



การเพิ่มประสิทธิภาพของห้องอบยางพาราแผ่น
OPTIMIZATION OF THE PARA RUBBER SHEET DRYING ROOM

ธนโชติ โชติชโลธร

TANACHOT CHOTCHALOTHON

ยูวี ทะยิมามะ

UWEE HAJIMAMAT

อภิชาติ แก้วสุวรรณ

APICHART KAEWSUWAN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



OPTIMIZATION OF THE PARA RUBBER SHEET DRYING ROOM



TANACHOT CHOTCHALOTHON

UWEE HAJIMAMAT

APICHART KAEWSUWAN

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON

2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

DEPARTMENT OF ENGINEERING



KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การเพิ่มประสิทธิภาพของห้องอบยางพาราแผ่น
Project Title OPTIMIZATION OF THE PARA RUBBER SHEET DRYING ROOM
ชื่อนักศึกษา ธนโชติ โชติชโลธร รหัสประจำตัว 61512010
ยูวี หะยีมามะ รหัสประจำตัว 61512016
อภิชาติ แก้วสุวรรณ รหัสประจำตัว 61512024
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช
ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ปัญญา	แดงวิไลลักษณ์	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.ปราโมทย์	กุลล	กรรมการสอบ	
ดร.วิสิทธิ์	เอกวานิช	อาจารย์ที่ปรึกษา	วิสิทธิ์ เอกวานิช

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 29 มิถุนายน 2564 เวลา 13.00 – 16.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องประชุมออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุลล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ กรกฎาคม พ.ศ. 2564

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพของห้องอบยางพาราแผ่น	
ชื่อนักศึกษา	ธนโชติ โชติชโลธร	รหัสประจำตัว 61512010
	ยูวี หะยีมามะ	รหัสประจำตัว 61512016
	อภิชาติ แก้วสุวรรณ	รหัสประจำตัว 61512024
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช	
ปริญญานิพนธ์		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพของห้องอบยางพาราแผ่น โดยการติดตั้งแผ่นบังคับการไหล (Pass divider) ของลมร้อนที่ทางเข้าห้องอบยางพาราแผ่นและท่อหมุนเวียน (Circulation pipe) นำอากาศร้อนที่ทางออกห้องอบยางพาราแผ่นกลับมาใช้ใหม่ ทดสอบอบแผ่นยางพารา จำนวน 10 แผ่น ขนาด 42x85 ตารางเซนติเมตร หนา 3 มิลลิเมตร กำหนดอุณหภูมิของลมร้อนทางเข้าห้องอบยางพาราแผ่น 55-60 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหล 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า กรณีห้องอบยางพาราแผ่นที่ติดตั้งแผ่นบังคับการไหลของลมร้อนที่ทางเข้าห้องอบยางพาราแผ่นที่ไม่มีการนำอากาศร้อนที่ทางออกห้องอบยางพาราแผ่นกลับมาใช้ใหม่ สามารถอบยางพาราแผ่นจนได้เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ต่ำกว่า 1.5 มาตรฐานแห้งใช้เวลาเฉลี่ย 65 ชั่วโมง ที่อัตราการอบแห้งเฉลี่ย $0.576 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{h}$ และมีค่าพลังงานไฟฟ้าของฮีตเตอร์ 295.75 กิโลวัตต์ ซึ่งพบว่ากรณีที่นำอากาศร้อนที่ทางออกห้องอบยางพาราแผ่นกลับมาใช้ใหม่ที่อัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์สามารถอบยางพาราแผ่นจนได้เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ต่ำกว่า 1.5 มาตรฐานแห้งใช้เวลาเฉลี่ย 55 ชั่วโมง ที่อัตราการอบแห้งเฉลี่ย $0.676 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{h}$ และมีค่าพลังงานไฟฟ้าของฮีตเตอร์ 206.25 kWh ดังนั้นห้องอบยางพาราแผ่นที่ติดตั้งแผ่นบังคับการไหลของลมร้อนที่ทางเข้าห้องอบยางพาราแผ่นกรณีที่นำอากาศร้อนที่ทางออกห้องอบยางพาราแผ่นกลับมาใช้ใหม่จะใช้เวลาในการอบแห้งและค่าพลังงานที่น้อยกว่าห้องอบยางพาราแผ่นทั่วไป โดยคุณภาพทางกายภาพของยางพาราแผ่นมีคุณภาพใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: ยางพาราแผ่น, ลมร้อน, แผ่นบังคับการไหล, ท่อหมุนเวียน

Project Title	OPTIMIZATION OF THE PARA RUBBER SHEET DRYING ROOM	
Student	TANACHOT CHOTCHALOTHON	Student ID 61512010
	UWEE HAJIMAMAT	Student ID 61512016
	APICHART KAEWSUWAN	Student ID 61512024
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering	
Project Advisor	Dr.Visit Eakvanich	

ABSTRACT

The objective of this project was optimization of the para rubber sheet drying room by using the pass divider to control an inlet hot air direction, and the circulation pipe to carry some outlet hot air from the rubber sheet drying room back to the process. In this study, the hot air temperature was controlled in the range of 55 to 60 degree Celsius with 20 cubic meter per hours of volume flow rate for 10 rubber sheets (42x85 centimeter and thickness of 3 millimeter). The results shown that, in the case of not using the circulation hot air from the rubber sheet drying room back to the process, the operate time was 65 hours with an average drying rate of 0.576 kg_{water}/h, and 295.75 kWh of the electric heater power consumption for 1.5% dry-basis of the rubber sheet. Furthermore, in the case of using 20% of the circulation hot air from the rubber sheet drying room back to the process, the operating time decreased to 55 hours with an average drying rate of 0.676 kg_{water}/h, and 206.25 kWh of the electric heater power consumption. Thus, the rubber sheet drying room by using the pass divider and the circulation pipe used the lower operating time and energy consumption, which was comparable with the conventional rubber sheet drying room. Moreover, the physical quality of rubber sheets were not much different.

Keywords: Para rubber sheet, Hot air, Pass divider, Circulation pipe

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเป็นความกรุณาจากบุคคลหลายท่าน โดยเฉพาะอาจารย์
ที่ปรึกษา ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดถึงความรู้ใน
ด้านต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณนายกิจจจร อนันต์กลยุทธ ที่ให้คำปรึกษาด้านการจัดการจัดหายางพาราแผ่น
สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณและเคารพอย่างยิ่ง ที่ให้การสนับสนุนใน
ด้านการศึกษาตลอดมาจนทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในงานวิจัยนี้

ธนโชติ โชติชโลธร
ยูวี หะยีมามะ
อภิชาติ แก้วสุวรรณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ	2
1.6 แผนการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ความรู้เกี่ยวกับยางพารา	5
2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	5
2.3 พันธุ์ยางที่แนะนำสำหรับเกษตรกรทั่วไป	6
2.4 ลักษณะของยางแผ่นคุณภาพดี	6
2.5 ส่วนประกอบของน้ำยางพารา	7
2.6 ยางแผ่นผึ่งแห้ง	8
2.7 พื้นฐานการอบแห้ง	10
2.8 การคำนวณ	19
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	23
3.1 การออกแบบตู้อบยางพาราแผ่น	23
3.2 การสร้างตู้อบยางพาราแผ่นด้วยลมร้อน	24
3.3 การต่อระบบไฟฟ้าและวงจรไฟฟ้า	29
3.4 แผนผังระบบไฟฟ้าในตู้ควบคุม	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 ขั้นตอนการทดลอง	33
บทที่ 4 ผลการทดลอง	35
4.1 การศึกษาผลของแผ่นบังคับการไหล(Pass Divider) ต่อการกระจายตัวของลมร้อน นเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับยางแผ่นผึ่งแห้ง	35
4.2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับยางแผ่นผึ่งแห้ง	40
4.3 ผลการทดสอบการสิ้นเปลืองพลังงาน	42
4.4 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นยางพาราหลังจากอบแห้ง	42
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	44
5.1 สรุปผลการทดลอง	44
5.2 ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาต่อ	44
เอกสารอ้างอิง	45
ภาคผนวก	48
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ	49
ภาคผนวก ข ออกแบบและสร้างเครื่อง	55
ภาคผนวก ค ตารางข้อมูลการทดลอง	67
ภาคผนวก ง มาตรฐานยางแผ่นดิบ	92
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลของระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	95

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางระยะเวลาดำเนินการ	4
ก.1 ตารางต้นทุนการผลิต (Fixed Cost)	51
ค.1 ตารางบันทึกผลความชื้นครั้งที่ 1	68
ค.2 ตารางบันทึกผลความชื้นครั้งที่ 2	71
ค.3 ตารางบันทึกผลความชื้นครั้งที่ 3	74
ค.4 ตารางบันทึกผล อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังคับการไหลทำมุม 45° ครั้งที่ 1	77
ค.5 ตารางบันทึกผล อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังคับการไหลทำมุม 45° ครั้งที่ 2	78
ค.6 ตารางบันทึกผล อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังคับการไหลทำมุม 45° ครั้งที่ 3	79
ค.7 ตารางบันทึกผล อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังคับการไหลทำมุม 90° ครั้งที่ 1	80
ค.8 ตารางบันทึกผล อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังคับการไหลทำมุม 90° ครั้งที่ 2	81
ค.9 ตารางบันทึกผล อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังคับการไหลทำมุม 90° ครั้งที่ 3	82
ค.10 ตารางบันทึกผล อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังคับการไหลทำมุม 135° ครั้งที่ 1	83
ค.11 ตารางบันทึกผล อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังคับการไหลทำมุม 135° ครั้งที่ 2	84
ค.12 ตารางบันทึกผล อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังคับการไหลทำมุม 135° ครั้งที่ 3	85
ค.13 ตารางแสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอย่างแผ่นฝั่งแห้งภายในของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่สภาวะคงตัว (Steady state)	86
ค.14 ตารางบันทึกค่าความชื้นในแผ่นยาง	86
ค.15 ตารางบันทึกอัตราการแห้ง	89

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานการออกแบบและสร้างเครื่องอบยางพาราแผ่นด้วยลมร้อน	3
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของยางพารา	8
รูปที่ 2.2 แสดงแผนภูมิน้ำประเภตต่างๆ ในวัตถุขึ้น	11
รูปที่ 2.3 sorption isotherm ของผลิตผลการเกษตรทั่วไป	13
รูปที่ 2.4 แสดงการแปรค่าของความร้อนแฝงของผลิตผลการเกษตร	14
รูปที่ 2.5 แสดงแผนภูมิอากาศขึ้นและการเปลี่ยนแปลงสมบัติของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง	15
รูปที่ 2.6 แสดงการถ่ายเทมวลและความร้อนในการอบแห้ง	16
รูปที่ 2.7 แสดงการลดลงของความชื้นในการอบแห้งผลิตผลการเกษตรทั่วไป	17
รูปที่ 2.8 แสดงอัตราการแห้งของผลิตผลการเกษตรระหว่างการอบแห้ง	17
รูปที่ 3.1 ตู้อบแห้งยางพาราแผ่นที่ออกแบบด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS 2019	23
รูปที่ 3.2 ตู้อบยางพาราแผ่น	24
รูปที่ 3.3 ตะแกรงแขวนยางพาราแผ่น	24
รูปที่ 3.4 แผ่นบังคับการไหลปรับเปลี่ยนทิศทางลม	25
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความชื้นภายในตู้ Kestel DROP	25
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความชื้นในอากาศ	25
รูปที่ 3.7 ฉนวนกันความร้อนอลูมิเนียมฟรอยล์	26
รูปที่ 3.8 เทอร์โมคัปเปิล	26
รูปที่ 3.9 ฮีตเตอร์	27
รูปที่ 3.10 เครื่องเป่าลม	27
รูปที่ 3.11 เครื่องวัดความเร็วลม	28
รูปที่ 3.12 เครื่องอ่านค่าเทอร์โมคัปเปิล	28
รูปที่ 3.13 ท่อหมุนเวียน	29
รูปที่ 3.14 อุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า	29
รูปที่ 3.15 เบรกเกอร์	30
รูปที่ 3.16 รีเลย์	30
รูปที่ 3.17 ชุดควบคุมอุณหภูมิ	31
รูปที่ 3.18 แผนผังวงจรไฟฟ้า	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งข้อมูล ระบายที่ 1 ถึง ระบายที่ 6	35
รูปที่ 4.2 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นแบบลมร้อน กรณีที่ไม่มีแผ่นบังคับการไหล	36
รูปที่ 4.3 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นแบบลมร้อน กรณีที่ใช้แผ่นบังคับการไหลที่ทำมุม 90°	37
รูปที่ 4.4 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นแบบลมร้อน กรณีที่ใช้แผ่นบังคับการไหลที่ทำมุม 45° หรือ 135°	38
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของแผ่นบังคับการไหล ที่ทำมุม 45° 90° และ 135° แบบไม่มีไหล	39
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของแผ่นบังคับการไหล ที่ทำมุม 45° 90° และ 135° แบบมีไหล	39
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในยางพาราแผ่นเทียบกับเวลา	40
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์อัตราแห้งเทียบกับเวลา	41
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าต่อเวลา	42
รูปที่ 4.10 แผ่นยางพาราที่ผ่านการอบ 10 ซม.	42
รูปที่ 4.11 แผ่นยางพาราที่ผ่านการอบ 20 ซม.	42
รูปที่ 4.12 แผ่นยางพาราที่ผ่านการอบ 34 ซม.	43
รูปที่ 4.13 แผ่นยางพาราที่ผ่านการอบ 55 ซม.	43
รูปที่ ข.1 แบบร่างตู้อบแห้งลมร้อน	56
รูปที่ ข.2 แบบจำลอง 3 มิติของตู้อบแห้งยางพาราแผ่น	56
รูปที่ ข.3 ชั้นรูปท่อนวนอากาศกลับมาใช้ใหม่	57
รูปที่ ข.4 ชั้นรูปโครงและตะแกรงตากแผ่นยาง	57
รูปที่ ข.5 ติดตั้งสั้งกะสีรอบๆตู้อบ	57
รูปที่ ข.6 เชื่อมฐานกล่องฮีตเตอร์	58
รูปที่ ข.7 แผ่นบังคับการไหล	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ ข.8 ชุดกลไกการปรับองศาของแผ่นบังคับการไหล	59
รูปที่ ข.9 ปล่องไล่ความชื้นและหลังคาตู้	59
รูปที่ ข.10 ภายในตู้	60
รูปที่ ข.11 มุมมองด้านบนของตู้	60
รูปที่ ข.12 ชุดกล่องฮีตเตอร์หลังการติดตั้ง	61
รูปที่ ข.13 ตู้ที่เสร็จสมบูรณ์พร้อมตะแกรงตากแผ่นยาง	61
รูปที่ ข.14 ตู้ควบคุมการทำงานของตู้อบแผ่นยาง	62
รูปที่ ข.15 การตากยางพาราแผ่นบนตะแกรง1	62
รูปที่ ข.16 การตากยางพาราแผ่นบนตะแกรง2	63
รูปที่ ข.17 การจัดวางยางพาราแผ่นภายในตู้	63
รูปที่ ข.18 การปรับความเร็วลม	64
รูปที่ ข.19 การอ่านค่าเทอร์โมคัปเปิล	64
รูปที่ ข.20การจัดวางฮีตเตอร์แบบเก่า	65
รูปที่ ข.21 การจัดวางฮีตเตอร์แบบใหม่	65
รูปที่ ข.22 ตำแหน่งการวางฮีตเตอร์แบบใหม่	66
รูปที่ จ.1 แสดงข้อมูลของระบบไฟฟ้า1	96
รูปที่ จ.2 แสดงข้อมูลของระบบไฟฟ้า2	97

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมายสัญลักษณ์
A_D	คือ น้ำหนักตัวกรอง, g
B_D	คือ น้ำหนักตัวกรองพร้อมสิ่งสกปรก, g
W_D	คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบ, g
B_A	คือ น้ำหนักถ้วยทนความร้อน, g
A_A	คือ น้ำหนักถ้วยทนความร้อนพร้อมแก้ว, g
W_A	คือ น้ำหนักชิ้นทดสอบ, g
A_V	คือ น้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนอบ, g
B_V	คือ น้ำหนักชิ้นทดสอบหลังอบ, g
V_1	คือ ปริมาณสารละลายกรดกำมะถันที่ใช้ในการไนเตรทตัวอย่าง, ml
V_2	คือ ปริมาณสารละลายกรดกำมะถันที่ใช้ในการไนเตรท, ml
M_N	คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดกำมะถัน, โมลาร์
W_N	คือ น้ำหนักชิ้นทดสอบ, ml
PRI	คือ ดัชนีความอ่อนตัว (plasticity retention index)
P_0	คือ ค่ามัธยฐานความอ่อนตัวของยางชุดที่ไม่ได้ออบ
P_{30}	คือ ค่ามัธยฐานความอ่อนตัวของยางชุดที่ผ่านการอบ ที่อุณหภูมิ 140°C เป็น
M_W	คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก
M_d	คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง
m_w	คือ มวลของของเหลวในปริมาตรที่พิจารณา, kg
m_s	คือ มวลของของแข็งในปริมาตรที่พิจารณา, kg
a_w	คือ วอเตอร์แอกติวิตี
P	คือ ความดันไอน้ำในวัสดุชิ้น, Pa
P_0	คือ ความดันไอน้ำของน้ำอิสระ, Pa
a_w	คือ วอเตอร์แอกติวิตี
Rh	คือ ความชื้นสัมพัทธ์, %

L	คือ ความร้อนแฝงของวัตถุขึ้น, J/kg
L'	คือ ความร้อนแฝงของน้ำ, J/kg
M_d	คือ ความชื้นของวัตถุ, %db
a, b	คือ ค่าคงที่ขึ้นกับชนิดของวัตถุ
$P_{v, sur}$	คือ ความดันของไอน้ำที่ผิววัตถุ
P_v	คือ ความดันไอน้ำในอากาศ
$\frac{dm}{dt}$	คือ อัตราการแห้ง, kg/s
Hc	คือ การนำความร้อนของฟิล์มอากาศที่อยู่เหนือผิวผลผลิต, W/m ² -K
A	คือ พื้นที่ผิวของผลผลิต, m ²
L	คือ ความร้อนแฝงของน้ำในผลผลิต, J/kg
T_a	คือ อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง, °C
T_{sur}	คือ อุณหภูมิที่ผิวของผลผลิต, °C
M_e	คือ ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ของผลผลิต
M	คือ ความชื้นของผลผลิต
k	คือ ค่าคงที่การอบแห้ง (drying constant)
M_t	คือ ความชื้นขณะเวลา, t
M_e	คือ ความชื้นสมดุล
M_0	คือ ความชื้นเริ่มต้น
K	คือ ค่าคงที่การอบแห้ง
MR	คือ อัตราความชื้น
Mt	คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ, %dry – basis
M_{in}	คือ ความชื้นเริ่มต้น, %dry – basis
M_{eq}	คือ ความชื้นสมดุล
T	คือ อุณหภูมิ, K
RH	คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (decimal)
M_{in}	คือ ความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างก่อนอบแห้ง, kg
M_f	คือ ความชื้นสุดท้ายของตัวอย่างหลังอบแห้ง, kg
P	คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้, kW-h
W_d	คือ น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง, kg

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ และหนึ่งในนั้นก็คือ ยางพาราแผ่น ซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งทางภาคใต้ของประเทศไทย อีกทั้งยางพาราแผ่นยังเป็นวัสดุและส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่างๆ อีกมากมาย การที่เราจะได้ยางพาราแผ่นนั้นมีกรรมวิธีในการผลิตหลายรูปแบบและหนึ่งในนั้นคือการใช้ตู้อบแห้งลมร้อนโดยการพาความร้อนแบบบังคับ ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ผู้จัดทำได้สนใจการอบแห้งยางพาราแผ่นและได้ออกแบบและพัฒนาตู้อบแห้งยางพาราแผ่นเพื่อให้เกิดการย่นระยะเวลาและสะดวกสบายต่อเกษตรกร

ยางพาราแผ่นเกิดจากการเก็บเกี่ยวน้ำยางจากต้นยางพารา เติมสารเคมีและผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปให้เป็นแผ่นแล้วจึงนำไปตากแดดให้แห้ง เพื่อลดความชื้นและป้องกันการเกิดเชื้อราบนยางพาราแผ่น ถึงจะสามารถนำไปใช้งานหรือผ่านกระบวนการกรรมวิธีต่างๆ ในด้านอุตสาหกรรมเพื่อทำการแปรรูป ซึ่งตู้อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยลมร้อนโดยการพาความร้อนแบบบังคับของเราจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการลดความชื้นในยางพาราแผ่นโดยใช้วิธีการอบด้วยลมร้อน เนื่องจากการนำยางพาราแผ่นไปตากแดดนั้นใช้เวลาหลายวัน ทั้งระยะเวลาในการตากแดดก็ยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศ ซึ่งอาจจะทำให้คุณภาพของยางพาราแผ่นไม่ได้เป็นไปตามมาตรฐานยางพาราแผ่นดิบและทำให้เสียเวลา

กลุ่มของเราจึงได้พัฒนาตู้อบยางพาราแผ่นด้วยลมร้อนแบบบังคับโดยมีการเพิ่มในส่วนของท่อลมกลับ เนื่องจากปัญหาเกี่ยวกับความผันผวนของอุณหภูมิความร้อนและค่าความชื้นในการอบ ทำให้เกิดความยุ่งยากในการทำงาน อีกทั้งยังสามารถผลิตยางพาราแผ่นได้ตามปกติ แม้ว่าสภาพภูมิอากาศจะไม่เอื้ออำนวย กลุ่มของเราจึงได้สังเกตเห็นปัญหาตรงนี้และพัฒนาตู้อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยลมร้อนโดยการพาความร้อนแบบบังคับให้มีแผ่นบังคับการไหลสำหรับปรับทิศทางการไหลลมกลับ ทำให้การกระจายตัวและควบคุมความผันผวนของอุณหภูมิความร้อนดีขึ้น ซึ่งสามารถทราบได้จากอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในตู้ โดยการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล type K ไว้ในตำแหน่งที่ต้องการทั้งหมด 27 ตำแหน่ง โดยหลักการทำงานของตู้คือ การใช้ฮีตเตอร์แบบรังผึ้งขนาด 1,000 วัตต์จำนวน 4 ตัว เพื่อให้ความร้อน และเครื่องเป่าลมขนาด 3 นิ้ว ¾ แรงม้า เป่าลมผ่านฮีตเตอร์เพื่อสร้างลมร้อนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอบแห้ง 65 ชั่วโมงโดยต้องระวังไม่ให้แผ่นยางพาราเสียหายจากการได้รับความร้อนที่มากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของห้องอบยางพาราแผ่น
- 1.2.2 เพื่อทดสอบและหาค่าสมรรถนะของห้องอบยางพาราแผ่นแบบลมร้อนสำหรับยางพาราแผ่นผึ่งแห้งโดยการติดตั้งแผ่นบังค้ำการไหลและท่อหมุนเวียน

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 สามารถออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับยางพาราแผ่นผึ่งแห้ง
- 1.3.2 แผ่นบังค้ำการไหล (Pass divider) สามารถเพิ่มการกระจายตัวของลมร้อนในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับยางพาราแผ่นผึ่งแห้ง
- 1.3.3 ท่อหมุนเวียน (Circulation pipe) สามารถควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้มีค่าความผันผวนของอุณหภูมิน้อยลงและลดระยะเวลาที่ใช้
- 1.3.4 อุปกรณ์ควบคุมปริมาณลม (Damper) สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการอบโดยช่วยในการจัดการปริมาณความชื้นและปริมาณลมไหลกลับ

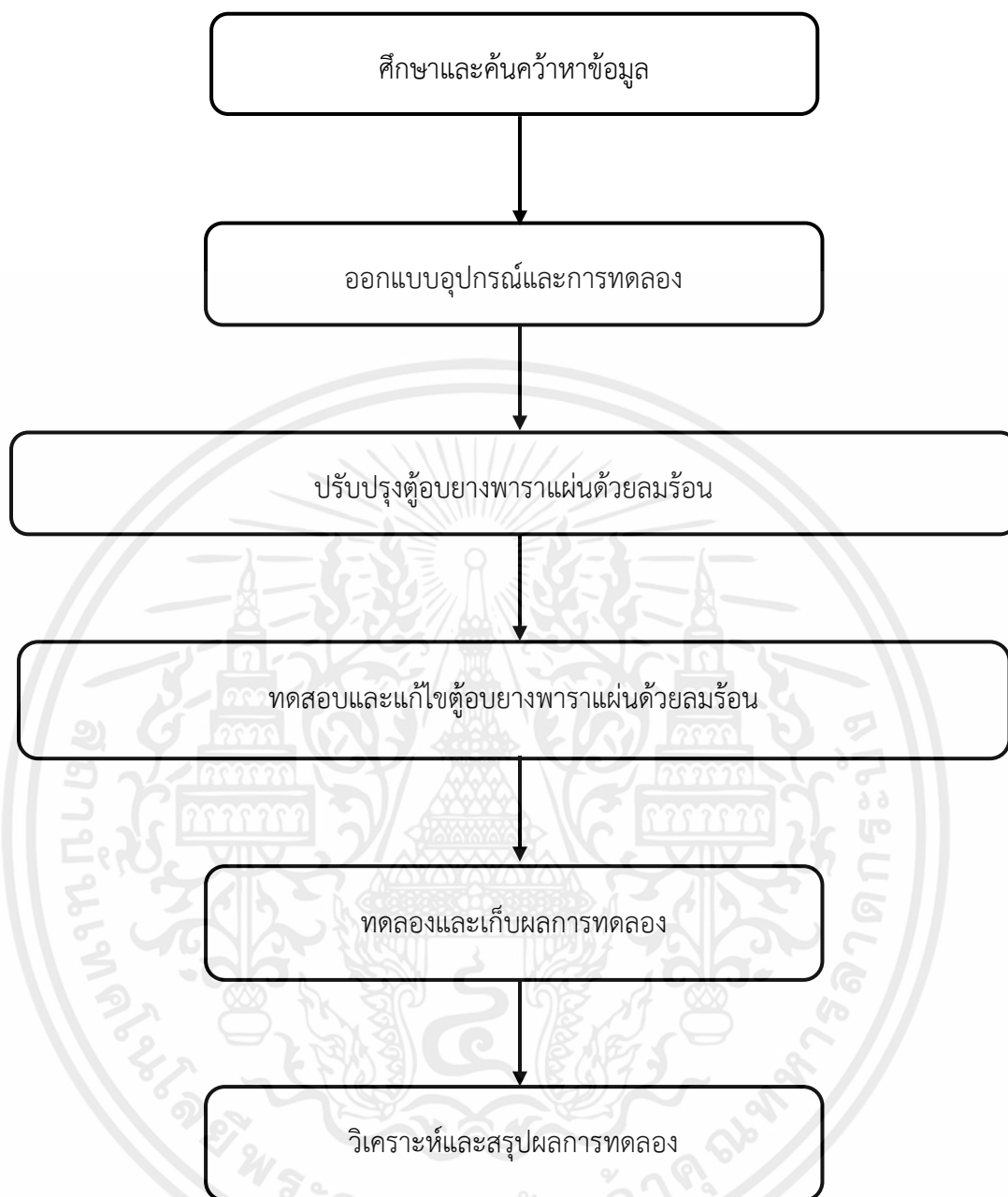
1.4 ขอบเขตของโครงการ

- 1.4.1 ทดสอบยางพาราแผ่น จำนวน 10 แผ่นต่อครั้ง ขนาด 42x85 เซนติเมตร ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
- 1.4.2 ความชื้นเริ่มต้นของยางพาราแผ่นผึ่งแห้งก่อนการอบแห้งมีค่าระหว่าง 30-40 % dry-basis
- 1.4.3 ความชื้นหลังการอบแห้งของยางพาราแผ่นผึ่งแห้งไม่เกิน 1.5 % dry-basis
- 1.4.4 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งในห้องอบยางพาราแผ่นผึ่งแห้งอยู่ในช่วง 55-60 องศาเซลเซียส
- 1.4.5 อัตราการไหลของลมร้อน 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ

- 1.5.1 กำหนดหัวข้อในการดำเนินโครงการ และสำรวจเอกสาร
- 1.5.2 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับยางพาราแผ่นผึ่งแห้ง
- 1.5.3 ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับยางพาราแผ่นผึ่งแห้ง
- 1.5.4 ทดสอบการทำงานของเครื่องเพื่อใช้ระบบก่อนทำการทดสอบ ทำการทดลองโดยให้อุณหภูมิในห้องเท่ากับอุณหภูมิข้างนอก
- 1.5.5 ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง
- 1.5.6 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับ
ยางแผ่นผึ่งแห้ง

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและวิธีการดำเนินการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินการ 2563-2564									
	2563					2564				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. รวบรวมและศึกษาข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้อง	←————→									
2. ออกแบบตู้อบแห้งยางพาราแผ่นด้วยลมร้อน	←————→									
3. สร้างเครื่องมือการทดลอง	←————→									
4. ทดลองและวิเคราะห์ผล	←————→									
5. สรุปผลการทดลอง	←————→									
6. ทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์	←————→									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เกี่ยวกับยางพารา [1]

ความเป็นมาของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติหรือยางพารา มีชื่อวงศ์ (Family) ว่า Euphorbiacea จีนัส (Genus) Hevea สปีชีส (Species) brasiliensis ชื่อสามัญ (Common name) คือ para rubber (Encicopidai, 2012) เป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่สำคัญกับเกษตรกรในประเทศไทย โดยความเป็นมาเริ่มต้นจากชาวพื้นเมืองในอเมริกากลางและอเมริกาใต้เรียกต้นไม้ที่ให้ยางว่า คาอูท์ชุก (Caoutchouc) แปลว่าต้นไม้ร้องไห้จนถึงปี ค.ศ.1770 โจเซฟ พริสท์ จึงพบว่า ยางสามารถลบรอยคำของดินสอได้โดยที่กระดาษไม่เสีย จึงเรียกยางว่ายางลบหรือตัวลบ (Rubber) ซึ่งเป็นคำเรียกยางเฉพาะในอังกฤษและฮอลแลนด์เท่านั้น ส่วนในประเทศยุโรปอื่นๆ ในสมัยนั้นล้วนเรียกยางว่า คาอูท์ชุก ทั้งสิ้น จนถึงสมัยที่โลกได้มีการปลูกยางกันมากในประเทศแถบอเมริกาใต้นั้นจึงได้ค้นพบว่าพันธุ์ยางที่มีคุณภาพดีที่สุดคือ ยางพันธุ์ Hevea Brasiliensis ซึ่งมีคุณภาพดีกว่าพันธุ์ Hevea ธรรมดา มาก จึงมีการปลูกและซื้อขายยางพันธุ์ดังกล่าวกันมาก และศูนย์กลางของการซื้อขายยางอยู่ที่เมืองท่าชื่อพารา (Para) บนฝั่งแม่น้ำอเมซอน ประเทศบราซิล โดยในปัจจุบันยางพาราเป็นที่ต้องการมากในอุตสาหกรรมต่างมากมายทั้งอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมรองเท้าและ อื่นๆ อีกมากมาย

2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ใบ โดยทั่วไป 1 ก้านใบจะมีใบย่อย 3 ใบ ซึ่งแต่ละใบย่อยมีกว้าง 2.5-5.5 เซนติเมตร ยาว 8-15 เซนติเมตร ปลายใบเรียวแหลม โคนใบสอบแคบ ขอบใบเรียบหรือเป็นคลื่นเล็กน้อย แผ่นใบเรียบเกลี้ยงสีเขียวเข้ม ก้านใบประกอบยาว 10-18 เซนติเมตร ก้านใบย่อยยาว 0.5-1.5 เซนติเมตร

ดอก มีสีเหลืองอ่อนขนาดเล็ก ลักษณะเป็นช่อมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในช่อดอกเดียวกัน ดอกยางจะออกตามซอกใบใกล้ปลายกิ่งและปลายกิ่ง กิ่งช่อดอกยาว 15-30 เซนติเมตร เป็นดอกไม่สมบูรณ์เพศ แต่อยู่ในต้นเดียวกัน กลีบดอกติดกันเป็นรูปกรวยหรือรูปประขัง ปลายแยกออกจากกันเป็น 5 กลีบ ดอกบานเต็มที่กว้าง 0.5-1.0 เซนติเมตร

ผล มีลักษณะเป็นพู่โดยปกติจะมี 3 พู่กว้าง 5-7 เซนติเมตร ยาว 5-6 เซนติเมตร ในแต่ละพู่จะมีเมล็ดอยู่ภายใน ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อแก่สีน้ำตาลและแข็ง

เมล็ด มีสีน้ำตาลลายขาวคล้ายสีของเมล็ดคละหุ้งเป็นรูปทรงกลมหรือทรงกระบอกกว้าง 1.5-2.0 เซนติเมตร ยาว 2.5-3.0 เซนติเมตร หนักประมาณ 3-6 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยาง เป็นของเหลวสีขาวถึงขาวปนเหลืองข้นอยู่ในท่อน้ำยางซึ่งเรียงตัวกันอยู่ในเปลือกของต้นยาง ในน้ำยางจะมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ 2 ส่วนคือส่วนที่เป็น "เนื้อยาง" และส่วนที่ "ไม่ใช่ยาง" ตามปกติในน้ำยางจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 25-45 เปอร์เซ็นต์

2.3 พันธุ์ยางที่แนะนำสำหรับเกษตรกรทั่วไป

กรมวิชาการเกษตร ได้ออกคำแนะนำพันธุ์ยางปี 2537 สำหรับเกษตรกรทั่วไปไว้ ดังนี้

1. พันธุ์ยางชั้น 1 ได้แก่ ยางพันธุ์ดี แนะนำให้เกษตรกรปลูกโดยไม่จำกัดพื้นที่ปลูก
2. พันธุ์ยางชั้น 2 ได้แก่ ยางพันธุ์ดี แนะนำให้เกษตรกรปลูกโดยจำกัดพื้นที่ปลูก ปลูกได้ไม่เกินร้อยละ 30 ของพื้นที่ปลูกยางที่ถือครอง แต่ละพันธุ์ควรปลูกไม่น้อยกว่า 7 ไร่
3. พันธุ์ยางชั้น 3 ได้แก่ ยางพันธุ์ดี แนะนำให้เกษตรกรปลูกโดยจำกัดพื้นที่ปลูก ปลูกได้ไม่เกินร้อยละ 20 ของพื้นที่ปลูกยางที่ถือครอง แต่ละพันธุ์ควรปลูกไม่น้อยกว่า 7 ไร่

พันธุ์ยางที่แนะนำให้ปลูกในแหล่งปลูกยางเดิม (ภาคใต้และภาคตะวันออก)

1. พันธุ์ยางชั้น 1 BPM 24, สงขลา 36 2/, RRIM 600, GT 1, PR 255, PR 261
2. พันธุ์ยางชั้น 2 PB 217, RRIC 110, RRIC 100, PB 260, PB 255, PB 235
3. พันธุ์ยางชั้น 3 KRS 251, PR 305, PR 302, RRIC 101, BPM 1, RRIM 712, KRS 250, KRS 226, KRS 225, KRS 218, PB 311, RRIC 121

พันธุ์ยางที่แนะนำให้ปลูกในแหล่งปลูกยางใหม่(ภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)

1. พันธุ์ยางชั้น 1 RRIM 600, GT 1, สงขลา 36, BPM 24, PR 255
2. พันธุ์ยางชั้น 2 PB 235, PB 260

2.4 ลักษณะของยางแผ่นคุณภาพดี

เกณฑ์การจำแนกคุณภาพยางพาราแผ่น

2.4.1 ยางแผ่นดิบคุณภาพ 1 แผ่นยางมีความสะอาด ปราศจากฟองอากาศตลอดทั่วทั้งแผ่น มีความชื้นในแผ่นยางไม่เกิน 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีความยืดหยุ่นดี และมีลายดอกเด่นชัดตลอดแผ่น มีความหนาของแผ่นไม่เกิน 3 มิลลิเมตร เนื้อยางแห้งใส มีสีสวยสม่ำเสมอตลอดแผ่น สีเหลืองทองเหลืองอ่อนน้ำหนักเฉลี่ยต่อแผ่น 800 – 1,200 กรัม แผ่นยางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 38 – 46 เซนติเมตร ยาว 80 – 90 เซนติเมตร

2.4.2 ยางแผ่นดิบคุณภาพ 2 แผ่นยางมีความสะอาดตลอดแผ่น หรืออาจมีสิ่งสกปรกและฟองอากาศอยู่ในแผ่นยางได้บ้างเล็กน้อย มีความชื้นในแผ่นยางไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นดี มีลายดอกเด่นชัดมีความหนาของแผ่นยางไม่เกิน 4 มิลลิเมตร เนื้อยางแห้ง มีสีสม่ำเสมอตลอดแผ่น

ลักษณะสีค่อนข้างคล้ำ หรืออาจมีรอยต่างดำได้บ้างเล็กน้อยน้ำหนักเฉลี่ยต่อแผ่น 1,000 – 1,200 กรัม แผ่นยางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 38 – 46 เซนติเมตร ยาว 80 – 90 เซนติเมตร

2.4.3 ยางแผ่นดิบคุณภาพ 3 แผ่นยางมีความสะอาด หรืออาจมีสิ่งสกปรกและฟองอากาศ อยู่ในแผ่นยางได้บ้างเล็กน้อย มีความชื้นในแผ่นยางไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ มีความยืดหยุ่นดี และมีลายดอกเด่นชัด มีความหนาของแผ่นยางไม่เกิน 4 มิลลิเมตร เนื้อยางแห้ง มีสีคล้ำค่อนข้างทึบ ไม่โปร่งใส เท่าที่ควร น้ำหนักเฉลี่ยต่อแผ่นไม่เกิน 1,500 กรัม แผ่นยางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 38 – 46 เซนติเมตร ยาว 80 – 90 เซนติเมตร

2.4.4 ยางแผ่นดิบคุณภาพ 4 แผ่นยางมีความสะอาด หรืออาจมีสิ่งสกปรกและฟองอากาศ อยู่ในแผ่นยางได้บ้าง มีความชื้นในแผ่นยางไม่เกิน 4.5 เปอร์เซ็นต์ มีความยืดหยุ่นดี มีลายดอกเด่นชัด มีความหนาของแผ่นยางไม่เกิน 4 มิลลิเมตร เนื้อยางแห้ง มีสีทึบ ไม่โปร่งใส มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อแผ่นไม่เกิน 1,500 กรัม แผ่นยางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 38 – 46 เซนติเมตร ยาว 80 – 90 เซนติเมตร

2.5 ส่วนประกอบของน้ำยางพารา [2]

ยางเป็นวัสดุพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งและเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางต่างๆ ยางที่ได้จากต้นพืชเรียกว่า ยางธรรมชาติ (natural rubber) ยางมีสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์คือ ความยืดหยุ่น (elasticity) เมื่อให้แรงดึงหรือกดยาง ยางจะยืดหรือยุบได้และสามารถกลับสู่สภาพเดิมได้เมื่อปล่อยให้ยางเป็นอิสระ นักอุตสาหกรรมยางจึงเรียกยางว่า อีลาสโตเมอร์ (elastomer) ยางธรรมชาติได้มาจากพืชที่ให้ยางได้ซึ่งมีมากมายกว่า 200 พันธุ์ แต่พืชที่มีความสำคัญนำมาใช้ในเชิงการค้าได้มีเพียงไม่กี่ชนิด ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นพืชที่ปลูกกันอย่างกว้างขวางในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง การเก็บผลผลิตน้ำยางจากต้นใช้วิธีการกรีดเปลือกยาง น้ำยางที่ได้มีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 20 – 45% มีโครงสร้างทางเคมีของยาง เป็น cis-1, 4-Polyisoprene

ความหมายของน้ำยาง น้ำยาง (latex) มาจากภาษาละติน หมายถึงของเหลว (liquid) หรือของไหล (fluid) ในบางครั้งก็มีการให้ความหมายว่าเป็นของเหลวหรือของไหลที่มีลักษณะคล้ายน้ำนม (milky) โดยเฉพาะของไหลที่มีส่วนประกอบของน้ำ ในระยะเวลา 10 ปีก่อนศตวรรษที่ 19 นักพฤกษศาสตร์ให้ความหมายของน้ำยางว่า เป็นน้ำจากเนื้อเยื่อพืชที่มีลักษณะคล้ายน้ำนมสีขาว ต่อมา กลางศตวรรษที่ 19 น้ำยางจึงเป็นคำที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมยาง ความหมายของน้ำยาง ทางด้านวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์และเทคโนโลยี เป็นสารพอลิเมอร์ที่มีการกระจายตัวแบบคอลลอยด์ในตัวกลางที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ดังนั้นน้ำยางธรรมชาติที่ได้จากต้นยางพารา *Hevea brasiliensis* จึงเป็นสารพอลิเมอร์ของอนุภาคยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ ส่วนประกอบของน้ำยางสด น้ำยางจากต้นยางพาราขณะที่ยังสดจะมีสีขาว หรือสีครีม สามารถไหลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เองโดยอิสระ มีความหนืดประมาณ 12 - 15 เซนติพอยส์ (centipoises) ความหนาแน่นประมาณ 0.975 - 0.980 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm³) และค่าความเป็นกรดต่าง (pH) 6.5 - 7.0 รูปร่างของอนุภาคอาจเป็นรูปกลมหรือรูปลูกแพรขนาด 0.05 - 5 ไมโครเมตร น้ำยางสด เป็นสารแขวนลอยของอนุภาคภายในของเหลวที่เรียกว่า ซีรัม (serum) อนุภาคยางดังกล่าวเป็นสาร พอลิเมอร์ไฮโดรคาร์บอนที่มีชื่อทางเคมีว่า 1, 4 - พอลิไอโซพรีน ที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบ ซิส (cis - 1, 4 - polyisoprene) ประกอบด้วยมอนอเมอร์ (monomer) ของไอโซพรีน (isoprene) ซึ่งมี คาร์บอน (carbon, C) 5 อะตอม กับไฮโดรเจน (hydrogen, H) 8 อะตอม ต่อกันจำนวนมากเป็นสาย โซ่โมเลกุลยางดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของยางพารา [3]

2.6 ยางแผ่นผึ่งแห้ง [4]

ยางแผ่นผึ่งแห้งหมายถึงยางพาราแผ่นที่ทำให้แห้ง โดยไม่จำกัดว่าจะจะเป็นอากาศร้อน หรืออากาศธรรมดา มีสีใสซึ่งมีขั้นตอนการผลิตเช่นเดียวกับยางแผ่นรมควันแต่จะต้องมีการควบคุมแต่ละขั้นตอนอย่างพิถีพิถันและทำให้แห้งโดยไม่ต้องรมควัน ตามปกติจะผึ่งลมไว้ในที่ร่มหรือโรงอบความร้อนที่ปราศจากควันและจะต้องไม่มีการเติมสารอื่นๆ ที่นอกเหนือจากสารที่ได้รับการยกเว้นเช่น สารฟอกสีโซเดียมไบซัลไฟท์ สำหรับฟอกสีและพาราไนโตรฟินอลสำหรับป้องกันเชื้อรา

การทดสอบมาตรฐานยางแผ่น

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการบ่งบอกคุณภาพของยางแผ่น ได้แก่

ปริมาณสิ่งสกปรก

สิ่งสกปรกมีความสำคัญต่อกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางพารา ถ้ายางพารามีปริมาณสิ่งสกปรกสูง จะมีผลต่อกระบวนการแปรรูป และคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมการผลิตยางให้มีปริมาณสิ่งสกปรกน้อยที่สุดโดยคิดเป็นร้อยละได้ดังนี้

ปริมาณสิ่งระเหย

สิ่งระเหยภายในบางส่วนมากเป็นความชื้น ถ้ามีปริมาณสูงจะทำให้เกิดราได้ง่าย มีกลิ่นเหม็น และเกิดปัญหาระหว่างกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์โดยทำให้แผ่นยางลื่น บดผสมกับสารเคมีอื่น ได้ยาก โดยปริมาณสิ่งระเหยคิดเป็นร้อยละได้ดังนี้

ปริมาณไนโตรเจน

ไนโตรเจนในยางส่วนใหญ่อยู่ในรูปของโปรตีน ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนจึงเป็นตัว บ่งชี้ว่าใน ยางดิบมีโปรตีนอยู่มากน้อยเพียงใด เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ผลิตนำยางนี้ไปใช้ซึ่งมีปริมาณ ไนโตรเจนสูงมา ผลิตยาง โดยปริมาณไนโตรเจนคิดเป็นร้อยละได้ดังนี้

ดัชนีความอ่อนตัว

ดัชนีความอ่อนตัวของแผ่นยางแสดงถึงความต้านทานของยางดิบต่อการแตกหักของโมเลกุล ที่อุณหภูมิสูง ยางที่มีดัชนีความอ่อนตัวสูงแสดงว่ามีความต้านทานต่อการแตกหักของโมเลกุลสูง โดย ดัชนีความอ่อนตัวคำนวณได้จาก

สีของยางพารา

การวัดสีของยางพาราอบแห้งทำได้ด้วยการใช้เครื่องวัดสี Minolta Camera ในระบบ Hunter Lab จะให้ค่าสี L เป็นค่าความสว่าง(Lightness) ค่าสี a เป็นค่าสีแดงและสีเขียว (Redness/Greenness) และค่าสี b เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (Yellowness/Blueness) โดยที่ค่าสี L* คือค่าแสดงความสว่างของสีมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 กรณีถ้า L* มีค่าเป็น 0 หมายถึงมืด (darkness) แต่ถ้ามีค่าเป็น 100 หมายถึง สว่าง (lightness) ค่าสี a* คือแสดงความเป็นสีแดงและ เขียว (redness/greenness) กรณีถ้า a* มีค่าเป็นบวก หมายถึงสีแดงและกรณีถ้า a* มีค่าเป็นลบ หมายถึงสีเขียว ค่าสี b* คือแสดงความเป็นสีเหลืองและน้ำเงิน (yellowness/blueness) กรณีถ้า b* มีค่าเป็นบวก หมายถึงสีเหลืองและกรณีถ้า b* มีค่าเป็นลบ หมายถึงสีน้ำเงิน [2]

2.7 พื้นฐานการอบแห้ง [5]

2.7.1 สมบัติของวัตถุดิบ

2.7.1.1 ความชื้นของแผ่นยาง

วัตถุดิบประกอบด้วยของแข็งและความชื้น โดยทั่วไปเป็นน้ำในสถานะของเหลว เราสามารถบอกปริมาณความชื้นของวัตถุดิบ ในรูปของความชื้นมาตรฐานเปียกหรือมาตรฐานแห้ง ดังนี้

$$M_W = \frac{m_w}{m_w + m_s} \quad (2.6)$$

$$M_d = \frac{m_w}{m_s} \quad (2.7)$$

เมื่อ M_W คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, kg/kg

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, kg/kg

m_w คือ มวลของของเหลวในปริมาตรที่พิจารณา, kg

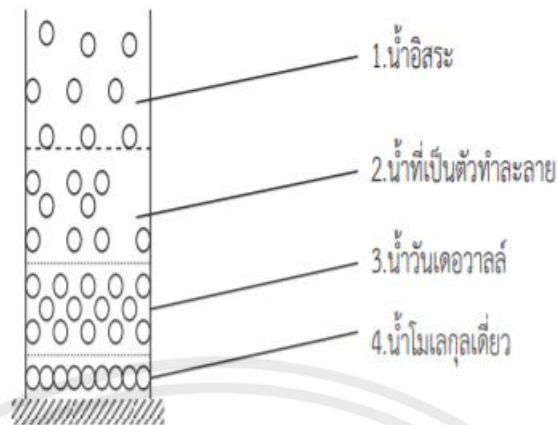
m_s คือ มวลของของแข็งในปริมาตรที่พิจารณา, kg

ความชื้นมาตรฐานเปียกมักนิยมใช้ในการการค้า และสำหรับความชื้นมาตรฐานแห้งมักใช้ในการคำนวณและการศึกษาในเชิงวิทยาศาสตร์

2.7.1.2 ลักษณะการเกาะตัวของน้ำบนวัตถุดิบ [6]

น้ำที่เกาะตัวกับของแข็งในวัตถุดิบสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ

- 1) น้ำอิสระ (free water)
- 2) น้ำสารละลาย (solvent water)
- 3) น้ำที่เกาะตัวโดยแรงแวนเดอวาลส์ (water attached with Van de Waal force)
- 4) น้ำโมเลกุลเดี่ยว (mono-molecule water)



รูปที่ 2.2 แสดงแผนภูมิน้ำประเภทต่างๆ ในวัสดุขึ้น [10]

การเกาะของน้ำแบบน้ำอิสระจะอยู่ที่ชั้นนอกสุดของผิวของของแข็ง ส่วนการเกาะตัวของน้ำแบบอื่นจะอยู่ถัดลงมาจนถึงการเกาะตัวของน้ำแบบน้ำโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งอยู่ที่บริเวณผิวสัมผัสของของแข็ง ในการแยกน้ำแบบอิสระจะใช้พลังงานน้อยที่สุด ส่วนน้ำแบบโมเลกุลเดี่ยวจะใช้พลังงานในการแยกน้ำออกจากวัสดุขึ้นมากที่สุด

2.7.1.3 ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) [7]

วัสดุขึ้นจะมีการรับและดูดความชื้นจากอากาศรอบๆ จนกระทั่งความชื้นมีค่าคงที่ หรืออยู่ในสภาวะสมดุลกับอากาศแวดล้อม เรียกความชื้นนี้ว่า ความชื้นสมดุล จะขึ้นกับธรรมชาติของวัสดุ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งสามารถหาได้โดยการทดลอง

2.7.1.4 วอเตอร์แอคทิวิตี (water activity) [8]

น้ำที่อยู่ในวัสดุขึ้นประเภทไฮโกรสโคปิก จะมีความดันไอ (vapors pressure) ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำ ชนิดของน้ำ โครงสร้างของวัสดุขึ้น และสภาพทางชีวเคมีของ วัสดุขึ้นนั้นๆ ในทางเทคโนโลยีการอาหารจึงไม่มีการกำหนดพารามิเตอร์ที่จะบอกรอบทิศทางของน้ำในวัสดุขึ้นในรูปแบบของวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity) ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนของความดันไอน้ำในวัสดุขึ้นต่อความดันไอน้ำของน้ำอิสระ (free water) หรือน้ำที่อยู่นอกวัสดุขึ้น หรือเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a_w = \frac{P}{P_0} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	a_w	คือ วอเตอร์แอกติวิตี
	P	คือ ความดันไอน้ำในวัสดุชิ้น, Pa
	P_0	คือ ความดันไอน้ำของน้ำอิสระ, Pa

เมื่อนำวัสดุชิ้นไปวางอยู่ในอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ rh และอุณหภูมิ T วัสดุชิ้นจะมีการดูดหรือคายความชื้นจนกระทั่งถึงจุดสมดุลในสภาพดังกล่าว วอเตอร์แอกติวิตีจะมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ดังสมการ

$$a_w = \frac{Rh}{100} \quad (2.9)$$

เมื่อ	a_w	คือ วอเตอร์แอกติวิตี
	Rh	คือ ความชื้นสัมพัทธ์, %

เนื่องจากวอเตอร์แอกติวิตีเป็นค่าความดันไอน้ำในผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบกับความดันไอน้ำของน้ำอิสระ ดังนั้นวอเตอร์แอกติวิตีจึงมีผลต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์และชีวเคมีของผลิตภัณฑ์

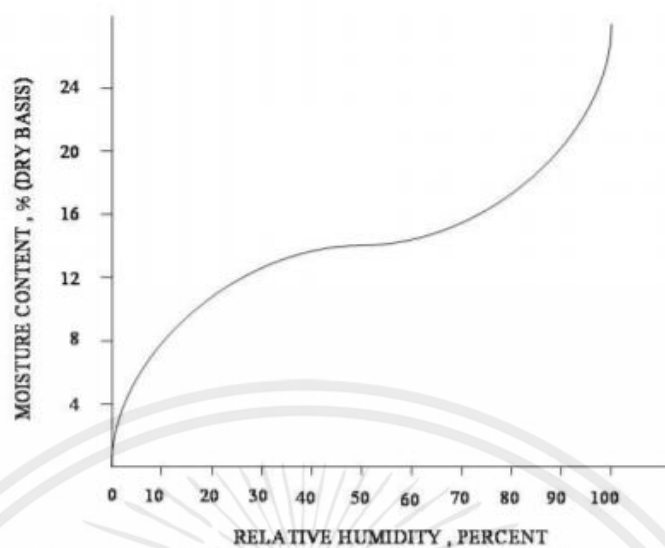
(1) ผลต่อการเจริญเติบโตของราและแบคทีเรีย เช่น แบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเติบโตเมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำกว่า 0.60

(2) ผลต่อปฏิกิริยาเอนไซม์เมติกโดยปฏิกิริยาดังกล่าวบางชนิดที่ เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำโดยไม่ต้องถูกกระตุ้นด้วยความร้อน มีการพบว่าปฏิกิริยานี้มีความสัมพันธ์กับวอเตอร์แอกติวิตีของผลิตภัณฑ์นั้น

(3) ผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุชิ้น มีผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในผลิตภัณฑ์บางชนิด การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นผลมาจากวอเตอร์แอกติวิตีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying)

2.7.1.5 ซอบชันไอโซเทอม (sorption isotherm) [7]

โดยทั่วไปความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์จะมีความสัมพันธ์กับวอเตอร์แอกติวิตี ถ้ากำหนดให้อุณหภูมิคงที่ กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับวอเตอร์แอกติวิตีจะเรียกว่า ซอบชันไอโซเทอม (sorption isotherm) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นกราฟรูปซิกมอยด์ (sigmoid) โดยเส้นของอุณหภูมิสูงจะอยู่ด้านล่าง ดังตัวอย่างในกราฟรูปที่ 2.3

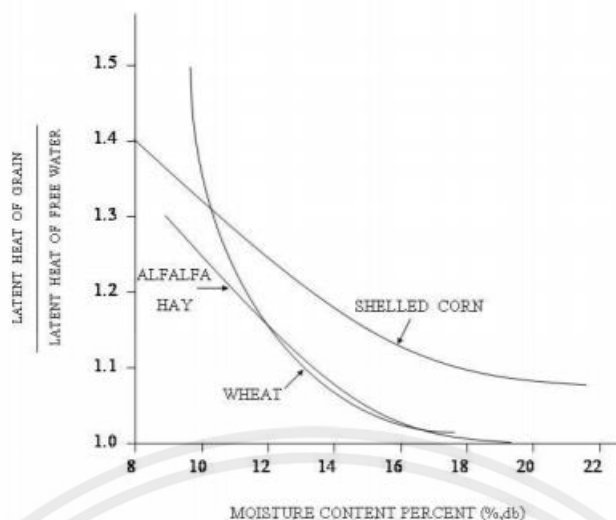


รูปที่ 2.3 sorption isotherm ของผลิตภัณฑ์เกษตรทั่วไป [7]

ในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสามารถทำได้โดยใช้กรดหรือสารละลายเกลืออิมิตัว กรดซัลฟูริก (sulfuric acid) และกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) ที่มีความเข้มข้นต่างๆ สามารถควบคุมความชื้นของอากาศระหว่าง 0 ถึง 100 % ได้โดยความดันไอเหนือสารละลายกรดจะขึ้นกับความเข้มข้นและอุณหภูมิของกรด โดยทั่วไปไม่นิยมใช้กรดเพราะมีอันตรายและมีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ในขณะที่ทำการทดลอง เนื่องจากการเพิ่มหรือลดของความเข้มข้นของกรด สารละลายเกลืออิมิตัวมีความปลอดภัยในการใช้มากกว่าสารละลายกรดและสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้ดีกว่าสารละลายกรดเพราะความชื้นสัมพัทธ์เหนือสารละลายไม่เปลี่ยนแปลงขณะทำการทดลอง เราสามารถใช้เกลือชนิดต่างๆ ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 10 - 95%

2.7.1.6 ความร้อนแฝง (latent heat) [7]

ความร้อนแฝง คือปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัตถุ ขึ้นซึ่งมีค่าขึ้นกับชนิดและความชื้นของวัตถุตัวอย่างความร้อนแฝงของผลิตภัณฑ์เกษตร แสดงในรูป ที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการแปรค่าของความร้อนแฝงของผลิตผลการเกษตร [7]

ความร้อนแฝงของผลิตผลการเกษตรสามารถเขียนในรูปของสูตร เอ็มไพริคัลได้

$$\frac{L}{L'} = 1 + a \exp(-bM_d) \quad (2.10)$$

เมื่อ L คือ ความร้อนแฝงของวัตถุดิบ, [J/kg]

L' คือ ความร้อนแฝงของน้ำ, [J/kg]

M_d คือ ความชื้นของวัตถุ [% db]

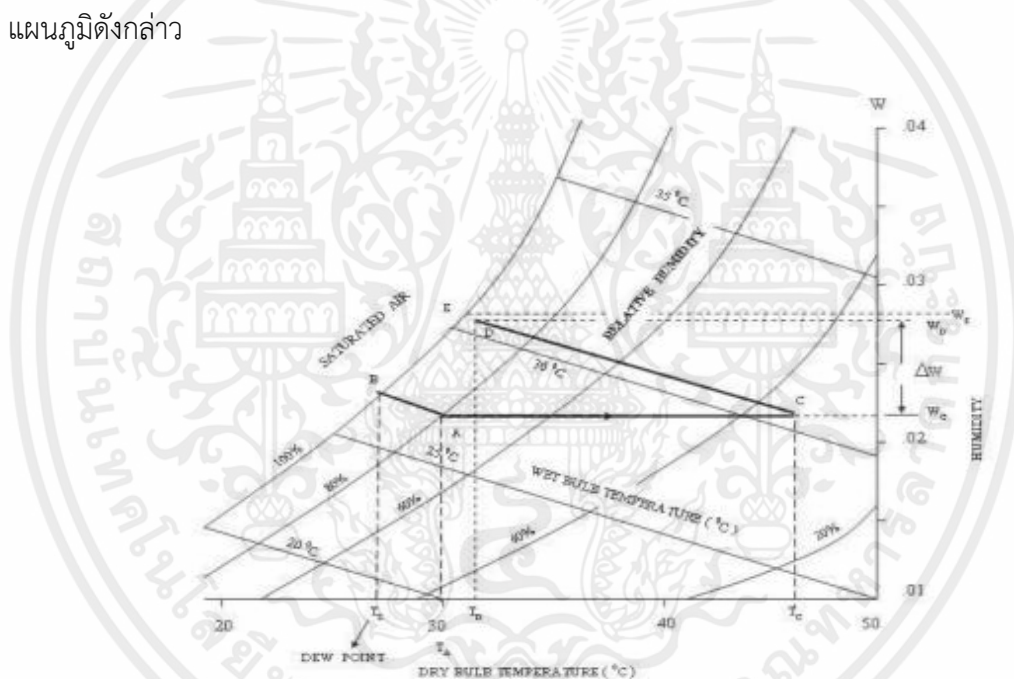
a, b คือ ค่าคงที่ขึ้นกับชนิดของวัตถุ

นอกจากนี้ยังมีสมบัติความร้อนอื่นๆ ของวัตถุดิบที่มีผลต่อการอบแห้งเช่น ความร้อนจำเพาะ (specific heat) สภาพนำความร้อน (heat conductivity) สัมประสิทธิ์ การพาความร้อน (convective heat transfer coefficient) และพื้นที่ผิวต่อปริมาตรวัตถุ เป็นต้น สมบัติเหล่านี้มักจะขึ้นกับความชื้นของวัตถุและหาได้โดยการทดลอง

2.7.2 คุณสมบัติของอากาศชื้น (properties of moist air) [8]

อากาศซึ่งใช้เป็นตัวกลางในการพาความร้อนไปสู่วัตถุดิบ และพาความชื้นจากวัตถุดิบนั้นออกมาภายนอกจะประกอบด้วยอากาศแห้งและไอน้ำ ซึ่งมีสมบัติแสดงได้ด้วยตัวแปร 7 ตัว ดังนี้

1. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (T_{ab})
 2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_{wb})
 3. อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew-point temperature)
 4. ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, rh)
 5. ความชื้นสัมบูรณ์ (absolute humidity) หรืออัตราส่วนความชื้น (humidity ratio)
 6. เอนทาลปี (enthalpy) เป็นพลังงานที่สะสมอยู่ในอากาศชื้น
 7. ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) เป็นปริมาตรอากาศชื้นต่อน้ำหนักอากาศแห้ง
- ตัวแปรทั้ง 7 มีความสัมพันธ์กันและสามารถแสดงเป็นแผนภูมิอากาศชื้น (psychrometric chart) ดังรูปที่ 2.5 ในกระบวนการอบแห้ง สมบัติของอากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงดังที่แสดงไว้ในแผนภูมิดังกล่าว



รูปที่ 2.5 แสดงแผนภูมิอากาศชื้นและการเปลี่ยนแปลงสมบัติของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง [8]

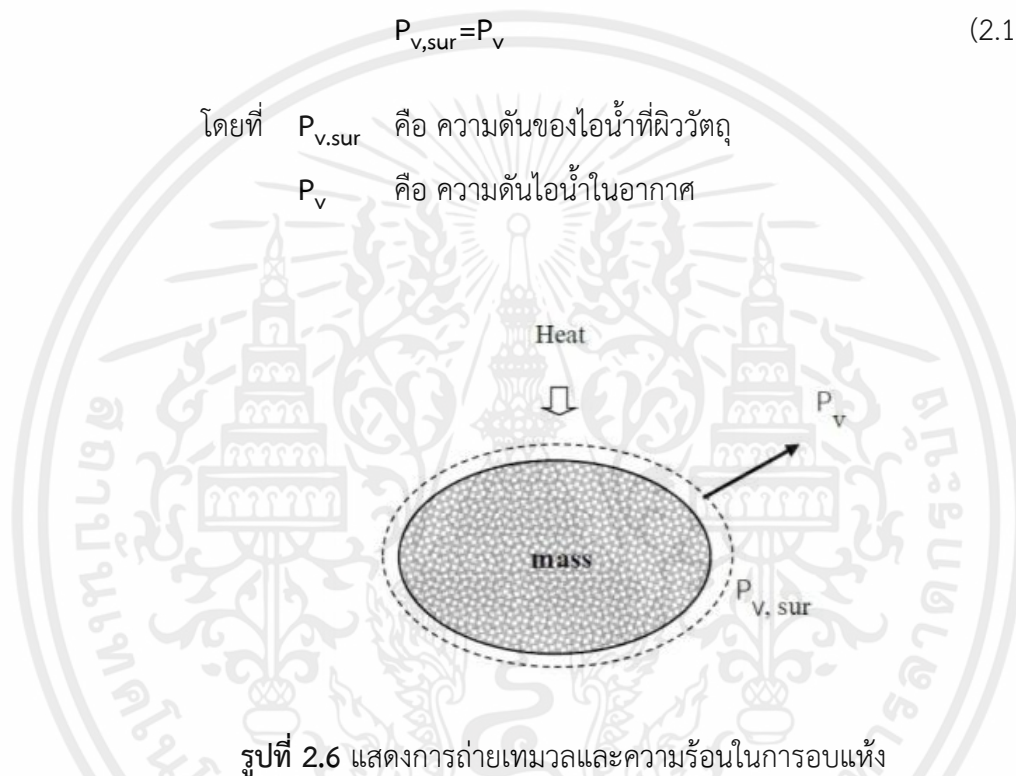
ในกระบวนการอบแห้ง อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศจะลดลงเข้าหาอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ในขณะที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกจะมีค่าคงที่ดังเส้น AB ในแผนภูมิอากาศชื้นของรูปที่ 2.5 เมื่ออากาศชื้นถูกทำให้ร้อนขึ้นโดยไม่มีการเพิ่มหรือลดปริมาณไอน้ำ อัตราส่วนความชื้นจะมีค่าคงที่ แสดงได้ด้วยเส้นตรง AC ในรูปที่ 2.5 ถ้านำอากาศร้อนนี้ไปใช้ในการอบแห้ง อุณหภูมิกระเปาะแห้งจะลดลง และความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอากาศถ่ายเทความร้อนให้กับวัตถุชื้นและรับความชื้นจากวัตถุนั้น การเปลี่ยนแปลงของอากาศนี้แทนได้ด้วยเส้นตรง CD ในแผนภูมิอากาศชื้นรูปที่ 2.5

2.7.3 ทฤษฎีการอบแห้ง [6]

การอบแห้ง เป็นการแยกน้ำออกจากวัสดุชื้น (moist material) โดยการทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอโดยอาศัยความร้อน สำหรับการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรมักเป็นการอบแห้ง แบบการพาความร้อน (convective drying) โดยจะเป่าอากาศร้อนผ่านผลิตผลที่เป็นวัสดุชื้น ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังวัตถุ ทำให้วัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้น น้ำในวัตถุจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ และระเหยออกมา การถ่ายเทมวลของน้ำจากวัสดุชื้นไปยังอากาศจะหยุดเมื่อความดันไอน้ำที่ผิววัตถุ เท่ากับความดันไอน้ำในอากาศ

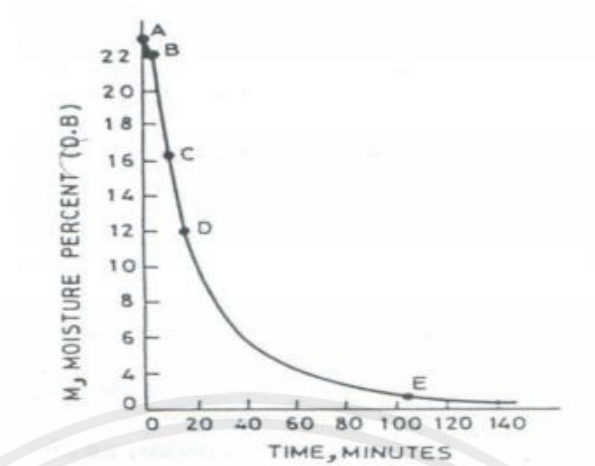
$$P_{v,sur} = P_v \quad (2.10)$$

โดยที่ $P_{v,sur}$ คือ ความดันของไอน้ำที่ผิววัตถุ
 P_v คือ ความดันไอน้ำในอากาศ

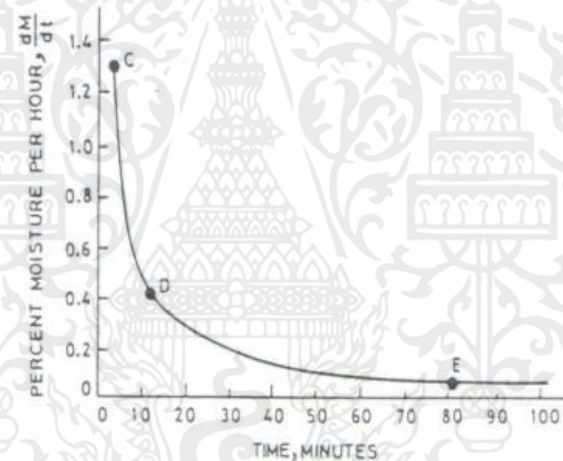


รูปที่ 2.6 แสดงการถ่ายเทมวลและความร้อนในการอบแห้ง

การเคลื่อนตัวของน้ำจากภายในวัสดุชื้นออกมาที่ผิว เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและขึ้นกับโครงสร้างของวัตถุนั้น ตัวอย่างกระบวนการเหล่านี้ได้แก่การแพร่ (diffusion) การไหลภายในท่อเล็กในโครงสร้างของวัตถุ (capillary flow) การไหลจากความดันออสโมติก (osmotic pressure) และการไหลเนื่องจากแรงโน้มถ่วง เป็นต้น การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายกระบวนการเหล่านี้มีความซับซ้อนมากในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร การลดลงของความชื้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.7 หรือ แสดงในรูปของอัตราการแห้ง (drying rate) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 แสดงการลดลงของความชื้นในการอบแห้งผลิตภัณฑ์เกษตรทั่วไป [7]



รูปที่ 2.8 แสดงอัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์เกษตรระหว่างการอบแห้ง [7]

โดยทั่วไปอัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์เกษตรจะแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (constant-rate regime) ซึ่งเป็นช่วงแรกของการอบแห้ง และช่วงอัตราการแห้งลดลง (falling rate regime) ซึ่งต่อจากช่วงแรก ในช่วงอัตราการแห้งคงที่ การระเหยของน้ำจะเกิดที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ลักษณะการระเหยจะคล้ายกับการระเหยน้ำจากภาชนะ เราสามารถเขียนอัตราการแห้งในช่วงเวลานี้เป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$\frac{dm}{dt} = \frac{h_c A}{L} (T_a - T_{sur}) \quad (2.12)$$

เมื่อ $\frac{dm}{dt}$ คือ อัตราการแห้ง, kg/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h_c	คือ การนำความร้อนของฟิล์มอากาศที่อยู่เหนือผิวผลผลิต (thermal conductance of air film), W/m ² -K
A	คือ พื้นที่ผิวของผลผลิต, m ²
L	คือ ความร้อนแฝงของน้ำในผลผลิต, J/kg
T_a	คือ อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง, °C
T_{sur}	คือ อุณหภูมิที่ผิวของผลผลิต, °C

สำหรับช่วงที่อัตราการแห้งลดลง (falling-rate regime) โดยทั่วไปเราสามารถเขียนอัตราการแห้งในรูปสมการได้ดังนี้

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \quad (2.13)$$

เมื่อ	M_e	คือ ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ของ ผลผลิต
	M	คือ ความชื้นของผลผลิต
	k	คือ ค่าคงที่การอบแห้ง (drying constant)

2.7.4 ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการลดลงของความชื้นของวัตถุดิบดังนี้

- 1) อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าสูง อัตราการแห้ง (drying rate) จะมีค่าสูงกว่ากรณีของอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ
- 2) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะสามารถรับความชื้นที่ถ่ายเทจากวัตถุดิบได้มากกว่ากรณีที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง
- 3) ความเร็วอากาศที่ไหลผ่านวัตถุดิบ ถ้าความเร็วอากาศมีค่าสูงความชื้นจากวัตถุดิบจะถ่ายเทออกมาสูง อากาศได้ดีกว่ากรณีอากาศที่อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำแต่ผลดังกล่าวจะมีค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับผลจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

2.7.5 ประเภทของการอบแห้ง

การอบแห้งแบบพาความร้อน โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1) การอบแห้งชั้นบาง (thin layer drying) การอบแห้งแบบนี้วัตถุดิบจะเรียงเป็นชั้นบางๆ หรือเพียงหนึ่งชั้นของเมล็ดพืช กรณีที่การอบเมล็ดพืชแบบชั้นบาง การลดลงของความชื้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \alpha \exp(-kt) \quad (2.14)$$

เมื่อ	M_t	คือ ความชื้นขณะเวลา t
	M_e	คือ ความชื้นสมดุล
	M_0	คือ ความชื้นเริ่มต้น
	k	คือ ค่าคงที่การอบแห้ง

2) การอบแห้งชั้นหนา (deep bed drying) เป็นการอบแห้งที่วัตถุดิบซ้อนกันหลายชั้น ตัวอย่างเช่น การอบแห้งข้าวใน เครื่องอบแห้งแบบใช้อากาศแวดล้อม (in-bin drying) ในการคำนวณการลดลงของความชื้นในระบบ อบแห้ง โดยทั่วไปจะพิจารณาว่า การอบแห้งชั้นหนาประกอบด้วย การอบแห้งชั้นบางหลายๆ ชั้น เรียงซ้อนกันและทำการหาสมการสมดุลของมวลและพลังงานที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น

2.8 การคำนวณ

2.11.1 อัตราส่วนความชื้นของการอบแห้ง

สามารถคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งอย่างแผ่นผืนแห้งที่เวลาต่างๆ ตามสมการ

$$MR = \frac{(M_t - M_{eq})}{(M_{in} - M_{eq})} \quad (2.15)$$

เมื่อ	MR	คือ อัตราความชื้น
	M_t	คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (% dry - basis),
	M_{in}	คือ ความชื้นเริ่มต้น (% dry - basis),
	M_{eq}	คือ ความชื้นสมดุล

2.8.2 ความชื้นสมดุล [7]

โดยการหาค่าของความชื้นสมดุลจะเลือกใช้สมการของ Halsey Model

$$M_{eq} = \left\{ \frac{(-0.377)}{[(-33174.96 + 1)T + (107.421T^2)] \ln RH} \right\}^{\frac{1}{2.264}} \quad (2.16)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิ (K)

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (decimal)

2.8.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งจากอัตราการอบแห้ง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งจากอัตราการอบแห้ง (Drying rate) ที่ใช้ในการอบแห้ง จากข้อมูลการทดลองได้คำนวณหาอัตราการอบแห้งที่ใช้ในการอบแห้งยาพาราแผ่น ตามสมการที่ 2.17 ดังนี้

$$\text{Drying rate} = \frac{(M_{in} - M_f)W_d}{\text{Drying Time}} \quad (2.17)$$

เมื่อ M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างก่อนอบแห้ง (kg)

M_f คือ ความชื้นสุดท้ายของตัวอย่างหลังอบแห้ง (kg)

W_d คือ น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (kg)

2.8.4 การคำนวณค่าไฟฟ้า

ก่อนอื่นเราต้องทราบก่อนว่าอัตราค่าไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นใช้ไฟฟ้าน้อยเพียงใด โดยจะต้องสังเกตว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละเครื่องมีกำลังไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นวัตต์เท่าไร ยิ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีจำนวนวัตต์มาก ก็หมายความว่า จะใช้ไฟฟ้ามากขึ้นไปด้วย ดังนั้นก่อนที่จะทำการคำนวณค่าใช้ไฟฟ้า จะต้องสำรวจว่าภายในที่อยู่อาศัยนั้นมีเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทไหนบ้างและเปิดใช้งานประมาณเดือนละกี่ชั่วโมง จากนั้นนำมาคำนวณค่าใช้ไฟฟ้าตามสมการที่ 2.18

$$\text{จำนวนหน่วย (ยูนิต)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)} \times \text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า}}{1000} \times \text{เวลาที่ใช้งาน (ชั่วโมง)} \quad (2.18)$$

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จุฑารัตน์ และคณะ [9] ได้ทำการวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการอบแห้งปลาข้าวสารแทนการทอดด้วยน้ำมันเพื่อใช้เป็นอาหารสุขภาพโดยใช้ตู้อบแห้งแบบภาคที่ใช้ลมร้อน และรังสีอินฟราเรดเป็นแหล่งพลังงานความร้อน การทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งจะแปรผันกับอุณหภูมิอบแห้งและกำลังของรังสีอินฟราเรด ผลการทดลองสรุปได้ว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Page อธิบายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งปลาข้าวสารจากการทดลองอบแห้งด้วยลมร้อน และรังสีอินฟราเรดได้ดีที่สุด สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล ที่หาได้จากกฎการแพร่ของฟิกส์พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของปลาข้าวสาร ขึ้นกับอุณหภูมิอบแห้ง และพบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่ากรณีการอบแห้งด้วยลมร้อน

นัฐราช แสนมีมา และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยใช้ตัวกลางในการอบแห้งคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และอากาศ พบว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิการอบแห้ง

อิสริยะ สนิโซ และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะของการอบแห้งผลหมากไม่ผ่าซีกด้วยลมร้อน และลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ที่ความเร็วลมเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิลมร้อนในช่วง 60 - 80 องศาเซลเซียส การอบแห้งผลหมากไม่ผ่าซีกด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลเฉลี่ยสูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว

เฉลิมราช และคณะ [12] ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนและเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการอบแห้งยางแผ่นดิบคุณภาพดีขนาด 10-15 แผ่นต่อวงวด โดยผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งและจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งของยางแผ่นดิบที่ความชื้นเริ่มต้นระหว่าง 25-40% dry-basis อุณหภูมิอบแห้งในช่วง 40-70 องศาเซลเซียส และความเร็วลมร้อนเท่ากับ 0.7 m/s และค่าความชื้นสุดท้ายของยางแผ่นแห้งเท่ากับ 0.5% dry-basis ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งยางแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนมีอัตราการอบแห้งเร็วกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแห้งยางแผ่นตามธรรมชาติ

Racha, Yutthana. et al. [13] ได้ทำการศึกษาแบบจำลองเฟสเดียวและหลายเฟสสำหรับการคำนวณอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการพาความร้อนแบบบังคับในห้องอบแห้งแผ่นยางเพื่อจำลองอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ในห้องอบแห้งยางพาราแผ่น ในทุกระนาบการกระจายอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบแห้งแผ่นยางพารา แบบจำลองถูกจำลองโดยใช้ CFD สำหรับอุณหภูมิโมเดลล์ดีเฟสนั้นดีกว่าโมเดลเฟสเดียว

ชูชาติ ลมร้อน [14] เป็นวิธีที่ถูกปรับปรุงขึ้นเพื่อให้มีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยวิธีนี้จะมีความปลอดภัยสะอาด ลดการปนเปื้อนของเชื้อโรคและจุลินทรีย์ โดยการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ตากแห้งมีคุณภาพที่ดีกว่าการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ นั่นก็คือการทำแห้งด้วยลมร้อนที่นิยมใช้ คือ การใช้ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) และตู้อบบอบอุโมงค์ (Carbinet Dryer) โดยการตากผลิตภัณฑ์ในตู้อบขนาดใหญ่ซึ่งมีลมร้อนเป่าผ่านจึงสามารถระเหยน้ำออกไปกับลมร้อนละลายออกทางช่องระบายลมภายในตู้อบโดยใช้อุณหภูมิในการอบประมาณ 50-90 องศาเซลเซียส ซึ่งจะอาศัยการพาความร้อนโดยใช้พัดลม นิยมใช้มอเตอร์หมุนพัดลมชนิดเหนี่ยวนำ ซึ่งไม่ต้องการการดูแลมากเพราะไม่ได้ใช้แปร่งถ่าน ซึ่งอาจจะถูกติดไว้ที่ส่วนล่างของตู้อบเพื่อเสริมการพาความร้อนในแนวตั้ง หรือติดตั้งไว้ที่ส่วนบนของตู้อบ เพื่อเสริมการพาความร้อนในแนวระดับ การใช้พัดลมทำให้เกิดผลคือใช้เวลาในการทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นสั้นกว่า เนื่องจากอากาศภายนอกที่ถูกดูดเข้ามาภายในตู้อบจะผ่านตัวกำเนิดความร้อนโดยตรง อุณหภูมิภายในตู้อบเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อเปิดประตูตู้อบ เพราะอากาศที่ถูกดูดเข้ามาด้วยพัดลมถูกทำให้อุ่นขึ้นก่อน เมื่อผ่านห้องเพิ่มความร้อนล่วงหน้าตลอดเวลา อุณหภูมิทุกๆ จุดภายในตู้อบค่อนข้างสม่ำเสมอ ถึงแม้ว่าจะใส่วัตถุอบเต็มที่ เนื่องจากพัดลมช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่า

ชมพูนุช สนั่นไหว [15] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการปรับปรุงคุณภาพยางพาราแผ่นดิบโดยการกวนส่วนผสมของกรดฟอร์มิกเจือจางกับน้ำยางภายใต้สภาวะสุญญากาศเพื่อลดฟองอากาศที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการกวนส่วนผสมและขึ้นรูปยางพาราแผ่นดิบเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพกับยางพาราแผ่นดิบที่ผลิตขึ้นแบบดั้งเดิม จากการศึกษาเขาได้พบว่า การผลิตยางพาราแผ่นดิบแบบไม่ปาดฟองออกด้วยเครื่องกวนสุญญากาศมีผลการประเมินดีกว่าการผลิตแบบดั้งเดิมขึ้นมา 2 ชั้น กรณีผลิตแบบมีการปาดฟองออกแยกทำเป็นยางพาราแผ่นดิบ ส่วนน้ำยางที่นำมาทำยางพาราแผ่นดิบไม่มีความแตกต่างกันระหว่างแบบสุญญากาศและแบบดั้งเดิม

นายจักรพรรณ์ ผิวสะอาด [16] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 ครั้ง พบว่าโรงอบแห้งดังกล่าวสามารถอบแห้งยางพาราแผ่นที่มีความชื้นเริ่มต้น 24-31% (w.b.) ให้เหลือความชื้น 0.4-13 % (w.b.) ภายใน 5 วันในช่วงเดือนกันยายน (ฤดูฝน) และ 4 วันในช่วงเดือนมกราคม (ฤดูหนาว) ซึ่งเร็วกว่าการตากแดดตามธรรมชาติซึ่งใช้เวลาประมาณ 15 วัน และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโรงอบแห้งมีคุณภาพดี

ทงศักดิ์ ลาโพธ และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาระบบอบแห้งสำหรับยางพาราแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์ ผลที่ได้จากการทดลองอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความชื้นเริ่มต้น 17-20% มาตรฐานแห้ง จนมีความชื้นสุดท้าย 1.5% มาตรฐานแห้ง ด้วยอุณหภูมิอบแห้ง 45-55 องศาเซลเซียส และความเร็วมวล 0.7 m/s พบว่าการทดลองอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์และแบบธรรมชาติ

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

บทนี้กล่าวถึงการออกแบบเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้โบเวอร์ในการเป่าลมผ่านฮีตเตอร์ ความร้อน

3.1 การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับยางแผ่นผึ่งแห้ง

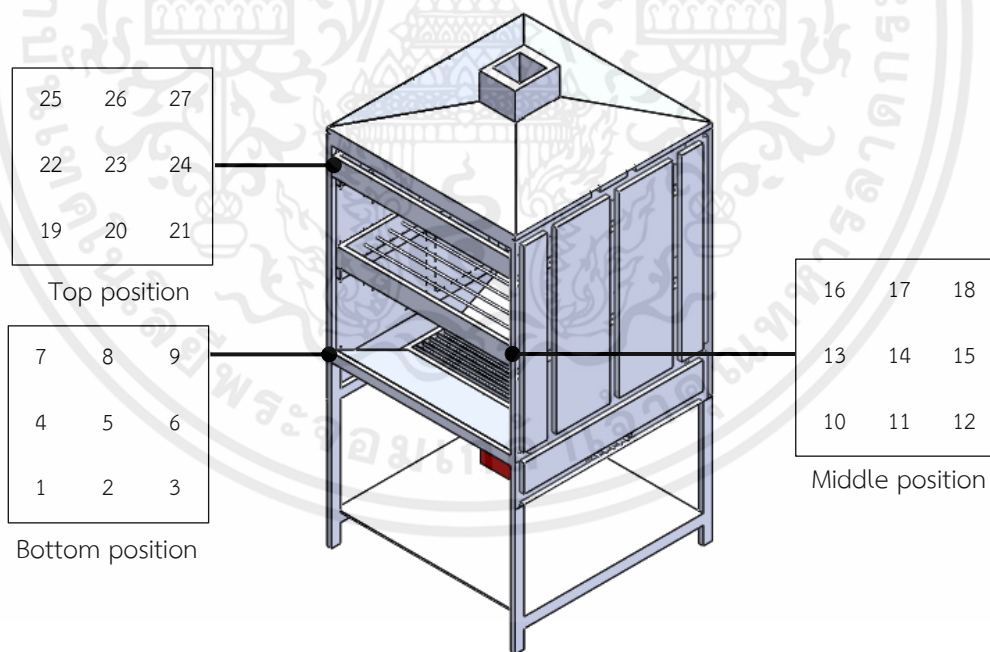
3.1.1 วิธีการออกแบบเครื่องอบแห้งลมร้อน

3.1.1.1 วัสดุอุปกรณ์

- (1) คอมพิวเตอร์
- (2) โปรแกรม SOLIDWORKS 2019

3.1.1.2 วิธีดำเนินการ

- (1) ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่จะสร้างตู้อบยางพาราแผ่น
- (2) เขียนแบบชิ้นส่วนต่างๆ ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS 2019



รูปที่ 3.1 ตู้อบแห้งยางพาราแผ่นและจุดตรวจวัดค่าอุณหภูมิ

3.2 การสร้างเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับยางแผ่นผึ่งแห้ง

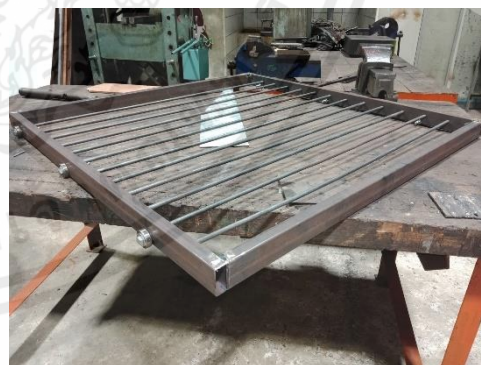
3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

(1) เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนมีความสูง 180 เซนติเมตร ความกว้าง 1 เมตรและ ยาว 1 เมตร ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

(2) ตะแกรงแขวนยางพาราแผ่น ขนาดกว้าง 95 เซนติเมตร และยาว 95 เซนติเมตร สามารถตากยางได้สูงสุด 24 แผ่น ด้านข้างติดตั้งตั้บลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ข้างละ 3 ตั้บ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตะแกรงแขวนยางพาราแผ่น

(3) แผ่นบังค้ำการไหลจำนวน 5 แผ่นบังค้ำการไหล สามารถปรับทิศทางไปตามองศาที่ต้องการได้พร้อมกันทั้ง 5 แผ่นบังค้ำการไหล สำหรับปรับทิศทางของลมร้อน ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผ่นบังค้ำบการไหล

(4) เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิที่ทางออกภายในเครื่อง ในรูปที่ 3.5 และ 3.6 เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ โดยในการทดสอบเครื่องอบแห้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.5 จะถูกแขวนอยู่บริเวณปล่องไล่ความชื้น เพราะอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถเชื่อมต่อและอ่านค่าผ่านทางสมาร์ตโฟนได้ และอุปกรณ์ดังรูป 3.6 ขณะทดสอบเครื่องอบแห้งจะถูกติดตั้งไว้ข้างนอกเครื่องอบ เนื่องจากต้องการหาค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความชื้นภายในเครื่อง Kestel DROP



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความชื้นในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) ฉนวนกันความร้อน วัสดุป้องกันความร้อน ลักษณะคล้ายโฟม ส่วนอีกด้านเงาเนื่องจากติดอลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากภายในเครื่อง โดยติดตั้งไว้ภายนอกของเครื่องอบแห้งลมร้อน



รูปที่ 3.7 ฉนวนกันความร้อนอลูมิเนียมฟอยล์

(6) เทอร์โมคัปเปิล type k จำนวนทั้งหมด 28 เส้น โดยแต่ละเส้นมีความยาว 2.5 เมตร มีปลั๊กสำหรับเสียบกับอุปกรณ์อ่านค่าเทอร์โมคัปเปิล type k สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -50 ถึง 1300 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.8 เทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(7) ฮีตเตอร์ (Heater) ขนาด 1,000 Watt จำนวน 4 เครื่อง มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า และมีช่องคล้ายรังผึ้งสำหรับให้อากาศผ่านเพื่อพาความร้อนจากฮีตเตอร์เข้าสู่เครื่องอบแห้งลมร้อน



รูปที่ 3.9 ฮีตเตอร์

(8) เครื่องเป่าลม (Blower) ขนาด 550 Watt กำลังมอเตอร์ขนาด ¾ แรงม้า ลักษณะใบพัดเป็นกรงกระรอก ช่องปล่อยลมขนาด 4 นิ้ว ในการทดสอบจะจ่ายไฟเข้าเครื่องเป่าลมโดยผ่านทางอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.10 เครื่องเป่าลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(9) เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) อุปกรณ์สำหรับวัดความเร็วลม โดยในการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน จะใช้อุปกรณ์วัดความเร็วลมกับเครื่องเป่าลมที่ต่อกับตัววัดแรงดัน เพื่อให้ปริมาณไฟฟ้าที่ทำให้กระแสลมที่ปล่อยออกมาจากเครื่องเป่าลมมีขนาด 0.7 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดความเร็วลม

(10) เครื่องอ่านค่าเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple meter) อุปกรณ์สำหรับอ่านค่าเทอร์โมคัปเปิลโดยการเสียบปลั๊ก โดยในการทดลองจะใช้สำหรับอ่านค่าอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ทั้ง 27 ตำแหน่ง และสำหรับเป็นเซนเซอร์ในกล่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับควบคุมลมร้อน



รูปที่ 3.12 เครื่องอ่านค่าเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(11) ท่อหมุนเวียน (Circulation pipe) อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบแอร์ที่มีขนาดใหญ่ โดยจะนำมาใช้เป็นท่อให้ลมไหลกลับมา



รูปที่ 3.13 ท่อหมุนเวียน

3.3 การต่อระบบไฟฟ้าและวงจรไฟฟ้า

3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

(1) อุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า (Voltage regulator) อุปกรณ์สำหรับควบคุมแรงดันไฟฟ้า ในการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน จะใช้ต่ออยู่ในระบบควบคุมโดยการต่อกับเครื่องเป่าลมและจ่ายกระแสไฟให้เครื่องเป่าลมผ่านอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้า สำหรับควบคุมความเร็วลม



รูปที่ 3.14 อุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) อุปกรณ์ตัดต่อกระแสไฟฟ้า (Circuit breaker) อุปกรณ์สำหรับปิด-เปิดระบบควบคุมของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ขนาดเบรกเกอร์ 32 แอมป์



รูปที่ 3.15 เบรกเกอร์

(3) รีเลย์ (Relay) อุปกรณ์ที่อยู่ในระบบควบคุมมีหน้าที่รับคำสั่งจากกล่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับตัดต่อฮีตเตอร์ โดยในการทดลองจะใช้เป็น SSR (Solid state relay) ซึ่งมีความทนทาน และรับกระแสได้มาก



รูปที่ 3.16 รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

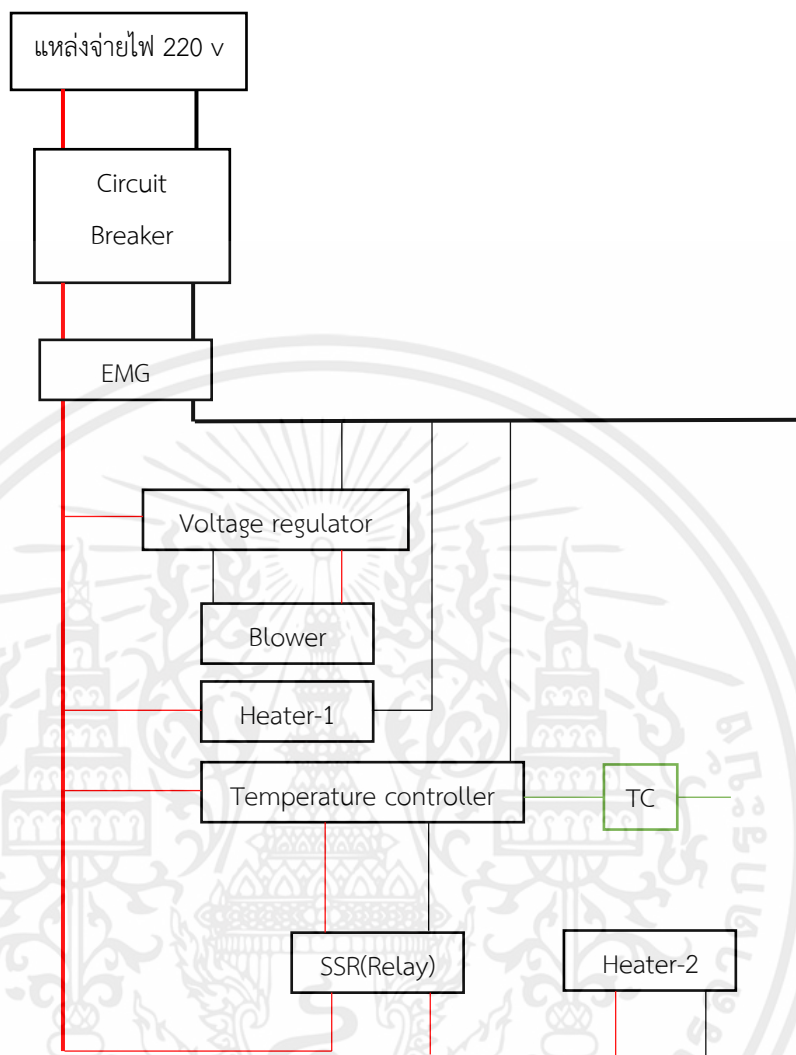
(4) ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) อุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิโดยการตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการ เมื่ออุณหภูมิถึงที่กำหนดระบบจะทำการตัดการทำงานของฮีตเตอร์ ซึ่งสั่งการทำงานจากกล่องควบคุมอุณหภูมิ และเมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่าที่กำหนด กล่องก็จะสั่งให้ฮีตเตอร์กลับมาทำงานอีกครั้ง



รูปที่ 3.17 กล่องควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แผนผังระบบไฟฟ้าในชุดควบคุมเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน



รูปที่ 3.18 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การศึกษาผลของแผ่นบังค้ำบการไหล (Pass Divider) ต่อการกระจายตัวของลมร้อนในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับยางแผ่นผึ่งแห้ง

(1) เปิดเบรกเกอร์ ตั้งค่าอุณหภูมิจำกัดที่ 60 องศาเซลเซียส และปรับแผ่นบังค้ำบทิศทางการไหลที่มุม 90°

(2) เมื่อผ่านไป 3 ชั่วโมง อ่านค่าอุณหภูมิ 27 ตำแหน่ง และบันทึกผล

(3) ทำซ้ำข้อ 1 และ 2 อีก 2 ครั้ง

(4) ปรับแผ่นบังค้ำบทิศทางการไหลที่มุม 45° ทำซ้ำข้อ 2 อีก 2 ครั้ง

(5) ปรับแผ่นบังค้ำบทิศทางการไหลที่มุม 135° ทำซ้ำข้อ 2 อีก 2 ครั้ง

(6) ทำซ้ำข้อ 1 ใส่ผ้าแทนโหลดของเครื่อง ทำซ้ำข้อ 2 ตามลำดับ

(7) ทำซ้ำข้อ 2 อีก 2 ครั้ง

(8) ปรับแผ่นบังค้ำบทิศทางการไหลที่มุม 45° ทำซ้ำข้อ 2 อีก 2 ครั้ง

(9) ปรับแผ่นบังค้ำบทิศทางการไหลที่มุม 135° ทำซ้ำข้อ 2 อีก 2 ครั้ง

3.5.2 วิธีการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งลมร้อน

3.5.2.1 ทดลองโดยใช้อากาศภายนอก 100%

(1) ตรวจสอบอุปกรณ์และเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

(2) ปรับองศาของแผ่นบังค้ำบทิศทางการไหลให้อยู่ที่มุม 45°

(3) ชั่งน้ำหนักแผ่นยางพารา และบันทึกผล

(4) นำยางพาราแผ่นขึ้นตากบนตะแกรงตากแผ่นยาง 24 แผ่น

(5) สุ่มอ่านค่าความชื้นของแผ่นยาง และบันทึกค่า

(6) นำตะแกรงที่มีแผ่นยางตากอยู่เข้าเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

(7) บันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศและอุณหภูมิทั้งภายนอกและภายในเครื่องอบแห้ง

แบบลมร้อน

(8) เปิดการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนตั้งค่าอุณหภูมิจำกัดที่ 60 องศาเซลเซียส

(9) หลังจากผ่านไป 1 ชั่วโมง ให้ทำข้อ 5 และ ข้อ 7 ซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าจะครบ 65 ชั่วโมง

(10) ทุกๆ 1 ชั่วโมงหลังจากเปิดการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ให้ปรับแผ่นบังค้ำบการไหลไปที่มุม 90° 135° และ 45° ตามลำดับ จนครบ 65 ชั่วโมง

(11) หลังจากครบ 65 ชั่วโมง นำแผ่นยางที่อบแห้งแล้วมาชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

(12) ทำซ้ำทั้งหมดอีก 2 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.2 ทดลองโดยวนลมร้อนกลับมา 20%

- (1) ตรวจสอบอุปกรณ์และเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
- (2) ปรับองศาของแผ่นบังคับทิศทางการไหลให้อยู่ที่มุม 45°
- (3) ชั่งน้ำหนักแผ่นยางพารา และบันทึกผล
- (4) นำยางพาราแผ่นขึ้นตากบนตะแกรงตากแผ่นยาง 24 แผ่น
- (5) สุ่มอ่านค่าความชื้นของแผ่นยาง และบันทึกค่า
- (6) นำตะแกรงที่มีแผ่นยางตากอยู่เข้าเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน
- (7) บันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศและอุณหภูมิทั้งภายนอกและภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน
- (8) เปิดการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนตั้งค่าอุณหภูมิจำกัดที่ 60 องศาเซลเซียส
- (9) หลังจากผ่านไป 1 ชั่วโมง ให้ทำข้อ 5 และ ข้อ 7 ซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะครบ 55 ชั่วโมง
- (10) ทุกๆ 1 ชั่วโมงหลังจากเปิดการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ให้ปรับแผ่นบังคับการไหลไปที่มุม 90° 135° และ 45° ตามลำดับ จนครบ 55 ชั่วโมง
- (11) หลังจากครบ 65 ชั่วโมง นำแผ่นยางที่อบแห้งแล้วมาชั่งน้ำหนักและบันทึกผล
- (12) ทำซ้ำทั้งหมดอีก 2 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

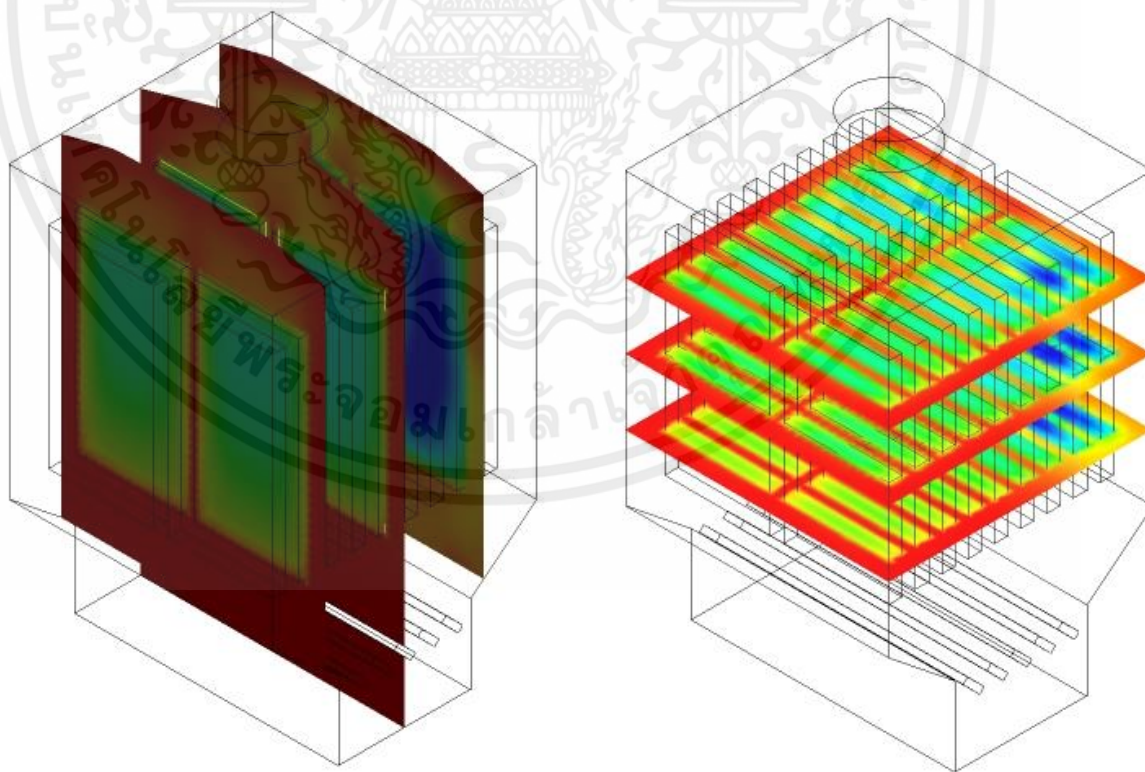
ผลและวิจารณ์ผล

ในบทนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับผลการทดสอบ และอภิปรายผลที่ได้จากการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับยางแผ่นผึ่งแห้ง มีการศึกษาหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน โดยในการทดสอบจะทดสอบทั้งแบบมีไหลด์และแบบไม่มีไหลด์เพื่อหาอุณหภูมิของอากาศร้อนที่กระจายอยู่ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน และการทดสอบอบแห้งยางพาราแผ่นให้ได้อย่างที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ

4.1 การศึกษาผลของแผ่นบังคับการไหล (Pass Divider) ต่อการกระจายตัวของลมร้อนในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับยางแผ่นผึ่งแห้ง

4.1.1 การกระจายตัวของอุณหภูมิในรูปของ simulator กรณีที่มีไหลด์

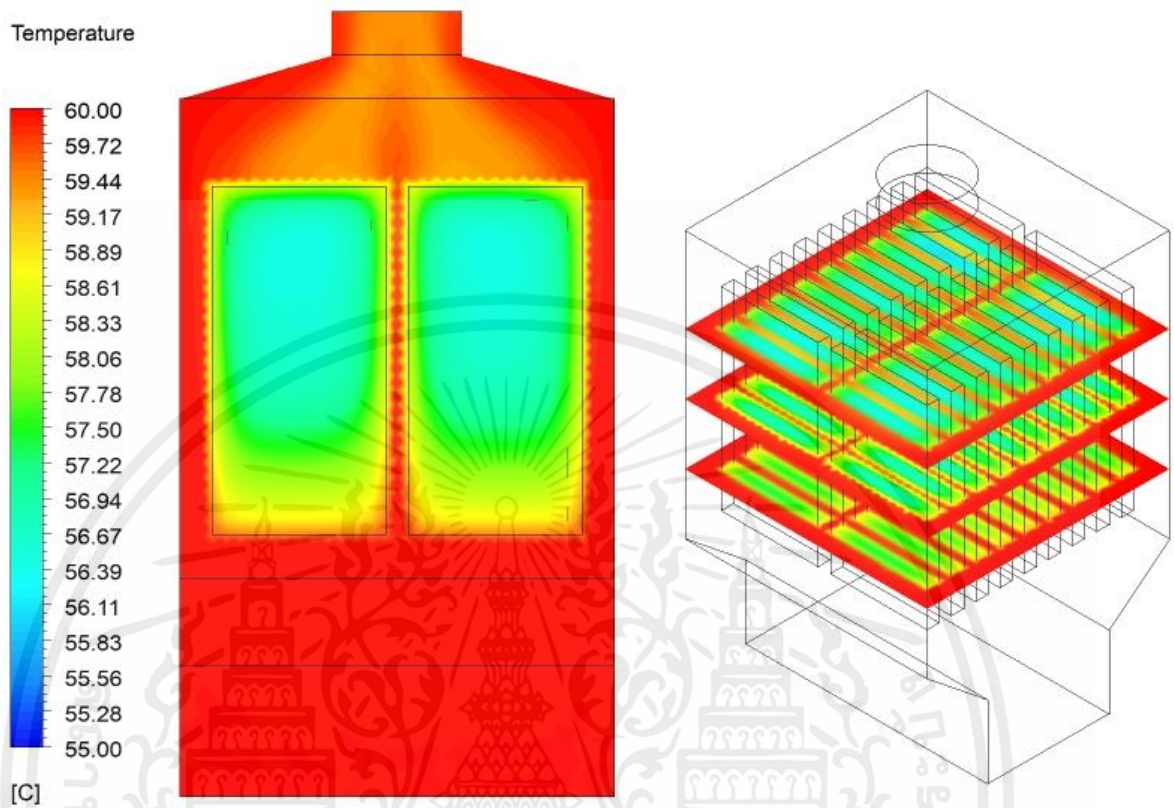
แสดงตำแหน่งข้อมูล ระบายที่ 1-3 (ด้านหน้า ตรงกลางและ ด้านหลัง) และระบายที่ 4-6 (ด้านล่าง ตรงกลางและ ด้านบน)



รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งข้อมูล ระบายที่ 1 ถึง ระบายที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

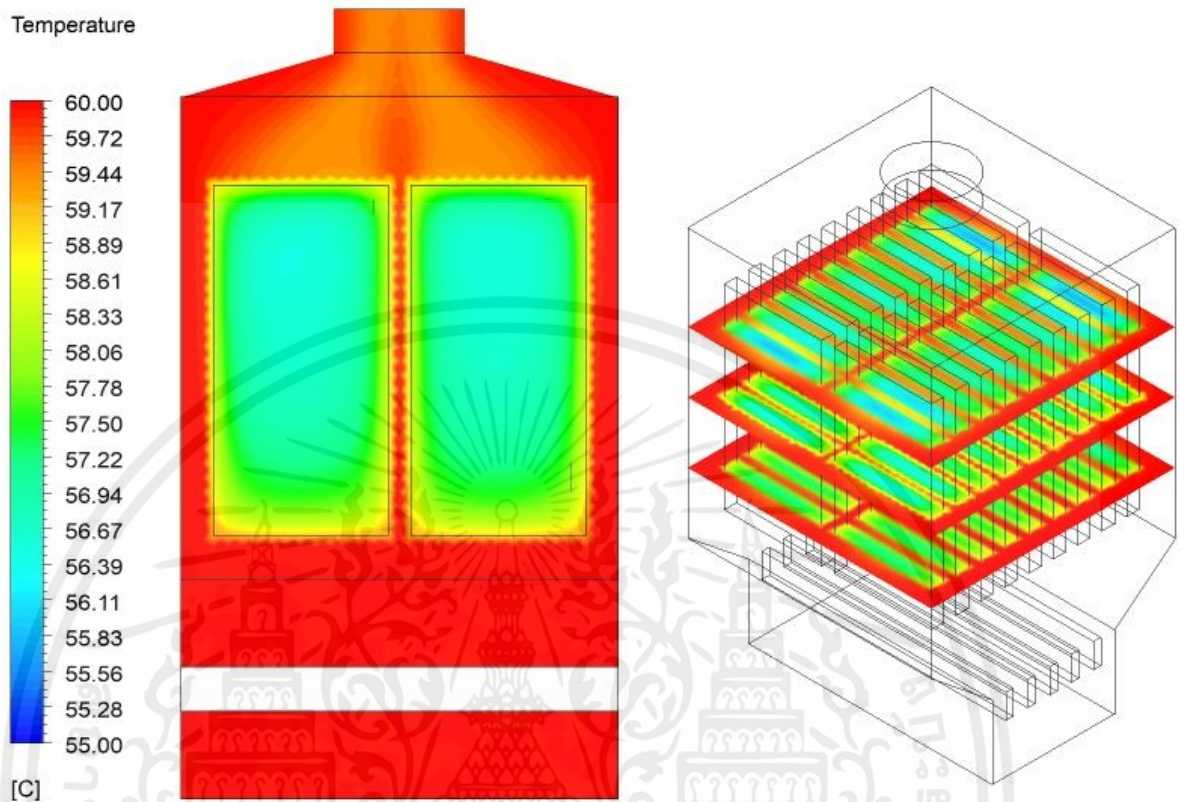
4.1.1.1 กรณีที่ไม่มีแผ่นบังคับการไหล



รูปที่ 4.2 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นแบบลมร้อนกรณีที่ไม่มีแผ่นบังคับการไหล

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นแบบลมร้อนกรณีที่ไม่มีแผ่นบังคับการไหล มีการกระจายของอุณหภูมิที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ

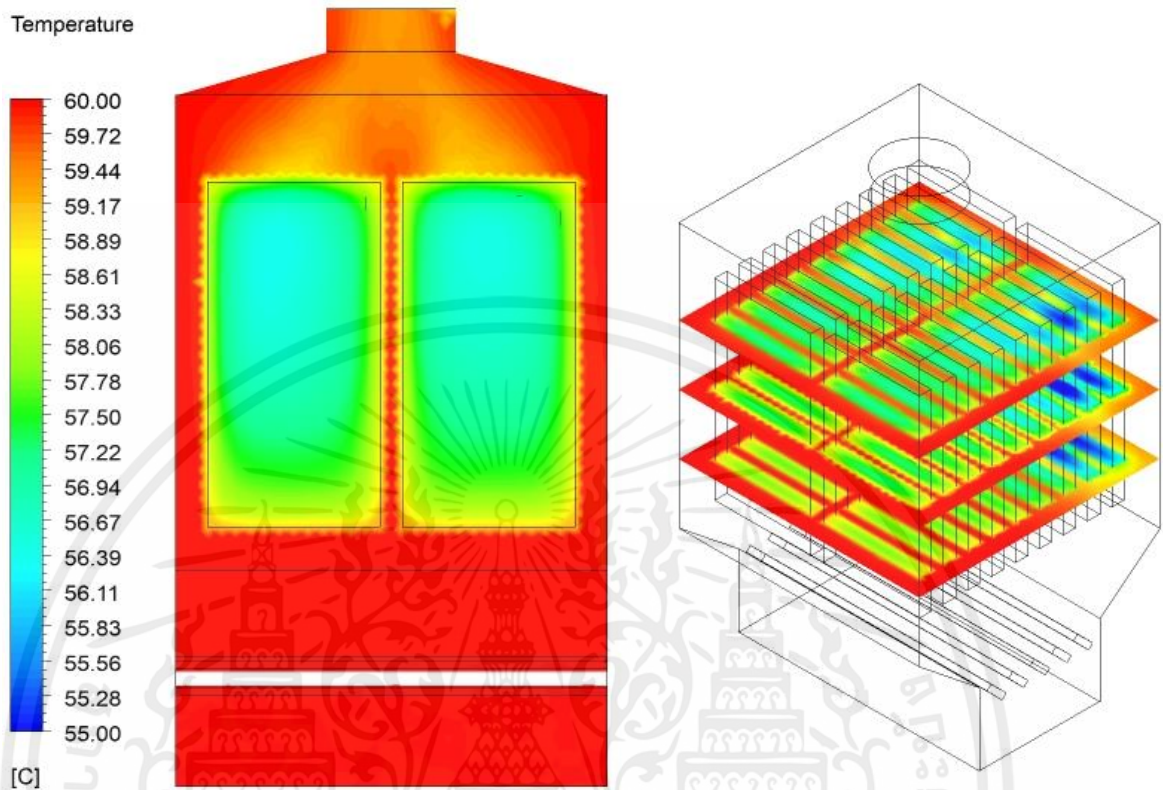
4.1.1.2 กรณีที่ใช้แผ่นบังคับการไหล ทำมุม 90°



รูปที่ 4.3 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นแบบลมร้อนกรณีที่ใช้แผ่นบังคับการไหลที่ทำมุม 90°

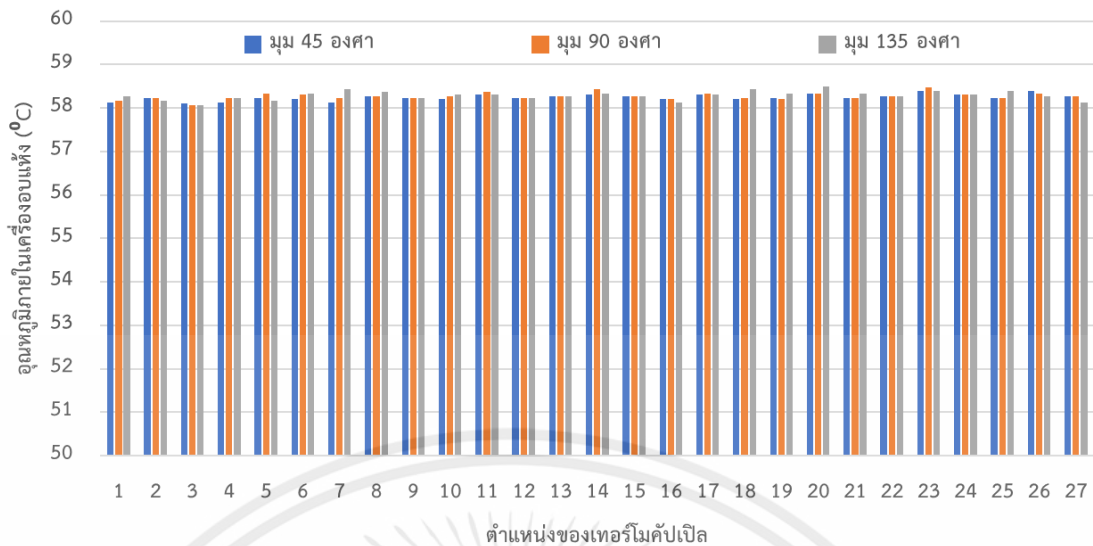
จากรูปที่ 4.3 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นแบบลมร้อนกรณีที่ใช้แผ่นบังคับการไหลที่ทำมุม 90° มีการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ผลโดยรวมไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก เมื่อเทียบกับการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นแบบลมร้อนกรณีที่ไม่มีแผ่นบังคับการไหล

4.1.1.3 กรณีที่ใช้แผ่นบังคับการไหล ทำมุม 45° (หรือ 135°)



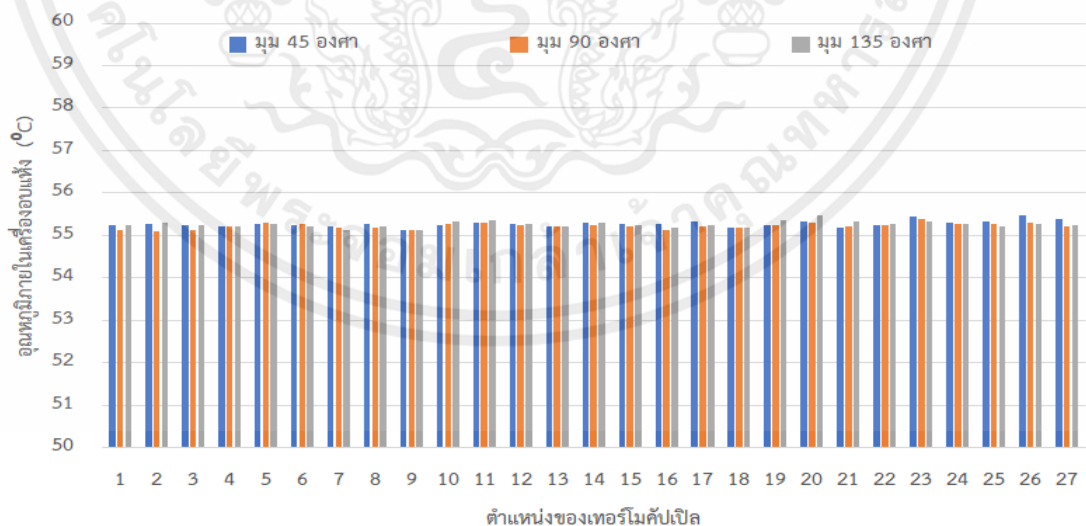
รูปที่ 4.4 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นแบบลมร้อนกรณีที่ใช้แผ่นบังคับการไหลที่ทำมุม 45° หรือ 135°

จากรูปที่ 4.4 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งยางพาราแผ่นแบบลมร้อนกรณีที่ใช้แผ่นบังคับการไหลที่ทำมุม 45° หรือ 135° มีการกระจายตัวที่ดี ในฝั่งที่แผ่นบังคับการไหลได้ปรับไปทางด้านนั้นๆ และส่วนฝั่งที่อยู่ตรงกันข้ามกับจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าเล็กน้อย อธิบายได้ว่ากรณีใช้แผ่นบังคับการไหลเราจะสามารถเพิ่มอัตราการอบแห้ง (Drying rate) ในทิศทางต่างๆ ได้โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนการวางแผ่นยางใหม่และยังทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนไม่เกิดการสูญเสียระหว่างที่ทำการเปิดเครื่องอบแห้งเพื่อปรับเปลี่ยนการวางแผ่นยาง โดยการปรับมุมของแผ่นบังคับการไหล ซึ่งดูได้จากการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในยางพาราแผ่นฝั่งแห้ง



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของแผ่นบังคับทิศทางการไหลที่ทำมุม 45° 90° และ 135° แบบไม่มีไหล

จากกราฟรูปที่ 4.5 จะสังเกตเห็นได้ว่า ในกราฟแต่ละเส้นจะมีความสูงของเส้นกราฟมีค่าอยู่ในช่วงที่ไม่ต่างกันมาก สามารถบอกได้ว่าการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ มีค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นบังคับการไหลที่ทำมุม 45° 90° และ 135° ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกถึงการกระจายตัวของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับยางแผ่นผึ่งแห้งได้ดี ระบายด้านล่างมีอุณหภูมิเฉลี่ย 58.22 °C ระบายด้านตรงกลางมีอุณหภูมิเฉลี่ย 58.28 °C และระบายด้านบนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 58.30 °C



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของแผ่นบังคับการไหลที่ทำมุม 45° 90° และ 135° แบบมีไหล

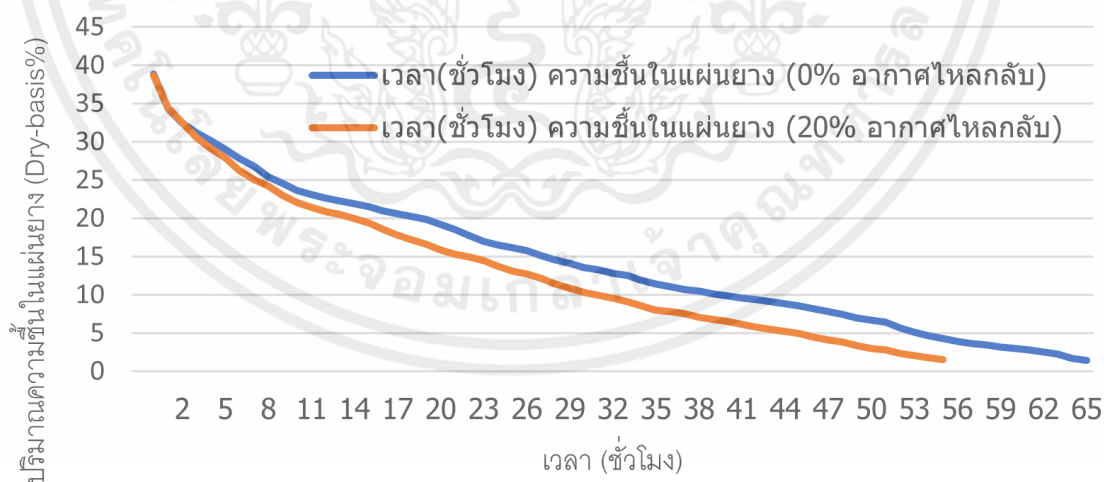
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.6 กราฟแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิที่สม่ำเสมอไม่มีการแตกต่างกันมากเกินไป ทั้ง 27 ตำแหน่ง ต่อแผ่นบังคับการไหลที่ทำมุม 45° 90° และ 135° จะเห็นได้ว่าลมร้อนภายในตู้อบแห้งยางพาราแผ่นมีการกระจายตัวได้เป็นอย่างดี ถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มภาระเข้ามาก็ตาม ระบายด้านล่างมีอุณหภูมิเฉลี่ย 55.20°C ระบายด้านตรงกลางมีอุณหภูมิเฉลี่ย 55.24°C และระบายด้านบนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 55.33°C

จากกราฟรูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ทั้ง 27 จุด เพื่อวัดการกระจายตัวของความร้อนจากลมร้อนทั้งแบบที่มีไหลและไม่มีไหล พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละจุดนั้นมีความแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งสามารถบอกได้ว่ากระจายตัวของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนนั้นอยู่ในระดับสม่ำเสมอ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่พบทั้งแบบมีไหลและไม่มีไหล คือ 58.50 และ 55.47 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และพบว่า อุณหภูมิของทั้งแบบมีไหลและแบบไม่มีไหลนั้นแตกต่างกันอยู่ที่ประมาณ 3 องศาเซลเซียส เนื่องจากไหลมีความชื้น ทำให้เกิดการพาความร้อนที่สะสมอยู่ในแผ่นยางออกทางปล่องไล่ความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

ความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่างมีไหลกับไม่มีไหล ระบายด้านล่างมีอุณหภูมิแตกต่างเฉลี่ย 3.017°C ระบายด้านตรงกลางมีอุณหภูมิแตกต่างเฉลี่ย 3.03°C และระบายด้านบนมีอุณหภูมิแตกต่างเฉลี่ย 3.01°C

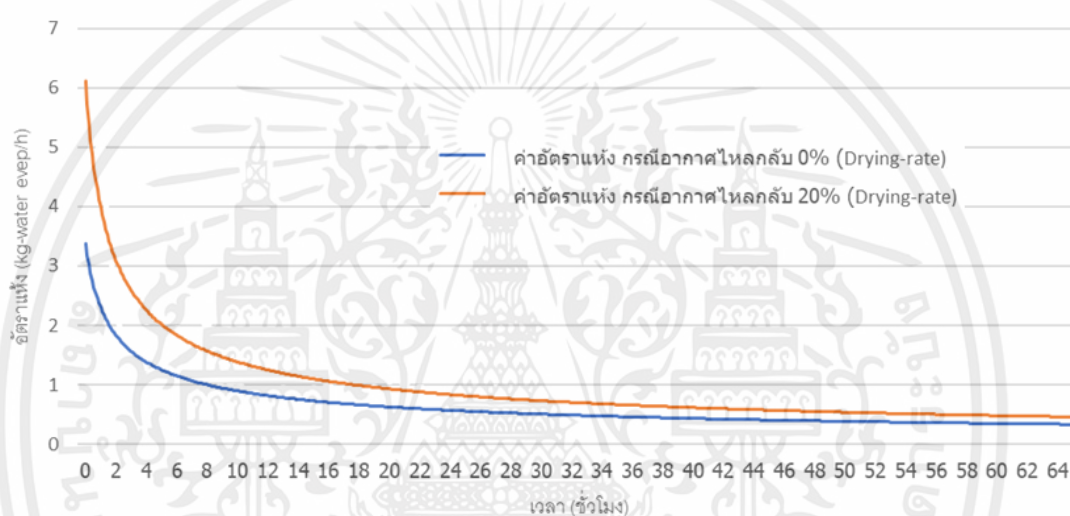
4.2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับยางแผ่นผึ่งแห้ง



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในยางพาราแผ่นเทียบกับเวลา

จากรูปที่ 4.7 ปริมาณความชื้นในแผ่นยาง (dry-basis%) ในกรณีลมไหลกลับ 0% มีความชื้น 38.87% (Dry-basis%) ในช่วง 6 ชั่วโมงแรกค่าความชื้นจะลดลงมาเร็วอยู่ที่ 27.87% (Dry-basis%) 24 ชั่วโมงมีความชื้นอยู่ที่ 16.57% (Dry-basis%) 48 ชั่วโมงมีความชื้นอยู่ที่ 7.47% (Dry-basis%) และเมื่อครบ 65 ชั่วโมงมีความชื้นอยู่ที่ 1.4% (Dry-basis%)

ในกรณีลมไหลกลับ 20% มีความชื้น 38.7% (Dry-basis%) ในช่วง 5 ชั่วโมงแรกค่าความชื้นจะลดลงมาเร็วอยู่ที่ 27.9% (Dry-basis%) 24 ชั่วโมงมีความชื้นอยู่ที่ 13.8% (Dry-basis%) 48 ชั่วโมงมีความชื้นอยู่ที่ 3.83% (Dry-basis%) และเมื่อครบ 55 ชั่วโมงมีความชื้นอยู่ที่ 1.47% (Dry-basis%)

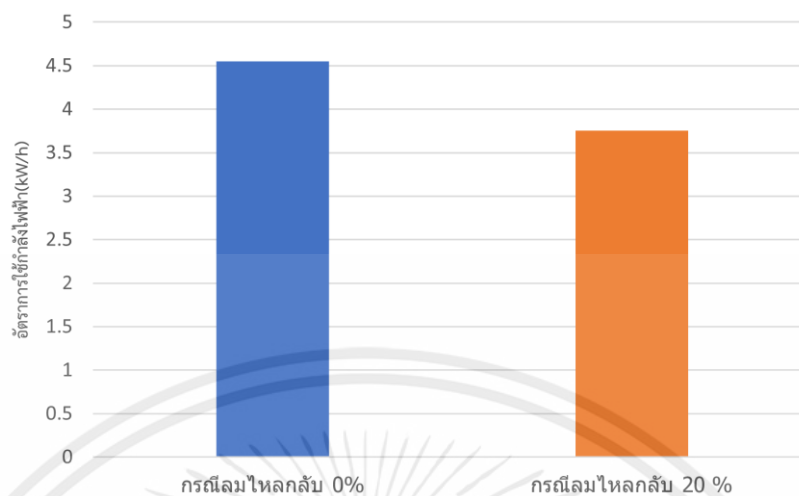


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์อัตราแห้งเทียบกับเวลา

จากรูปที่ 4.8 ในกรณีลมไหลกลับ 0% อัตราแห้ง (Drying-rate) ของยางพาราแผ่น เริ่มที่ 4.93 $\text{kg}_{\text{water}}/\text{h}$ ในช่วง 6 ชั่วโมงแรกมีการลดลงอย่างรวดเร็วอยู่ที่ 1.3 $\text{kg}_{\text{water}}/\text{h}$ หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงมา 65 ชั่วโมงจะมีค่าอยู่ที่ 0.4 $\text{kg}_{\text{water}}/\text{h}$

ในกรณีลมไหลกลับ 20% อัตราแห้ง (Drying-rate) ของยางพาราแผ่น เริ่มที่ 4.97 $\text{kg}_{\text{water}}/\text{h}$ ในช่วง 5 ชั่วโมงแรกมีการลดลงอย่างรวดเร็วอยู่ที่ 1.8 $\text{kg}_{\text{water}}/\text{h}$ หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงมา 55 ชั่วโมงจะมีค่าอยู่ที่ 0.57 $\text{kg}_{\text{water}}/\text{h}$

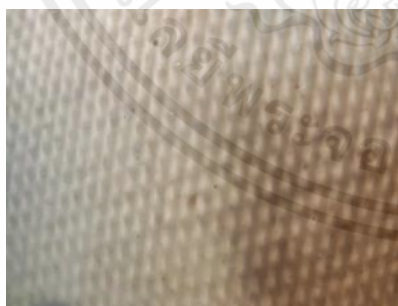
4.3 ผลการทดสอบการสิ้นเปลืองพลังงาน



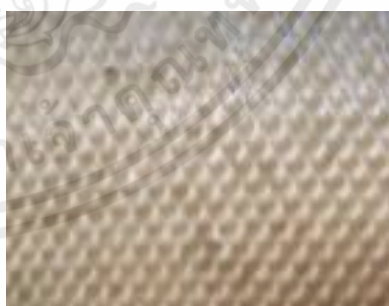
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าต่อเวลา

จากรูปที่ 4.9 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน (kW/h) ในกรณีที่ลมไหลกลับ 0% มีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 4.55 kW/h กรณีลมไหลกลับ 20% เนื่องจากกรณีลมไหลกลับ 20% มีการนำลมร้อนกลับมาใช้ทำให้ฮีตเตอร์ตัดต่อการทำงานได้มากกว่าในกรณีที่ลมไหลกลับ 0% จึงมีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 3.75 kW/h

4.4 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นยางพาราหลังจากอบแห้ง



รูปที่ 4.10 แผ่นยางพาราที่ผ่านการอบ 10 ซม.



รูปที่ 4.11 แผ่นยางพาราที่ผ่านการอบ 20 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แผ่นยางพาราที่ผ่านการอบ 34 ชม.

รูปที่ 4.13 แผ่นยางพาราที่ผ่านการอบ 55 ชม.

จากการทดลอง สีของแผ่นยางพาราที่ผ่านการอบแห้ง ที่ระยะเวลา 10 ชั่วโมง สีของยางพาราแผ่นยังคงมีความชุ่ม ดังรูปที่ 4.10 เมื่ออบแห้งยางพาราแผ่นต่อเป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง ยางพาราแผ่นเริ่มมีสีที่เข้มขึ้นแต่ยังไม่ใส ดังรูปที่ 4.11 และเมื่ออบแห้งยางพาราแผ่นต่ออีกเป็นระยะเวลา 20 ชั่วโมง ยางพาราเริ่มมีความใส แต่ยังไม่ทั่วทั้งแผ่นดังรูปที่ 4.12 แต่เมื่ออบแห้งยางพาราแผ่นต่อจนครบ 55 ชั่วโมง พบว่าแผ่นยางมีความใส มีสีน้ำตาลทั่วทั้งแผ่น ไม่มีฟองอากาศเห็นลายชัด ตามมาตรฐานยางแผ่นคุณภาพดี ดังรูปที่ 4.13

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

งานวิจัยนี้เป็นงานออกแบบและพัฒนาเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน เริ่มต้นด้วยการศึกษาข้อมูลวิจัยต่างเพื่อนำมาออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนด้วยการนำแผ่นบังคับการไหลมาใช้ในการบังคับทิศทางการไหลของลมร้อน ซึ่งจะทำให้ไม่ต้องเปิดเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนเพื่อกลับหน้าแผ่นยาง ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนน้อยลง

กรณีห้องอบยางพาราแผ่นที่ติดตั้งแผ่นบังคับการไหลของลมร้อนที่ทางเข้าห้องอบยางพาราแผ่นที่ไม่มีการนำอากาศร้อนที่ทางออกห้องอบยางแผ่นกลับมาใช้ใหม่ มีค่าอัตราแห้ง (Drying-rate) เฉลี่ย $0.576 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{h}$ ใช้เวลาในการอบ 65 ชั่วโมง ในการทำให้ความชื้นในเนื้อยางพาราอยู่ที่ 1.5% (Dry-basis%) การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของฮีตเตอร์ทั้งหมดอยู่ที่ 295.75 kW และกรณีที่นำอากาศร้อนที่ทางออกห้องอบยางพาราแผ่นกลับมาใช้ใหม่ที่อัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอัตราแห้ง (Drying-rate) เฉลี่ย $0.676 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{h}$ ใช้เวลาในการอบ 55 ชั่วโมง ในการทำให้ความชื้นในเนื้อยางพาราอยู่ที่ 1.47% (Dry-basis%) การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของฮีตเตอร์ทั้งหมดอยู่ที่ 206.25 kW โดยคุณภาพทางกายภาพของยางพาราแผ่นทั้งสองกรณีมีคุณภาพใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ

5.2.1 ควรติดตั้งระบบอัตโนมัติในส่วนของระบบเปิด-ปิดปล่องไล่ความชื้นและ ระบบการปรับมุมมองของแผ่นบังคับ

5.2.2 ควรเพิ่มกรณีศึกษาของอัตราการนำอากาศร้อนที่ทางออกห้องอบยางพาราแผ่นกลับมาใช้ใหม่อื่นๆ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทำงานของห้องอบยางพาราแผ่น

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยยาง. (1997). “การทดสอบมาตรฐานยางแผ่น.” สถาบันวิจัยยาง, กรมวิชาการ
การเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- [2] Wipavee Phatthanakul et.al. (2014). “Rubber” Rubber Journal. 32 pp15-21 Rubber
Research Institute. (1997). “Department of Agriculture.” Annual Report 1997
Bangkok.
- [3] Lopez Camelo, A.F., Gomez, P.A. (2004). “Comparison of colour indexes for
tomato ripening.” Horticultural Brassica 22(2): 534-537
- [4] สุรศักดิ์ สุทธิสงค์, กฤษณา คงศิลป์, จักรีเลื่อนราม (1994) “การศึกษาการกำหนดมาตรฐานเชิง
วิทยาศาสตร์ยางแผ่นผึ่งแห้ง.” ศูนย์วิจัยยางสงขลา สถาบันวิจัยยาง
- [5] Bakker-Arkemar and Hall. (1974). “Drying and Storage of Grains and Oilseeds.”
An AVI BOOK. pp 96.
- [6] เสริม จันทร์ฉาย. (1997). “เอกสารประกอบการสอนวิชาการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.”
ภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [7] Sodha et. Al. (1987). “Solar drying systems and their testing procedures.” Energy
Conversion and Management Volume 35, Issue 3, March 1994, Pages 219-267
- [8] Iglesias, H.A. and Chirife. (1982). “J. Handbook of Food isotherms.” Academic Press,
New York.
- [9] Thaloengrach Ninchuewong, Anupong Ekphon, Supawan Tirawanichakul, and Yut
thana Tirawanichakul. (2012). “Drying of Air Dried Sheet Rubber Using Hot Air
Dryer and Solar Dryer for Small Entrepreneurs and Small Rubber
Cooperatives.” Burapha Sci. J. 17 2: 50-59

- [10] Nattaraj, K. Jubjitmuem, L. and Natthaphon. (2013). "Performance evaluation of a heat pump dryer using different media." TSF-2036. in Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand 27th . Bangkok : MSU.
- [11] Eleeyah Saniso, Fameera Saudi and Radchadaporn Hanafee. (2012). "Moisture Diffusivity Coefficient Specific Energy Consumption and Specific Moisture Extraction Rate of Betel Nut Drying Using Combined Thermal Energy." Burapha Sci. J. 17. (2012). 1 : 142-149
- [12] Racha Dejchanchaiwong, Yutthana Tirawanichakul, Supawan Tirawanichakul And Perapong Tekasakul. (2014). "Single-phase and multiphase models for temperature and relative humidity calculations during forced convection in a rubber-sheet drying chamber." Maejo Int. J. Sci. Technol., 8(02), 207-220
- [13] ชูชาติ. (2012). "ตู้อบลมร้อน." เข้าถึงเมื่อ 24 พฤษภาคม 2564. เข้าถึงได้จาก <https://home.kku.ac.th/chuare/12/hotairoven.pdf>
- [14] Jutarut Tasara, Supawan Tirawanichakul and Yutthana Tirawanichakul. (2014). "Strategic Development of Crisp Tiny Anchovy Using Hot Air and Infrared Drying." Burapha Sci. J. 19 1 : 1-10
- [15] Chompoonuch Sananwai. (2015). "Increasing Efficiency of Rubber Sheet Production by Foaming Reduction in Compound Mixing Process." Kasetsart University Journal. Ph.D. 83
- [16] Jagrapan Piwsaoad. (2014). "PERFORMANCE OF AGREENHOUSE SOLAR DRYER FOR DRYING PARA RUBBER SHEETS." Silpakorn University Journal. pp 121
- [17] Thanongsak lapho (2011) "Development of Drying System for Muscular Sheets Dry with Hot Air and Solar Energy" ICCEACT 21 Hat Yai, Songkhla,Thailand, Sep 10-11, 2011
- [18] El-Sebaii, A. and Shalaby (2012), "A Solar drying of agricultural products" A Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 37-43

- [19] Janjai, S., Chaichoet C., Intawee P. (2004). “Performance of a PV-ventilated green house dryer for drying bananas.” Proceedings of the Joint International Conference on Sustainable Energy and Environmental, 1-3 December.
- [20] Janjai, S., Khamvongsa, V., Bala, B.K. (2007). “Development, Design and Performance of a PVVentilated Greenhouse Dryer.” International Energy Journal 8, 249-258
- [21] Pongsakorns Thephsorn. (2018). “Study of Bunch Fresh Palm Drying by Solar Energy” Princess of Naradhiwas University Journy, pp 159-172



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ขั้นตอนการคำนวณ

1.1 สมการหาค่าอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้ง

จากการทดสอบแห้งยางพาราแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อน ความชื้นเริ่มต้น 30-40% dry-basis ความเร็วลม 0.7 m/s ความชื้นสุดท้ายของยางไม่เกิน 1.5% dry basis

การวิเคราะห์ที่เมื่ออบยางพาราแผ่นเป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง โดยจะได้ค่าเฉลี่ย และคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

$$M_t = 32.97 \% \text{ dry basis}$$

$$T = 327.8 \text{ K}$$

$$M_{in} = 44.37 \% \text{ dry basis}$$

$$RH = 76.67 \%$$

คำนวณหาค่าความชื้นสมดุล (%dry basis) แทนค่าในสมการ 2.16 เพื่อหาค่าได้ดังนี้

$$M_{eq} = \left\{ \frac{(-0.377)}{\left[\left((-33174.96 \cdot 1) 327.8 + (107.421 (327.8^2)) \right) \right] \ln 76.67} \right\}^{\left(\frac{1}{2.264} \right)}$$

$$M_{eq} = 9.91 \times 10^{-4}$$

และคำนวณหาค่าอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้ง จากสมการที่ 2.15 ได้ดังนี้

$$MR = \frac{32.97 - 9.91 \times 10^{-4}}{44.37 - 9.91 \times 10^{-4}} = 0.74$$

เมื่อ MR คือ อัตราความชื้นของการอบแห้ง

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (% dry - basis),

M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น (% dry - basis),

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล

1.2 ตัวอย่างการคำนวณสำหรับชุดทดลองการอบแห้งยางพาราแผ่น

1.2.1 การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

การหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.17 วิเคราะห์ที่ยางพาราที่มีความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 38.87 และ 1.40 ตามลำดับ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Drying rate} = \frac{(38.87-1.4)(1)}{65}$$

$$\text{Drying rate} = 0.58 \text{ kg-water evap/h}$$

1.3 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า(ยูนิต)

$$\text{จำนวนหน่วย(ยูนิต)} = \frac{\{(1000 \times 3) + (550 \times 1)\}}{1000} \times 65$$

$$\text{จำนวนหน่วย(ยูนิต)} = 227.5 \text{ ยูนิต}$$

2. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต (Cost Analysis)

Total cost = Fixed Cost + Variable Cost

ตาราง ก.1 ตารางต้นทุนการผลิต (Fixed Cost)

ต้นทุนคงที่	ราคา (บาท)
เหล็กกล่อง ขนาด 2 x 1 นิ้ว	1,620
แผ่นสังกะสี ขนาด 120 x 240 เซนติเมตร	3,240
เหล็กเส้น ขนาด ¾ นิ้ว	290
ท่อเหล็ก ขนาด ½ นิ้ว	110
แบร์ริง รุ่น 6201ZZ	330
รีเลย์ ชนิด SSR	70
โบเวอร์ ขนาด ¾ แรง	3,000
ฮีตเตอร์รังผึ้ง ขนาด 1000 วัตต์	1,500
กล่องควบคุมอุณหภูมิ	330
เครื่องอ่านค่าเทอร์โมคัปเปิล type k	350
ตู้คอลโทล	380
กล่องควบคุมแรงดันไฟฟ้า	400
ฉนวนกันความร้อน	670

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นทุนคงที่	ราคา (บาท)
เทอร์มินอล	90
เบรกเกอร์	80
เทอร์โมคับเปิล type k	1,250
เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ	400
ไม้อัด	450
สายไฟ	520
จีปาละ	2,500
ค่าแรง (6เดือน)	20,000
รวม	37,580

ดังนั้นต้นทุนการผลิตทั้งหมด (Total Cost) = 37,580

การใช้พลังงาน

การสิ้นเปลืองไฟฟ้าจากการใช้เครื่อง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4.06 บาท (ภาคผนวก จ.) ซึ่งเครื่องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า ดังนี้ ฮีตเตอร์ มีขนาด 1000 วัตต์ 4 ตัว และโบเวอร์ มีขนาด $\frac{3}{4}$ แรงม้า หรือ 550 วัตต์

กรณีลมไหลกลับ 0% ใช้ไฟฟ้า = 4.55 kW/h

กรณีลมไหลกลับ 20% ใช้ไฟฟ้า = 3.75 kW/h

ดังนั้น การสิ้นเปลืองไฟฟ้า

กรณีลมไหลกลับ 0% การสิ้นเปลืองไฟฟ้าทั้งหมด = $4.55 \times 4.06 = 18.47$ บาทต่อชั่วโมง

กรณีลมไหลกลับ 20% การสิ้นเปลืองไฟฟ้าทั้งหมด = $3.75 \times 4.06 = 15.22$ บาทต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการบ่งบอกคุณภาพของยางแผ่น ได้แก่

ปริมาณสิ่งสกปรก

สิ่งสกปรกมีความสำคัญต่อกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางพารา ถ้ายางพารามีปริมาณสิ่งสกปรกสูง จะมีผลต่อกระบวนการแปรรูป และคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมการผลิตยางให้มีปริมาณสิ่งสกปรกน้อยที่สุดโดยคิดเป็นร้อยละได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณสิ่งสกปรก} = \frac{B_D - A_D}{W_D} \times 100\%$$

เมื่อ A_D คือ น้ำหนักตัวกรอง, g

B_D คือ น้ำหนักตัวกรองพร้อมสิ่งสกปรก, g

W_D คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบ, g

$$\text{ปริมาณเถ้า} = \frac{B_A - A_A}{W_A} \times 100\%$$

เมื่อ B_A คือ น้ำหนักถ้วยทนความร้อน, g

A_A คือ น้ำหนักถ้วยทนความร้อนพร้อมเถ้า, g

W_A คือ น้ำหนักชิ้นทดสอบ, g

ปริมาณสิ่งระเหย

สิ่งระเหยภายในยางส่วนมากเป็นความชื้น ถ้ามีปริมาณสูงจะทำให้เกิดราได้ง่าย มีกลิ่นเหม็น และเกิดปัญหาระหว่างกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์โดยทำให้แผ่นยางลื่น บดผสมกับสารเคมีอื่นได้ยาก โดยปริมาณสิ่งระเหยคิดเป็นร้อยละได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณสิ่งระเหย} = \frac{A_V - B_V}{A_V} \times 100\%$$

เมื่อ A_V คือ น้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนอบ, g

B_V คือ น้ำหนักชิ้นทดสอบหลังอบ, g

ปริมาณไนโตรเจน

ไนโตรเจนในยางส่วนใหญ่อยู่ในรูปของโปรตีน ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนจึงเป็นตัว บ่งชี้ว่าในยางดิบมีโปรตีนอยู่มากน้อยเพียงใด เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ผลิตนำยางซึ่งมีปริมาณ ไนโตรเจนสูงมาผลิตยาง โดยปริมาณไนโตรเจนคิดเป็นร้อยละได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน} = \frac{(V_1 - V_2)M_N}{W_N} \times 0.028 \times 100\%$$

เมื่อ V_1 คือ ปริมาณสารละลายกรดกำมะถันที่ใช้ในการไนเตรทตัวอย่าง, ml

V_2 คือ ปริมาณสารละลายกรดกำมะถันที่ใช้ในการไนเตรท, ml

M_N คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดกำมะถัน, โมลาร์

W_N คือ น้ำหนักชิ้นทดสอบ, ml

ดัชนีความอ่อนตัว

ดัชนีความอ่อนตัวของแผ่นยางแสดงถึงความต้านทานของยางดิบต่อการแตกหักของโมเลกุลที่อุณหภูมิสูง ยางที่มีดัชนีความอ่อนตัวสูงแสดงว่ามีความต้านทานต่อการแตกหักของโมเลกุลสูง โดยดัชนีความอ่อนตัวคำนวณได้จาก

$$PRI = \frac{P_{30}}{P_0} \times 100$$

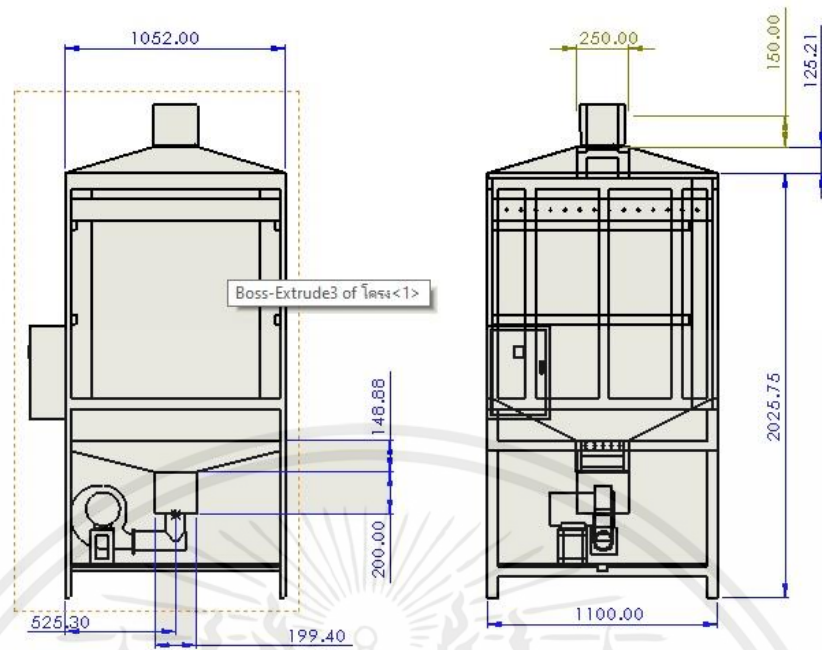
เมื่อ PRI คือ ดัชนีความอ่อนตัว (plasticity retention index)

P_0 คือ ค่ามัธยฐานความอ่อนตัวของยางชุดที่ไม่ได้อบ

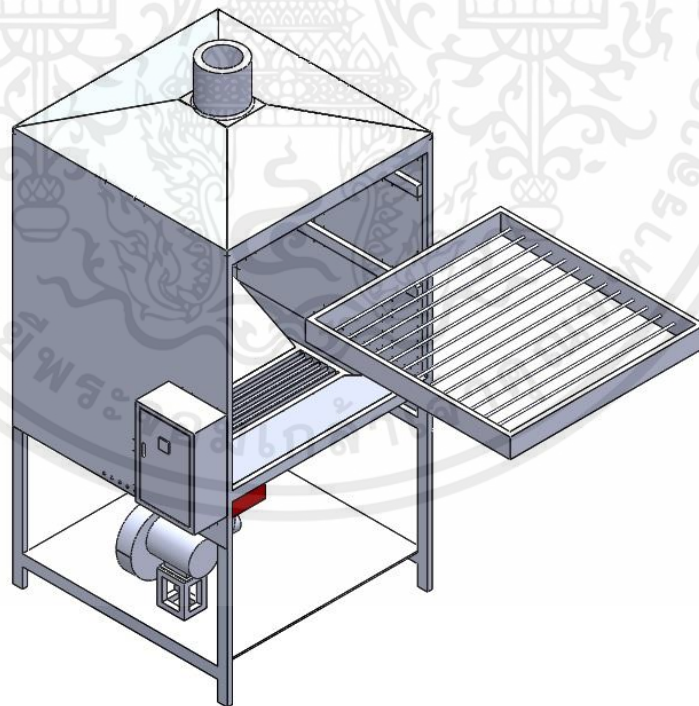
P_{30} คือ ค่ามัธยฐานความอ่อนตัวของยางชุดที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 แบบร่างเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับยางแผ่นผึ่งแห้ง



รูปที่ ข.2 แบบจำลอง 3 มิติของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับยางแผ่นผึ่งแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 ชั้นรูปท่อเพื่อวนอากาศกลับมาใช้ใหม่



รูปที่ ข.4 ชั้นรูปโครงและตะแกรงตากแผ่นยาง



รูปที่ ข.5 ติดตั้งสังกะสีรอบๆตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 เชื่อมฐานกล่องชุดฮีตเตอร์



รูปที่ ข.7 แผ่นบังคับการไหลของลมร้อนที่ทางเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.8 ชุดกลไกการปรับองศาของแผ่นบังคับการไหล



รูปที่ ข.9 ปล่องไล่ความชื้นและหลังคาตู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

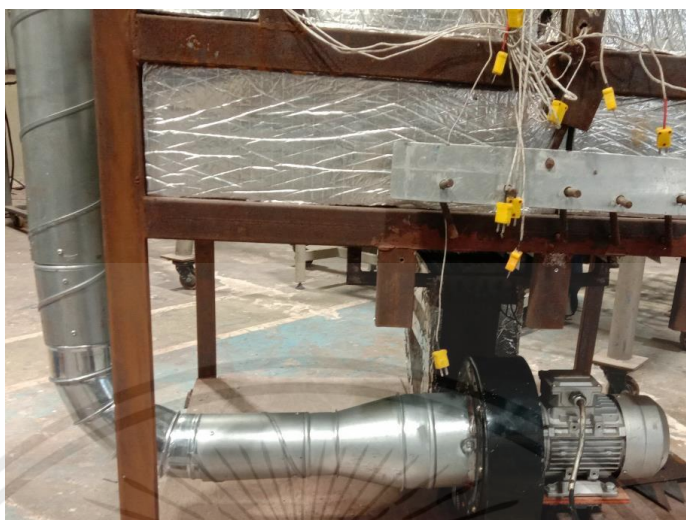


รูปที่ ข.10 ภายในตุ้



รูปที่ ข.11 มุมมองด้านบนของตุ้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

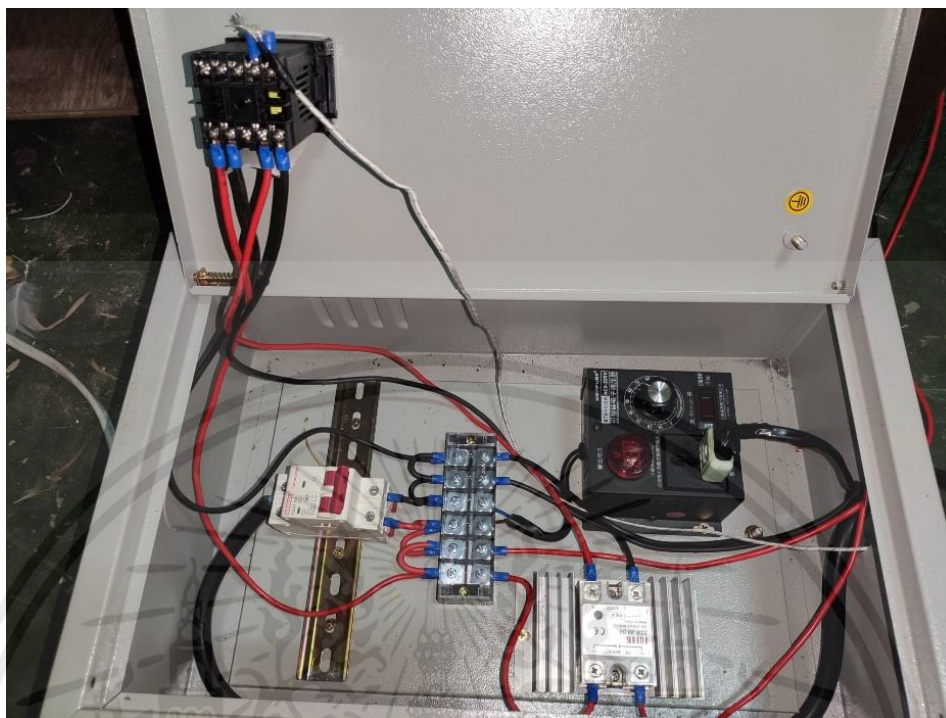


รูปที่ ข.12 ชุดกล่องฮีตเตอร์หลังจากการติดตั้ง



รูปที่ ข.13 ตู้ที่เสร็จสมบูรณ์พร้อมตะแกรงตากแผ่นยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.14 ตู้ควบคุมการทำงานของตู้อบแผ่นยาง



รูปที่ ข.15 การตากยางพาราแผ่นบนตะแกรง1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

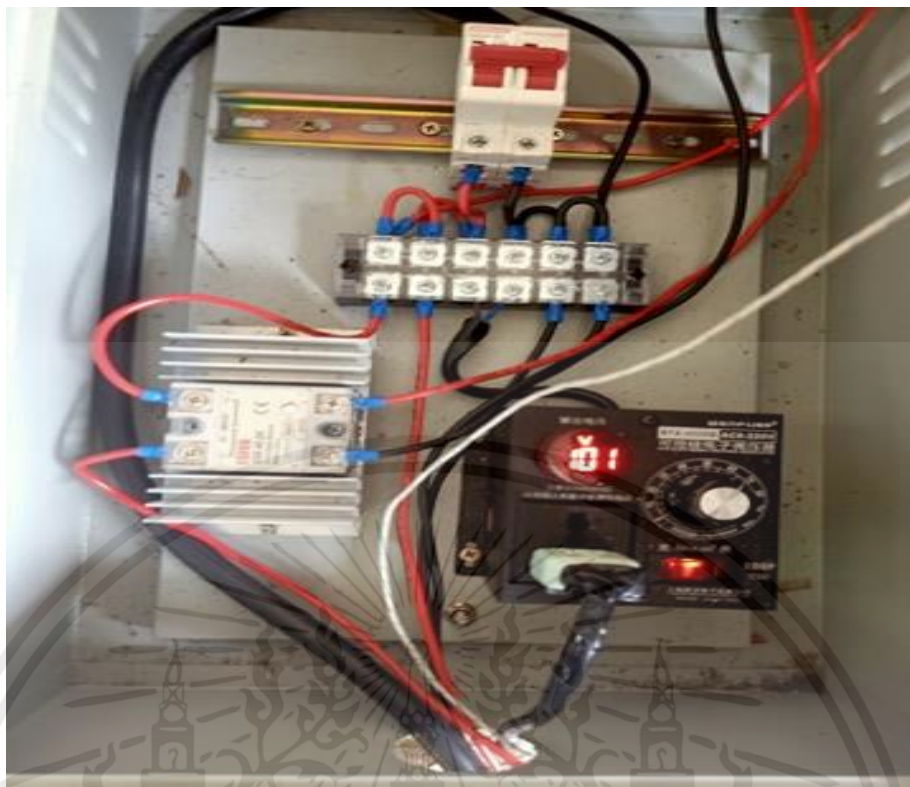


รูปที่ ข.16 การตากยางพาราแผ่นบนตะแกรง2



รูปที่ ข.17 การจัดวางยางพาราแผ่นภายในตู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.18 การปรับความเร็วลม



รูปที่ ข.19 การอ่านค่าเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.20 การจัดวางฮีตเตอร์แบบเก่า



รูปที่ ข.21 การจัดวางฮีตเตอร์แบบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.22 การวางตำแหน่งฮีตเตอร์แบบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1 ตารางบันทึกผลความชื้นครั้งที่ 1

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นในตัว	ความชื้นนอกตัว	ความชื้นในแผ่นยาง (Dry-basis %)	อุณหภูมิ (°C)	
	Rh (%)	Rh (%)		ขาออก	ขาเข้า
0	70	70	38.9	29.8	29.8
1	43.7	69	34.5	55.2	60
2	39.1	69	32.3	54.8	60
3	35.8	73	31.1	55.1	60
4	31.9	74	30	55.2	60
5	33.5	78	29	55	60
6	34	79	27.9	54.9	60
7	34	80	26.8	55	60
8	35.4	80	25.8	55.1	60
9	35.3	80	25	55.3	60
10	34.2	80	24.1	54.7	60
11	34.7	80	23.5	54.8	60
12	34.1	86	23.1	54.9	60
13	32.2	84	22.8	54.8	60
14	36	84	22.3	54.8	60
15	33.7	84	21.9	54.9	60
16	31.7	81	21.5	54.9	60
17	31.1	82	21.1	55.1	60
18	31.1	83	20.7	55.1	60
19	30.6	78	20.2	55	60
20	31.6	74	19.5	55.1	60
21	27.5	66	18.6	55.3	60
22	26.6	60	17.7	55.5	60
23	26.1	60	16.9	55.6	60
24	27.1	62	16.6	55.4	60
25	27.7	60	16	55.3	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นในตู้	ความชื้นนอกตู้	ความชื้นในแผ่นยาง (Dry-basis %)	อุณหภูมิ (°C)	
	Rh (%)	Rh (%)		ขาออก	ขาเข้า
26	26.9	60	15.8	55.4	60
27	26.5	62	15.1	54.9	60
28	27.4	64	14.5	54.8	60
29	29.2	69	14	54.9	60
30	29.2	74	13.6	54.7	60
31	29.3	71	13.2	54.8	60
32	28.3	74	12.8	54.8	60
33	28.6	73	12.5	54.7	60
34	29.6	75	11.9	54.8	60
35	29.3	76	11.3	54.7	60
36	29.1	78	11	54.6	60
37	29.1	75	10.8	54.8	60
38	28.5	76	10.5	54.7	60
39	28.2	75	10.2	54.8	60
40	29.3	75	9.9	54.7	60
41	28.7	75	9.6	54.7	60
42	27.5	74	9.4	54.9	60
43	29.2	69	9.1	55	60
44	27.9	61	8.8	55.2	60
45	29.4	66	8.5	55.3	60
46	29	61	8.1	55.3	60
47	26.5	51	7.8	55.4	60
48	27.1	57	7.5	55.3	60
49	27.7	62	7	55.4	60
50	27.9	63	6.9	55.3	60
51	25.8	65	6.5	55	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นในตู้	ความชื้นนอกตู้	ความชื้นในแผ่นยาง (Dry-basis %)	อุณหภูมิ (°C)	
	Rh (%)	Rh (%)		ขาออก	ขาเข้า
52	26	66	5.6	55.1	60
53	25.7	68	4.9	54.9	60
54	26.5	73	4.5	54.8	60
55	25.9	74	4.2	54.8	60
56	26.3	75	4	54.9	60
57	26.1	76	3.7	54.8	60
58	26.4	75	3.5	55	60
59	26.0	76	3.2	54.8	60
60	26.3	78	3	54.9	60
61	25.9	76	2.8	54.8	60
62	26.5	75	2.6	54.8	60
63	26.6	76	2.3	54.9	60
64	26.4	75	1.8	54.8	60
65	26.3	75	1.5	54.9	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 ตารางบันทึกผลความชื้นครั้งที่ 2

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นในตัว	ความชื้นนอกตัว	ความชื้นในแผ่นยาง (Dry-basis %)	อุณหภูมิ (°C)	
	Rh (%)	Rh (%)		ขาออก	ขาเข้า
0	62	62	38.9	32.6	32.6
1	45.7	63	34.4	54.6	60
2	42.3	64	32.6	55	60
3	40.6	66	31.3	55	60
4	41.3	68	30.5	55.1	60
5	39.2	69	29.2	54.7	60
6	37.1	71	27.9	55.2	60
7	35.8	72	26.8	55	60
8	34.1	74	25.2	55.1	60
9	32.8	75	24.6	54.6	60
10	33.2	75	23.8	54.8	60
11	33.6	76	23.6	54.7	60
12	34.5	77	23.4	54.9	60
13	33.1	76	23	54.9	60
14	31.3	75	22.9	54.8	60
15	30.2	73	22.5	54.8	60
16	29.6	71	21.7	55.2	60
17	28.5	70	21.3	55.2	60
18	29.4	69	21	55.1	60
19	28.2	68	20.8	55.3	60
20	27.5	66	20	55	60
21	27.5	64	19.4	55.1	60
22	26.9	62	18.3	55.2	60
23	27.1	60	17.2	55.1	60
24	26.9	60	16.5	55.3	60
25	27.3	61	16.3	55.3	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นในตู้	ความชื้นนอกตู้	ความชื้นในแผ่นยาง (Dry-basis %)	อุณหภูมิ (°C)	
	Rh (%)	Rh (%)		ขาออก	ขาเข้า
26	26.9	63	15.8	55.2	60
27	26.5	64	15.1	55.2	60
28	25.9	66	14.5	54.8	60
29	25.7	68	14.1	54.8	60
30	25.8	72	13.6	54.7	60
31	25.8	73	13.5	54.7	60
32	25.6	74	12.9	54.8	60
33	25.7	74	12.6	54.8	60
34	25.9	75	12	54.9	60
35	26	76	11.5	54.5	60
36	25.8	78	11	54.8	60
37	25.7	74	10.7	54.9	60
38	25.5	73	10.5	54.7	60
39	25.7	73	10.2	54.8	60
40	25.6	71	9.9	54.9	60
41	25.7	70	9.6	55.1	60
42	25.8	68	9.5	55.2	60
43	25.7	66	9.1	55.1	60
44	25.8	63	8.9	55.1	60
45	25.9	61	8.7	55.2	60
46	25.8	60	8.3	55.3	60
47	26	58	7.9	55.2	60
48	25.8	57	7.6	55.3	60
49	25.9	57	7.1	55.4	60
50	25.7	58	6.8	55.3	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นในตู้	ความชื้นนอกตู้	ความชื้นในแผ่นยาง (Dry-basis %)	อุณหภูมิ (°C)	
	Rh (%)	Rh (%)		ขาออก	ขาเข้า
51	25.9	59	6.5	55.1	60
52	25.8	63	5.9	55.2	60
53	25.9	68	5.4	55.1	60
54	25.7	71	4.9	54.8	60
55	25.6	72	4.4	54.9	60
56	25.5	72	4	54.9	60
57	25.6	73	3.7	54.9	60
58	25.5	74	3.5	54.8	60
59	25.6	75	3.2	55.1	60
60	25.7	76	3	55.1	60
61	25.8	75	2.9	55	60
62	26.1	73	2.6	54.7	60
63	25.9	72	2.4	54.8	60
64	25.8	70	1.7	54.9	60
65	25.6	68	1.3	55	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3 ตารางบันทึกผลความชื้นครั้งที่ 3

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นในตัว	ความชื้นนอกตัว	ความชื้นในแผ่นยาง (Dry-basis %)	อุณหภูมิ (°C)	
	Rh (%)	Rh (%)		ขาออก	ขาเข้า
0	59.3	59.3	38.8	31.2	31.2
1	43.7	60	34.3	55.2	60
2	40.3	61	32.4	55	60
3	38.5	63	31.1	55	60
4	37.4	65	30	54.9	60
5	36.1	68	28.9	54.8	60
6	34.6	70	27.8	55.1	60
7	33.7	73	26.8	55.2	60
8	33.1	74	25.2	55.2	60
9	32.6	75	24.2	54.8	60
10	31.5	75	23.1	54.9	60
11	30.7	76	22.2	54.8	60
12	29.6	77	21.5	54.9	60
13	29.4	76	21	54.9	60
14	29.3	75	20.6	54.7	60
15	29.2	74	20.2	54.7	60
16	29.1	72	19.8	55	60
17	29	69	19.3	55	60
18	28.8	68	19	55.2	60
19	28.7	66	18.6	55.3	60
20	28.5	64	18.1	55.1	60
21	27.9	61	17.7	55.2	60
22	27.4	60	17.3	55.5	60
23	27	60	17	55.4	60
24	26.9	59	16.6	55.2	60
25	26.7	60	16.3	55.2	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นในตู้	ความชื้นนอกตู้	ความชื้นในแผ่นยาง	อุณหภูมิ (°C)	
	Rh (%)	Rh (%)	(Dry-basis %)	ขาออก	ขาเข้า
26	26.5	61	15.7	55.1	60
27	26.4	62	15.3	54.9	60
28	26.2	65	14.7	54.8	60
29	26.1	70	14.2	54.9	60
30	25.9	72	13.5	54.7	60
31	25.8	73	13.2	54.8	60
32	25.6	74	12.7	54.8	60
33	25.7	75	12.5	54.9	60
34	25.9	76	11.8	54.7	60
35	26	77	11.5	54.8	60
36	25.9	78	11.1	54.7	60
37	25.8	77	10.7	54.6	60
38	25.5	77	10.4	54.6	60
39	25.6	76	10	54.7	60
40	25.7	72	9.8	54.9	60
41	25.8	70	9.5	55	60
42	25.9	69	9.3	55	60
43	25.9	68	9.1	55.2	60
44	25.8	63	8.7	55.2	60
45	25.7	62	8.4	55.3	60
46	25.7	61	8.1	55.2	60
47	25.8	58	7.7	55.1	60
48	26.1	52	7.3	55.1	60
49	25.8	53	6.9	54.9	60
50	25.7	54	6.5	54.8	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นในตู้	ความชื้นนอกตู้	ความชื้นในแผ่นยาง (Dry-basis %)	อุณหภูมิ (°C)	
	Rh (%)	Rh (%)		ขาออก	ขาเข้า
51	25.9	55	6.2	54.9	60
52	25.8	62	5.7	54.7	60
53	26	67	5.1	54.7	60
54	25.8	69	4.6	54.9	60
55	25.7	70	4.2	54.9	60
56	25.9	71	3.9	55	60
57	25.9	71	3.7	55.1	60
58	25.8	72	3.5	55.2	60
59	25.7	73	3.2	55.1	60
60	25.7	74	3	55.2	60
61	25.9	74	2.7	55	60
62	26.1	73	2.5	55.1	60
63	26	72	2.1	55.2	60
64	25.9	71	1.7	55.1	60
65	25.7	69	1.4	55.2	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.4 ตารางบันทึกผลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังคับทิศทางการไหลทำมุม 45°ครั้งที่1

อุณหภูมิภายในตู้เมื่อแผ่นบังคับทิศทางการไหลที่มุม 45° (องศาเซลเซียส)		
ตำแหน่ง	ไม่มีไหล	มีไหล
1	58.1	55.2
2	58.2	55.3
3	58.1	55.2
4	58.1	55.1
5	58.3	55.3
6	58.1	55.2
7	58.1	55.2
8	58.3	55.3
9	58.1	55.2
10	58.2	55.1
11	58.3	55.2
12	58.3	55.3
13	58.5	55.3
14	58.3	55.3
15	58.3	55.4
16	58.2	55.3
17	58.4	55.4
18	58.3	55.1
19	58.4	55.3
20	58.4	55.3
21	58.3	55.1
22	58.2	55.4
23	58.4	55.5
24	58.1	55.2
25	58.2	55.2
26	58.5	55.5
27	58.2	55.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.5 ตารางบันทึกผลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังคับทิศทางการไหลทำมุม 45°ครั้งที่2

อุณหภูมิภายในตู้เมื่อแผ่นบังคับทิศทางการไหลที่มุม45° (องศาเซลเซียส)		
ตำแหน่ง	ไม่มีไหล	มีไหล
1	58.2	55.3
2	58.2	55.3
3	58.0	55.2
4	58	55.1
5	58.1	55.4
6	58.3	55.3
7	58.1	55.2
8	58.3	55.2
9	58.1	55.1
10	58.3	55.3
11	58.4	55.3
12	58.1	55.2
13	58.2	55.1
14	58.3	55.3
15	58.3	55.2
16	58.3	55.2
17	58.2	55.4
18	58.2	55.3
19	58.2	55.3
20	58.3	55.4
21	58.2	55.2
22	58.3	55.2
23	58.4	55.4
24	58.5	55.4
25	58.3	55.5
26	58.3	55.5
27	58.3	55.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.6 ตารางบันทึกผลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังคับทิศทางการไหลทำมุม 45°ครั้งที่3

อุณหภูมิภายในตู้เมื่อแผ่นบังคับทิศทางการไหลที่มุม 45° (องศาเซลเซียส)		
ตำแหน่ง	ไม่มีไหล	มีไหล
1	58.1	55.2
2	58.3	55.2
3	58.2	55.3
4	58.3	55.4
5	58.3	55.1
6	58.2	55.2
7	58.2	55.2
8	58.2	55.3
9	58.5	55.1
10	58.1	55.3
11	58.2	55.4
12	58.3	55.3
13	58.1	55.2
14	58.3	55.3
15	58.2	55.2
16	58.1	55.3
17	58.3	55.2
18	58.1	55.1
19	58.1	55.1
20	58.3	55.3
21	58.2	55.2
22	58.3	55.1
23	58.4	55.4
24	58.3	55.3
25	58.2	55.3
26	58.4	55.4
27	58.3	55.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.7 ตารางบันทึกผลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังคับทิศทางการไหลทำมุม 90°ครั้งที่1

อุณหภูมิภายในตู้เมื่อแผ่นบังคับทิศทางการไหลที่มุม 90° (องศาเซลเซียส)		
ตำแหน่ง	ไม่มีไหล	มีไหล
1	58	55.0
2	58.3	55.1
3	58.1	55.2
4	58.1	55.1
5	58.3	55.3
6	58.4	55.3
7	58.1	55.1
8	58.2	55.1
9	58.1	55.2
10	58.2	55.1
11	58.3	55.2
12	58.3	55.2
13	58.5	55.3
14	58.5	55.1
15	58.3	55.2
16	58.2	55.2
17	58.4	55.1
18	58.2	55.1
19	58.3	55.3
20	58.3	55.3
21	58.3	55.1
22	58.2	55.4
23	58.5	55.3
24	58.1	55.2
25	58.2	55.2
26	58.4	55.2
27	58.3	55.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.8 ตารางบันทึกผลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังคับทิศทางการไหลทำมุม 90°ครั้งที่2

อุณหภูมิภายในตู้เมื่อแผ่นบังคับทิศทางการไหลที่มุม 90° องศาเซลเซียส)		
ตำแหน่ง	ไม่มีไหล	มีไหล
1	58.2	55.3
2	58.2	55.0
3	58.0	55.2
4	58.3	55.1
5	58.4	55.4
6	58.3	55.3
7	58.2	55.2
8	58.3	55.1
9	58.1	55.1
10	58.3	55.4
11	58.4	55.3
12	58.1	55.2
13	58.2	55.1
14	58.4	55.3
15	58.3	55.2
16	58.2	55.1
17	58.3	55.3
18	58.3	55.3
19	58.2	55.3
20	58.4	55.3
21	58.2	55.2
22	58.3	55.2
23	58.5	55.5
24	58.5	55.4
25	58.3	55.3
26	58.3	55.3
27	58.3	55.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.9 ตารางบันทึกผลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังคับทิศทางการไหลทำมุม 90°ครั้งที่3

อุณหภูมิภายในตู้เมื่อแผ่นบังคับทิศทางการไหลที่มุม 90° (องศาเซลเซียส)		
ตำแหน่ง	ไม่มีไหล	มีไหล
1	58.3	55.1
2	58.2	55.2
3	58.1	55.0
4	58.3	55.4
5	58.3	55.2
6	58.2	55.2
7	58.4	55.2
8	58.3	55.3
9	58.5	55.1
10	58.3	55.3
11	58.4	55.4
12	58.3	55.3
13	58.1	55.2
14	58.4	55.3
15	58.2	55.2
16	58.2	55.1
17	58.3	55.2
18	58.2	55.1
19	58.1	55.1
20	58.3	55.3
21	58.2	55.3
22	58.3	55.1
23	58.4	55.4
24	58.3	55.2
25	58.2	55.3
26	58.3	55.4
27	58.2	55.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.10 ตารางบันทึกผลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังค้ำทิศทางการไหลทำมุม 135°
ครั้งที่1

อุณหภูมิภายในตู้เมื่อแผ่นบังค้ำทิศทางการไหลที่มุม 135° (องศาเซลเซียส)		
ตำแหน่ง	ไม่มีไหล	มีไหล
1	58.3	55.2
2	58.2	55.3
3	58.1	55.3
4	58.1	55.1
5	58.3	55.3
6	58.5	55.1
7	58.4	55.2
8	58.3	55.1
9	58.1	55.0
10	58.2	55.3
11	58.3	55.4
12	58.3	55.3
13	58.5	55.3
14	58.4	55.3
15	58.3	55.2
16	58.2	55.1
17	58.1	55.2
18	58.5	55.1
19	58.4	55.3
20	58.5	55.5
21	58.4	55.3
22	58.2	55.4
23	58.4	55.3
24	58.1	55.3
25	58.4	55.2
26	58.3	55.4
27	58.2	55.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.11 ตารางบันทึกผลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังค้ำทิศทางการไหลทำมุม 135°
ครั้งที่2

อุณหภูมิภายในตู้เมื่อแผ่นบังค้ำทิศทางการไหลที่มุม 135° (องศาเซลเซียส)		
ตำแหน่ง	ไม่มีไหล	มีไหล
1	58.2	55.3
2	58.1	55.3
3	58.0	55.1
4	58.3	55.1
5	58.1	55.4
6	58.3	55.3
7	58.5	55.2
8	58.3	55.2
9	58.1	55.1
10	58.3	55.4
11	58.4	55.3
12	58.1	55.2
13	58.2	55.1
14	58.3	55.3
15	58.3	55.2
16	58.1	55.2
17	58.5	55.2
18	58.4	55.3
19	58.2	55.5
20	58.5	55.5
21	58.3	55.3
22	58.3	55.3
23	58.4	55.4
24	58.5	55.2
25	58.4	55.1
26	58.3	55.2
27	58.1	55.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.12 ตารางบันทึกผลอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในตู้ที่แผ่นบังค้ำทิศทางการไหลทำมุม 135°
ครั้งที่3

อุณหภูมิภายในตู้เมื่อแผ่นบังค้ำทิศทางการไหลที่มุม 135° (องศาเซลเซียส)		
ตำแหน่ง	ไม่มีไหล	มีไหล
1	58.3	55.2
2	58.2	55.3
3	58.1	55.3
4	58.3	55.4
5	58.1	55.1
6	58.2	55.2
7	58.4	55.0
8	58.5	55.3
9	58.5	55.3
10	58.4	55.3
11	58.2	55.4
12	58.3	55.3
13	58.1	55.2
14	58.3	55.3
15	58.2	55.3
16	58.1	55.2
17	58.3	55.3
18	58.4	55.1
19	58.4	55.3
20	58.5	55.4
21	58.3	55.4
22	58.3	55.1
23	58.4	55.3
24	58.3	55.3
25	58.4	55.3
26	58.2	55.2
27	58.1	55.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.13 ตารางแสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอย่างแผ่นฝั่งทั้งภายในของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่สภาวะคงตัว (Steady state)

กรณี	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (°C)					
	ระนาบ 1	ระนาบ 2	ระนาบ 3	ระนาบ 4	ระนาบ 5	ระนาบ 6
ไม่มีแผ่นบังคับการไหล	57.81	57.04	56.77	57.19	57.40	57.11
ใช้แผ่นบังคับการไหล มุม 90°	57.46	57.00	56.73	57.00	57.22	57.18
ใช้แผ่นบังคับการไหล มุม 45°	57.27	56.88	56.78	57.57	57.28	56.37

ค.14 ตารางบันทึกค่าความชื้นในแผ่นยาง

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความชื้นในแผ่นยาง (Dry-basis)	
	ลมกลับ 0%	ลมกลับ 20%
0	38.87	38.70
1	34.40	34.47
2	32.43	32.60
3	31.17	30.50
4	30.17	29.10
5	29.03	27.90
6	27.87	26.27
7	26.80	25.10
8	25.40	24.20
9	24.60	23.00
10	23.67	22.13
11	23.1	21.47
12	22.67	20.90
13	22.27	20.53
14	21.93	19.93
15	21.53	19.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความชื้นในแผ่นยาง (Dry-basis)		
เวลา (ชั่วโมง)	ลมกลับ 0%	ลมกลับ 20%
16	21.00	18.60
17	20.57	17.87
18	20.23	17.20
19	19.87	16.60
20	19.2	15.87
21	18.57	15.3
22	17.77	14.93
23	17.03	14.47
24	16.57	13.80
25	16.20	13.10
26	15.77	12.70
27	15.17	12.17
28	14.57	11.40
29	14.10	10.90
30	13.57	10.37
31	13.30	10.00
32	12.80	9.57
33	12.53	9.10
34	11.90	8.60
35	11.43	8.01
36	11.03	7.80
37	10.73	7.50
38	10.47	7.10
39	10.13	6.80
40	9.87	6.50
41	9.57	6.17
42	9.40	5.83
43	9.10	5.47
44	8.80	5.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความชื้นในแผ่นยาง (Dry-basis)		
เวลา (ชั่วโมง)	ลมกลับ 0%	ลมกลับ 20%
45	8.53	4.97
46	8.17	4.51
47	7.80	4.09
48	7.47	3.83
49	7.00	3.40
50	6.73	3.00
51	6.40	2.80
52	5.73	2.40
53	5.13	2.10
54	4.67	1.83
55	4.27	1.47
56	3.97	
57	3.70	
58	3.50	
59	3.20	
60	3.00	
61	2.80	
62	2.57	
63	2.27	
64	1.73	
65	1.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.15 ตารางบันทึกอัตราการแห้ง (kg-water epep/h)

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการแห้ง (kg-water epep/h)	
	ลมกลับ 0%	ลมกลับ 20%
1	4.93	4.97
2	2.16	3.10
3	1.40	2.30
4	1.18	2.10
5	1.26	1.80
6	1.30	1.90
7	1.20	1.70
8	1.55	2.04
9	0.90	1.80
10	1.10	1.50
11	0.64	1.36
12	0.50	1.13
13	0.46	0.91
14	0.40	0.86
15	0.46	0.90
16	0.60	0.96
17	0.50	0.80
18	0.41	0.86
19	0.47	0.93
20	0.75	1.10
21	0.70	1.03
22	0.90	1.30
23	0.83	1.20
24	0.56	0.87
25	0.46	0.80
26	0.54	0.76
27	0.63	0.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราแห้ง (kg-water evap/h)	
	ลมกลับ 0%	ลมกลับ 20%
28	0.63	0.90
29	0.55	0.72
30	0.60	0.80
31	0.31	0.55
32	0.54	0.70
33	0.31	0.54
34	0.70	0.83
35	0.53	0.65
36	0.50	0.60
37	0.40	0.50
38	0.37	0.46
39	0.47	0.68
40	0.32	0.51
41	0.40	0.51
42	0.20	0.5
43	0.40	0.57
44	0.40	0.55
45	0.33	0.5
46	0.47	0.58
47	0.47	0.59
48	0.57	0.52
49	0.40	0.72
50	0.48	0.56
51	0.80	0.53
52	0.70	0.61
53	0.60	0.65
54	0.48	0.65
55	0.38	0.57
56	0.30	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	อัตราแห้ง (kg-water evap/h)	
	ลมกลับ 0%	ลมกลับ 20%
57	0.30	
58	0.22	
59	0.35	
60	0.22	
61	0.22	
62	0.30	
63	0.38	
64	0.60	
65	0.40	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันมีการกำหนดมาตรฐานยางแผ่นดิบ เพื่อประโยชน์ในการซื้อขายยางของเกษตรกร ชาวสวนยาง ดังนี้

ยางแผ่นดิบคุณภาพ 1

มีลักษณะเรียงตามความสำคัญ ดังต่อไปนี้

1. แผ่นยางมีความสะอาดและปราศจากฟองอากาศตลอดแผ่น
2. มีความชื้นในแผ่นยางไม่เกิน 1.5%
3. มีความยืดหยุ่นดี และมีลายดอกเด่นชัดตลอดแผ่น
4. แผ่นยางบาง มีความหนาของแผ่นยางไม่เกิน 3 มิลลิเมตร
5. เนื้อยางแห้งใส มีสีสวยสม่ำเสมอตลอดแผ่น ลักษณะสีเหลืองทองหรือเหลืองอ่อนไม่มีสีคล้ำหรือ รอยต่างด่า
6. มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อแผ่น 0.8-1.2 กก.
7. แผ่นยางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 38-46 เซนติเมตร ยาว 80-90 เซนติเมตร

ยางแผ่นดิบคุณภาพ 2

มีลักษณะเรียงตามความสำคัญ ดังต่อไปนี้

1. แผ่นยางมีความสะอาดตลอดแผ่น หรืออาจมีสิ่งสกปรกและฟองอากาศอยู่ในแผ่นยางได้บ้าง เล็กน้อย
2. มีความชื้นในแผ่นยางไม่เกิน 2%
3. มีความยืดหยุ่นดี และมีลายดอกเด่นชัด
4. แผ่นยางบาง มีความหนาของแผ่นยางไม่เกิน 4 มิลลิเมตร
5. เนื้อยางแห้งมีสีสม่ำเสมอตลอดแผ่นลักษณะสีค่อนข้างคล้ำหรืออาจมีรอยต่างด่าได้บ้างเล็กน้อย
6. มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อแผ่น 1-1.2 กก.
7. แผ่นยางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 38-46 เซนติเมตร ยาว 80-90 เซนติเมตร

แผ่นยางดิบคุณภาพ 3

มีลักษณะเรียงตามความสำคัญ ดังต่อไปนี้

1. แผ่นยางมีความสะอาดหรืออาจมีสิ่งสกปรกและฟองอากาศอยู่ในแผ่นยางได้บ้างเล็กน้อย
2. มีความชื้นในแผ่นยางไม่เกิน 3%
3. มีความยืดหยุ่นดี และมีลายดอกเด่นชัด
4. แผ่นยางค่อนข้างหนา มีความหนาของแผ่นยางไม่เกิน 4 มิลลิเมตร
5. เนื้อยางแห้งมีสีคล้ำค่อนข้างทึบ ไม่โปร่งใสเท่าที่ควร
6. มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อแผ่นไม่เกิน 1.5 กก.
7. แผ่นยางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 38-46 เซนติเมตร ยาว 80-90 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นยางดิบคุณภาพ 4

มีลักษณะเรียงตามความสำคัญ ดังต่อไปนี้

1. แผ่นยางมีความสะอาดหรืออาจมีสิ่งสกปรกและฟองอากาศอยู่ในแผ่นยางได้บ้าง
2. มีความชื้นในแผ่นยางไม่เกิน 4.5%
3. มีความยืดหยุ่นดี และมีลายดอกเด่นชัด
4. แผ่นยางหนา มีความหนาของแผ่นยางไม่เกิน 4 มิลลิเมตร
5. เนื้อยางแห้งมีสีคล้ำทึบ ไม่โปร่งใส
6. มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อแผ่นไม่เกิน 1.5 กก.
7. แผ่นยางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 38-46 เซนติเมตร ยาว 80-90 เซนติเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ.

ข้อมูลของระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการคำนวณความค้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ข้อมูลเบื้องต้น

ชื่อนิติบุคคล : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง TSIC – ID : 85302-0153

ชื่ออาคารควบคุม : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

ที่อยู่อาคาร : เลขที่ 107 หมู่ 2 ตำบล ชุมโค อำเภอ ปะทิว จังหวัด ชุมพร รหัสไปรษณีย์ 86160

โทรศัพท์ : 077-591-445-6 โทรสาร : 077-591-445-6

ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญ : นายอมรศักดิ์ วงศ์แก้ว ทะเบียนเลขที่ : ผขอ.3114

2. ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า

ขนาดพิกัดติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้ารวมของอาคารควบคุมภาครัฐ

- กลุ่มที่ 1 (ขนาดเล็ก) : (<3,000 kW หรือ <3,530 kVA หรือ <60 ล้าน MJ/ปี)
- กลุ่มที่ 2 (ขนาดใหญ่) : ($\geq 3,000$ kW หรือ $\geq 3,530$ kVA หรือ ≥ 60 ล้าน MJ/ปี)

หม้อแปลงรวม 7,290 kVA

ลำดับ ที่	หมายเลข ผู้ใช้ไฟฟ้า	รหัส เครื่องวัด	ประเภท อัตรา	แรงดัน (KV)	ประจำที่
5	980202000 4206927	23056700	3.22	22-33	(1) อาคารเรียนรวม (2) อาคารบริหาร (3) อาคารปฏิบัติการวิศวะอิเล็กทรอนิกส์ (4) อาคารปฏิบัติการเครื่องกล (5) อาคารวิศวกรรม (6) อาคารปฏิบัติการเกษตร (7) อาคารเรียนรวมทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ (8) อาคารสำนักวิชาวิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

รูปที่ จ.1 แสดงข้อมูลของระบบไฟฟ้า1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	date	09/2562	08/2562	07/2562	06/2562	05/2562	04/2562	03/2562	02/2562	01/2562	average
5	kW (Peak)	288.00	224.00	208.00	208.00	276.00	304.00	316.00	268.00	196.00	316.00
	kWh	52,520.00	53,480.00	47,000.00	45,720.00	55,000.00	69,120.00	57,680.00	48,080.00	43,760.00	52,484.44
	kVAR	88.00	80.00	72.00	64.00	92.00	92.00	96.00	100.00	96.00	86.67
	Bath	220,730.28	214,656.02	183,363.47	182,799.97	223,257.00	293,044.73	238,718.48	197,004.24	168,974.34	213,616.50
	Bath/kWh	4.20	4.01	3.90	4.00	4.06	4.24	4.14	4.10	3.86	4.06

รูปที่ จ.2 แสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้า2

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายธนโชติ โชติชโลธร
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2540
ภูมิลำเนา จังหวัดชุมพร
ที่อยู่ 4/6 ม.1 ต.สะพลี อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86230

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง จากวิทยาลัยเทคนิคชุมพร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

เซอร์วิส

- ผ่านการฝึกงาน ด้านงานซ่อมบำรุง ศูนย์บริการโตโยต้า และศูนย์ธุรกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายยูวี หะยีมามะ
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2539
ภูมิลำเนา จังหวัดนราธิวาส
ที่อยู่ 147/4 หมู่7 ตำบลจวบ อำเภोजะเอย์ริง
จังหวัดนราธิวาส 96130

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงจากวิทยาลัยเทคนิคปัตตานี
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงาน ด้านการซ่อมบำรุงเครื่องจักรและรถบรรทุกขนาดใหญ่ บริษัทปัตตานีคอมเมอร์เชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายอภิชาติ แก้วสุวรรณ
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2541
ภูมิลำเนา จังหวัดสงขลา
ที่อยู่ 123 หมู่12 ตำบลเขาพระ อำเภอรัฐภูมิ
จังหวัดสงขลา 90180

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง จากวิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล แขนงวิศวกรรมเครื่องกลเกษตร) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงาน ด้านงานซ่อมบำรุงรถยนต์ บจก.หาดใหญ่ สหมอเตอร์ สาขารัฐภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้