาด  $0.7 \times 0.7 \times 0.98 \text{ m}^3$  ผังห้องอบแห้งหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน ภายในห้องอบแห้งติดตั้งหลอดอินฟราเรด เพื่อควบคุมอุณหภูมิอบแห้งที่ 80 100 และ  $120^\circ\text{C}$  นอกจากนี้ภายในห้องอบแห้งมีตะแกรงทรงกระบอกจำนวน 8 ตะแกรงสำหรับบรรจุผลหมาก ตะแกรงทรงกระบอกหมุนด้วยความเร็วรอบ 2 4 และ 6 rev/min ผลหมากถูกลดความชื้นจาก 150 % (d.b.) ลงเหลือ 15% (d.b.) ผลหมากแห้งถูกป้อนด้วยถาดลำเลียงเข้าสู่ชุดใบมีดภายในเครื่องผ่า โดยชุดใบมีดหมุนด้วยความเร็วรอบ 25 rev/min วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วรอบถาดที่ส่งผลกระทบต่อผลหมาก การอบแห้ง ประสิทธิภาพการผ่าผลหมาก และสีเนื้อหมาก (ค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$ ) ผลการศึกษาพบว่า ผลหมากมีความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นและความเร็วรอบการหมุนของตะแกรงลดลง อุณหภูมิอบแห้งและความเร็วรอบการหมุนของตะแกรงไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผ่า ซึ่งมีประสิทธิภาพการผ่าประมาณ 68-70% ลักษณะและคุณภาพสีของเนื้อหมากแห้งที่ได้จากเครื่องอบแห้งและผ่าผลหมากคล้ายคลึงกับเนื้อหมากแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นในการผลิตหมากแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและผ่าผลหมาก ควรใช้อุณหภูมิอบแห้งที่  $100^\circ\text{C}$  ร่วมกับความเร็วรอบของถาดหมุน 6 rev/min ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการผ่าผลหมากที่สูงและได้รับคุณภาพสีของผลหมากในระดับที่ยอมรับได้

คำสำคัญ : ผลหมาก, ความเร็วรอบ, อินฟราเรด, ประสิทธิภาพการผ่า

**Research Title:** Design and Creation of Betel Nut Cutter and Dryer by Infrared Ray

**Researcher:** Naruebodee Srisang

**Faculty:** The King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus

**Department:** Energy Engineering

## ABSTRACT

Currently, the betel nut drying uses the sun drying method and results in the problem of betel nut quality. To solve the problem, this research designs and creates betel nut cutter and dryer by infrared ray. This machine consists of the drying chamber at the dimension of  $0.7 \times 0.7 \times 0.98 \text{ m}^3$ , the drying chamber wall covers by heat insulation, the interior drying chamber installs the infrared lamp to controlling the drying temperature at 80, 100 and  $120^\circ\text{C}$ . Moreover, the inside drying chamber has the eight cylindrical trays for containing the betel nuts. These trays revolves at the revolution velocity of 2, 4 and 6 rev/min. The moisture content of betel nuts were decreased from 150 % (d.b.) to 15% (d.b.). Dried betel nuts were fed by conveyer tray into the blade set which installed within the cutting machine. The blade set used the revolution velocity of 25 rev/min. The objective of this research studied the effect of drying temperature and the revolution velocity of tray on the drying kinetic, the betel nut cutting performance and the betel nut kernel color ( $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  values). The moisture content of betel nut rapidly decreased with the increase of the drying temperature and the diminution of the tray revolution velocity. The drying temperature and the tray revolution velocity did not affect the cutting performance that had the value about 68-70%. The aspect and colour quality of betel nut kernel were similar with the dried betel nut which traded in the market. Therefore, the dried betel nut production from the betel nut cutter and dryer should use the drying temperature of  $100^\circ\text{C}$  and the tray revolution velocity of 6 rev/min. This drying and cutting condition caused the high cutting performance and obtained the colour quality of betel nut in the acceptable level.

**Keywords:** Betel nut, Revolution velocity, Infrared, Cutting performance

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักศึกษา คณาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาวิศวกรรมพลังงาน ตลอดจนคณะกรรมการวิจัย เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัย ฝ่ายพัสดุและฝ่ายการเงิน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่ประสานงานและดำเนินการให้งานวิจัยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

นฤปดี ศรีสังข์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกา  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหมาก	4
2.2 การเก็บเกี่ยวผลหมาก	6
2.3 การทำหมากแห้ง	7
2.4 ประโยชน์ของหมากแห้ง	9
2.5 การหาอบแห้ง	9
2.6 การคำนวณมอเตอร์	12
2.7 การคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องผ่าผลหมาก	13
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>	<b>18</b>
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย	18
3.2 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก	24
3.3 การหาความชื้นของผลหมาก	28
3.4 แผนผังการทดลองเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก	28
3.5 การบรรจุผลหมากและการติดตั้งตะแกรงบรรจุผลหมากในห้องอบแห้ง	29
3.6 การตรวจวัดสีของผลหมาก	29
3.7 การวัดความเร็วรอบ	31
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย</b>	<b>32</b>
4.1 จลนศาสตร์การอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรด	32
4.2 ประสิทธิภาพการผ่าผลหมากด้วยชุดใบมีด	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 คุณภาพของเนื้อหมากที่ได้จากเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก	35
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	<b>39</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
5.3 ผลผลิตงานวิจัย	39
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>40</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>42</b>
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	43
ภาคผนวก ข ภาพผลหมาก	50
ภาคผนวก ค เครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก	54
ภาคผนวก ง ผลผลิตงานวิจัย	61
ภาคผนวก จ สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย	66
<b>ประวัตินักวิจัย</b>	<b>67</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 สีของเนื้อหมากแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาดและสีของเนื้อหมากแห้งที่ผลิตจากเครื่องอบแห้งและผ่าผลหมาก	36
ก1 ประสิทธิภาพการผ่าผลหมาก	43
ก2 ข้อมูลแสดงค่าสีของผลหมากแห้งในท้องตลาด	44
ก3 ข้อมูลแสดงค่าสีของผลหมากสุก	44
ก4 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 2 rev/min	45
ก5 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 4 rev/min	45
ก6 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 6 rev/min	46
ก7 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 2 rev/min	46
ก8 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 4 rev/min	47
ก9 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 6 rev/min	47
ก10 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 2 rev/min	48
ก11 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 4 rev/min	48
ก12 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 6 rev/min	49

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ต้นหมาก	4
2.2 ส่วนประกอบของผลหมาก	5
2.3 ผลหมากชนิดกลมแป้นและผลยาว	6
2.4 หมากสดและหมากสง	7
2.5 หมากแห้ง	8
2.6 การทำหมากแห้งโดยการตากแดด	8
2.7 การผ่าผลหมาก	8
2.8 ผลหมากผ่าสองซีกหลังการตากแดด	9
2.9 ลักษณะผลหมากที่มีเชื้อราเกิดขึ้น	9
2.10 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	11
2.11 การส่งถ่ายรังสีอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิด และการดูดซับรังสีอินฟราเรดของวัสดุ	11
2.12 ผลหมากและเมล็ดหมากแห้งภายใต้การทดสอบแบบ Flat Plate Contact Loading	14
3.1 หลอดอินฟราเรด	18
3.2 เทอร์โมคัปเปิล Type K	19
3.3 มอเตอร์ไฟฟ้า	19
3.4 สายพานส่งกำลัง	20
3.5 มู่เลย์	20
3.6 เฟืองโซ่	21
3.7 อินเวอร์เตอร์	21
3.8 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ	22
3.9 แมกเนติกคอนแทคเตอร์	22
3.10 ตะแกรงสำหรับใส่ผลหมาก	23
3.11 ใบมีดสำหรับผ่าผลหมาก	23
3.12 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก	24
3.13 การติดตั้งหลอดอินฟราเรด	24
3.14 โครงสร้างห้องอบแห้ง	25
3.15 การติดเทปกั้นความร้อนและอัดฉนวนกันความร้อน	25
3.16 การเชื่อมปิดที่บริเวณผนังห้องอบแห้ง	26
3.17 ตะแกรงใส่ผลหมาก	26
3.18 เครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก	26
3.19 ใบมีดของเครื่องผ่าผลหมาก	27
3.20 ถาดป้อนผลหมากเข้าสู่เครื่องผ่าผลหมาก	27
3.21 ผลหมากถูกผ่าออกเป็น 2 ซีก ด้วยชุดใบมีด	27
3.22 แผนผังการทดลองเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.23 การบรรจุผลหมากลงในตะแกรง	29
3.24 การติดตั้งตะแกรงใส่ผลหมากในห้องอบแห้ง	29
3.25 เครื่องวัดสี Konica Minolta Charoma Meter CR-400	30
3.26 ตารางเทียบค่าสี	30
3.27 เครื่องวัดความเร็วรอบ	31
4.1 จลนศาสตร์การอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 80°C	32
4.2 จลนศาสตร์การอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 100°C	32
4.3 จลนศาสตร์การอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 120°C	33
4.4 ประสิทธิภาพการผ่าของชุดใบมีด	34
4.5 ลักษณะผลหมากหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120°C ที่ความเร็วรอบตะแกรง 2 rev/min	35
4.6 ลักษณะผลหมากหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120°C และผ่าที่ความเร็วรอบ 25 rev/min	35
4.7 เนื้อหมากแห้งหลังการตากแดดและผ่าด้วยมีด (เนื้อหมากแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด, Commercial betel nut)	36
4.8 เนื้อหมากแห้งหลังการอบแห้งด้วยอินฟราเรดและผ่าด้วยชุดใบมีด (การผลิตหมากแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและผ่าผลหมาก)	36
4.9 เนื้อหมากหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C และที่ความเร็วรอบตะแกรง 2 rev/min	37
4.10 เนื้อหมากหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C และที่ความเร็วรอบตะแกรง 4 rev/min	37
4.11 เนื้อหมากหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C และที่ความเร็วรอบตะแกรง 6 rev/min	38
ข1 ลักษณะของผลหมากสุกผ่าซีก	50
ข2 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 2 rev/min	50
ข3 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 4 rev/min	50
ข4 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 6 rev/min	51
ข5 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 2 rev/min	51
ข6 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 4 rev/min	51
ข7 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 6 rev/min	52
ข8 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 2 rev/min	52
ข9 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 4 rev/min	52
ข10 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 6 rev/min	53
ค1 โครงสร้างเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก	54
ค2 โครงสร้างเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก 1	55
ค3 โครงสร้างหลอดอินฟราเรด	56
ค4 โครงสร้างหลอดตะแกรงบรรจุผลหมาก	57
ค5 โครงสร้างจานหมุน	58
ค6 โครงสร้างใบมีดผ่าผลหมาก	59
ค7 โครงสร้างลูกกลิ้งลำเลียงผลหมาก	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หมากมีชื่อภาษาอังกฤษว่า Betel Nut บางครั้งอาจเรียกว่า Arecanut หรือ Arecanut Palm มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Areca catechu* Linn. เป็นไม้ยืนต้นตระกูลปาล์ม เช่นเดียวกับมะพร้าว ถิ่นกำเนิดของหมากปรากฏหลักฐานไม่เด่นชัด แต่มีการแพร่กระจาย ในหลายประเทศ แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอินเดีย ปัจจุบันแหล่งปลูกหมากที่เป็นเชิงการค้าของโลก ได้แก่ อินเดีย ศรีลังกา พม่า มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน อินโดนีเซีย และไทย แหล่งปลูกหมากในประเทศไทย ส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้และภาคกลาง พื้นที่ปลูกหมากของไทยมีประมาณ 116,756 ไร่ ผลผลิตรวม 437,010 ตัน [1] จังหวัดที่มีการปลูกหมากมากที่สุด คือ จังหวัดชุมพร รองลงมาคือ จังหวัดนครศรีธรรมราช ระนอง ฉะเชิงเทรา พัทลุง ตรัง พังงา ระยอง สุราษฎร์ธานี และนครปฐม ตามลำดับ หมากในประเทศไทยแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ หมากปี และหมากทะวาย หมากปีเริ่มเก็บเกี่ยวตั้งแต่เดือน พฤษภาคม - ตุลาคม และหมากทะวายเก็บเกี่ยวตั้งแต่เดือน กุมภาพันธ์ - พฤษภาคม หมากทะวายราคาแพงกว่าหมากปีบางครั้งขึ้นถึงผลละ 3-5 บาท ในประเทศไทยกลุ่มผู้สูงอายุ และชาวเขาบางเผ่ายังนิยมกินหมากอยู่ การบริโภคหมากภายในประเทศสูงถึง 88 % ที่เหลือ 12 % เป็นการส่งออกในรูปของหมากสดและหมากแห้ง ราคาหมากในประเทศไทยจำหน่ายกันในราคาผลละ 3 บาท (ทะวาย) ส่วนหมากแห้งจำหน่ายในราคาชิตละ 50-60 บาท หมากสดจำหน่ายชิตละ 30 บาท และหมากแห้งผ่าซีก ชิตละ 40 บาท แต่ความนิยมในการกินหมากลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากค่านิยมแบบตะวันตกแผ่ขยายเข้ามาสู่ประเทศจึงทำให้ความสำคัญของหมากในเชิงวัฒนธรรมลดน้อยลง แต่ด้วยความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมทำให้หมากได้เข้ามามีบทบาทและมีความสำคัญในแง่อุตสาหกรรมโดยมีการนำหมากไปใช้ในอุตสาหกรรมยาและสี และมีการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ สำหรับตลาดต่างประเทศนั้นจะสั่งซื้อหมากแห้งที่มีการบรรจุกระสอบๆละ 30 kg ซึ่งตัวเลขการส่งออกในปี 2543 มีการส่งออกหมากแห้งและสดรวมกันถึง 23,963 ตันคิดเป็นมูลค่าประมาณ 709 ล้านบาท [2] ประมาณว่าในแต่ละปีจะมีการส่งออกอยู่ระหว่าง 600 - 1,200 ล้านบาท และมีการคาดการณ์กันว่าถ้าอุตสาหกรรมเครื่องหนังขยายตัวมากขึ้นจะส่งผลให้ตลาดการค้าหมากของไทยจะขยายตัวตามไปด้วย ดังนั้นหมากจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่ง

ในการทำหมากแห้งต้องนำหมากแก่หรือหมากสง (สีของจักรพระสงฆ์) ไปตากแดดให้แห้ง โดยใช้เวลาดตากแดดประมาณ 3 สัปดาห์ จากนั้นนำผลหมากแห้งมาทำการปอกเปลือกโดยใช้แรงงานคนนำมีดมาเฉาะที่ก้นผลให้แตกก่อนแล้วจึงดึงเปลือกออกจะได้เมล็ดแห้งที่อยู่ภายใน หรือนำผลหมากแห้งมาผ่าออกเป็นสองซีก หลังจากนั้นทำการแยกเนื้อหมากที่ได้จากการเฉาะหรือผ่าออกจากเปลือก และนำมาตากแดดอีก 7 วัน รวมระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตหมากแห้งดังกล่าว ใช้ระยะเวลาประมาณ 1 เดือน ทำให้ไม่สามารถผลิตหมากแห้งให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ใช้แรงงานมากในการปอกเปลือกหรือผ่าหมาก การเพิ่มกำลังในการผลิตก็ทำได้ยาก เพราะมีข้อจำกัดในเรื่องความชำนาญ นอกจากนี้ภาคใต้เป็นภูมิภาคที่มีฝนตกตลอดทั้งปีทำให้การนำผลหมากมาตากแดดอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานๆ ทำได้ยาก ส่งผลให้เนื้อหมากยังคงมีความชื้นที่สูงเนื่องจากตากแดดไม่เพียงพอ ซึ่งนำไปสู่การเกิดเชื้อราที่เนื้อหมากทำให้ไม่สามารถขายหมากแห้งได้ตามราคาที่ต้องการ [3] จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้ผู้วิจัยคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งและผ่าหมากด้วยรังสีอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการอบแห้งด้วยอินฟราเรดเป็นการอบแห้งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดไปกระตุ้นให้โมเลกุลของน้ำในวัสดุเกิดการสั่น และส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้น ตัววัสดุนอกจากจะได้รับความร้อนที่พื้นผิวจากรังสีแล้ว รังสีอินฟราเรดยังสามารถทะลุเข้าไปในวัสดุทำให้เกิดการสะสมความร้อนและช่วยในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ ซึ่งทำให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ [4] ดังจะเห็นได้จากอัตราการอบแห้งที่สูงขึ้นและค่าความชื้นเปลือกพลังงานจำเพาะที่ลดต่ำลงเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น [5] อย่างไรก็ตามการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดส่วนใหญ่ในปัจจุบันทำในลักษณะของการอบแห้งแบบเป็นงวด (Batch drying) และการอบแห้งแบบสายพาน (Conveyor drying) ซึ่งมีปัญหาในเรื่องของการกระจายของรังสีที่ไม่สม่ำเสมอในห้องอบ ส่งผลให้วัสดุอบแห้งมีการลดลงของความชื้นที่ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงออกแบบห้องอบแห้งให้ชั้นที่วางวัสดุอบแห้งมีการหมุน เพื่อให้สามารถได้รับรังสีจากทุกทิศทาง สำหรับในส่วนเครื่องผ่าผลหมากได้ออกแบบเพลาให้มีลักษณะเป็นเฟืองที่ขบกัน ด้วยแรงบิดและความเร็วรอบในการหมุนของมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงกดของใบมีดที่กระทำกับผลหมากจึงทำให้ผลหมากถูกผ่าเป็น 2 ซีก ซึ่งแตกต่างจากกลไกการผ่าผลหมากโดยการใช้มือโยกคันบิดเพื่อเปิดเปลือกออก [6] การทำงานของเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมากจะเริ่มจากการอบผลหมากจนได้ค่าความชื้นที่ 12-15% d.b. จากนั้นทำการปล่อยผลหมากจากหลอดตะแกรงลงสู่ถาดลำเลียงผลหมากจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องผ่าผลหมาก เพื่อทำการผ่าออกเป็น 2 ซีก ซึ่งสามารถช่วยลดระยะเวลาของการทำหมากแห้งให้กับเกษตรกร และเพิ่มกำลังการผลิตหมากแห้งให้กับเกษตรกร อีกทั้งยังทดแทนแรงงานคน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งและผ่าหมากด้วยรังสีอินฟราเรด
- 1.2.2 เพื่อศึกษาจลนศาสตร์ของการอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรด
- 1.2.3 เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรด
- 1.2.4 เพื่อศึกษาถึงคุณภาพของผลหมากที่ได้จากตัวเครื่องอบแห้ง และผ่าผลหมาก

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ในการทดลองเลือกใช้ผลหมากพันธุ์พื้นบ้านที่มีในจังหวัดชุมพร ซึ่งมีขนาดประมาณ 2.5-4 cm
- 1.3.2 เครื่องอบแห้งสามารถอบผลหมากได้ครั้งละ 90 ผล
- 1.3.3 ในการทดลองใช้หลอดอินฟราเรด 1000 W จำนวน 3 หลอด
- 1.3.4 ผลหมากถูกบรรจุในตะแกรงทรงกระบอกที่หมุนรอบแกนหมุนภายในห้องอบแห้ง
- 1.3.5 ในการศึกษาจลนศาสตร์ของการอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรดใช้อุณหภูมิอบแห้ง 80 100 และ 120°C และใช้ความเร็วรอบของตะแกรง 2 4 และ 6 rev/min
- 1.3.6 ในการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรด จะศึกษาปัจจัยอันเนื่องมาจากอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วรอบของตะแกรง
- 1.3.7 ความชื้นของผลหมากก่อนอบแห้งมีค่าประมาณ 150% d.b. และความชื้นที่ยอมรับได้ของผลหมากหลังจากอบแห้งมีค่าเท่ากับ 12-15% d.b.
- 1.3.8 ในส่วนของเครื่องผ่าหมากจะถูกประเมินประสิทธิภาพในการผ่าแยกผลหมาก
- 1.3.9 ในการศึกษาคุณภาพของผลหมากจะพิจารณาจากคุณภาพด้านสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการอบแห้งและผ่าหมาก
- 1.4.2 จัดหาผลหมากที่ต้องใช้ในการวิจัย
- 1.4.3 ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งและผ่าหมากด้วยรังสีอินฟราเรด
- 1.4.4 ดำเนินการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้ง และความเร็วรอบในการหมุนของตะแกรงที่ส่งผลต่อจลนศาสตร์ของการอบแห้งผลหมาก ประสิทธิภาพการผ่าหมาก และคุณภาพของหมากที่ได้
- 1.4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ช่วยลดระยะเวลาของการทำหมากแห้งให้กับเกษตรกร
- 1.5.2 เพิ่มกำลังการผลิตหมากแห้งให้กับเกษตรกร
- 1.5.3 ทำให้ทราบถึงผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้ง และความเร็วรอบในการหมุนของตะแกรงที่ส่งผลต่อการอบแห้งผลหมาก ซึ่งอาจจะนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตหมากแห้งต่อไป
- 1.5.4 เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการผลิตหมากแห้งต่อไปในอนาคต



## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหมาก [7]

#### 2.1.1 ราก

หมากมีระบบรากฝอยเช่นเดียวกับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่วไป ไม่มีรากแก้ว จำนวนรากขึ้นอยู่กับอายุ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ตลอดจนสิ่งแวดล้อมต่างๆ ในกรณีที่หมากถูกน้ำท่วมขังชั่วคราวจะสามารถสร้างรากอากาศขึ้นได้ที่โคนของลำต้น ทำให้หมากไม่ตาย อย่างไรก็ตามไม่ควรปล่อยน้ำให้ท่วมขังเป็นเวลานาน เนื่องจากรากหมากไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ในน้ำได้นาน

#### 2.1.2 ลำต้น

หมากเป็นไม้ยืนต้นที่มีลำต้นเดี่ยว ไม่มีแก่น และไม่แตกกอ (ดังแสดงในภาพที่ 2.1) การเจริญเติบโตในระยะแรกลำต้นจะขยายออกทางด้านกว้างและด้านบนจนลำต้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6 นิ้ว หลังจากนั้นจะหยุดการเจริญเติบโตทางด้านกว้าง มีแต่การเจริญเติบโตทางด้านความสูงหรือด้านยอดเท่านั้น รูปทรงต้นหมากจึงเป็นทรงกระบอกและตั้งตรง โดยส่วนโคนต้นเหนือผิวดินเรียกว่าสะโพก จะมีลักษณะใหญ่กว่าลำต้นตอนส่วนบนเล็กน้อย หมากมีตาสำหรับการเจริญเติบโตเพียงตาเดียว อยู่ที่ปลายยอดสุดของลำต้นเรียกว่า ตายอด ถ้าตายอดของหมากตายหรือถูกทำลาย ต้นหมากก็จะตาย ตายอดนี้เป็นที่เกิดของใบเมื่อใบแก่ร่วงหล่นจะทิ้งรอยแผลเป็นไว้ตรงส่วนของลำต้นที่เรียกว่าข้อ ซึ่งมองเห็นได้ชัดเจนรอบ ๆ ลำต้น ระหว่างข้อแต่ละคู่เรียกว่าปล้อง จำนวนข้อของหมากสามารถใช้คำนวณอายุของต้นได้ โดยคำนวณจากการเจริญเติบโตของต้นหมาก ต่อระยะเวลา 1 ปี ต้นหมากจะมีจำนวนข้อเพิ่มขึ้นประมาณ 5 ข้อ โดยทั่วไปหมากจะมีอายุประมาณ 10-30 ปี ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและการดูแลรักษา



ภาพที่ 2.1 ต้นหมาก [8]

#### 2.1.3 ใบ

ใบเกิดจากเนื้อเยื่อเจริญตรงส่วนปลายยอด โดยแตกเป็นกระจุกที่ปลายลำต้น ประกอบด้วยโคนก้านใบหรือกาบหมาก ก้านทางใบ และใบย่อยซึ่งเรียงเป็นแถวทั้ง 2 ข้างของก้านทางใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กาบหมากมีลักษณะเป็นแผ่นใหญ่หุ้มติดอยู่กับลำต้น เมื่อหมากออกดอก ดอกหรือจั่นหมากจะถูกหุ้มอยู่ใน กาบหมาก เมื่อกาบหมากร่วงจึงจะเห็นดอกหมากหรือจั่นหมากติดอยู่กับลำต้น

#### 2.1.4 ดอก

ดอกหมากหรือจั่นหมากจะเกิดที่ซอกโคนก้านใบหรือกาบหมาก ดอกออกรวมกันเป็นช่อ ใหญ่ประกอบด้วย แกนกลางหรือโคนจั่นยึดติดอยู่ข้อของลำต้น และก้านช่อดอกเป็นเส้นยาวๆจำนวนมาก แดงออกจากแกนกลาง ก้านช่อดอกแต่ละเส้นจะมีดอกหมากติดอยู่ทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย โดยดอกตัว ผู้จะอยู่ที่ส่วนปลายและดอกตัวเมียจะอยู่ที่ส่วนโคน เมื่อกาบหุ้มจั่นแตกออก ดอกตัวผู้จะบานจากปลายกิ่ง แขนงไปหาโคนแขนง ดอกตัวผู้จะบานเป็นเวลาประมาณ 21 วัน หลังจากนั้นอีกประมาณ 5 วัน ดอกตัวเมีย จะเริ่มบานเป็นเวลาประมาณ 3-5 วัน ดอกตัวเมียที่ได้รับการผสมละอองเกสรแล้วจะเจริญเติบโตเป็นผล หมากต่อไป จากการที่ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียบานไม่พร้อมกัน ทำให้ในการผสมเกสร ดอกตัวเมียอาจจะ ได้รับละอองเกสรตัวผู้จากจั่นอื่นๆที่บานพร้อมกัน หมากจึงเป็นพืชผสมข้ามพันธุ์ ทั้งนี้จำนวนจั่นจะขึ้นอยู่กับ พันธุ์ ความอุดมสมบูรณ์ของดินและสภาพแวดล้อมต่างๆ

#### 2.1.5 ผลหมาก

ผลหมากมีลักษณะกลมหรือกลมรี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-2.5 นิ้ว ผลอยู่ รวมกันเป็นทะลาย ใน 1 ทะลายมีผลประมาณ 100-150 ผล ผลอ่อนจะมีสีเขียวเรียกว่า หมากดิบ หรือ หมากสด เมื่อผลแก่จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมเหลืองหรือสีเหลืองอมส้มทั้งผล เรียกว่าหมากสุก หรือหมากสง (สีของจักรพรรดิสงฆ์) สีของผลหมากที่แก่จัดชาวบ้านเรียกว่า สีหมากสุก ผลหมากประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- เปลือกชั้นนอกบางกว่าเปลือกชั้นกลาง มีเส้นใยละเอียด เหนียวและแข็ง ผิวเปลือกมีความมัน
- เปลือกชั้นกลางมีเส้นใยหนาและหยาบ เมื่อเป็นผลดิบอ่อนเส้นใยจะมีสีขาวและอ่อนนุ่ม เมื่อเป็นผลแก่เส้นใยจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและแข็งขึ้น
- เปลือกชั้นในเป็นเยื่อบางละเอียด ไม่เป็นเส้นใย ลักษณะใสเป็นมันติดอยู่กับเนื้อหมาก
- เมล็ดคือส่วนที่เราเรียกว่าเนื้อหมาก (ดังแสดงในภาพที่ 2.2) มีเปลือกชั้นในเป็นเยื่อบาง ๆ หุ้มอยู่ เมื่อผลอ่อนเนื้อหมากจะนิ่ม มีลายเส้นสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลแดง สามารถเอาออกจากเปลือกได้ง่าย แต่เมื่อผลแก่เนื้อหมากจะแข็ง ลายเส้นเป็นสีน้ำตาลแดงจนถึงสีแดงเข้ม ฉาะเปลือกออกยาก ต้องนำไปตากแดดเพื่อให้เนื้อหมากแห้งจึงจะสามารถหลุดออกจากเปลือกได้ง่ายขึ้น



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของผลหมาก [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.6 พันธุ์หมาก

ในปัจจุบันแบ่งพันธุ์หมากได้ 2 ลักษณะคือ

### 2.1.6.1 แบ่งตามลักษณะของผล

1) ผลกลมแบน (ดังแสดงในภาพที่ 2.3) หมากชนิดนี้ส่วนมากจะมีผลใหญ่ รูปทรงของผลมีลักษณะกลมหรือกลมแบน ขนาดของเมล็ดใหญ่ มีลักษณะกลมหรือกลมแบนเช่นเดียวกับลักษณะผล เปลือกมีความหนาค่อนข้างสม่ำเสมอ

2) ผลยาว (ดังแสดงในภาพที่ 2.3) หมากชนิดนี้จะมีขนาดเล็กกว่าผลกลมแบน รูปทรงของผลจะมีลักษณะยาวหรือยาวรี เมล็ดมีลักษณะไม่แน่นอน อาจจะเป็นกลมแบน หรือผลยาวก็ได้ เปลือกมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ส่วนใหญ่เปลือกทางด้านหัวผลจะหนากว่าส่วนอื่นๆ โดยทั่วไปเกษตรกรนิยมปลูกหมากพันธุ์ผลกลมแบนมากกว่าพันธุ์ผลยาวเนื่องจากขนาดเมล็ดของพันธุ์ผลกลมจะมีขนาดใหญ่กว่าพันธุ์ผลยาว



ภาพที่ 2.3 ผลหมากชนิดกลมแบนและผลยาว [3]

## 2.2 การเก็บเกี่ยวผลหมาก

การให้ผลผลิตของหมากแบ่งได้เป็น 2 ช่วงคือ หมากปีและหมากทะวาย ซึ่งหมากจะให้ผลผลิตเกือบตลอดปี ขึ้นอยู่กับอายุของต้นหมากและความเหมาะสมของสภาพแวดล้อม ต้นหมากที่มีอายุมากส่วนใหญ่จะเก็บเกี่ยวได้เฉพาะหมากปี ช่วงระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวหมากจะเริ่มเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม-ตุลาคม ช่วงที่มีหมากชุกมากคือเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม หมากทะวายจะเริ่มเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม หมากทะวายจะมีราคาแพงกว่าหมากปี เนื่องจากมีจำนวนผลผลิตน้อย ช่วงที่มีหมากน้อยที่สุดคือช่วงเดือนพฤศจิกายน-มกราคม

### 2.2.1 ลักษณะผลหมากที่ควรเก็บเกี่ยว

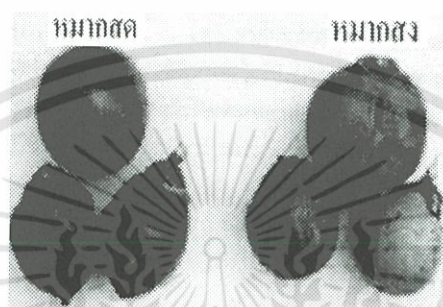
2.2.1.1 หมากดิบหรือหมากสด (ดังแสดงในภาพที่ 2.4) ผลหมากสดที่รับประทาน มีอายุนับตั้งแต่เริ่มผสมติดจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 5-6 เดือน เปลือกสีเขียวเข้ม เนื้อในแก่พอจะรับประทานสดได้ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ หมากหน้าอ่อน ซึ่งมีเนื้อนุ่มคล้ายเนื้อกุ้ง และหมากหน้าแก่ เนื้อจะเริ่มแข็งเวลารับประทานต้องใส่ตะบันตำหมากก่อน ทั้งหมากหน้าอ่อนและหมากหน้าแก่ นิยมรับประทานสด ในฤดูที่มีผลผลิตมากนิยมทำเป็นหมากแห้งเพื่อเก็บไว้บริโภคนอกฤดูในช่วงที่หมากขาดตลาด

2.2.1.2 หมากแก่หรือหมากสง (ดังแสดงในภาพที่ 2.4) คือผลหมากที่มีอายุนับตั้งแต่เริ่มผสมติดจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 7-8 เดือน แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) หมากสงที่มีเปลือกสีเหลืองปนเขียว เป็นช่วงที่ผลหมากมีอายุประมาณ 7 เดือน เนื้อจะหนาและเริ่มแข็ง สามารถแกะเปลือกออกแล้วเอาเนื้อมาหั่นเป็นชิ้นบางๆ ทำเป็นหมากแห้งได้ เช่น หมากแฉับหรือหมากอีแปะ หมากซอยหรือหมากหั่น

2) หมากสงที่มีเปลือกสีเหลืองทั้งผล เป็นหมากอายุ 8 เดือนขึ้นไป เนื้อจะหนาและแข็งเต็มที่ ติดกับเปลือกแน่น แกะหรือแกะเปลือกออกยากต้องนำไปตากแดด เพื่อให้เปลือกล่อนออกจากเนื้อ แล้วจึงเอาเนื้อไปทำให้เป็นหมากแห้งทั้งเมล็ด หมากแห้งผ่าสองซีก หรือนำไปเพาะเพื่อขยายพันธุ์ โดยทั่วไปแล้วหมากดิบจะมีราคาสูงกว่าหมากแก่ แต่ถ้าหมากดิบมีราคาตกต่ำมากเกษตรกรจะนำหมากดิบไปทำเป็นหมากแห้ง หรือปล่อยให้หมากแก่เพื่อทำเป็นหมากแห้งจำหน่ายต่อไป



ภาพที่ 2.4 หมากสดและหมากสง [3]

### 2.3 การทำหมากแห้ง

ผลหมากเมื่อเก็บมาแล้ว อาจนำไปขายหรือเก็บไว้ใช้บริโภคเองในรูปหมากสดหรือสามารถนำมาทำเป็นหมากแห้ง เพื่อเอาไปขายในช่วงที่มีราคาสูง หรือเอาไว้บริโภคในช่วงที่หมากขาดแคลน หมากแห้งที่จำหน่ายอยู่ในตลาดมีหลายชนิดและหลายลักษณะ (ดังแสดงในภาพที่ 2.5) ซึ่งสามารถแบ่งหมากแห้งได้เป็น 2 ประเภท คือ

- หมากแห้งที่ทำจากหมากดิบ มี 5 ชนิด ได้แก่ หมากซอย หมากกลีบส้ม หมากเจียนหรือหมากเสี้ยว หมากจุก และหมากป่น ทำได้โดยการนำหมากดิบหรือหมากสดมาแกะเปลือกออกแล้วผ่าเป็นรูปทรงต่างๆ แล้วจึงนำไปตากแดด ประมาณ 2-5 วัน (ดังแสดงในภาพที่ 2.6)

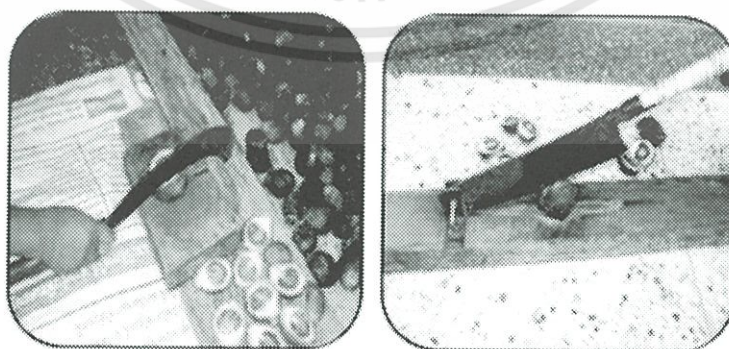
- หมากแห้งที่ทำจากหมากแก่หรือหมากสง มี 2 กลุ่ม กลุ่มที่หนึ่ง ได้แก่ หมากแฉับ หมากผ่าสอง และหมากผ่าสี่ ทำโดยการนำหมากแก่หรือหมากสงที่สุกแล้วมาผ่าเป็นแฉับ เป็นซีก แล้วนำไปตากแดด จากนั้นจึงแกะเปลือกออกแล้วนำไปตากแดดอีกครั้งให้แห้งสนิท กลุ่มที่สอง ได้แก่ หมากแห้งทั้งเมล็ด ทำโดยนำหมากสงที่สุกจัดไปตากแดดจนเมล็ดล่อนแยกจากเปลือก ผ่าผลหมาก (ดังแสดงในภาพที่ 2.7) และแกะเอาเนื้อออกไปตากแดดอีก 2-3 วัน จนแห้งสนิท (ดังแสดงในภาพที่ 2.8) หมากแก่หรือหมากสง 1,000 ผล จะสามารถทำหมากแห้งได้ 14-15 kg ซึ่งผลหมากที่ลดความชื้นไม่เพียงพออาจจะมีปัญหาในเรื่องของเชื้อรา (ดังแสดงในภาพที่ 2.9)



ภาพที่ 2.5 หมากแห้ง [7]

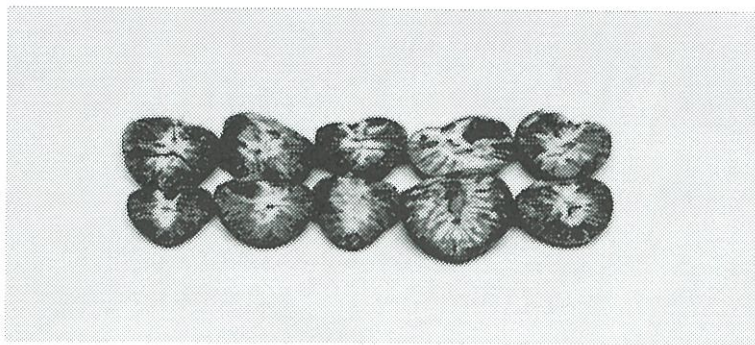


ภาพที่ 2.6 การทำหมากแห้งโดยการตากแดด

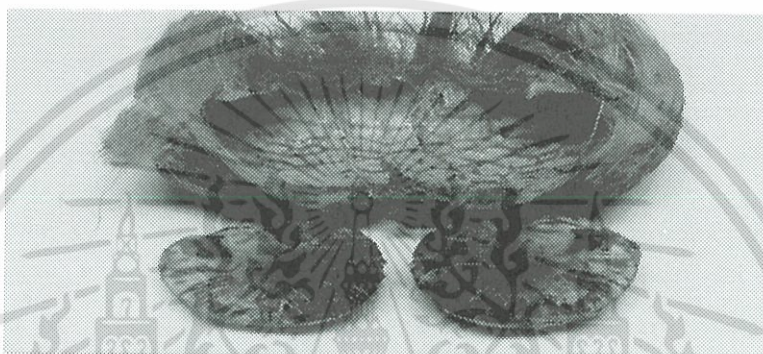


ภาพที่ 2.7 การผ่าผลหมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 ผลหมากผ่าสองซีกหลังการตากแดด



ภาพที่ 2.9 ลักษณะผลหมากที่มีเชื้อราเกิดขึ้น

#### 2.4 ประโยชน์ของหมากแห้ง

หมากที่แห้งแล้วเมื่อนำมาสกัดจะได้สารพวกไขมัน เมือกยาง สารอัลคาลอยด์ และสารแทนนิน ซึ่งสารที่สกัดออกมาจากหมากแห้งนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น

- 1) ส่วนประกอบในอุตสาหกรรมการทำสี
- 2) ใช้ย้อมแห อวน ทำให้มันและยืดอายุการใช้งาน
- 3) ใช้เป็นน้ำยาฟอกหนัง ซึ่งน้ำยานี้จะทำให้หนังมันและมีสีสวย
- 4) ใช้เป็นพืชสมุนไพรในการรักษาโรคต่างๆ เช่น ยาถ่ายพยาธิในสัตว์ ยาแก้ท้องเดิน ยาแก้ท้องเสีย ยาขับพิษ ยาแก้คัน และยาแก้ปากเปื่อย เป็นต้น [9]

#### 2.5 การอบแห้ง [10]

การอบแห้ง คือ กระบวนการถ่ายเทความร้อนยังวัสดุที่มีความชื้น เมื่อวัสดุได้รับความร้อนจะเกิดกระบวนการถ่ายเทมวลจากวัสดุไปยังอากาศ ดังนั้นกระบวนการอบแห้งจึงขึ้นอยู่กับกระบวนการถ่ายเทความร้อน (การนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสี) และกระบวนการถ่ายเทมวล โดยกระบวนการทั้งสองจะเกิดพร้อมกัน โดยความร้อนที่ถ่ายเทให้วัสดุจะทำให้น้ำในวัสดุระเหยกลายเป็นไอ และไอน้ำจะถูกถ่ายเทออกมาโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง เช่น การใช้การไหลของกระแสอากาศในการพาไอน้ำออกไป

ส่วนใหญ่ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากอากาศที่ใช้ออบแห้งหรือผิวโลหะที่ร้อนไปยังวัสดุ อัตราการอบแห้งลดลงตามระยะทางระหว่างแหล่งความร้อนและวัสดุที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้อัตราการอบแห้งยังขึ้นกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ผิวของวัสดุที่ถูกความร้อนจากแหล่งความร้อน อัตราการกวนวัสดุ และลักษณะการปั่นป่วนของอากาศร้อน ดังนั้นในการเพิ่มอัตราการอบแห้ง มีปัจจัยที่ต้องพิจารณาดังนี้

- ความสามารถในการกระจายตัวของความชื้น: อัตราการอบแห้งสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุขึ้น ซึ่งจะทำให้ปริมาณความชื้นสามารถถูกถ่ายเทออกจากวัสดุได้มากขึ้น ดังนั้นวัสดุที่เป็นอนุภาค ซึ่งสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้จึงมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าวัสดุที่ตั้งอยู่บนภาตอันเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความชื้นมากกว่า

- ความแตกต่างของอุณหภูมิ: อัตราการอบแห้งแปรผันตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวกลางที่ให้ความร้อนและวัสดุที่ใช้ออบแห้ง เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง 2 แหล่งดังกล่าวมากขึ้นจะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น

- อัตราการกวน: การผสมหรือคลุกเคล้ากันระหว่างวัสดุ และตัวกลางที่ให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว ทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น

- ขนาดอนุภาค: การจะเอาความชื้นภายในอนุภาคออก ความชื้นจะต้องแพร่มายังผิวของอนุภาค และเกิดการระเหยของความชื้นที่บริเวณพื้นผิวของอนุภาค ดังนั้นถ้าอนุภาคยังมีขนาดเล็ก ส่งผลให้ความชื้นสามารถแพร่มาที่ผิวของอนุภาคได้อย่างรวดเร็ว ทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น

- ลักษณะโครงสร้างของอนุภาค: เนื่องจากความชื้นต้องแพร่มาที่ผิวของอนุภาคเพื่อเกิดกระบวนการระเหย อนุภาคที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน อัตราการอบแห้งจะสูงเนื่องจากความชื้นสามารถแพร่มาสู่พื้นผิวได้อย่างรวดเร็ว ส่วนอนุภาคที่หนาแน่นมากๆหรือไม่มีรูพรุน อัตราการอบแห้งจะต่ำ

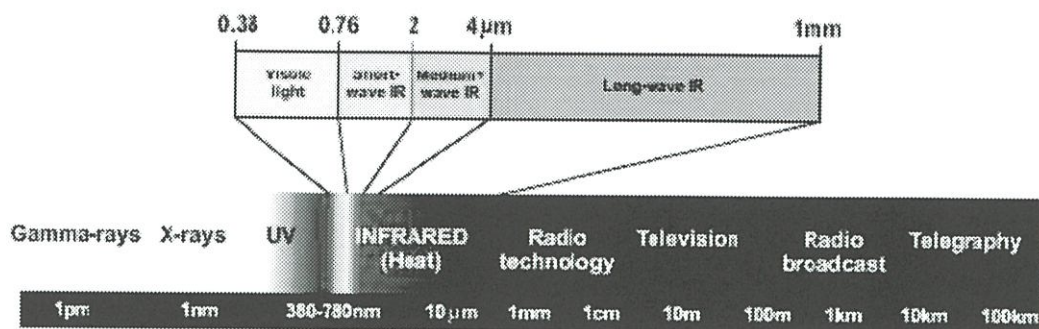
### 2.5.1 การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด [11]

รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation, IR) หรือ รังสีใต้แดง หรือรังสีความร้อน เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 760 nm–1 mm ซึ่งอยู่ระหว่างคลื่นวิทยุและคลื่นแสง (ดังแสดงในภาพที่ 2.10) และมีความถี่ในช่วง 1,011 – 1,014 Hz ซึ่งเป็นย่านความถี่ในช่วงเดียวกับไมโครเวฟ มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างแสงสีแดงกับคลื่นวิทยุ สารทุกชนิดที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 200-4,000°C จะปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมา รังสีอินฟราเรดจะไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า มีค่าพลังงานขึ้นกับความถี่ เมื่อความถี่สูงมากขึ้นพลังงานก็จะสูงขึ้น ความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดแบ่งออกเป็น 3 ช่วงได้แก่

- รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near infrared, NIR) ความยาวคลื่น 0.76-2  $\mu\text{m}$  มีอุณหภูมิใช้งานอยู่ที่ 500–2,200°C ให้กำลังความร้อนต่อพื้นที่สูง และสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกเหมาะกับการให้ความร้อนอุณหภูมิสูงอย่างรวดเร็ว เช่น การอบแห้งผลิตภัณฑ์

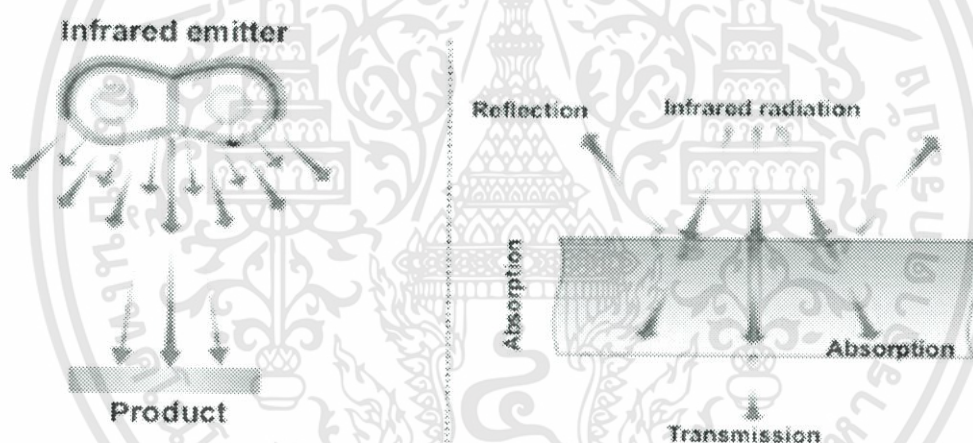
- รังสีอินฟราเรดย่านกลาง (Middle infrared, MIR) ความยาวคลื่น 2-4  $\mu\text{m}$  มีอุณหภูมิใช้งานอยู่ที่ 500–950°C ให้กำลังความร้อนต่อพื้นที่ปานกลาง และสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกน้อยกว่ารังสีอินฟราเรดย่านใกล้

- รังสีอินฟราเรดย่านไกล (Far infrared, FIR) ความยาวคลื่น 4-1,000  $\mu\text{m}$  มีอุณหภูมิใช้งานอยู่ที่ 300–700°C ให้กำลังความร้อนต่อพื้นที่ต่ำ และสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ตื้นเหมาะสำหรับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำและไม่สูงมากนัก และจำกัดบริเวณพื้นผิว



ภาพที่ 2.10 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [11]

รังสีอินฟราเรดหรือรังสีความร้อนที่ตกกระทบและแพร่กระจาย (Propagate) บนพื้นผิววัตถุ บางส่วนจะถูกวัสดุดูดกลืน (Absorption) ในส่วนนี้จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานความร้อนภายในตัววัตถุ บางส่วนจะสะท้อนออกจากวัตถุ (Reflection) และบางส่วนจะส่งผ่านหรือทะลุผ่านออกไปจากตัววัตถุ (Transmission) ซึ่งทำให้เกิดการสูญหายของรังสี (Extinction of radiation) ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 การส่งถ่ายรังสีอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิด และการดูดซับรังสีอินฟราเรดของวัสดุ [11]

### 2.5.2 การถ่ายเทความร้อนในระหว่างการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด [11]

พลังงานจากการแผ่รังสีความร้อนที่ออกจากพื้นผิวใดพื้นผิวหนึ่ง (i) เมื่อกระทบลงบนพื้นผิวที่สอง (j) อาจได้รับการดูดกลืนหรือสะท้อนกลับ ซึ่งสามารถประมาณได้ว่าพื้นผิวดังกล่าวเป็นวัตถุดำ ทำให้ไม่มีการสะท้อน ดังนั้นพลังงานการแผ่รังสีความร้อนที่ออกจากพื้นผิวหนึ่ง จะเป็นผลมาจากการเปล่งรังสีความร้อนเท่านั้น และรังสีที่ตกกระทบกับพื้นผิวที่สองก็จะได้รับการดูดซับไว้หมด

พิจารณาการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างวัตถุดำให้  $e_{ij}$  คือ อัตราการแผ่รังสีออกจากพื้นผิว “i” และกระทบลงบนพื้นผิว “j” ดังนั้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_b = \epsilon_i A_i \sigma (T_i^4 - T_j^4) \quad (1)$$

- เมื่อ  $Q_b$  คือ อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัตถุดำ (W)  
 $A_i$  คือ พื้นที่ผิวของวัตถุ  $i$  ( $m^2$ )  
 $\sigma$  คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann =  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4$   
 $T_i$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของพื้นผิว  $i$  (K)  
 $T_j$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของพื้นผิว  $j$  (K)  
 $\epsilon_i$  คือ ค่าการแผ่รังสีของพื้นที่ผิว  $i$

## 2.6 การคำนวณมอเตอร์ [12]

ในการคำนวณหาขนาดมอเตอร์ที่จะให้แรงขนาด  $F$  นิวตัน ที่กระทำสัมผัสกับเพลลาทำให้เพลลาหมุนไป 1 รอบ ด้วยความเร็วรอบ  $n$  rev/min สามารถคำนวณได้ โดยเริ่มจากการคำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในขณะที่เพลลาหมุนไป 1 รอบ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$S = 2\pi r \quad (2)$$

- เมื่อ  $S$  คือ ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในขณะที่เพลลาหมุนไป 1 รอบ (m)  
 $r$  คือ รัศมีของเพลลา (m)

คำนวณหางานจากการหมุนเพลลา 1 รอบ โดยคำนวณได้จากสมการ (3)

$$W_F = F \times 2\pi r \quad (3)$$

- เมื่อ  $W_F$  คือ งานจากการหมุนเพลลา 1 รอบ (J)  
 $r$  คือ รัศมีของเพลลา (m)  
 $F$  คือ แรงที่กระทำต่อเพลลา (N)

คำนวณหางานในขณะที่เพลลาหมุน  $n$  rev/min โดยคำนวณได้จากสมการ (4)

$$W_F = F \times 2\pi r \times n \quad (4)$$

- เมื่อ  $W_F$  คือ งานจากการหมุนเพลลา 1 รอบ (J)  
 $r$  คือ รัศมีของเพลลา (m)  
 $F$  คือ แรงที่กระทำต่อเพลลา (N)  
 $n$  คือ ความเร็วรอบการหมุนของเพลลา (rev/min)

คำนวณหาทอร์กจากการหมุนของเพลลา โดยคำนวณได้จากสมการ (5)

$$T = F \times r \quad (5)$$

- เมื่อ T คือ ทอร์กจากการหมุนเพลลา (N.m)  
r คือ รัศมีของเพลลา (m)  
F คือ แรงที่กระทำต่อเพลลา (N)

คำนวณหา กำลังมอเตอร์ โดยคำนวณได้จากสมการ (6)

$$P = \frac{2\pi Tn}{60} \quad (6)$$

- เมื่อ P คือ กำลังของมอเตอร์ (W)  
T คือ ทอร์กจากการหมุนเพลลา (N.m)  
n คือ ความเร็วรอบการหมุนของเพลลา (rev/min)

## 2.7 การคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องผ่าผลหมาก [12]

นำหมากที่ได้จากการผ่าด้วยเครื่องผ่าผลหมากมานับจำนวน โดยจำแนกเป็นจำนวนผลหมากที่ผ่าด้วยเครื่องได้สำเร็จ (ผ่าแยกเป็น 2 ซีก) และจำนวนของผลหมากที่ผ่าด้วยเครื่องไม่สำเร็จ (ผ่าแยกไม่ได้หรือผ่าแยกไม่เป็น 2 ซีก)

คำนวณหาร้อยละของผลหมากที่ผ่าด้วยเครื่องได้สำเร็จ ดังแสดงในสมการ (7)

$$PF = (F \times 100) / N \quad (7)$$

- เมื่อ PF คือ ร้อยละของผลหมากที่ผ่าด้วยเครื่องได้สำเร็จ  
F คือ จำนวนผลหมากที่ผ่าด้วยเครื่องได้สำเร็จ (ผล)  
N คือ จำนวนผลหมากที่ป้อนเข้าไปในเครื่องผ่าผลหมาก (ผล)

คำนวณหาร้อยละของผลหมากที่ผ่าด้วยเครื่องไม่สำเร็จ ดังแสดงในสมการ (8)

$$PU = (U \times 100) / N \quad (8)$$

- เมื่อ PU คือ ร้อยละของผลหมากที่ผ่าด้วยเครื่องไม่สำเร็จ  
U คือ จำนวนผลหมากที่ผ่าด้วยเครื่องไม่สำเร็จ (ผล)  
N คือ จำนวนผลหมากที่ป้อนเข้าไปในเครื่องผ่าผลหมาก (ผล)

คำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องผ่าผลหมาก ดังแสดงในสมการ (9)

$$PS = [(F + 0.5U) / \text{Number of fruits}] \times 100 \quad (9)$$

เมื่อ PS คือ ประสิทธิภาพของเครื่องผ่าผลหมาก (ร้อยละ)

F คือ จำนวนผลหมากที่ผ่าด้วยเครื่องได้สำเร็จ (ผล)

U คือ จำนวนผลหมากที่ผ่าด้วยเครื่องไม่สำเร็จ (ผล)

หมายเหตุ เมล็ดหมากที่ผ่าด้วยเครื่องไม่สำเร็จ จะมีมูลค่าเพียงครึ่งเดียวของเมล็ดหมากผ่า 2 ซีก

ปัจจุบันได้มีการศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลหมาก พบว่า การลดความชื้นหมากก่อนนำมาหั่นสามารถช่วยให้หมากที่ได้จากการหั่นมีการหดตัวน้อยลง [4] ซึ่งผลของการกดเฉพาะเมล็ดหมากและการกดทั้งผลหมาก (ดังแสดงในภาพที่ 2.12) ได้ค่าแรงกดเฉลี่ยของเมล็ดหมากมีค่าอยู่ระหว่าง 825–2,569 N และแรงกดเปลือกเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 55–142 N [12]



ภาพที่ 2.12 ผลหมากและเมล็ดหมากแห้งภายใต้การทดสอบแบบ Flat Plate Contact Loading [12]

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปรณกิต [3] ได้ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแวนสด พบว่า การอบแห้งหมากแวนสดที่อุณหภูมิ 100°C ที่ความเร็วลม 0.72 m/s เป็นสภาวะที่ดีที่สุด โดยใช้เวลาในการอบแห้ง 3.5 h

Sakai และ Hanzawa [4] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดในระหว่างการอบแห้ง พบว่า เทคนิคการอบแห้งด้วยอินฟราเรดเป็นการอบแห้งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นรังสีอินฟราเรดไปกระตุ้นให้โมเลกุลของน้ำในวัสดุเกิดการสั่น และส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้นภายในตัววัสดุ ตัววัสดุนอกจากจะได้รับความร้อนที่พื้นผิวจากรังสีแล้ว รังสีอินฟราเรดยังสามารถทะลุเข้าไปในวัสดุทำให้เกิดการสะสมความร้อนและช่วยในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ ซึ่งทำให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จึงถูกนำไปใช้สำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์และการพาสเจอร์ไรส์ในอุตสาหกรรมอาหาร

อนุสรฯ และคณะ [5] ศึกษาการอบแห้งใบเตยเพื่อใช้ทำชาด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว ในการเปรียบเทียบจะพิจารณาถึงจลนพลศาสตร์การอบแห้ง คุณภาพของใบเตยหลังการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง ในการทดลองใช้อุณหภูมิอบแห้งในช่วง 45–65°C ใช้หลอดอินฟราเรดขนาด 500 และ 1,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W ใบเตยมีความชื้นเริ่มต้น 400-600% d.b. และหลังอบแห้งต้องการความชื้นสุดท้ายของใบเตยอยู่ในช่วง และ 8-12% d.b. ผลการทดลอง พบว่า อัตราการอบแห้งจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นขณะที่ค่าความชื้นเปลือกพลังงานจำเพาะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง การทำนายผลของจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่ใช้ทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 1,000 W ร่วมกับลมร้อนและการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว คือ แบบจำลอง Logarithmic ส่วนแบบจำลองที่ใช้ทำนายการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 500 W ร่วมกับลมร้อน คือ แบบจำลองของ Page โดยผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณจากแบบจำลองดังกล่าว ในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า ร้อยละการคืนตัวและค่าสีในระบบ CIE ( $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$ ) ของใบเตยอบแห้งในทุกกรณีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p < 0.05$ )

BaBoo [6] ได้สร้างเครื่องปอกเปลือกหมากแห้ง ซึ่งประกอบด้วยส่วนใบมีดซึ่งจะทำหน้าที่เจาะเปลือกหมากลงไปจนถึงเมล็ดหมากแต่ไม่ทำลายเมล็ดแล้วใช้มือโยกคันบิดเพื่อเปิดเปลือกออกทำให้เข้าถึงเมล็ดได้ กลไกการทำงานของเครื่องประกอบไปด้วยการถ่ายทอดกำลังจากการใช้เท้าเหยียบบนแป้นเพื่อส่งแรงมายังมีดกรรไกรให้เจาะเข้าไปในเปลือกหมากที่กั้นผล จากนั้นจึงบิดใบมีดด้านหนึ่งทำให้เปลือกหลุดออก การทำงานของเครื่องนี้สามารถปอกทีละผลโดยมีอัตราการผลิตเท่ากับ 60 kg/day เครื่องนี้ยังเป็นเครื่องที่มีสมรรถนะต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแกะด้วยมือเฉลี่ยประมาณ 3.3 kg/h

Kiran et.al. [8] ได้ออกแบบเครื่องปอกเปลือกผลหมาก โดยใช้มอเตอร์ขนาด 1.5 hp ความเร็วรอบ 125 rev/min สามารถปอกเปลือกผลหมากได้ 18 kg/h

รัชชชัย และ วีระ [11] ได้ออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดเป็นแหล่งพลังงาน ใช้กำลังงานของหลอดอินฟราเรดเท่ากับ 4,000 W ควบคุมอุณหภูมิห้องอบแห้งด้วยเทคนิคการปรับแรงดันไฟฟ้า ในการทดสอบจะทดสอบถึงการกระจายอุณหภูมิให้ห้องอบแห้งโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซับพลังงาน ทำการทดลองอบแห้งใบหอมชอยพันธ์ลับแล จากความชื้นเริ่มต้น 90% w.b. จนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 4% w.b. อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ 3 ค่า คือ 45 55 และ 65°C ระยะความสูงของหลอดอินฟราเรดจากจุดศูนย์กลางหลอดจนถึงระดับพื้นห้องอบแห้งที่ระยะ 10 cm และอัตราการไหลอากาศเชิงปริมาตรรวมเท่ากับ 51 m<sup>3</sup>/min จากผลการทดสอบพบว่า ที่อุณหภูมิ 65°C ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดคือ 36 min ที่อุณหภูมิ 55°C ใช้เวลาอบแห้ง 46 min และที่อุณหภูมิ 45°C ใช้เวลาอบแห้ง 54 min มีการใช้กำลังงานเท่ากับ 1,190 1,330 และ 1,180 W.h ตามลำดับ

สุทธิพร [12] ได้พัฒนาเครื่องปอกเปลือกหมาก ซึ่งมีแนวคิดในการออกแบบเครื่องปอกเปลือก คือ การทำให้เกิดแรงเฉือนขึ้นที่เปลือกหมากแห้งด้วยแรงเสียดทานจลน์ที่เกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม โดยในการพัฒนาเครื่องจะศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพเชิงกลของผลหมากสุกหลังตากแดด และศึกษาถึงความชื้นที่เหมาะสมของผลหมากหลังการตากแดด ทดสอบและประเมินผลเครื่องปอกเปลือกหมากแห้งต้นแบบ ผลการศึกษาพบว่า ความชื้นของผลหมากลดลงกับระยะเวลาการตากแดด แรงกดแตกของผลหมากและเมล็ดหมากเพิ่มขึ้นกับระยะเวลาการตากแดด สภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องคือใช้ความดันในล้อย่าง 138 kPa รอบหมุนของล้อย่าง 440 rev/min และช่องว่างระหว่างตะแกรงกับล้อย่าง 15 mm และสภาวะของผลหมากแห้งที่เหมาะสมในการปอกเปลือกคือมีความชื้น 6.31% w.b. เครื่องแกะสามารถปอกเปลือกผลหมากแห้งแบบคละขนาดได้เมล็ดหมากเต็ม 64.4% มีเมล็ดหมากแตก 15.2% และผลหมากแห้งที่ปอกไม่ออก 20.5% ที่ประสิทธิภาพการผลิต 76.9%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณัฐพล และคณะ [13] ได้สร้างเครื่องอบไม้ตะเกียบโดยใช้ฮีตเตอร์ร่วมกับรังสีอินฟราเรด จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งที่ดีที่สุด คือ การอบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับหลอดอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  ที่มีมุมเอียงของภาคตะเกียบ  $60^{\circ}$  ใช้เวลาในการอบแห้ง 14 min

มนตรี และคณะ [14] ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งผลหมากด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน โดยผลหมากถูกผ่าซีกและนำไปใส่ในภาต ซึ่งจัดเรียงวางเป็นชั้นๆ ในตู้อบ ทดลองอบแห้งผลหมากด้วยลมร้อนในช่วงอุณหภูมิ  $50-70^{\circ}\text{C}$  และความเร็วลมร้อนในช่วง 1-4 m/s ผลการศึกษาพบว่า อัตราการอบแห้งจะขึ้นกับอุณหภูมิของลมร้อน และความเร็วของลมร้อนมีผลต่ออัตราการอบแห้งค่อนข้างน้อย ที่อุณหภูมิต่างๆคุณภาพของหมากแห้งจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ความเร็วลม 1 m/s มีอัตราการใช้พลังงานต่ำที่สุด

ปัญญา และ วชร [15] ได้ศึกษาการอบแห้งผลหมากด้วยไมโครเวฟแบบต่อเนื่องบนสายพานลำเลียง โดยชุดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟขนาด 1000 W จำนวน 8 เครื่อง ผลการศึกษาพบว่า ในการอบแห้งผลหมากด้วยไมโครเวฟที่ค่าความชื้นเริ่มต้น 150% d.b. ที่อัตราการป้อน 54 kg/h หลังการอบแห้งเนื้อหมากมีความชื้น 14% d.b. และเนื้อในหมากมีการหดตัว 4.31 mm ทำให้สามารถแกะได้สะดวกมากขึ้น และสีของเนื้อหมากเป็นสีชมพูอ่อนตามที่ต้องการ

ชณัฐ และคณะ [16] ได้ออกแบบชุดทดสอบการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด เพื่อศึกษาการลดความชื้นของเมล็ดข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด โดยได้ออกแบบให้ส่วนฐานหรือส่วนที่ลำเลียงข้าวโพดเข้าห้องอบแห้งมีการสั่นสะเทือนเพื่อให้ข้าวโพดสัมผัสกับรังสีอินฟราเรดได้อย่างสม่ำเสมอ

ทิวานัด และคณะ [17] ได้ออกแบบและสร้างเครื่องหั่นผลหมาก โดยกลไกการทำงานหลักประกอบด้วยถังป้อนผลหมากที่ติดตั้งวางอยู่ด้านล่างสำหรับลำเลียงหมากเข้าสู่ท่อที่ติดตั้งชุดใบมีดหั่นหมากอยู่ภายในที่ส่วนด้านบนของท่อ ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนขนาด 0.5 hp ติดตั้งต่อเชื่อมกับชุดเกียร์ทดความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยว เพื่อหมุนส่งกำลังไปที่หัวกดที่หุ้มด้วยยางดันให้หมากถูกหั่นผ่านชุดใบมีดลงสู่ภาตรับด้านล่าง ซึ่งชุดใบมีดจะยึดอยู่กับที่โดยที่หมากจะเคลื่อนที่ตามการทำงานของลูกเบี้ยวแผ่นหมากที่หั่นได้มีความหนา 5 mm เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นที่ความเร็ว 80 rev/min มีความสามารถในการทำงาน 4800 ผล/h โดยสามารถหั่นหมากได้ทั้งสภาพสดจนถึงสภาพค่อนข้างแห้งได้ และสามารถหั่นหมากได้ตรงตามแนวที่ต้องการถึง 72.5% โดยควรตากหมากทิ้งเปลือกอย่างน้อย 18 วัน ก่อนหั่นจะทำให้หมากไม่มีการเสียรูปเนื่องจากหมากมีการหดตัวต่ำ

อิสริยะ และคณะ [18] ได้ศึกษาการอบแห้งผลหมากที่ปอกเปลือกแล้วด้วยลมร้อนและ ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนในช่วง  $60-80^{\circ}\text{C}$  ที่ความเร็วลม 1 m/s และกำลังคลื่นไมโครเวฟอยู่ในช่วง 180-600 W ผลการศึกษาพบว่า การอบแห้งผลหมากด้วยลมร้อนมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นอยู่ในช่วง  $6.05 \times 10^{-4} - 13.82 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{min}$  และการอบแห้งผลหมากด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นอยู่ในช่วง  $7.00 \times 10^{-3} - 91.80 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{min}$  แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากมีพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟมาช่วยให้ผลหมากเกิดความร้อนภายในได้เร็วขึ้น

Balasubramanian และ Panwar [19] ได้ศึกษาหาสมบัติทางกลของหมากแห้งที่สัมพันธ์กับการปอกเปลือก ด้วยวิธีการทดสอบแรงกด แรงกระแทก และแรงเฉือน ในด้านแนวแกนและแนวตั้งฉากกับแกนชี้ของผลหมากแห้ง ผลการศึกษาพบว่าแรงกดในแนวแกนจะประหยัดพลังงาน 58.1% เมื่อเทียบกับการกดในแนวตั้งฉากกับชี้ผลที่ระยะกดยกต่าง ๆ กัน และถ้าเป็นการกระแทกและการเฉือนควรจะทำใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวตั้งฉากกับขั้วผลซึ่งจะประหยัดพลังงานถึง 65.1 และ 55.0% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการกระทำในแนวแกนในระยะกวดที่เท่ากัน หมวกที่ถูกตากแห้งจนระดับความชื้น 5-6% w.b. จะปอกได้ง่ายประหยัดพลังงาน และหลีกเลี่ยงการแตกของเมล็ดหมากได้

Wang [20] ได้สร้างเครื่องกะเทาะผลโพฮาเบอร์รี่ โดยใช้ลูกกลิ้ง 2 อันหมุนเข้าหากันไปสร้างเป็นเครื่องกะเทาะผลโพฮาเบอร์รี่ ผลการศึกษาพบว่าความเร็วรอบของลูกกลิ้งมีอิทธิพลต่อความเสียหายของผลเบอร์รี่



### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย

##### 3.1.1 หลอดอินฟราเรด [13]

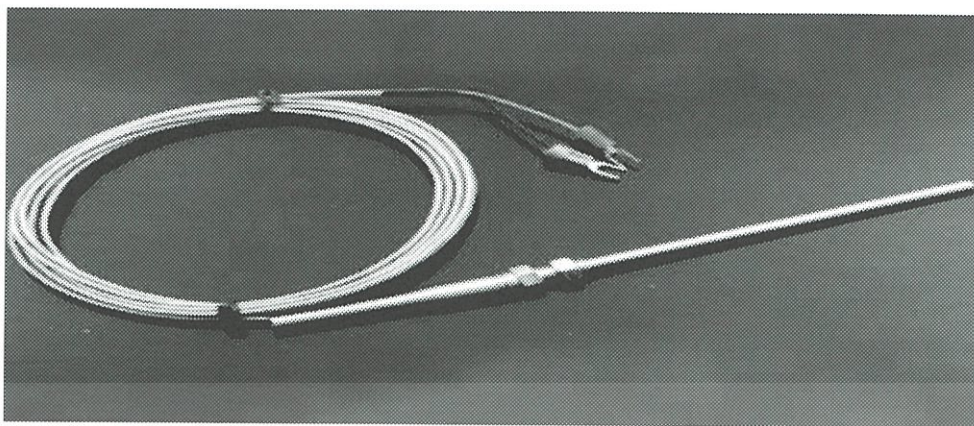
หลอดอินฟราเรด (Infrared lamp) มี 2 ชนิด คือ หลอดอินฟราเรดแบบ Black มีลักษณะเป็นแท่งสีดำ สามารถติดตั้งได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน ภายในแท่งหลอดอินฟราเรดสีดำนี้จะมีหลอดตัวนำอยู่ภายใน และมีการกรอกผงแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า นำความร้อนได้ดี แต่ไม่นำไฟฟ้า เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดตัวนำ ตัวหลอดอินฟราเรดจะให้ความร้อนโดยการแผ่รังสี หลอดอินฟราเรดแบบ Quartz มีลักษณะเป็นแท่งสีขาว สามารถติดตั้งได้แนวนอนเท่านั้น ภายในหลอดอินฟราเรดจะไม่มีกรอกผงแมกนีเซียมออกไซด์ ทำให้หลอดตัวนำที่อยู่ภายในตัวหลอดเกิดการชำรุดและฉีกขาดได้ง่าย ซึ่งเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดตัวนำ ตัวหลอดอินฟราเรดจะให้ความร้อนโดยการแผ่รังสี สำหรับการประยุกต์ใช้งาน หลอดอินฟราเรดแบบ Black เหมาะกับงานอบทั่วไป เช่น งานอบสี, การอบแห้งเครื่องปั้นดินเผา และการอบแห้งเซรามิก เป็นต้น ส่วนหลอดอินฟราเรดแบบ Quartz เหมาะกับงานอบอาหารและยา ที่ต้องการความสะอาดในงานอบ เป็นต้น ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 หลอดอินฟราเรด

##### 3.1.2 เทอร์โมคัปเปิล [13]

เทอร์โมคัปเปิล คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้เกิดการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 เทอร์โมคัปเปิล Type K [13]

### 3.1.3 มอเตอร์ไฟฟ้า

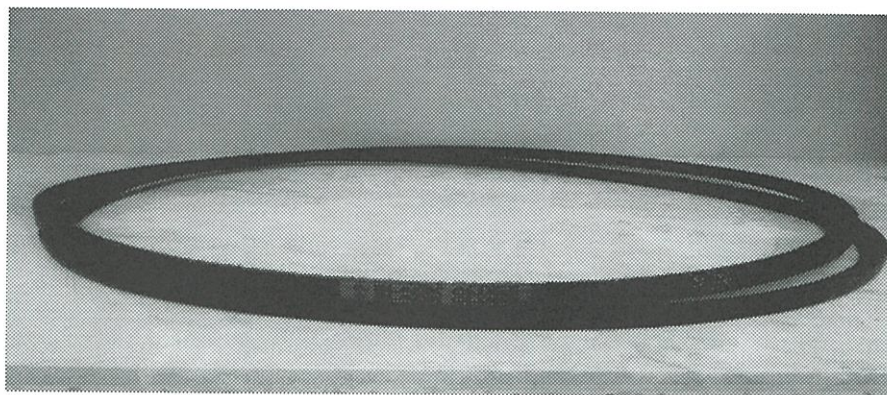
มอเตอร์ไฟฟ้า คือ เครื่องกลไฟฟ้า (Electromechanical energy) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า (Electrical energy) ให้เป็นพลังงานกล (Mechanical energy) มอเตอร์ไฟฟ้า (ดังแสดงในภาพที่ 3.3) มีโครงสร้างเบื้องต้นที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนแม่เหล็กถาวร และส่วนของขดลวดตัวนำ ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าอาศัยสนามแม่เหล็ก 2 ชุดที่เกิดขึ้นได้แก่ สนามแม่เหล็กถาวร และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของขดลวดตัวนำ ส่งผลให้เกิดการผลักระหว่างขั้วของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้ขดลวดตัวนำที่วางอยู่กลางแม่เหล็กถาวร เกิดการหมุนเคลื่อนที่ไปได้



ภาพที่ 3.3 มอเตอร์ไฟฟ้า

### 3.1.4 สายพานส่งกำลัง

สายพานเป็นอุปกรณ์ที่คล้องโยงเครื่องจักรต่างๆ เพื่อพาให้หมุนไปด้วยกัน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สายพานส่งกำลัง (Transmission belt) และสายพานลำเลียง (Conveyor belt) สายพานส่งกำลังเป็นอุปกรณ์หนึ่งของเครื่องจักรกล ที่ใช้ส่งกำลังจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งเช่นเดียวกับเฟือง หลักการทำงานจะประกอบด้วยล้อสายพาน (pulley) 2 ตัว คือ ตัวขับและตัวตาม และมีสายพาน (belt) เป็นตัวส่งถ่ายกำลังขับเคลื่อน และยังสามารถส่งกำลังเพื่อเปลี่ยนทิศทางได้ด้วย ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 สายพานส่งกำลัง

### 3.1.5 มู่เลย์

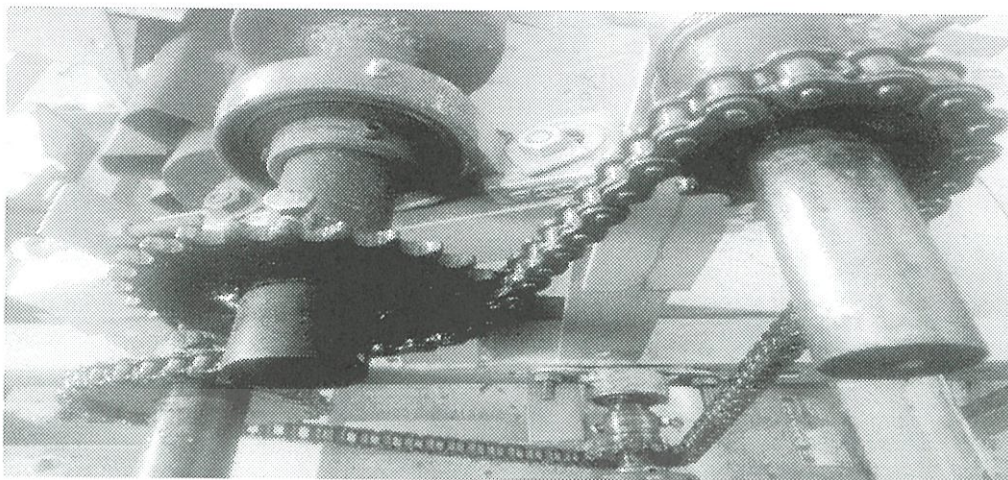
มู่เลย์ (ดังภาพที่ 3.5) มีหน้าที่ในการเปลี่ยนทิศทางและควบคุมความตึงหรือความหย่อนของสายพานในระบบลำเลียง (Belt conveyor system) และบางครั้งก็ทำหน้าที่ปรับสายพาน (Train) เพื่อให้สายพานเดินได้แนว (Alignment) ตลอดการเคลื่อนที่ของสายพาน



ภาพที่ 3.5 มู่เลย์

### 3.1.6 เฟืองโซ่

การขับเคลื่อนด้วยโซ่ (ดังภาพที่ 3.6) ส่วนมากใช้ในงานทางด้านเครื่องจักรกล เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับการขับเคลื่อนด้วยสายพาน โดยโซ่จะคล้องอยู่กับล้อโซ่หรือเฟืองโซ่ (Sprocket) ซึ่งติดตั้งบนเพลลาขับและเพลลาตาม อัตราทดของการขับเคลื่อนขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองโซ่ทั้งสอง และการขับเคลื่อนด้วยโซ่นี้จะไม่มีการสลิปเกิดขึ้นระหว่างโซ่กับเฟืองโซ่ เนื่องจากการขับเคลื่อนด้วยโซ่มีความน่าเชื่อถือสูงจึงมีความนิยมใช้มาก เช่น ในการส่งกำลังในเรือ เครื่องยนต์ เครื่องจักรกลการเกษตร เครื่องมือกล เครื่องทอผ้าและเครื่องจักรกลงานไม้ เครื่องพิมพ์ และใช้ในการขนส่งและขนถ่ายวัสดุ



ภาพที่ 3.6 เฟืองโซ่

### 3.1.7 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ (ดังภาพที่ 3.7) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ เพื่อควบคุมความเร็วรอบในการหมุนของมอเตอร์ให้ได้ตามต้องการ

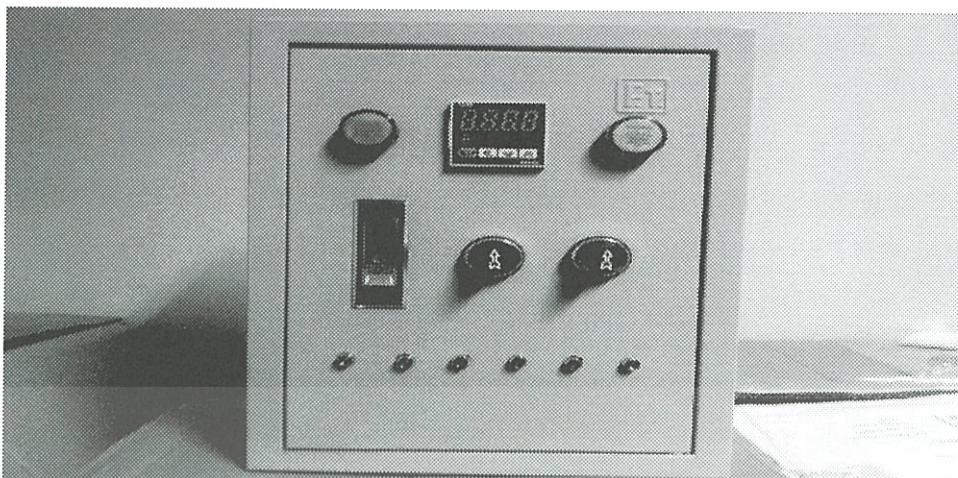


ภาพที่ 3.7 อินเวอร์เตอร์

### 3.1.8 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (ดังภาพที่ 3.8) จะทำหน้าที่ในการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง และมีหน้าจอบ่งชี้ผลอุณหภูมิที่วัดค่าได้จากเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

### 3.1.9 แมกเนติกคอนแทคเตอร์

แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (ดังภาพที่ 3.9) เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยการทำงานโดยอำนาจแม่เหล็กในการเปิดปิดหน้าสัมผัสในการควบคุมวงจรมอเตอร์หรือเรียกว่า สวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic switch) หรือคอนแทคเตอร์ (Contactor)

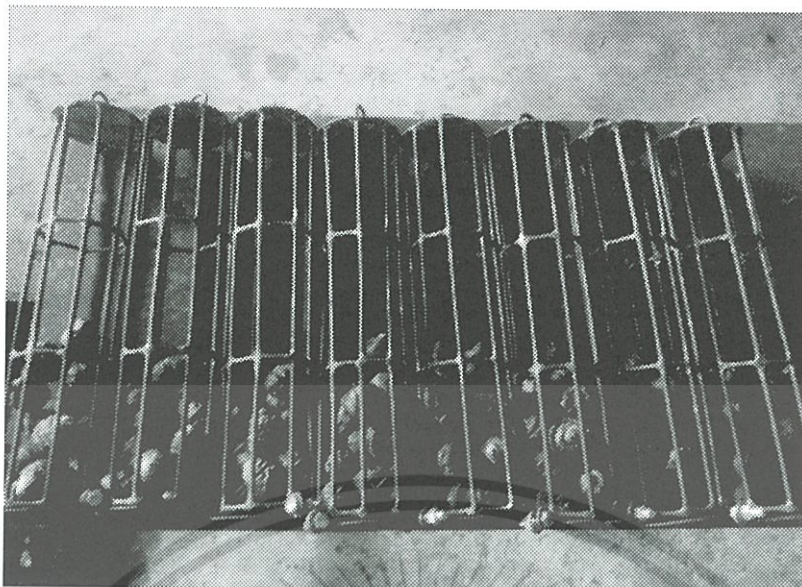


ภาพที่ 3.9 แมกเนติกคอนแทคเตอร์

### 3.1.10 ตะแกรงสำหรับใส่ผลหมาก

ตะแกรงรูปทรงกระบอกสำหรับบรรจุผลหมาก (ดังภาพที่ 3.10) หนึ่งตะแกรงสามารถบรรจุผลหมากได้ประมาณ 12-15 ผล ตะแกรงหลังจากบรรจุผลหมากเรียบร้อยแล้วจะถูกนำไปติดตั้งรอบแกนหมุนภายในห้องอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.10 ตะแกรงสำหรับใส่ผลหมาจาก

### 3.1.11 ไบมีดสำหรับผ่าผลหมาจาก

ไบมีด (ดังภาพที่ 3.11) สำหรับผ่าผลหมาจากถูกขับเคลื่อนด้วยการกำลังจากการหมุนของมอเตอร์

ไฟฟ้า



ภาพที่ 3.11 ไบมีดสำหรับผ่าผลหมาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

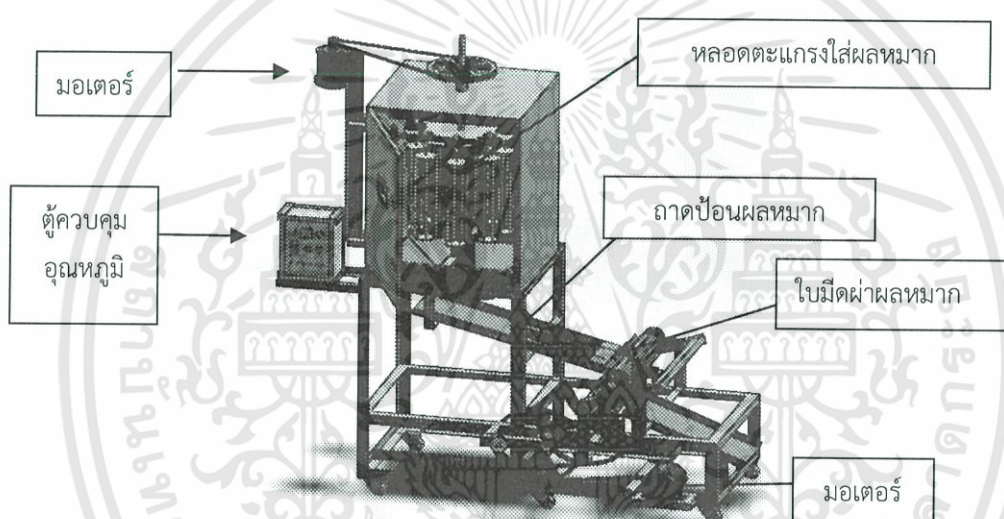
### 3.2 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก

#### 3.2.1 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้ง

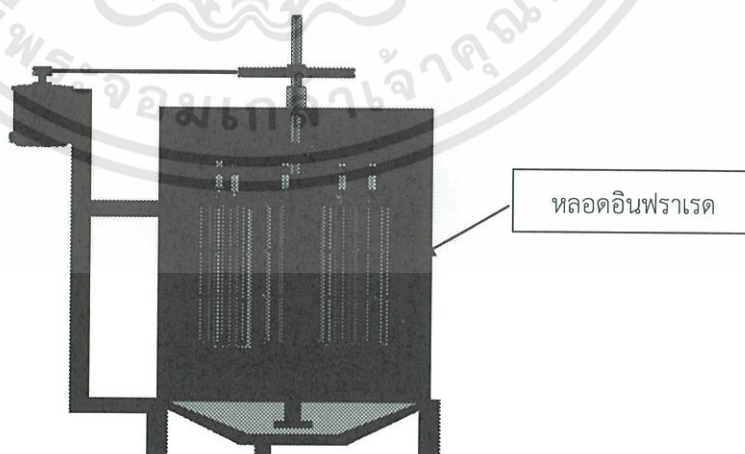
การทำงานของเครื่องอบแห้งเริ่มจากการบรรจุผลหมากจำนวน 90 ผล ลงในหลอดตะแกรงจำนวน 8 หลอด จากนั้นนำหลอดตะแกรงที่บรรจุผลหมากเรียบร้อยแล้วไปติดตั้งกับแกนหมุนภายในห้องอบแห้ง แกนหมุนจะหมุนด้วยความเร็วรอบ 2 4 และ 6 rev/min ในขณะที่หลอดอินฟราเรดขนาด 1000 W จำนวน 3 หลอด ถูกติดตั้งภายในห้องอบแห้ง (ดังภาพที่ 3.13) เพื่อทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่ผลหมาก ซึ่งในการทดลองจะทำการอบแห้งผลหมากที่อุณหภูมิ 80 100 และ 120°C

#### 3.2.2 หลักการทำงานของเครื่องผ่าผลหมาก

การทำงานของเครื่องผ่าผลหมากเริ่มจากการปล่อยผลหมากที่ผ่านการอบแห้งเรียบร้อยแล้วออกจากหลอดตะแกรงลงสู่ถาดลำเลียง ผลหมากจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องผ่าผลหมาก ซึ่งภายในเครื่องผ่าผลหมากจะมีใบมีดที่ทำหน้าที่ในการผ่าผลหมากออกเป็น 2 ซีก โดยในการทดลองใบมีดจะผ่าผลหมากด้วยความเร็วรอบ 25 rev/min



ภาพที่ 3.12 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก

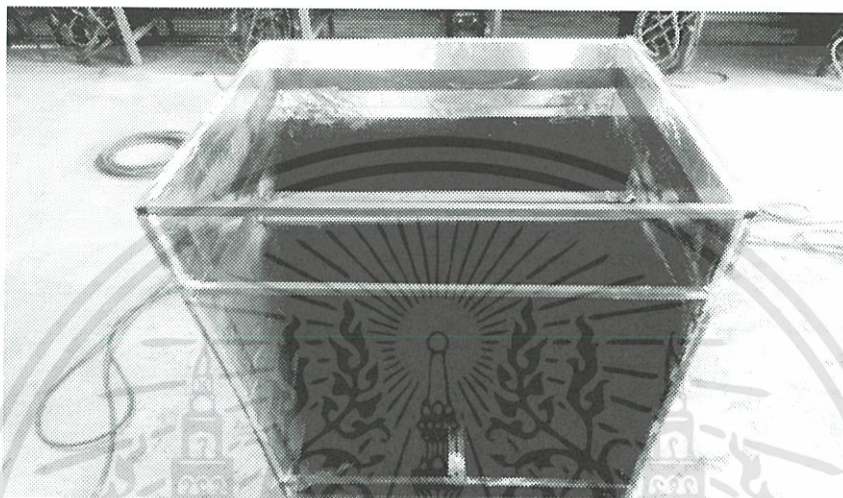


ภาพที่ 3.13 การติดตั้งหลอดอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 ขั้นตอนการสร้างเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก

- ห้องอบแห้งมีรูปทรงสี่เหลี่ยม มีความกว้าง ความยาว และความสูง เท่ากับ  $0.7 \times 0.7 \times 0.98$   $m^3$  ตามลำดับ ทำด้วยเหล็กแผ่นหนา 2 mm (ดังภาพที่ 3.14) ภายในห้องอบแห้งสามารถบรรจุผลหมากได้ ประมาณ 90 ผล บริเวณผนังของห้องอบแห้งมีการติดเทปกั้นความร้อนและอัดฉนวนกันความร้อน ชนิดใยหิน ซึ่งสามารถทนความร้อนได้  $650^{\circ}C$  (ดังภาพที่ 3.15) จากนั้นทำการเชื่อมปิดโดยใช้แผ่นเหล็กหนา 2 mm (ดังภาพที่ 3.16)

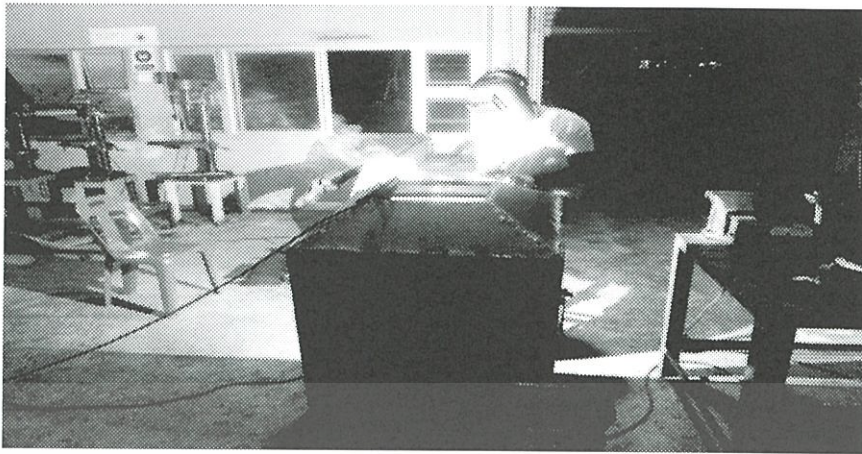


ภาพที่ 3.14 โครงสร้างห้องอบแห้ง



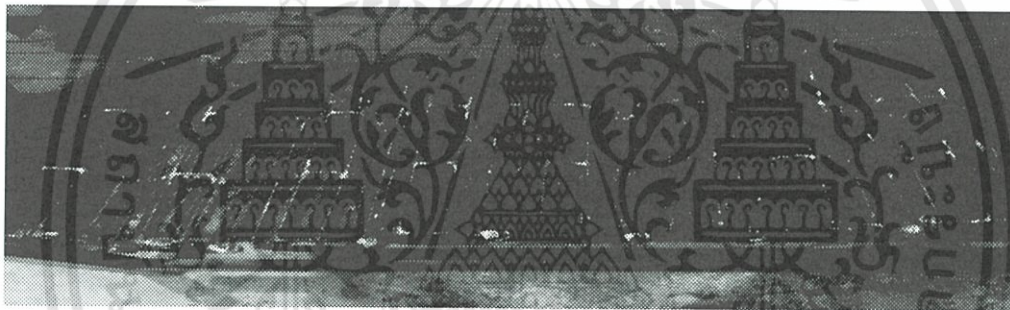
ภาพที่ 3.15 การติดเทปกั้นความร้อนและอัดฉนวนกันความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



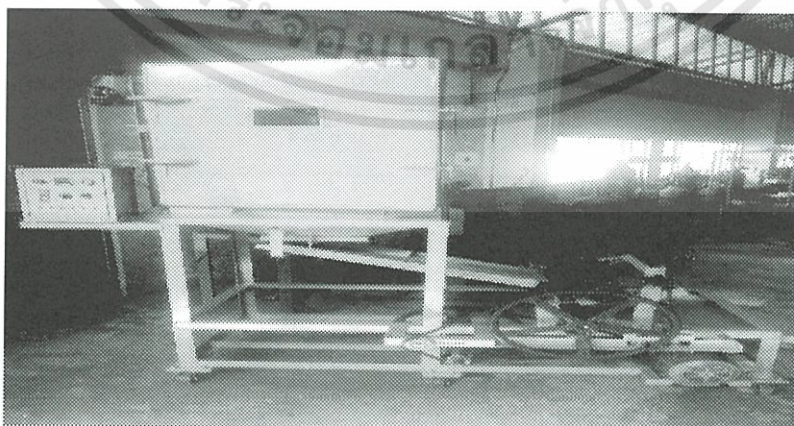
ภาพที่ 3.16 การเชื่อมปิดที่บริเวณผนังห้องอบแห้ง

- ตะแกรงใส่ผลหมากทำจากเหล็กแผ่นกลม หนา 2 mm มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm และเหล็กเส้น ยาว 45 cm มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 mm (ดังภาพที่ 3.17)



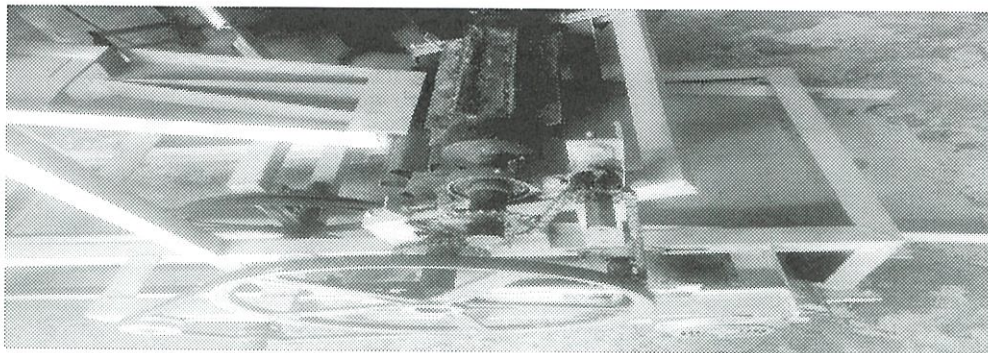
ภาพที่ 3.17 ตะแกรงใส่ผลหมาก

- เครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก เมื่อสร้างเสร็จสมบูรณ์มีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 3.18 ถึงภาพที่ 3.21

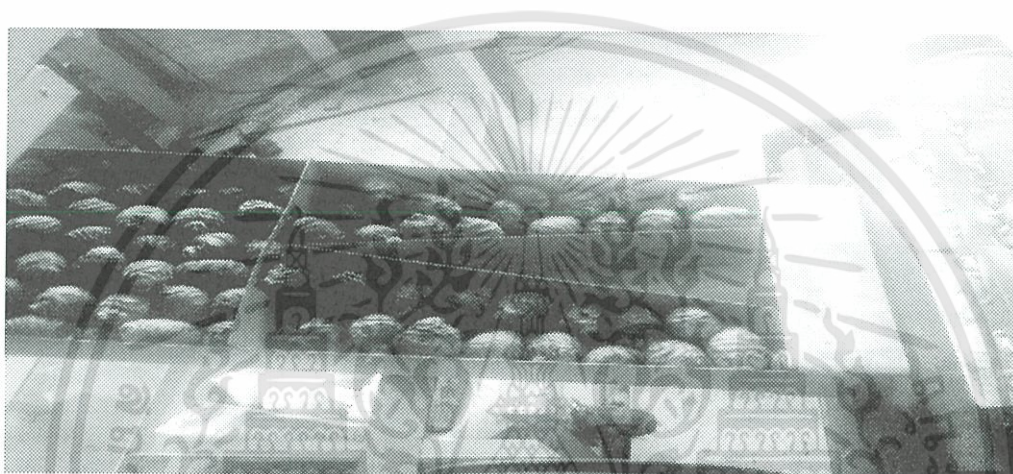


ภาพที่ 3.18 เครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.19 ใบมีดของเครื่องฝ่าผลหมาก



ภาพที่ 3.20 ถาดป้อนผลหมากเข้าสู่เครื่องฝ่าผลหมาก



ภาพที่ 3.21 ผลหมากถูกฝ่าออกเป็น 2 ซีก ด้วยชุดใบมีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การหาความชื้นของผลหมาก

#### 3.3.1 ขั้นตอนการหาความชื้นเริ่มต้นของผลหมาก

- 1) ชั่งน้ำหนักผลหมากจำนวน 90 ผล หลังจากนั้นนำผลหมากมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 h
- 2) ชั่งน้ำหนักผลหมากแห้งจำนวน 90 ผล
- 3) นำน้ำหนักผลหมากก่อนอบแห้งและหลังอบแห้งมาคำนวณหาค่าความชื้น

#### 3.3.2 การหาค่าความชื้นมาตรฐานแห้งของผลหมาก [14]

##### 3.3.2.1 ความชื้นมาตรฐานแห้ง ( $M_{d.b.}$ )

ความชื้นมาตรฐานแห้ง นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะมวลแห้งจะมีค่าคงที่ตลอดการอบแห้ง

$$M_{d.b.} = \frac{W_0 - W_d}{W_d} \quad (10)$$

ดังนั้นความชื้นมาตรฐานแห้งในวัสดุสามารถหาได้จาก

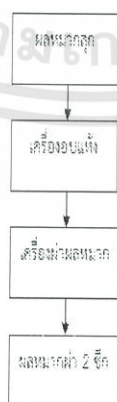
$$\% M_{d.b.} = M_{d.b.} \times 100 \quad (11)$$

เมื่อ  $W_0$  คือ น้ำหนักผลหมากก่อนการอบแห้ง (kg)

$W_d$  คือ น้ำหนักผลหมากหลังการอบแห้ง (kg)

### 3.4 แผนผังการทดลองเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก

ในการดำเนินการทดลอง เริ่มต้นจากการนำผลหมากสุกมาผ่านการอบแห้งตามเงื่อนไขการทดลองที่อุณหภูมิ (80 100 และ 120°C) และความเร็วรอบ (2 4 และ 6 rev/min) ที่กำหนด จากนั้นนำผลหมากที่อบแห้งจนความชื้นลดลงถึงระดับที่เหมาะสม (15% d.b.) มาป้อนเข้าเครื่องผ่าผลหมากเพื่อผ่าผลหมากเป็น 2 ซีก ซึ่งขั้นตอนการทดลองสามารถเขียนเป็นแผนผังได้ดังแสดงในภาพที่ 3.22

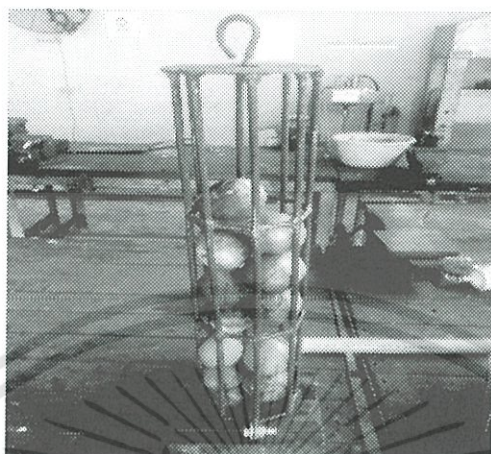


ภาพที่ 3.22 แผนผังการทดลองเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การบรรจุผลหมากและการติดตั้งตะแกรงบรรจุผลหมากในห้องอบแห้ง

ผลหมากสุกจำนวน 90 ผล ถูกบรรจุในตะแกรง จำนวน 8 หลอด (ดังภาพที่ 3.23) จากนั้นนำตะแกรงเข้าไปติดตั้งในห้องอบแห้ง (ดังภาพที่ 3.24)



รูปที่ 3.23 การบรรจุผลหมากลงในตะแกรง



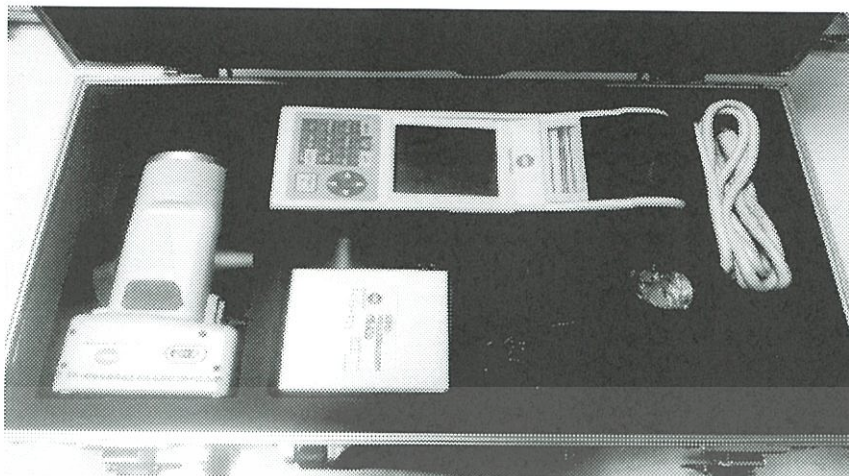
ภาพที่ 3.24 การติดตั้งตะแกรงใส่ผลหมากในห้องอบแห้ง

### 3.6 การตรวจวัดสีของผลหมาก

#### 3.6.1 อุปกรณ์ในการตรวจวัดสีของผลหมาก

ในการตรวจวัดสีของผลหมากใช้เครื่องวัดสี Konica Minolta Charoma Meter CR-400 (ดังภาพที่ 3.25)

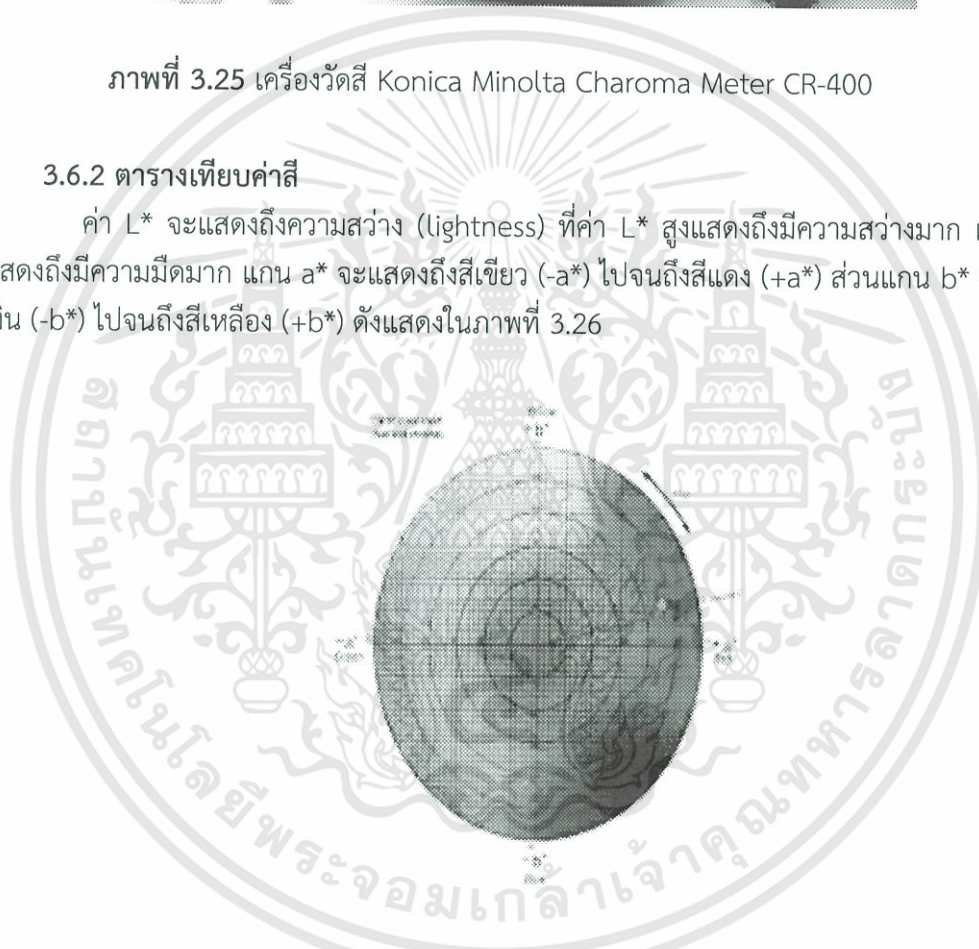
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.25 เครื่องวัดสี Konica Minolta Charoma Meter CR-400

### 3.6.2 ตารางเทียบค่าสี

ค่า  $L^*$  จะแสดงถึงมีความสว่าง (lightness) ที่ค่า  $L^*$  สูงแสดงถึงมีความสว่างมาก และที่ค่า  $L^*$  ต่ำ แสดงถึงมีความมืดมาก แกน  $a^*$  จะแสดงถึงสีเขียว ( $-a^*$ ) ไปจนถึงสีแดง ( $+a^*$ ) ส่วนแกน  $b^*$  จะแสดงถึงสีน้ำเงิน ( $-b^*$ ) ไปจนถึงสีเหลือง ( $+b^*$ ) ดังแสดงในภาพที่ 3.26



ภาพที่ 3.26 ตารางเทียบค่าสี

### 3.6.3 ขั้นตอนการตรวจวัดสีของผลหมาก

- 1) ทำการประกอบตัวเครื่องวัดสีให้พร้อมใช้งาน
- 2) ทำการ Calibrate กับแผ่น Calibrate สีขาวทุกครั้งก่อนใช้งาน
- 3) นำผลหมากที่ผ่านการอบแห้งมาวางบนแผ่นอะคลิลิกใสแล้วนำเครื่องวัดสีมาตรวจวัดค่าสี โดยกดปุ่มทำงานจากนั้นจะมีแสงสีขาวปรากฏออกมา ซึ่งหมายความว่าได้เครื่องได้ทำการวัดสีแล้ว หลังจากนั้นทำการจดบันทึกค่าที่แสดงบนหน้าจอเครื่อง ได้แก่ค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ทำการวัดสีตามข้อที่ 3 ตัวอย่างละ 10 ซ้ำ จนครบทุกตัวอย่าง
- 5) นำค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยในแต่ละตัวอย่าง

### 3.7 การวัดความเร็วรอบ

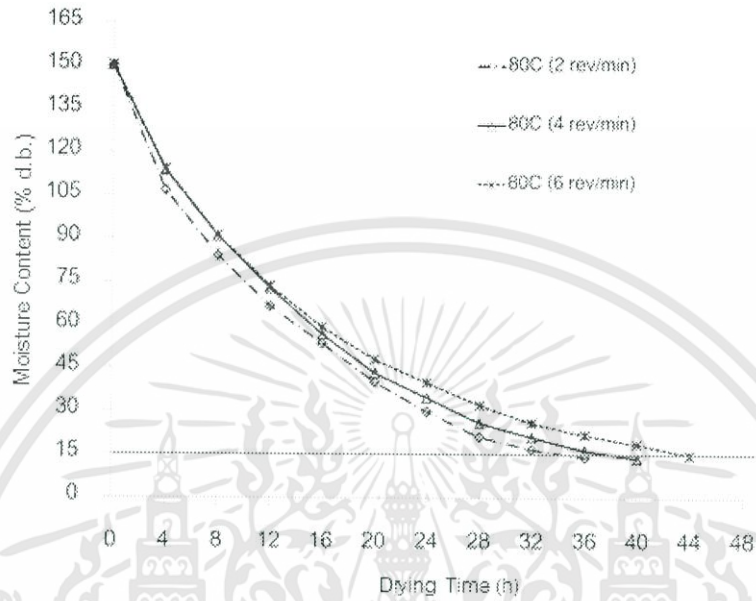
ในการวัดความเร็วรอบของตะแกรงหมุนในห้องอบแห้งและความเร็วรอบของใบมีดผ่าผลหมาก ใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) แบบ CEM รุ่น AT-8 ซึ่งสามารถวัดความเร็วรอบได้ทั้งแบบสัมผัสกับชิ้นงานและแบบไม่สัมผัสกับชิ้นงาน แสดงผลแบบดิจิทัล สามารถวัดค่าความเร็วรอบในการหมุนผ่านกระบวนการสุ่มตัวอย่างแสงสะท้อน มีย่านการวัดตั้งแต่ 2 rev/min ถึง 99,999 rev/min (Non-contact test) และ มีย่านการวัดตั้งแต่ 2 rev/min ถึง 20,000 rev/min ด้วยค่าความแม่นยำ  $\pm 0.05\%$  โดยมีระยะการวัดระหว่าง 50 mm ถึง 500 mm ตัวเครื่องผลิตจากพลาสติก ABS ทนทานต่อแรงกระแทก (ดังภาพที่ 3.27)



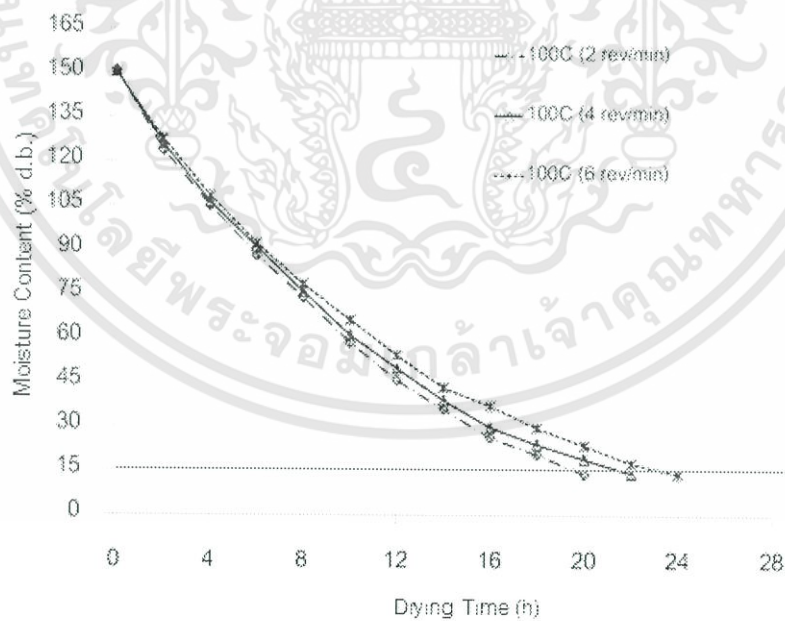
ภาพที่ 3.27 เครื่องวัดความเร็วรอบ

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 จลนศาสตร์การอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรด

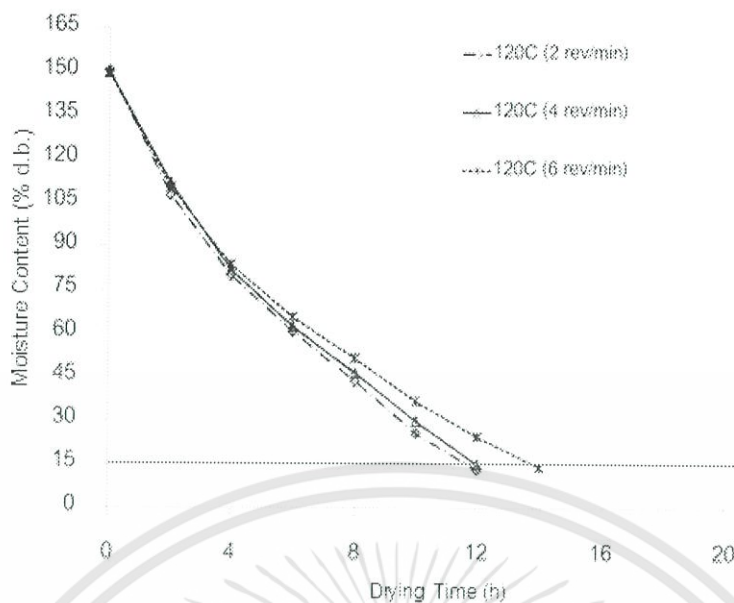


ภาพที่ 4.1 จลนศาสตร์การอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 80°C



ภาพที่ 4.2 จลนศาสตร์การอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 100°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 จลนศาสตร์การอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 120°C

จากภาพที่ 4.1 4.2 และ 4.3 แสดงปริมาณความชื้นของผลหมากที่ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 12 และ 4 h แรกของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 80 100 และ 120°C ตามลำดับ หลังจากนั้น ปริมาณความชื้นของผลหมากค่อยๆลดลงตามเวลาอบแห้งที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งผลหมากมีความชื้นลดลงถึงระดับที่ต้องการที่ 15% d.b. ซึ่งความชื้นของผลหมากลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นของการอบแห้ง เนื่องจากรังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลหมากได้โดยไม่ต้องผ่านตัวกลาง ส่งผลให้ผลหมากมีอุณหภูมิสูงขึ้นและทำให้ความชื้นที่บริเวณผิวระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้รังสีอินฟราเรดยังแทรกซึมเข้าไปในผลหมาก ซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้ความชื้นที่อยู่ภายในเกิดการแพร่ออกมาที่ผิวและระเหยออกไปอีกด้วย ในช่วงท้ายๆของการอบแห้ง ความชื้นค่อยๆลดลงอย่างช้าๆ ตามเวลาอบแห้งที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณความชื้นทั้งที่ผิวและภายในผลหมากลดต่ำลง โดยความชื้นส่วนใหญ่จะอยู่ภายในผลหมาก ซึ่งความชื้นภายในจะเคลื่อนที่ออกมาด้วยการแพร่ก่อนที่จะเกิดการระเหยที่ผิว ทำให้การถ่ายโอนความชื้นต้องใช้เวลามากขึ้น และส่งผลให้การลดลงของความชื้นช้า [21]

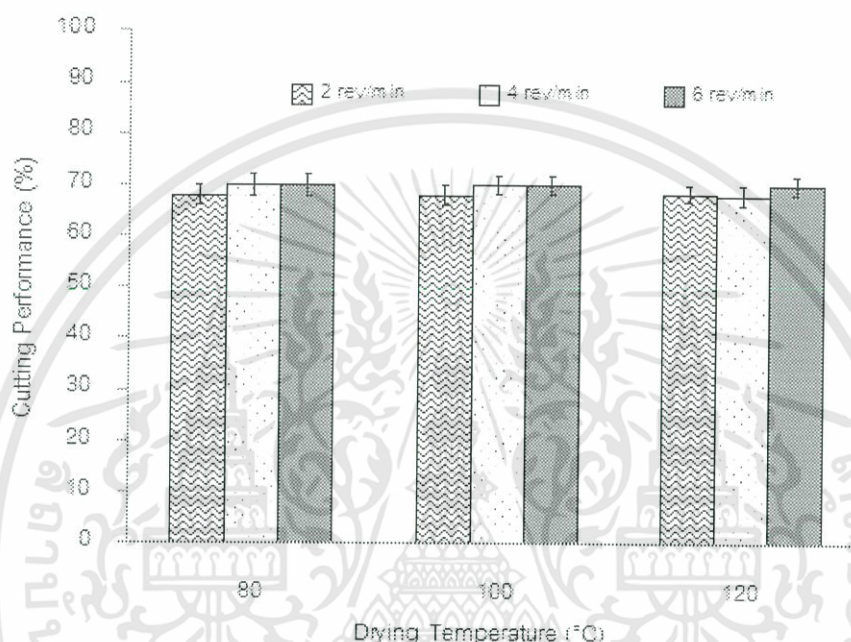
จากภาพที่ 4.1 4.2 และ 4.3 แสดงการลดลงของปริมาณความชื้นของผลหมากอย่างรวดเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลง โดยที่อุณหภูมิอบแห้ง 120°C ใช้เวลาอบแห้งสั้นที่สุดอยู่ในช่วง 12-14 h ในขณะที่อุณหภูมิมอบแห้ง 80 และ 100°C ใช้เวลาอบแห้งอยู่ในช่วง 36-44 h และ 20-24 h ตามลำดับ การลดลงของปริมาณความชื้นที่รวดเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิมอบแห้งเพิ่มขึ้น เกิดขึ้นเนื่องจากสัมประสิทธิ์การแพร่ที่เพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิมอบแห้ง ส่งผลให้ความชื้นสามารถแพร่ออกมาที่ผิวได้เร็วขึ้น

จากภาพที่ 4.1 4.2 และ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นของผลหมากที่สัมพันธ์กับความเร็วยรอบการหมุนของตะแกรงบรรจุผลหมากในห้องอบแห้ง พบว่า ในช่วงอุณหภูมิมอบแห้ง 80 100 และ 120°C เมื่อความเร็วยรอบของตะแกรงหมุนเพิ่มขึ้นส่งผลให้การลดลงของปริมาณความชื้นช้าลงและทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วยรอบของตะแกรงหมุนที่ 2 rev/min ในทุกอุณหภูมิมอบแห้งที่ศึกษามีการลดลงของปริมาณความชื้นเร็วที่สุด และการลดลงของปริมาณความชื้นจะค่อยๆช้าลง

เมื่อความเร็วรอบของตะแกรงหมุนเพิ่มเป็น 4 และ 6 rev/min ตามลำดับ ความเร็วรอบของตะแกรงหมุนที่ลดลงส่งผลให้ความชื้นลดลงเร็วขึ้นเนื่องจากผลหมากมีการเคลื่อนที่ช้าลงและสามารถรับความร้อนจากรังสีอินฟราเรดได้อย่างเต็มที่

จากผลดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วรอบการหมุนของตะแกรงส่งผลต่อการลดลงของปริมาณความชื้นของผลหมากในการอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรด

#### 4.2 ประสิทธิภาพการผ่าผลหมากด้วยชุดใบมีด



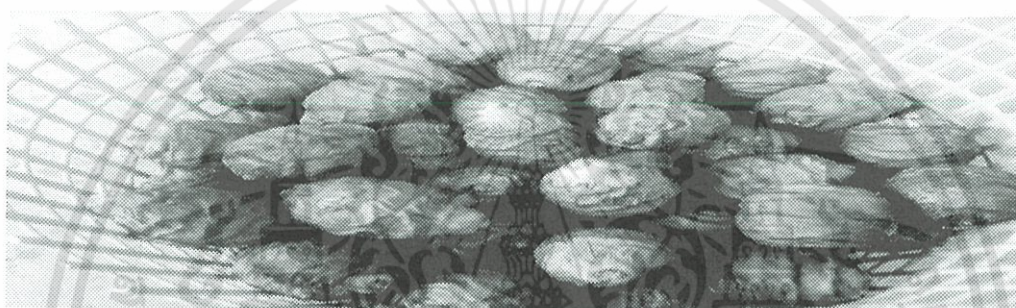
ภาพที่ 4.4 ประสิทธิภาพการผ่าของชุดใบมีด

จากภาพที่ 4.4 แสดงถึงประสิทธิภาพการผ่าผลหมากด้วยชุดใบมีดหลังการอบแห้ง ซึ่งประเมินจากจำนวนของผลหมากที่สามารถผ่าได้เทียบกับจำนวนผลหมากที่ป้อนเข้าสู่ชุดใบมีด ผลหมากหลังอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 80 100 และ 120°C ที่ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 2 4 และ 6 rev/min เมื่อนำมาผ่าด้วยชุดใบมีด พบว่า ประสิทธิภาพการผ่าผลหมากมีค่าสูงที่สุดประมาณ 70% เมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งในช่วงที่ทำการศึกษา และใช้ความเร็วรอบของตะแกรงหมุน 4 และ 6 rev/min ยกเว้นที่อุณหภูมิอบแห้ง 120°C และความเร็วรอบ 4 rev/min ประสิทธิภาพการผ่าผลหมากมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 68% เมื่อใช้ความเร็วรอบต่ำกว่า 4 rev/min ในทุกอุณหภูมิอบแห้งที่ทำการศึกษา ประสิทธิภาพการผ่าผลหมากในการศึกษานี้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ นัสสรุและคณะ [22] ซึ่งรายงานถึงประสิทธิภาพการผ่าผลหมากแห้งเท่ากับ 60% ที่ความเร็วรอบของชุดใบมีด 1,400 rev/min และงานวิจัยของ วรพงษ์ [23] ซึ่งรายงานถึงประสิทธิภาพการผ่าผลหมากสุกด้วยชุดใบมีด โดยมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 75-90% ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผ่าผลหมากคือความชื้นของผลหมาก Balasubramanian และ Panwar [24] ได้รายงานถึงความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการผ่าผลหมากแห้งควรจะอยู่ที่ 6% (d.b.) จึงจะทำให้สามารถปอกหรือผ่าผลหมากได้ง่าย จากผลงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการผ่าหมากมีความเกี่ยวข้องกับหลายปัจจัย เช่น ความเร็วรอบของชุดใบมีด ความสุกของผลหมาก และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นของผลหมาก เป็นต้น สำหรับในการศึกษานี้ประสิทธิภาพการผ่าผลหมากอาจจะสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยการเพิ่มความเร็วยรอบของชุดใบมีด หรือการลดความชื้นสุดท้ายให้ต่ำลง ซึ่งค่าความชื้นที่ต้องการของผลหมากหลังการอบแห้งในการศึกษานี้กำหนดไว้ที่ 15% (d.b.) เนื่องจากเป็นค่าความชื้นของผลหมากแห้งที่ต้องการในท้องตลาด ซึ่งส่วนใหญ่ผลหมากถูกทำให้แห้งด้วยวิธีการนำไปตากแดด ทำให้การควบคุมความชื้นให้อยู่ในระดับที่ต่ำทำได้ลำบาก

อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการผ่าผลหมากในการศึกษานี้ไม่มีความแตกต่างอย่างเด่นชัดในทุกๆ เงื่อนไขที่ทำการศึกษาเมื่อพิจารณาจากค่า Standard deviation ที่ได้จากการทำซ้ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการผ่าผลหมากด้วยชุดใบมีดที่สร้างขึ้นไม่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วยรอบของตะแกรงหมุนในช่วงที่ทำการศึกษา

#### 4.3 คุณภาพของเนื้อหมากที่ได้จากเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก



ภาพที่ 4.5 ลักษณะผลหมากหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120°C ที่ความเร็วรอบตะแกรง 2 rev/min



ภาพที่ 4.6 ลักษณะผลหมากหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120°C และผ่าที่ความเร็วรอบ 25 rev/min

จากภาพที่ 4.5 แสดงภาพของผลหมากหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120°C ที่ความเร็วรอบการหมุนตะแกรง 2 rev/min ซึ่งผลหมากแห้งจะถูกป้อนเข้าสู่ชุดใบมีดในเครื่องผ่าผลหมาก ในการป้อนผลหมากเข้าสู่ชุดใบมีดจะใช้ถาดลำเลียงในการลำเลียงผลหมาก เพื่อให้ผลหมากค่อยๆ ไหลเข้าสู่ชุดใบมีด ผลหมากที่ผ่านชุดใบมีดจะถูกผ่าเป็น 2 ซีก ดังภาพที่ 4.6

จากภาพที่ 4.7 แสดงภาพของเนื้อหมากแห้งที่ยอมรับได้ในท้องตลาด ซึ่งถูกทำให้แห้งด้วยวิธีการตากแดดและนำมาผ่าด้วยมีดเปรียบเทียบกับเนื้อหมากที่ถูกอบแห้งด้วยอินฟาเรดและนำมาผ่าด้วยชุดใบมีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังแสดงในภาพที่ 4.8 ลักษณะของเนื้อหมากที่ได้หลังการผ่าด้วยมีดและหลังการผ่าด้วยชุดใบมีดที่หมุนด้วยความเร็วรอบ 25 rev/min มีลักษณะที่คล้ายกัน คือ รอยผ่าไม่เรียบและเนื้อหมากมีการแตกหักหรือบิ่นไปบางส่วน แต่ลักษณะของเนื้อหมากดังกล่าวเป็นลักษณะที่ยอมรับได้ในท้องตลาด



ภาพที่ 4.7 เนื้อหมากแห้งหลังการตากแดดและผ่าด้วยมีด (เนื้อหมากแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด, Commercial betel nut)



ภาพที่ 4.8 เนื้อหมากแห้งหลังการอบแห้งด้วยอินฟราเรดและผ่าด้วยชุดใบมีด (การผลิตหมากแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและผ่าผลหมาก)

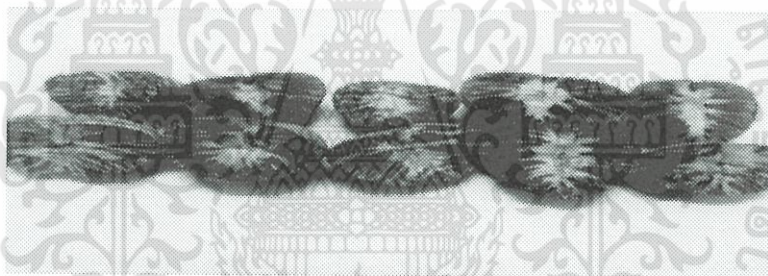
ตารางที่ 1 สีของเนื้อหมากแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาดและสีของเนื้อหมากแห้งที่ผลิตจากเครื่องอบแห้งและผ่าผลหมาก

Sample	Colour		
	L*	a*	b*
Before drying	39.13±0.98a	9.35±0.64d	17.69±0.49e
Commercial betel nut	57.70±1.69b	5.16±1.66c	12.82±2.05ab
80°C (2 rev/min)	57.36±0.86b	4.35±0.24ab	14.07±0.24cd
80°C (4 rev/min)	56.95±0.73b	4.53±0.31ab	14.36±0.34d
80°C (6 rev/min)	56.94±0.95b	4.26±0.31ab	14.21±0.55cd
100°C (2 rev/min)	57.41±0.81b	3.96±0.47a	13.72±0.69cd
100°C (4 rev/min)	57.26±0.82b	4.22±0.26ab	13.75±0.66cd
100°C (6 rev/min)	57.07±0.93b	4.77±0.28bc	13.49±0.53bc
120°C (2 rev/min)	57.44±1.51b	4.27±0.34ab	12.10±0.57a
120°C (4 rev/min)	57.34±0.82b	4.52±0.30ab	13.50±0.81bc
120°C (6 rev/min)	57.19±0.74b	4.19±0.42ab	13.55±0.75bcd

ตัวอักษร a, b, c, d, e ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ ).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 1 แสดงสีของเนื้อหมากแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด (Commercial betel nut) ซึ่งใช้วิธีการตากแดดและผ่าด้วยมีด เปรียบเทียบกับสีของเนื้อหมากแห้งที่อบแห้งด้วยอินฟาเรดและผ่าด้วยชุดใบมีด ซึ่งผลิตจากเครื่องอบแห้งและผ่าผลหมาก ผลการศึกษาพบว่า สีของเนื้อหมากหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 100 และ 120°C มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนอบแห้ง (ดังภาพที่ 4.9 4.10 และ 4.11) โดยค่า  $L^*$  เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงถึงสีของเนื้อหมากที่มีความสว่างเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่  $a^*$  และ  $b^*$  ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของเนื้อหมากหลังการอบแห้งด้วยรังสีอินฟาเรดกับค่าสีของเนื้อหมากที่จำหน่ายในท้องตลาด พบว่า ค่า  $L^*$  ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่า  $a^*$  ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นที่อุณหภูมิ 100°C และความเร็วตะแกรงหมุน 6 rev/min และค่า  $b^*$  เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นที่อุณหภูมิ 100°C ที่ความเร็วรอบตะแกรงหมุน 6 rev/min และที่อุณหภูมิ 120°C ในทุกความเร็วรอบของตะแกรงหมุน เมื่อพิจารณาผลกระทบของความเร็วรอบการหมุนตะแกรงต่อคุณภาพสีของเนื้อหมากที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน พบว่า ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรงที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วง 2 4 และ 6 rev/min ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อหมากอย่างมีนัยสำคัญ ในช่วงอุณหภูมิอบแห้งที่ทำการศึกษา ยกเว้นที่อุณหภูมิ 120°C และความเร็วตะแกรงหมุน 2 rev/min การอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟาเรดส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านสี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tirawanichakul et al. [25] ซึ่งรายงานถึงสีของใบบวบกที่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญหลังการอบแห้งด้วยรังสีอินฟาเรด



ภาพที่ 4.9 เนื้อหมากหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C และที่ความเร็วรอบตะแกรง 2 rev/min



ภาพที่ 4.10 เนื้อหมากหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C และที่ความเร็วรอบตะแกรง 4 rev/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 เนื้อหมากหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C และที่ความเร็วรอบตะแกรง 6 rev/min



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

- จลนศาสตร์ของการอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรดเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง โดยที่อุณหภูมิอบแห้ง 120°C และความเร็วรอบการหมุนตะแกรง 2 rev/min ให้อัตราการอบแห้งสูงสุด
- อุณหภูมิอบแห้งและความเร็วรอบการหมุนของตะแกรงเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรด โดยอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้นและความเร็วรอบที่ลดลงทำให้เวลาการอบแห้งสั้นลง
- ประสิทธิภาพการผ่าผลหมากด้วยเครื่องผ่าผลหมากไม่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วรอบของตะแกรงหมุนในช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษา โดยมีประสิทธิภาพการผ่าอยู่ในช่วง 68-70%
- ลักษณะและคุณภาพสีของเนื้อหมากแห้งที่ได้จากเครื่องอบแห้งและผ่าผลหมากคล้ายคลึงกับเนื้อหมากแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด
- ในการผลิตหมากแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและผ่าผลหมาก ควรใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 100°C ร่วมกับความเร็วรอบของถาดหมุน 6 rev/min ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการผ่าผลหมากที่สูงและคุณภาพด้านสีใกล้เคียงกับสีของผลหมากที่ยอมรับในตลาด

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

- ในส่วนของเครื่องผ่าผลหมากควรจะศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของความเร็วรอบของชุดใบมีดที่อาจจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผ่าผลหมาก และควรเปลี่ยนรูปแบบการส่งกำลังจากการส่งกำลังด้วยสายพานเป็นการส่งกำลังผ่านเฟืองหรือโซ่ เพื่อแก้ปัญหาคาร์บอนเกาะของสายพานในระหว่างการผ่าหมาก
- ในส่วนของถาดลำเลียงผลหมากเข้าสู่ชุดใบมีดควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหามุมเอียงที่เหมาะสมสำหรับการป้อนผลหมากเข้าสู่ชุดใบมีด
- ในส่วนของเครื่องอบแห้งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของตำแหน่งการติดตั้งหลอดอินฟราเรด ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อจลนศาสตร์การอบแห้งผลหมาก

#### 5.3 ผลผลิตงานวิจัย

- ผลการศึกษาจากงานวิจัยนี้ถูกนำไปเผยแพร่ในการประชุมระดับชาติ ในงานการประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อน ครั้งที่ 10, 28-29 กรกฎาคม 2016, โรงแรมดิเอ็มเมอรัลด์, กรุงเทพฯ ในชื่อเรื่อง “การอบแห้งผลหมากด้วยอินฟราเรดร่วมกับถาดหมุน”

## บรรณานุกรม

- [1] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2547 “สถิติการปลูกไม้ยืนต้นปี 2544”, เอกสารวิชาการของกรมส่งเสริมการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, หน้า 414.
- [2] กรมเศรษฐกิจพาณิชย์, 2545 “สถิติการส่งออกและนำเข้าสินค้าเกษตร”, กระทรวงพาณิชย์ ปี 2543-2544
- [3] ประณกิต เลิศพยัค, 2553 “การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบแห้งเนื้อหมากแวนสด”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบคณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [4] N. Sakai and T. Hanzawa, “Application and advances in far-infrared heating in Japan” Trends in Food Science & Technology. 357-362 (1994).
- [5] อนุสร นาดิ, ยุทธนา ภูริระวิชย์กุล และสุภวรรณ ภูริระวิชย์กุล, 2555 “จลนพลศาสตร์การอบแห้งใบเตยด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนและลมร้อน”, วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, ปีที่ 17, 86-94.
- [6] B. Baboo, “A device for dehusking arecanut” Journal of Agricultural Engineering (ISAE). 19: 63-65 (1981).
- [7] พิสมัย พึ่งวิกรัย และ พิมพีใจ พัฒนศิริพงศ์, 2543 “การปลูกหมากเพื่อการค้า”, เอกสารวิชาการของกลุ่มไม้ยืนต้นอุตสาหกรรม กองส่งเสริมพืชสวน กรมส่งเสริมการเกษตร.
- [8] K. Kiran, A.K. Govin, M. Bandi and H. Shivasharanayya, “Design Development and Testing of an Areca nut Dehusking Agri-machine” Journal of Engineering Research and Applications. 109-115 (2014).
- [9] เสริมศักดิ์ รักธรรม, 2536 “การพัฒนาการการปลูกไม้ผลและเครื่องเทศ สมุนไพรภาคใต้”, เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ สมาคมนักโรคพืชแห่งประเทศไทย.
- [10] นเรศ มีโส และ ศิริธร ศิริอมพรพรณ, 2547 “เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชแบบฟลูอิดไดซ์เบดโดยการแผ่รังสีอินฟราเรดเคลื่อนที่ร่วมกับการพาความร้อน”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสารคาม.
- [11] ธวัชชัย ธรรมชนันแก้ว และ วีระ ฟ้าเพื่อวิทยากุล, 2555 “การประเมินสมรรถนะการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเพื่อใช้กับวัสดุเกษตร”, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [12] สุทธิพร เนียมหอม, 2551 “การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกหมาก”, ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว) สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว โครงการสหวิทยาการ ระดับบัณฑิตศึกษา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [13] ณัฐพล ถาวรมั่นคง, วิทยา เหมโก และ อนุรักษ์ พิษยกุล, 2557 “เครื่องอบไม้ตะเกียบด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร.
- [14] มนตรี เรืองประดับ, ชูเกียรติ คุปตานนท์, จันทกานต์ ทวีกุล และปัญญาธิกร งามศรีตระกูล, 2550 “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งผลหมาก”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 21, 17-19 ตุลาคม, ชลบุรี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ และวชร กาลาสี, 2552 “การพัฒนาเครื่องไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่องในการอบผลหมาก”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 23, หน้า 1-7.
- [16] ชณัฐ วิพัทนะพร, สุพรรณ ยั่งยืน และจักรมาส เลหาวิช, 2555 “การลดความชื้นของเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้าชนิดวนวัสดุต่อเนื่องร่วมกับการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่ 43, ฉบับที่ 3 (พิเศษ), หน้า 75-78.
- [17] ทิวานันท์ แก้วสอนดี, ฉลองพรรณ โกรธรัมย์, สุพรรณ ยั่งยืน และ จักรมาส เลหาวิช, 2555 “การออกแบบและสร้างเครื่องหั่นผลหมาก”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่ 43, ฉบับที่ 3 (พิเศษ), กันยายน-ธันวาคม, หน้า 175-178.
- [18] อีลีหย๊ะ สนิโซ, ฟามีรา สะอูดี และรัชดาภรณ์ ฮานาฟี, 2555 “สภาวะที่เหมาะสมและแบบจำลองจลนพลศาสตร์การอบแห้งผลหมากด้วยพลังงานความร้อนร่วม”, วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา, ปีที่ 7 ฉบับที่ 2, กรกฎาคม - ธันวาคม, หน้า 105-114.
- [19] M. Balasubramanian and J.S. Panwar, “Mechanical properties of arecanut (*Areca catechu linn*) as related to dehusking” *Journal of Agricultural Engineering*. 23(1): 82-88 (1986).
- [20] J.K. Wang, “Design of a ground Berry Husking Machine” *Transactions of the ASAE*. 311-312 (1963).
- [21] S. Tirawanichakul, S. Lamaepae and Y. Tirawanichakul, “Combined infrared/microwave and hot air drying for Jackfruit: kinetics, quality and sensory analysis” *Burapha Science Journal*. 17: 117-129 (2012).
- [22] นัสสร่า มีอินทร์, อัมพร กุญชรรัตน์ และ ธนรัตน์ แต้ววัฒนา, 2557 “การพัฒนาเครื่องคัดแยกขนาดและผ่าผลหมากด้วยเทคนิควิศวกรรมคุณค่า”, วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา, ฉบับ 2, หน้า 13-23.
- [23] วรพงษ์ ภาราทอง, 2550 “พัฒนาเครื่องผ่าผลหมากด้วยระบบไฟฟ้า”, วิทยานิพนธ์ อส.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า), บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- [24] M. Balasubramanian and J.S. Panwar, “Mechanical properties of arecanut (*Areca Catechu Linn*) as related to dehusking” *Journal of Agricultural Engineering (ISAE)*. 23: 82-88 (1986).
- [25] S. Tirawanichakul, S. Chanchiew and Y. Tirawanichakul, “Pennywort drying using infrared: drying kinetics, energy consumption and quality aspect” *KKU Research Journal* 18: 311-324 (2013).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## ผลการทดลอง

ตารางที่ ก1 ประสิทธิภาพการผ่าผลหมาก

อุณหภูมิ	ความเร็วรอบ	ทำซ้ำ	ผ่าสำเร็จเป็น 2 ซีก (ลูก)	ผ่าไม่ออก (ลูก)
80°C	2 rev/min	ครั้งที่ 1	10	20
		ครั้งที่ 2	12	18
		ครั้งที่ 3	11	19
	4 rev/min	ครั้งที่ 1	12	18
		ครั้งที่ 2	11	19
		ครั้งที่ 3	13	17
	6 rev/min	ครั้งที่ 1	12	18
		ครั้งที่ 2	11	19
		ครั้งที่ 3	13	17
100°C	2 rev/min	ครั้งที่ 1	10	20
		ครั้งที่ 2	11	19
		ครั้งที่ 3	12	18
	4 rev/min	ครั้งที่ 1	12	18
		ครั้งที่ 2	13	17
		ครั้งที่ 3	11	19
	6 rev/min	ครั้งที่ 1	12	18
		ครั้งที่ 2	11	19
		ครั้งที่ 3	13	17
120°C	2 rev/min	ครั้งที่ 1	11	19
		ครั้งที่ 2	10	20
		ครั้งที่ 3	12	18
	4 rev/min	ครั้งที่ 1	12	18
		ครั้งที่ 2	10	20
		ครั้งที่ 3	11	19
	6 rev/min	ครั้งที่ 1	12	18
		ครั้งที่ 2	11	19
		ครั้งที่ 3	13	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก2 ข้อมูลแสดงค่าสีของผลหมากแห้งในท้องตลาด

การทำซ้ำ	L*	a*	b*
1	56.66	8.34	15.52
2	57.43	3.45	14.44
3	57.72	4.85	14.23
4	57.09	5.61	11.24
5	55.00	5.36	11.63
6	59.87	2.05	9.41
7	59.00	4.65	10.47
8	56.96	6.04	14.92
9	56.59	5.99	13.59
10	60.63	5.27	12.70

ตารางที่ ก3 ข้อมูลแสดงค่าสีของผลหมากสุก

การทำซ้ำ	L*	a*	b*
1	37.89	9.28	17.45
2	39.60	9.81	16.89
3	40.78	8.57	17.69
4	39.97	10.28	17.92
5	38.78	9.01	17.33
6	38.11	9.36	17.37
7	39.96	10.26	18.70
8	38.08	8.34	17.75
9	39.52	9.25	18.05
10	38.59	9.35	17.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก4 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 2 rev/min

การทำซ้ำ	L*	a*	b*
1	57.31	4.28	13.92
2	56.63	4.55	14.14
3	57.96	4.47	13.73
4	57.42	4.35	14.24
5	56.94	4.66	14.08
6	56.38	4.42	14.31
7	56.18	4.58	14.21
8	58.5	4.25	14.22
9	57.61	3.93	13.61
10	58.7	4.03	14.25

ตารางที่ ก5 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 4 rev/min

การทำซ้ำ	L*	a*	b*
1	56.43	4.71	14.73
2	58.15	4.57	14.86
3	57.78	3.99	14.13
4	56.53	5.16	14.11
5	56.65	4.25	14.23
6	55.79	4.63	14.16
7	56.72	4.56	13.83
8	56.84	4.31	14.28
9	56.82	4.48	14.47
10	57.76	4.65	14.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก6 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 6 rev/min

การทำซ้ำ	L*	a*	b*
1	56.86	4.53	14.78
2	57.82	4.17	14.21
3	56.29	4.11	13.78
4	58.71	3.62	13.39
5	57.95	4.22	13.62
6	57.11	4.27	13.71
7	56.37	4.02	14.34
8	55.68	4.35	14.83
9	56.26	4.62	14.52
10	56.36	4.68	14.9

ตารางที่ ก7 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 2 rev/min

การทำซ้ำ	L*	a*	b*
1	57.53	3.72	13.48
2	57.65	4.26	14.11
3	56.79	3.57	14.14
4	58.76	3.65	13.83
5	56.84	4.45	12.89
6	57.41	4.38	13.35
7	57.01	3.88	14.80
8	57.23	4.73	14.51
9	58.71	3.26	12.59
10	56.20	3.68	13.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก8 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 4 rev/min

การทำซ้ำ	L*	a*	b*
1	58.26	4.24	14.06
2	57.36	3.68	13.9
3	57.38	4.67	14.62
4	56.64	4.43	13.86
5	58.35	4.41	12.67
6	57.9	4.11	13.7
7	57.82	4.19	14.53
8	56.41	4.07	12.69
9	56.26	4.17	13.54
10	56.23	4.28	13.94

ตารางที่ ก9 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 6 rev/min

การทำซ้ำ	L*	a*	b*
1	58.00	4.29	12.78
2	55.73	5.23	13.24
3	58.46	4.58	13.99
4	57.08	4.87	13.66
5	56.56	4.99	13.58
6	56.46	5.02	13.50
7	57.78	4.83	12.62
8	58.02	4.52	13.28
9	56.21	4.54	14.05
10	56.38	4.82	14.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก10 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 2 rev/min

การทำซ้ำ	L*	a*	b*
1	57.8	3.95	11.71
2	57.76	3.92	11.76
3	54.68	4.69	11.53
4	57.08	4.06	11.64
5	56.52	4.12	12.16
6	56.12	4.07	12.28
7	57.05	4.04	11.65
8	59.67	4.63	12.49
9	59.5	4.89	12.45
10	58.17	4.3	13.36

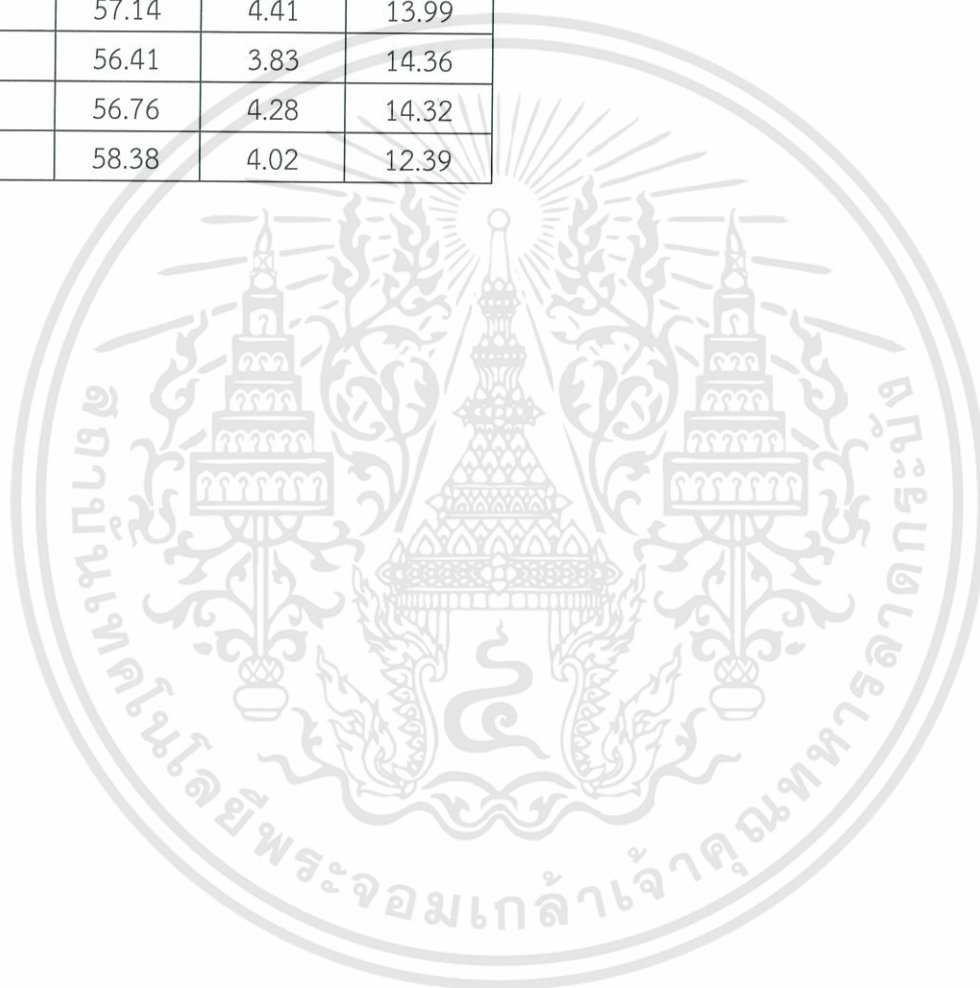
ตารางที่ ก11 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 4 rev/min

การทำซ้ำ	L*	a*	b*
1	57.48	4.64	13.9
2	58.16	4.42	13.22
3	57.26	4.66	12.76
4	56.45	4.54	14.36
5	57.97	4.24	13.65
6	56.14	3.91	12.97
7	57.53	4.29	12.42
8	58.51	4.89	12.63
9	57.69	4.73	14.57
10	56.26	4.84	14.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก12 ข้อมูลแสดงค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วรอบการหมุนของตะแกรง 6 rev/min

การทำซ้ำ	L*	a*	b*
1	57.78	4.73	13.53
2	56.09	4.68	14.25
3	57.56	3.65	13.71
4	56.48	3.82	13.68
5	57.36	4.69	12.52
6	57.93	3.83	12.73
7	57.14	4.41	13.99
8	56.41	3.83	14.36
9	56.76	4.28	14.32
10	58.38	4.02	12.39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ภาพผลหมาก



ภาพที่ ข1 ลักษณะของผลหมากสุกผ่าซีก

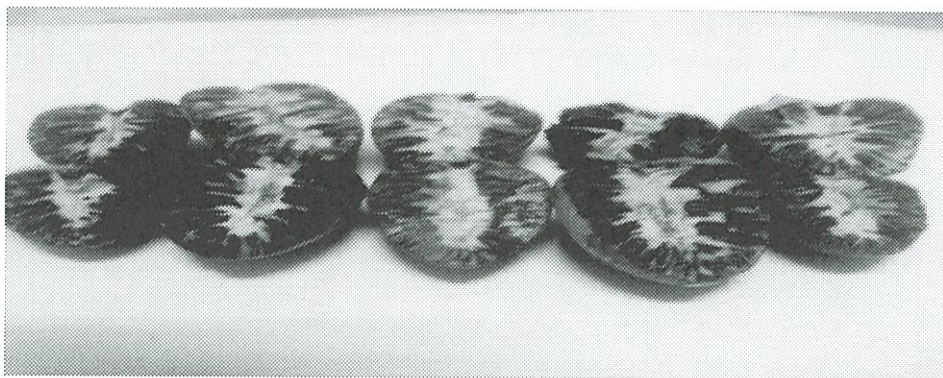


ภาพที่ ข2 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 2 rev/min

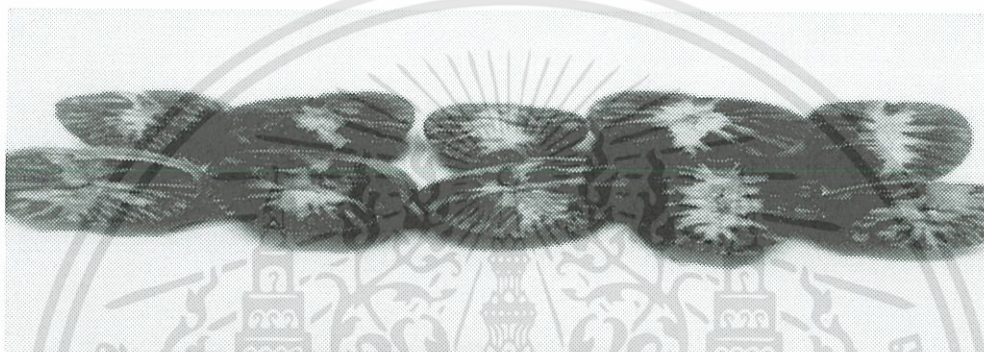


ภาพที่ ข3 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 4 rev/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข4 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 6 rev/min



ภาพที่ ข5 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 2 rev/min



ภาพที่ ข6 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 4 rev/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข7 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 6 rev/min

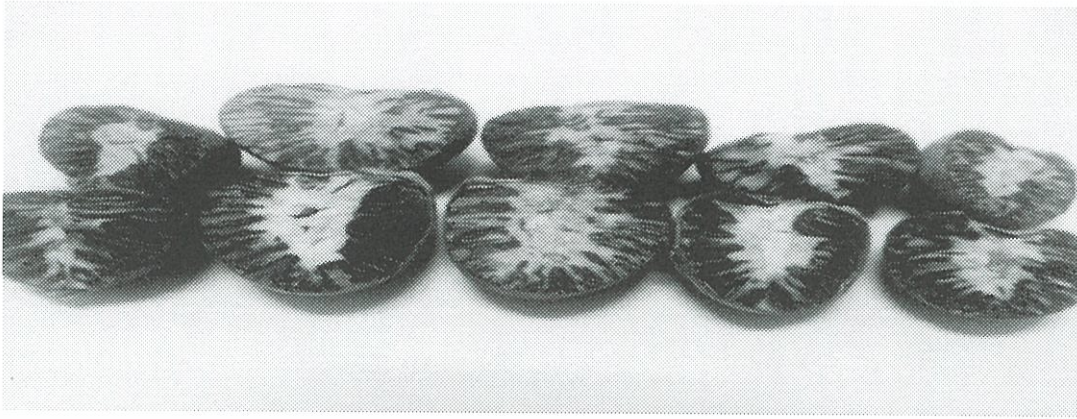


ภาพที่ ข8 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 2 rev/min



ภาพที่ ข9 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 4 rev/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข10 ผลหมากแห้งที่อุณหภูมิ 120°C ความเร็วรอบของตะแกรงใส่ผลหมาก 6 rev/min



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

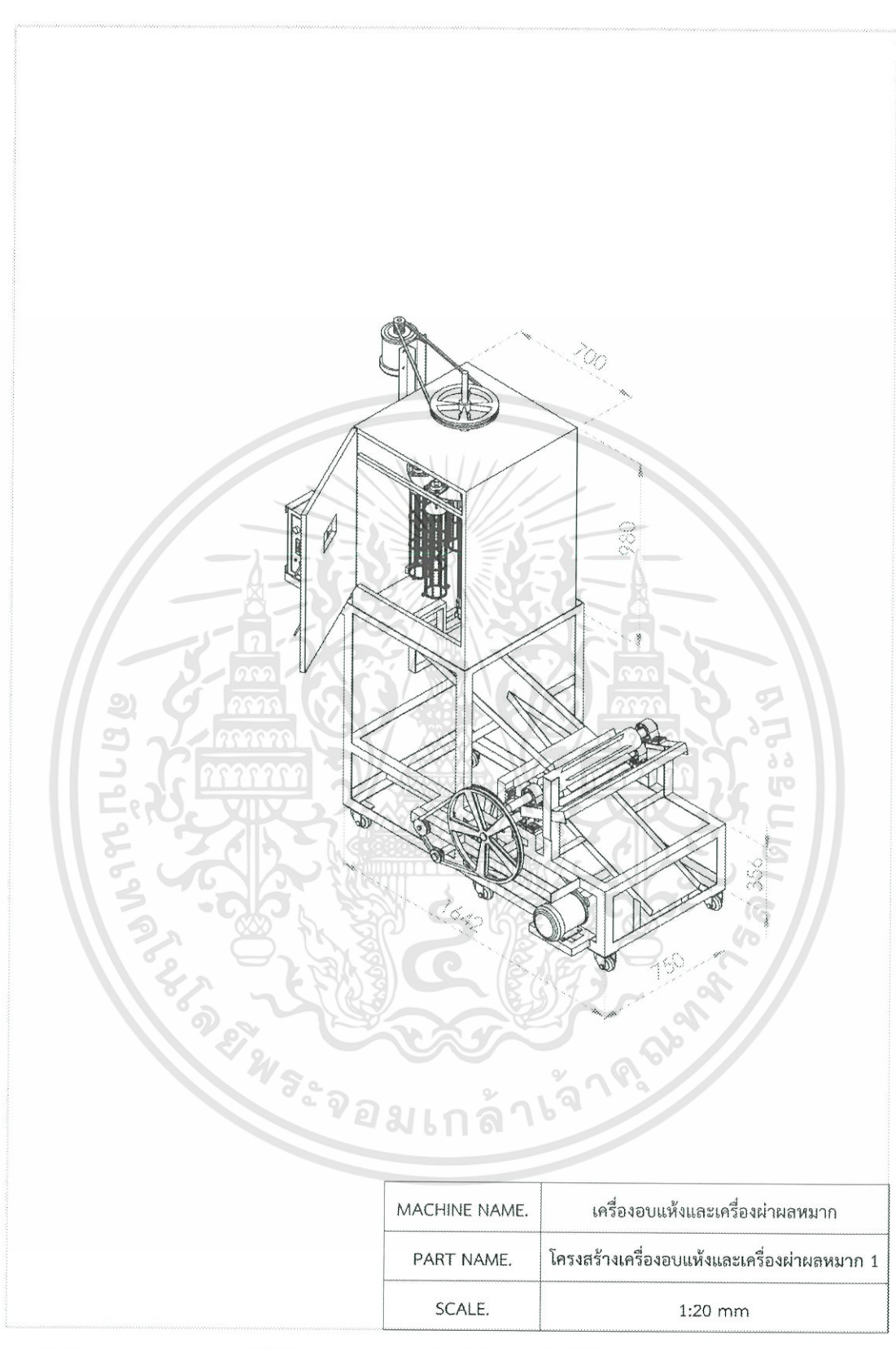
## ภาคผนวก ค

## เครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก



ภาพที่ ค1 โครงสร้างเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



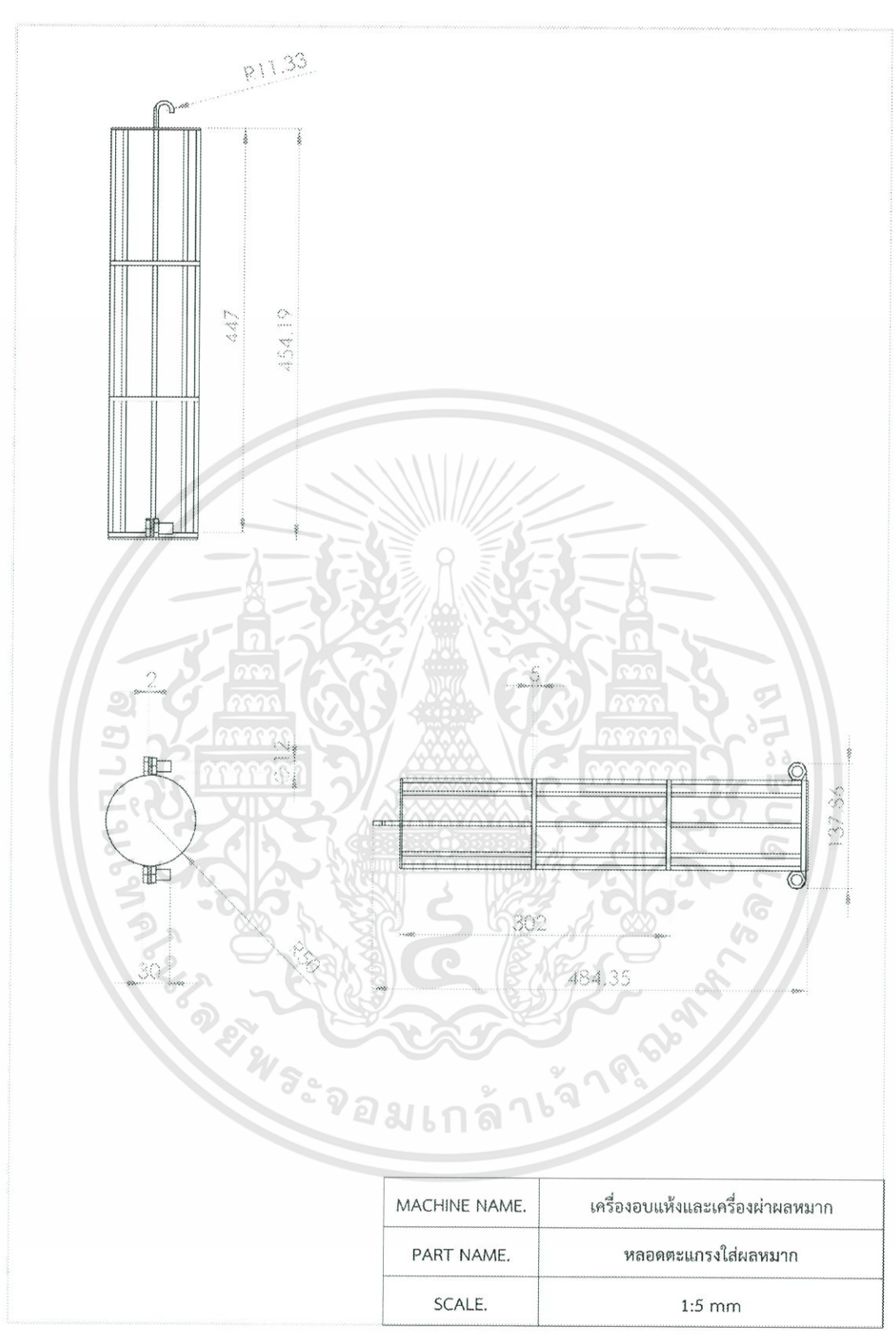
ภาพที่ ค2 โครงสร้างเครื่องอบแห้งและเครื่องผ่าผลหมาก 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค3 โครงสร้างหลอดอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค4 โครงสร้างหลอดตะแกรงบรรจุผลหมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



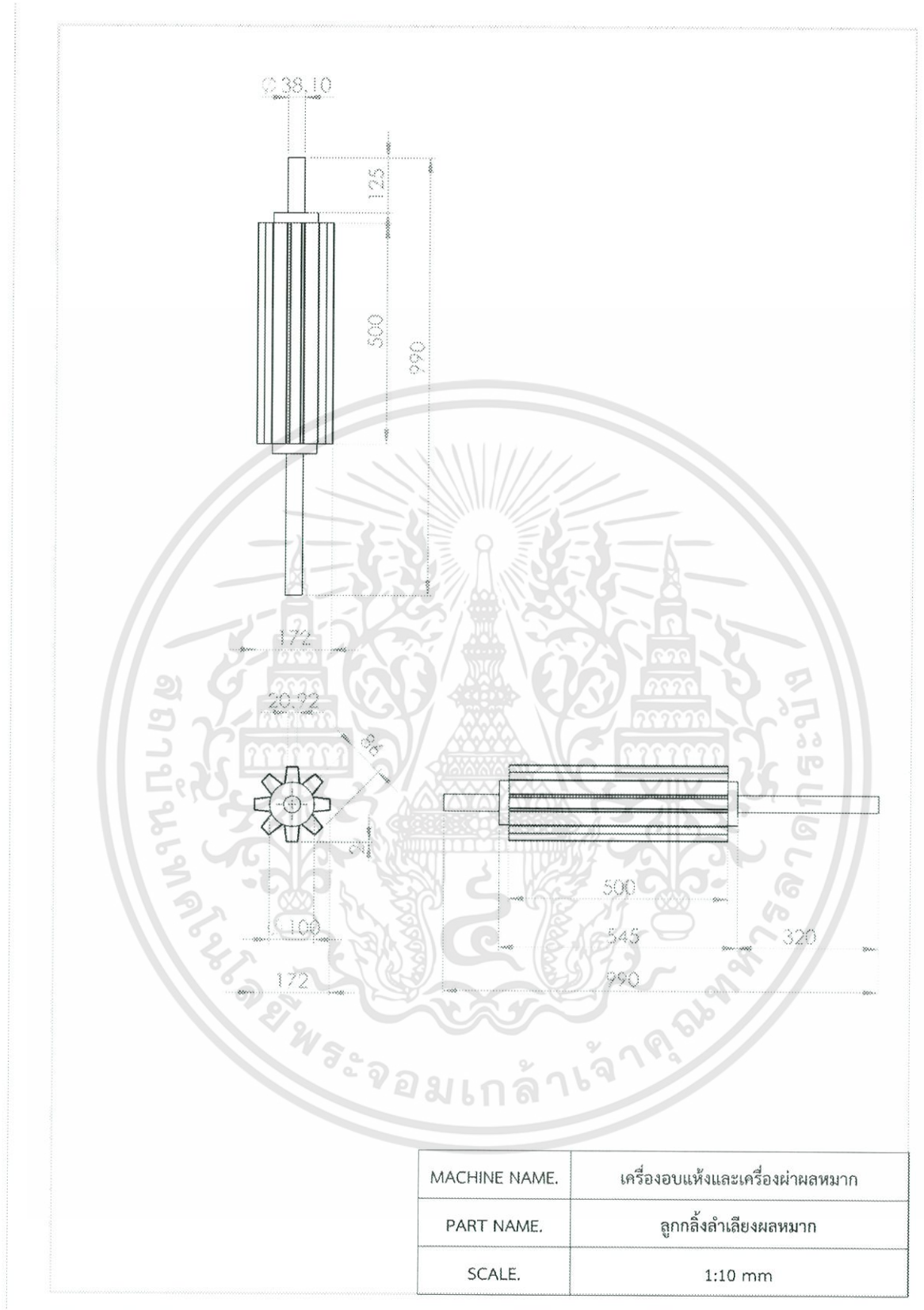
ภาพที่ ค5 โครงสร้างจานหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค6 โครงสร้างใบมีดผ่าลมหมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ค7 โครงสร้างลูกกลิ้งลำเลียงผลหมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การอบแห้งผลหมากด้วยอินฟราเรดร่วมกับถาดหมุน Infrared Drying of Betel Nuts Combined with Revolved Tray

นฤปติ ศรีสังข์<sup>1</sup> ณัฐนันท์ มุงคุนแสน<sup>2</sup> และ พิรภัทร ปานมณี<sup>2</sup>  
Srisang, N.<sup>1</sup>, Mungkhunsan, N.<sup>2</sup> and Panmanee, P.<sup>2</sup>

### Abstract

Currently, decrease betel nuts (BN) moisture is by sun drying which its qualities are hard to control. Hence, the effect of drying temperature and tray revolution velocity (TRV) by infrared drying on drying kinetics, BN cutting performance, and BN kernel color ( $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  values) of BN was investigated. The BN were packed in a cylindrical tray which it was rotated at TRV of 2, 4 and 6 rev/min. The BN moisture content could reduce from 150 to 15% (d.b.) when drying temperature was at 80, 100, and 120°C. The BN was cut a blade set which BN moisture content rapidly decreased with increasing the drying temperature and decreased TRV. Moreover, drying temperature and TRV did not affect the cutting performance that it value was about 68-70%. The  $L^*$  values of BN kernel was not different from the commercial BN kernel.

**Keywords:** betel nut, revolution velocity, infrared, cutting performance

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันปริมาณความชื้นผลหมากลดลงได้ด้วยวิธีการตากแดด ซึ่งควบคุมคุณภาพได้ยาก ดังนั้นการอบแห้งผลหมากด้วยอินฟราเรดจึงถูกศึกษาในเรื่องของผลกระทบบของอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วรอบถาดที่ส่งผลต่อจลนศาสตร์การอบแห้ง ประสิทธิภาพการผ่าผลหมาก และสีเนื้อหมาก (ค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$ ) ผลหมากถูกบรรจุในถาดทรงกระบอก ซึ่งหมุนด้วยความเร็วรอบ 2 4 และ 6 rev/min ผลหมากถูกลดความชื้นจาก 150 % (d.b.) ลงเหลือ 15% (d.b.) โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 80 100 และ 120°C และพบว่า ผลหมากที่ถูกผ่า มีความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นและความเร็วรอบถาดที่ลดลง นอกจากนี้พบว่าอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วรอบถาดไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผ่า ซึ่งมีประสิทธิภาพการผ่าประมาณ 68-70% เนื้อหมากมีค่า  $L^*$  ไม่แตกต่างกับเนื้อหมากเชิงการค้า

**คำสำคัญ:** หมาก ความเร็วรอบ อินฟราเรด ประสิทธิภาพการผ่า

### คำนำ

หมากเป็นผลผลิตทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลายทั้งในรูปของการบริโภคภายในครัวเรือน หรือใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสี และพอกหนังในภาคอุตสาหกรรม ผลหมากไม่จำเป็นในรูปของหมากสดหรือหมากแห้งถูกส่งออกเพื่อนำรายได้เข้าสู่ประเทศ โดยในปี 2557 มีการส่งออกหมากสดและหมากแห้ง เป็นปริมาณ 22,840 เมตริกตัน คิดเป็นมูลค่า 787,895,000 บาท (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2557) ขั้นตอนในการผลิตหมากแห้งโดยทั่วไปเริ่มจากนำผลหมากสุกหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีความชื้นสูงไปลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดดประมาณ 3 สัปดาห์ จากนั้นนำผลหมากไปผ่าซีกด้วยมีด และแยกเปลือกหมากออก สุดท้ายนำเนื้อหมากไปตากแดดประมาณ 7 วัน ซึ่งความชื้นจะลดลงเหลือ 12-15% มาตรฐานแห้ง (Dried basis, d.b.) รวมใช้เวลาในการผลิตหมากแห้งประมาณ 1 เดือน ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวค่อนข้างนานส่งผลให้ไม่สามารถผลิตหมากแห้งได้เพียงพอต่อความต้องการของตลาด และวิธีการผลิตหมากแห้งดังกล่าวควบคุมคุณภาพของหมากหลังอบแห้งได้ยาก เนื่องจากการอบแห้งในระบบเปิด ทำให้อาจเกิดการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกจากภายนอก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสร้างเครื่องอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับถาดหมุน เพื่อศึกษาผลกระทบบของอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วรอบถาดที่ส่งผลต่อจลนศาสตร์การอบแห้ง ประสิทธิภาพการผ่าผลหมาก และสีเนื้อหมาก (ค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$ )

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ชุมพร 86160

<sup>1</sup> Department of Energy Engineering, KingMongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon 86160

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ชุมพร 86160

<sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, KingMongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon 86160

## อุปกรณ์และวิธีการ

ในการทดลองใช้หมากสุกที่เก็บเกี่ยวในจังหวัดชุมพร ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผลหมากเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3-5 cm นำผลหมากมาซึ่งน้ำหนักและคำนวณหาค่าความชื้นเริ่มต้นของผลหมากก่อนอบแห้ง จากนั้นนำผลหมากมาใส่ในถาดหมุน ซึ่งมีลักษณะเป็นถาดทรงกระบอก นาถาดหมุนที่บรรจุผลหมากเรียบร้อยแล้วไปติดตั้งภายในเครื่องอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรด ดังแสดงใน Figure 1a เครื่องอบแห้งมีขนาด  $0.7 \times 0.7 \times 0.98 \text{ m}^3$  ส่วนประกอบหลักของเครื่องอบแห้งดังแสดงใน Figure 1b ซึ่งประกอบไปด้วย ห้องอบแห้ง (Drying chamber) ที่บริเวณผนังด้านในของห้องอบแห้งมีการติดตั้งหลอดอินฟราเรดขนาด 1,000 W จำนวน 3 หลอด (ดังแสดงใน Figure 1c) ถาดหมุน (Revolved tray) จำนวน 8 ถาด (สามารถบรรจุผลหมากได้ ประมาณ 90 ผล) หมุนรอบแกนหมุนที่ติดตั้งบริเวณกึ่งกลางห้องอบแห้ง มอเตอร์ขนาด 1 HP สำหรับขับเคลื่อนถาดหมุน มอเตอร์ขนาด 2 HP สำหรับขับเคลื่อนใบมีดผ่าหมาก กล่องควบคุม (Control box) สำหรับควบคุมอุณหภูมิอบแห้งและควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ถาดป้อน (Feeding tray) สำหรับลำเลียงผลหมากเข้าสู่ชุดใบมีด ผลหมากถูกอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 100 และ  $120^{\circ}\text{C}$  ที่ความเร็วรอบของถาดหมุน 2 4 และ 6 rev/min อบแห้งตามเวลาที่กำหนด จากนั้นนำผลหมากที่ผ่านการอบแห้งมาซึ่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาค่าความชื้นหลังอบแห้ง โดยความชื้นสุดท้ายของผลหมากที่ต้องการอยู่ที่ประมาณ 15% (d.b.) ผลหมากหลังการอบแห้งถูกนำมาผ่าด้วยชุดใบมีดที่หมุนด้วยความเร็วรอบ 25 rev/min นำค่าความชื้นของผลหมากที่คำนวณได้หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วรอบที่กำหนดมาวิเคราะห์หาจลนศาสตร์ของการอบแห้งผลหมาก ประสิทธิภาพการผ่าหมากหลังการอบแห้งด้วยชุดใบมีดประเมินจากจำนวนของผลหมากที่สามารถผ่าได้เทียบกับจำนวนผลหมากที่ป้อนเข้าสู่ชุดใบมีด สีของเนื้อหมากหลังการอบแห้งวัดด้วยเครื่องวัดสี Konica Minolta Charoma Meter CR-400 โดยสีของเนื้อหมากจะนำไปเปรียบเทียบกับสีของเนื้อหมากที่ได้จากวิธีการตากแดด ซึ่งเป็นสีของเนื้อหมากที่ยอมรับในท้องตลาด ผลการทดลองทั้งหมดได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

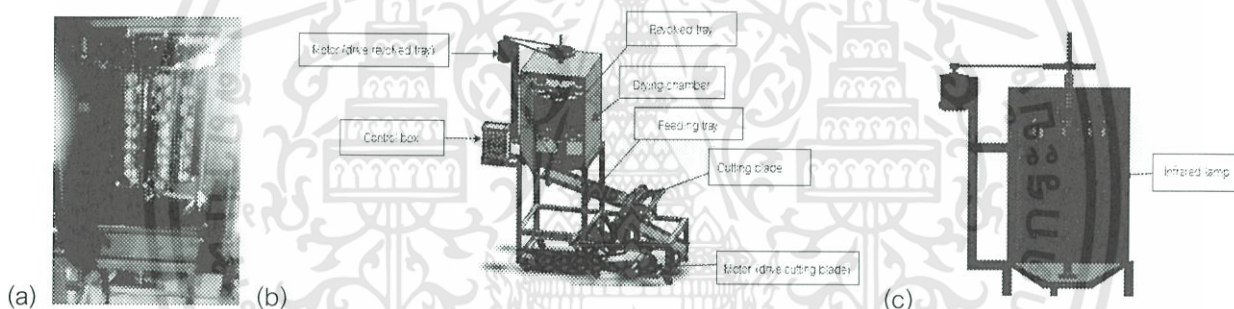


Figure 1 (a) Revolved tray (b) Betel nut dryer and (c) Installation of infrared lamp.

## ผลการทดลอง

Figure 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผลหมากหลังการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 80 100 และ  $120^{\circ}\text{C}$  ร่วมกับการหมุนของถาดที่ความเร็วรอบ 2 4 และ 6 rev/min พบว่า ความชื้นเริ่มต้นของผลหมากมีค่าประมาณ 150% (d.b.) ปริมาณความชื้นของผลหมากมีการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นการอบแห้ง จากนั้นปริมาณความชื้นจะลดลงอย่างช้าๆ ตามเวลาอบแห้งที่เพิ่มขึ้นจนถึงค่าความชื้นที่ต้องการที่ 15% (d.b.) อุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การลดลงของปริมาณความชื้นเร็วขึ้นและทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลง โดยที่อุณหภูมิอบแห้ง  $120^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลาอบแห้งสั้นที่สุดในช่วง 12-14 h ในขณะที่อุณหภูมิอบแห้ง 80 และ  $100^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลาอบแห้งอยู่ในช่วง 36-44 h และ 20-24 h ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลกระทบของความเร็วรอบของถาดหมุน พบว่า ความเร็วรอบของถาดหมุนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การลดลงของปริมาณความชื้นช้าลงและทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วรอบของถาดหมุนที่ 2 rev/min ในทุกอุณหภูมิอบแห้งที่ศึกษามีการลดลงของปริมาณความชื้นเร็วที่สุด และการลดลงของปริมาณความชื้นจะค่อยๆ ช้าลงเมื่อความเร็วรอบของถาดหมุนเพิ่มเป็น 4 และ 6 rev/min ตามลำดับ

Figure 3 แสดงประสิทธิภาพการผ่าผลหมากด้วยชุดใบมีด ผลหมากหลังอบแห้งที่ความเร็วรอบและอุณหภูมิที่ทำการศึกษา เมื่อนำมาผ่าด้วยชุดใบมีด พบว่า ประสิทธิภาพการผ่าผลหมากมีค่าสูงสุดประมาณ 70% เมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้ง 80 100 และ  $120^{\circ}\text{C}$  และใช้ความเร็วรอบของถาดหมุน 4 และ 6 rev/min ยกเว้นที่อุณหภูมิอบแห้ง  $120^{\circ}\text{C}$  และความเร็วรอบ 4 rev/min ประสิทธิภาพการผ่าผลหมากมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 68% เมื่อใช้ความเร็วรอบต่ำกว่า 4 rev/min ในทุกอุณหภูมิอบแห้งที่ทำการศึกษา อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการผ่าผลหมากไม่มีความแตกต่างอย่างเด่นชัดในหลายๆเงื่อนไขที่ทำการศึกษา แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วรอบของถาดหมุนไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผ่าผลหมากด้วยชุดใบมีด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 4a แสดงภาพของเนื้อหมากที่ยอมรับได้ในท้องตลาด ซึ่งถูกทำให้แห้งด้วยวิธีการตากแดดและนำมาผ่าด้วยมีดเปรียบเทียบกับเนื้อหมากที่ถูกทำให้แห้งด้วยอินฟราเรดและนำมาผ่าด้วยชุดใบมีดดังแสดงใน Figure 4b ลักษณะของเนื้อหมากที่ได้หลังการผ่าด้วยมีดและหลังการผ่าด้วยชุดใบมีดที่หมุนด้วยความเร็วรอบ 25 rev/min มีลักษณะที่คล้ายกัน คือ รอยผ่าไม่เรียบและเนื้อหมากมีการแตกหักหรือบิ่นไปบางส่วน เมื่อพิจารณาค่าสีของเนื้อหมากดังแสดงใน Table 1 พบว่า สีของเนื้อหมากหลังการอบแห้ง ในช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนอบแห้ง โดยค่า  $L^*$  เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่  $a^*$  และ  $b^*$  ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของเนื้อหมากหลังการอบแห้งด้วยอินฟราเรดกับค่าสีของเนื้อหมากที่ตากแดด พบว่า ค่า  $L^*$  ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่า  $a^*$  ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  และความเร็วรอบ 6 rev/min และค่า  $b^*$  เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นที่อุณหภูมิ  $120^{\circ}\text{C}$  ในทุกความเร็วรอบของอุณหภูมิและที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  และความเร็วรอบ 6 rev/min

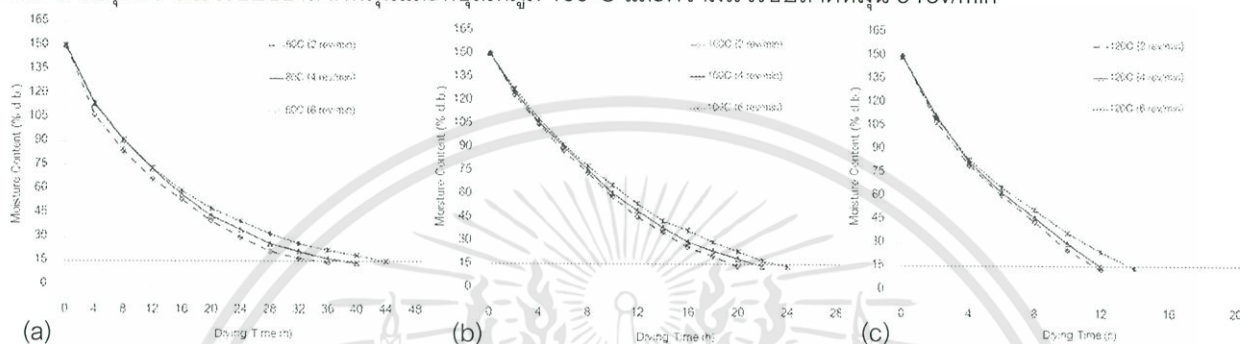


Figure 2 Drying kinetic of betel nut at drying temperature of (a)  $80^{\circ}\text{C}$  (b)  $100^{\circ}\text{C}$  and (c)  $120^{\circ}\text{C}$

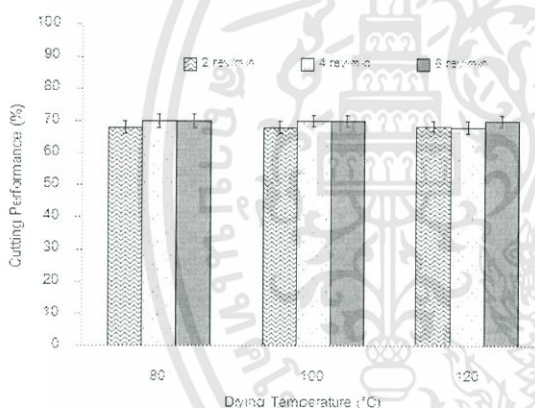


Figure 3 Cutting performance of cutting blade



Figure 4 Betel nut (a) after sun drying and cut up by knife and (b) after infrared drying and cut up by cutting blade

### วิจารณ์ผล

ความชื้นของผลหมากลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นของการอบแห้ง เนื่องจากรังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลหมากได้โดยไม่ต้องผ่านตัวกลาง ส่งผลให้ผลหมากมีอุณหภูมิสูงขึ้นและทำให้ความชื้นที่บริเวณผิวระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้รังสีอินฟราเรดยังแทรกซึมเข้าไปในผลหมาก ซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้ความชื้นที่อยู่ภายในเกิดการแพร่ออกมาที่ผิวและระเหยออกไปอีกด้วย ในช่วงท้ายๆของการอบแห้ง ความชื้นค่อยๆลดลงอย่างช้าๆ ตามเวลาอบแห้งที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณความชื้นทั้งที่ผิวและภายในผลหมากลดต่ำลง โดยความชื้นส่วนใหญ่จะอยู่ภายในผลหมาก ซึ่งความชื้นภายในจะเคลื่อนที่ออกมาด้วยการแพร่ก่อนที่จะเกิดการระเหยที่ผิว ทำให้การถ่ายโอนความชื้นต้องใช้เวลานานขึ้น และส่งผลให้การลดลงของความชื้นช้าลง (Tirawanichakul et al., 2012) ปริมาณความชื้นลดลงเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากสัมประสิทธิ์การแพร่ที่เพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิอบแห้ง ส่งผลให้ความชื้นสามารถแพร่ออกมาที่ผิวได้เร็วขึ้น ความเร็วรอบของพัดลมที่ลดลงส่งผลให้ความชื้นลดลงเร็วขึ้นเนื่องจากผลหมากมีการเคลื่อนที่ช้าลงและสามารถรับความร้อนจากรังสีอินฟราเรดได้เต็มที่ ประสิทธิภาพการผ่าผลหมากในการศึกษานี้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ นัสสรและคณะ (2557) ซึ่งรายงานถึงประสิทธิภาพการผ่าผลหมากแห้งเท่ากับ 60% ที่ความเร็วรอบของชุดใบมีด 1,400 rev/min วรพงษ์ภราททอง (2550) ได้รายงานถึงประสิทธิภาพการผ่าผลหมากสุกด้วยชุดใบมีด ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 75-90% ในขณะที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Balasubramanian และ Panwar (1986) ได้รายงานถึงความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการผ่าผลหมากแห้งควรอยู่ที่ 6% (d.b.) จึงจะทำให้สามารถปอกหรือผ่าผลหมากได้ง่าย จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการผ่าหมากมีความเกี่ยวข้องกับหลายปัจจัย เช่น ความเร็วรอบของชุดใบมีด ความสูงของผลหมาก และความชื้นของผลหมาก เป็นต้น สำหรับในการศึกษานี้ ประสิทธิภาพการผ่าผลหมากอาจจะสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยการเพิ่มความเร็วยรอบของชุดใบมีด หรือลดความชื้นสุดท้ายให้ต่ำลง การอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรดส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านสี ซึ่ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tirawanichakul et al. (2013) ซึ่งรายงานถึงสีของใบบวบที่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญหลังการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด

Table 1 Colour of betel nut after sun drying and infrared drying at temperature of (a) 80°C (b) 100°C and 120°C

Sample	Colour		
	L*	a*	b*
Before drying	39.13±0.98a	9.35±0.64d	17.69±0.49e
Commercial Betel Nut (Sun drying)	57.70±1.69b	5.16±1.66c	12.82±2.05ab
80°C (2 rev/min)	57.36±0.86b	4.35±0.24ab	14.07±0.24cd
80°C (4 rev/min)	56.95±0.73b	4.53±0.31ab	14.36±0.34d
80°C (6 rev/min)	56.94±0.95b	4.26±0.31ab	14.21±0.55cd
100°C (2 rev/min)	57.41±0.81b	3.96±0.47a	13.72±0.69cd
100°C (4 rev/min)	57.26±0.82b	4.22±0.26ab	13.75±0.66cd
100°C (6 rev/min)	57.07±0.93b	4.77±0.28bc	13.49±0.53bc
120°C (2 rev/min)	57.44±1.51b	4.27±0.34ab	12.10±0.57a
120°C (4 rev/min)	57.34±0.82b	4.52±0.30ab	13.50±0.81bc
120°C (6 rev/min)	57.19±0.74b	4.19±0.42ab	13.55±0.75bcd

a, b, c, d, e mean with different scripts in the same column are significantly different ( $p \leq 0.05$ ).

### สรุปผล

การอบแห้งผลหมากด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับถาดหมุนควรวอบที่อุณหภูมิ 100°C ร่วมกับความเร็วรอบของถาดหมุน 6 rev/min ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการผ่าผลหมากที่สูงและคุณภาพด้านสีใกล้เคียงกับสีของผลหมากที่ยอมรับในตลาด

### คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ที่สนับสนุนทุนวิจัย (เงินรายได้) อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการศึกษาวิจัยนี้

### เอกสารอ้างอิง

- ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2557, สถิติการค้าสินค้าเกษตรไทยกับต่างประเทศปี 2557, เอกสารวิชาการของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ, หน้า 29.
- นัสสรวิศา มีอินทร์, อัมพร กุญชรรัตน์ และ ธนรัตน์ แต้วัฒนา, 2557, การพัฒนาเครื่องคัดแยกขนาดและผ่าผลหมากด้วยเทคนิควิศวกรรมคุณค่า, วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา, ฉบับ 2:13-23.
- วรพงษ์ ภาวาทอง, 2550, การพัฒนาเครื่องผ่าผลหมากด้วยระบบไฟฟ้า, วิทยานิพนธ์ อส.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า), บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- Balasubramanian, M. and Panwar, J.S. 1986. Mechanical properties of arecanut (*Areca Catechu Linn*) as related to dehusking. *Journal of Agricultural Engineering (ISAE)* 23: 82-88.
- Tirawanichakul, S., Lamaepae, S. and Tirawanichakul, Y. 2012. Combined infrared/microwave and hot air drying for Jackfruit: kinetics, quality and sensory analysis. *Burapha Science Journal* 17: 117-129.
- Tirawanichakul, S., Chanchiew, S. and Tirawanichakul, Y. 2013. Pennywort drying using infrared: drying kinetics, energy consumption and quality aspect. *KKU Research Journal* 18: 311-324.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง

สรุปรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สรุปรายงานการใช้จ่ายเงิน ในระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี ประจำปีงบประมาณ 2558

หน่วยงาน วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ)

แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งและผ่าหามากด้วยรังสีอินฟราเรด

(ภาษาอังกฤษ) Design and Creation of Betel Nut Cutter and Dryer by Infrared Ray

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย (อ./ดร./ผศ./รศ./ศ.) ดร.นฤบดี ศรีสังข์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2557 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2558

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี - เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2557 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2558

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1 70,000 บาท 100%

2. สรุบบงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการก่อนขอปรับปรุง จำนวนเงิน (บาท)	งบประมาณรวมทั้งโครงการหลังขอปรับปรุง จำนวนเงิน(บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (บาท)
งบบุคลากร :ค่าจ้างชั่วคราว	-	-	-	-
งบดำเนินงาน				
ค่าตอบแทน	-	-	-	-
ค่าใช้สอย	16,000	43,900	43,900	0
ค่าวัสดุ	54,000	26,100	26,100	0
ค่าสาธารณูปโภค	-	-	-	-
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	-	-	-	-
รวม	70,000	70,000	70,000	0

นฤบดี ศรีสังข์

(นาย นฤบดี ศรีสังข์)

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

(นางสาวจรัสณี แสงหงษ์)

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน/เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายณฤบดี ศรีสังข์  
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Naruebodee Srisang
2. ตำแหน่ง อาจารย์
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์(e-mail)

- สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร 86160 โทรศัพท์ 08-1911-9769 e-mail: oat\_2520@hotmail.com และ [naruebodee.sr@kmitl.ac.th](mailto:naruebodee.sr@kmitl.ac.th)

### 4. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถานศึกษา
ปร.ด. (เทคโนโลยีพลังงาน)	2554	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วศ.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน)	2547	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2543	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

### 5. ประวัติการวิจัย

ปี/ ชื่อเรื่องที่ทำวิจัย	ชื่อผู้ทำวิจัย	ระยะเวลา	สถานะ	ผลงานที่เผยแพร่
2550: ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตใกล้เคียง	ปัญญา แดงวิไล ลักษณ์, ดิษฐพร ตุง โสธานนท์, <u>ณฤบดี ศรีสังข์</u> , วชร กาลา สี และ ไชยรัตน์ เพชรศิริ	1 ปี	ผู้ร่วมวิจัย	รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร (สนับสนุน งบประมาณวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ), 168 หน้า.
2551: การศึกษาการใช้ น้ำส้มควันไม้เคลือบแผ่น ยางก่อนนำไปอบแห้งด้วย เตาไมโครเวฟ แก๊สหุงต้ม และพลังงานแสงอาทิตย์	วชร กาลาสี, ปัญญา แดงวิไล ลักษณ์, <u>ณฤบดี ศรี สังข์</u> , ดิษฐพร ตุง โสธานนท์ และ ไชยรัตน์ เพชรศิริ	1 ปี	ผู้ร่วมวิจัย	รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร (สนับสนุน งบประมาณวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ), 145 หน้า.
2557: โครงการปรับปรุง และพัฒนาระบบวัดน้ำ	จำลอง ปราบแก้ว, ปัญญา แดงวิไล ลักษณ์, ศิริวรรณ พรรณราย, <u>ณฤบดี ศรีสังข์</u> , ศรีรัตน์ ช่วยบุญ, วารุณี ลิ้ม	10 เดือน	ผู้ร่วมวิจัย	รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (สนับสนุนงบประมาณวิจัย จาก กรมพัฒนาพลังงาน ทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	มัน และไซยรัตน์ เพชรศิริ			
2557: การอบแห้งเมล็ดธัญพืชด้วยเทคนิคหลอดฮาโลเจนร่วมกับฟลูอิดซ์เบด	นฤบดี ศรีสังข์ และปัญญา แดงวิไลลักษณ์	2 ปี (1 ต.ค. 2557-30 ก.ย 2559)	หัวหน้าโครงการวิจัย	อยู่ระหว่างการดำเนินงานวิจัย (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจาก กองทุนวิจัย สจล.)
2557: เครื่องผลิตข้าวไร้งอก	นฤบดี ศรีสังข์, ศิริวรรณ พรรณราย และณัฐพงศ์ รัตนเดช	1 ปี (1 ต.ค. 2557-30 ก.ย 2558)	หัวหน้าโครงการวิจัย	อยู่ระหว่างการทำเล่มรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์(สนับสนุนงบประมาณวิจัยจาก กองทุนวิจัย สจล.)
2557: เครื่องกะเทาะเปลือกหมาก	นฤบดี ศรีสังข์	1 ปี (1 ต.ค. 2557-30 ก.ย 2558)	หัวหน้าโครงการวิจัย	อยู่ระหว่างการดำเนินงานวิจัย (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจาก กองทุนวิจัย สจล.)
2558: การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากทะเลลายปาล์มเปล่าร่วมกับดินฟอสเฟตเหลือทิ้ง	นฤบดี ศรีสังข์	1 ปี (1 ต.ค. 2558-30 ก.ย 2559)	หัวหน้าโครงการวิจัย	อยู่ระหว่างการดำเนินงานวิจัย (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2559)

6. งานวิจัยที่สนใจ: เทคโนโลยีพลังงานทดแทน และเทคโนโลยีการอบแห้ง

7. งานด้านวิชาการ: เรียบเรียงเอกสารประกอบการสอนรายวิชา 11126618 Energy and Environment

8. งานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

ระดับนานาชาติ

- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Sophonrarit, S. and Varayanond, W., 2008, "Fluidized bed drying of germinated brown rice", Proceedings of the 4th International Conference on Innovations in Food Processing Engineering and Technology, Asian Institute of Technology, December 2-4, Bangkok, Thailand.

- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Sophonrarit, S. and Varayanond, W., 2009, "Comparative study of germinated brown rice drying using hot air and superheated steam fluidized bed", Proceedings of the 6th Asia-Pacific Drying Conference (ADC2009), October 19-21, Bangkok, Thailand.

- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Sophonrarit, S. and Varayanond, W., 2010, "Effects of drying media and temperatures on the drying kinetics and quality attributes of germinated brown rice", Proceedings of the 17th International Drying Symposium (IDS 2010), October 3-6, Magdeburg, Germany.

- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Varayanond, W. and Sophonrarit, S., 2011, "Germinated brown rice drying by hot air fluidization technique", Drying Technology, Vol. 29, pp. 55-63.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Srisang, N., Varanyanond, W., Soponronnarit, S. and Prachayawarakorn, S., 2011, “Effects of heating media and operating conditions on drying kinetics and quality of germinated brown rice”, **Journal of Food Engineering**, Vol. 107, pp. 385-392.
- Srisang, N., Katkleang, T., Noopuk, N. and Chadarak, S., 2014, “Wooden Chopsticks Dryer”, **Proceeding of the ๗<sup>th</sup> International Conference on Agricultural Engineering**, 2<sup>nd</sup> April – 4<sup>th</sup> April (2014), Pranakhornsriayothanya, Thailand.
- Srisang, N., Pannaray, S., Thalarum, J., Puaknut, T. and Rodthongkeaw, W., 2015, “Fuel Briquette made of Biomass Mixed with Residual Bleaching Earth from Palm Oil Plant”, **Proceeding of the 8<sup>th</sup> International Conference on Agricultural Engineering**, 17<sup>th</sup> March – 19<sup>th</sup> March (2015), Bangkok, Thailand.
- Srisang, N., Soponronnarit, S., Thuwapanichayanan, R. and Prachayawarakorn, S., 2015, “Modelling heat and mass transfer induced stresses in germinated brown rice kernels during fluidized bed drying”, **Drying Technology**, Accept author version posted online 17 July.
- Phetkeri, C., Srisang, N., Chungcharoen, T. and Srisang, S., 2015, “Germinated Bambara Groundnut Manufacturing by Hot Air Fluidized Bed Drying Technique”, **Proceeding of the 6<sup>th</sup> TSME International Conference on Mechanical Engineering**, 16<sup>th</sup> December – 18<sup>th</sup> Demcember (2015), The Regent Cha-Am Beach Resort, Petchburi, Thailand.

#### ระดับชาติ

- นฤบดี ศรีสังข์, เพชรรัตน์ คุณานพรัตน์, ศิริชัย เทพา, พิชัย นามประกาย และรัตนชัย ไพรินทร์, 2547, “A Development of Solar for Brooding Broiler Chicks”, “**Innovation of Agricultural Engineering for Increasing The Product**” The 5<sup>th</sup> Thainational Association of Agricultural Engineering Conference, April 26-30, Bangkok, Thailand.
- นฤบดี ศรีสังข์, ทรงธรรม ไชยพงษ์, ปราโมทย์ กุศล, วชร กาลาสี, 2549, “ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคผงขอลักของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต”, **นเรศวรวิจัยครั้งที่ 2**, กรกฎาคม 26-28, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก
- วชร กาลาสี, นฤบดี ศรีสังข์, ภัทร สุพัตกุล และ พีระพงศ์ ทิมสกุล, 2549, “ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต: ส่วนที่ 1 อนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้ง”, **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20**, ตุลาคม 18-20, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา
- นฤบดี ศรีสังข์, จรัสชัย เย็นพยัป, พีระพงศ์ ทิมสกุล และ วชร กาลาสี, 2549, “ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคเขม่าควันของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต: ส่วนที่ 2 ผลกระทบของความต่างศักย์”, **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20**, ตุลาคม 18-20, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา
- ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, ดิษฐพร ตุงโสธานนท์, นฤบดี ศรีสังข์, วชร กาลาสี และ ไชยรัตน์ เพชรศิริ, 2550, “ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตใกล้เคียง”, **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)**, 168 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วชร กาลาสี, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, นฤบดี ศรีสังข์, ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ และ ไชยรัตน์ เพชรคีรี, 2551, “การศึกษาการใช้ผ้าสัมควินไม้เคลือบแผ่นยางก่อนนำไปอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟ แก๊สสูงต้ม และพลังงานแสงอาทิตย์”, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ), 145 หน้า.
- นฤบดี ศรีสังข์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และวารุณี วารัญญานนท์, 2553, “ผลกระทบของตัวกลางอบแห้งและอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอก”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ฉบับที่ 41(พิเศษ), เล่มที่ 3/1, หน้า 397-400.
- นฤบดี ศรีสังข์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และวารุณี วารัญญานนท์, 2552, “การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยฟลูอิดซ์เบดแบบอากาศร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่ง”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ฉบับที่ 40 (พิเศษ), เล่มที่ 3, หน้า 285-288.
- นฤบดี ศรีสังข์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และวารุณี วารัญญานนท์, 2552, “การอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยฟลูอิดซ์เบดแบบอากาศร้อน”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ฉบับที่ 40 (พิเศษ), เล่มที่ 1, หน้า 449-452.
- นฤบดี ศรีสังข์, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, ธีรศักดิ์ ดาวทอง, มนัส บุญศรี และ อนุชา สาเสน, 2556, “การอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยลมร้อนแบบฟลูอิดซ์เบดร่วมกับหลอดฮาโลเจน”, การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 11, สิงหาคม 22-23, โรงแรมโนโวเทล หัวหิน ชะอำ บีช รีสอร์ท แอนด์ สปา, เพชรบุรี
- นฤบดี ศรีสังข์, น้ำฝน กัณฑ์บุตร, ภัศรา วงศ์จินดา และ สุธาธิณี สามคำนิล, 2556, “เครื่องผลิตข้าวเปลือกงอก”, การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 11, สิงหาคม 22-23, โรงแรมโนโวเทล หัวหิน ชะอำ บีช รีสอร์ท แอนด์ สปา, เพชรบุรี
- นฤบดี ศรีสังข์, กิตติชัย ชูสิง, วศิน สมกาญจนา และ อภิสิทธิ์ ศรีไสยเพ็ชร, 2557, “เครื่องอบแห้งและกะเทาะหมาก”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ฉบับที่ 45 (พิเศษ), เล่มที่ 2, หน้า 489-492.
- นฤบดี ศรีสังข์, ไชยรัตน์ เพชรคีรี, อัครภาส สมหวัง, ศุภกฤต เลิศล้ำมงคล และ ณรงค์ชัย ชีวะธรรมรัตน์, 2558, “การอบแห้งถั่วหรั่งงอกด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดแบบอากาศร้อน”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ฉบับที่ 46 (พิเศษ), เล่มที่ 3, หน้า 457-460.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้