



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การอบแห้งยางแผ่นด้วยพลังงานความร้อนร่วม : ทดสอบที่
อุณหภูมิความร้อนและกำลังไมโครเวฟสูง

(The Rubber Sheet Drying Using Combined Heating Energy
:Test at Hot air and High Microwave Power)

โดย

ดาริณี มุสอดี

ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณบำรุงการศึกษาประจำปี 2553

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

การอบแห้งยางแผ่นด้วยพลังงานความร้อนร่วม : ทดสอบที่
อุณหภูมิความร้อนและกำลังไมโครเวฟสูง

**The Rubber Sheet Drying Using Combined Heating Energy :
Test at Hot air and High Microwave Power**

โดย
ดาริณี มุสอดี

ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณบำรุงการศึกษาประจำปี 2553
มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

ใบรับรองการศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
สาขาวิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์

เรื่อง การอบแห้งยางแผ่นด้วยพลังงานความร้อนร่วม : ทดสอบที่อุณหภูมิร้อนและกำลังไมโครเวฟสูง

The rubber sheet drying using combined heating Energy : Test at hot air and high microwave power

ผู้ศึกษา นางสาวดาริณี มุสอดี รหัสประจำตัว 405064014

รายงานนี้ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชาโครงงานฟิสิกส์ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) ภาควิชาปีที่ 2 ปีการศึกษา 2552

..... ประธานกรรมการที่ปรึกษา

(อาจารย์อัสลิหะ สะนิโซ)

...../...../.....

..... กรรมการที่ปรึกษา

(ผศ. มะรุดีง กาชา)

...../...../.....

..... กรรมการที่ปรึกษา

(อาจารย์อัสลิหะ สะนิโซ)

...../...../.....

..... อาจารย์ประจำวิชา

(อาจารย์อัสลิหะ สะนิโซ)

...../...../.....

..... ประธานหลักสูตร

(ผศ. มะรุดีง กาชา)

...../...../.....

ชื่อเรื่อง การอบแห้งยางแผ่นด้วยพลังงานความร้อนร่วม : ทดสอบที่อุณหภูมิความร้อนและกำลังไมโครเวฟสูง

ผู้ศึกษา นางสาวดาริณี มุสอดี

ระดับการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์)

ปีการศึกษา 2552

ประธานกรรมการที่ปรึกษา อาจารย์อัสลิหะยะ สนิโซ

กรรมการที่ปรึกษา ผศ. มะรุคิง กาชา

กรรมการที่ปรึกษา อาจารย์อำปิติน คะแซสาเมะ

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้น และหาสภาวะที่เหมาะสม ของการอบแห้งยางแผ่นด้วยลมร้อน ไมโครเวฟ และลมร้อนร่วมไมโครเวฟ โดยใช้ยางแผ่นขนาดความหนา 0.4 cm กว้าง 6 cm และ ยาว 8 cm ที่ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s อุณหภูมิความร้อน 100 และ 120 °C และกำลังไมโครเวฟเท่ากับ 600 และ 800 W จากการทดลองพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นจะขึ้นอยู่กับความหนาของยางแผ่น ความเร็วลม อุณหภูมิความร้อน และกำลังไมโครเวฟ โดยเมื่อความเร็วลม อุณหภูมิความร้อน และกำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้น ความชื้นยางแผ่นลดลงมากขึ้น ในขณะที่ความหนายางแผ่นเพิ่มขึ้น อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นลดลง และสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งยางแผ่นดิบ คือ การอบแห้งด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 4 m/s อุณหภูมิความร้อน 120 °C โดยจะเหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 1.45% d.b. จากความชื้นเริ่มต้น 25.36% d.b.

คำสำคัญ: การอบแห้ง ยางแผ่น ลมร้อน ไมโครเวฟ

Titel The rubber sheet drying using combined heating energy : Teat at hot air and high microwave power

Author Miss.Darinee Musodee

Degree Bachelor of science (physics)

Academic Year 2009

Advisor Mr.Eleeyah Saniso

Co-advisor Asist.Prof. Mahruding Kasa

Co-advisor Mr.Abeedin Dasaesamoh

Abstract

In this study, to preset the change of moisture content and suitable conditions drying of rubber sheets with hot air, microwave and hot air combined with microwave. The rubber sheet thickness of 0.4 cm, wide 6 cm, long 8 cm, The air velocity of 2, 3 and 4 m/s, temperatur of hot air 100 and 120 °C. The microwave pour of 600 and 800 W. The results showed that, the change of moisture content depends thickness of rubber sheet, The air velocity, temperatur of hot air And microwave power by when air velocity, temperatur of hot air And microwave power increase, The moistur Rubber down more. While thickness of rubber sheet increased. The preset the change of moisture content down more. And Reduce the rate of change slows down. and the drying rate is increasing with air temperature increased. The air velocity of 4 m/s and 120 °C hot air temperature, have the last moisturecontent remaining of 1.45% d.b. From the initial moisture content of 25.36% d.b.

Keywords : Drying, Rubber sheet, Hot- air, Microwave

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์อิทธิชัย สนิโซ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาใช้เวลาให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่ง ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์มะรุติง กาศา และอาจารย์อาปีดิน ดะแซสาเมาะ กรรมการที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำในการออกแบบและทำการวิจัย

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากทบวงการศีกษา (บ.กศ.) ประจำปีการศึกษา 2553 มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

คาริณี มุสอดี

กรกฎาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของปัญหาพิเศษ	2
1.4 สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า	2
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ขางพารา	4
2.2 ความชื้น	5
2.3 ความร้อน	7
2.4 การอบแห้ง	9
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา	23
3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ	23
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	23
3.3 สถิติวิเคราะห์	24
บทที่ 4 ผลการศึกษา	25
4.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้น	25
4.2 อัตราการทำแห้งของยางแผ่น	38

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	43
5.1 สรุป	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	44
เอกสารอ้างอิง	45
ภาคผนวก	48
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง	66
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูล	74
ภาคผนวก ค อุปกรณ์ดำเนินงานวิจัย	78
ประวัติผู้วิจัย	81

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กลไกการอบแห้งด้วยลมร้อน	11
2.2 กลไกการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ	11
2.3 สเปกตรัมของคลื่นไมโครเวฟ	12
2.4 แบบจำลองการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟแล้วเกิดความร้อนขึ้นในวัสดุไดอิเล็กตริก	13
2.5 (ก) แมกนีตรอน (ข) โครงสร้างแมกนีตรอน	14
4.1 การลดความชื้นในยางแผ่น ด้วยลมร้อนอย่างเดียว ที่อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s	25
4.2 โครงสร้างผิวของยางแผ่น ช่วงเวลาต่างๆ ใช้อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C ความเร็วลม 4 m/s	26
4.3 การลดความชื้นในยางแผ่น ด้วยลมร้อนอย่างเดียว ที่อุณหภูมิลมร้อน 600 และ 800 W ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s	27
4.4 โครงสร้างผิวของยางแผ่น ช่วงเวลาต่างๆ ใช้อุณหภูมิลมร้อน 600 และ 800 W ความเร็วลม 4 m/s	28
4.5 การลดความชื้นในยางแผ่น ด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ได้ทดลองใช้ ความเร็วลม เท่ากับ 2 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และใช้ ระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W	29
4.6 โครงสร้างผิวของยางแผ่นช่วงเวลาต่างๆ ที่ความเร็วลม เท่ากับ 2 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W	30
4.7 การลดความชื้นในยางแผ่น ด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ได้ทดลองใช้ ความเร็วลม เท่ากับ 3 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และใช้ ระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W	32
4.8 โครงสร้างผิวของยางแผ่นช่วงเวลาต่างๆ ที่ความเร็วลม เท่ากับ 3 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W	33
4.9 การลดความชื้นในยางแผ่น ด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ได้ทดลองใช้ ความเร็วลม เท่ากับ 4 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และใช้ ระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W	35

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
4.10 โครงสร้างผิวของยางแผ่นช่วงเวลาต่างๆ ที่ความเร็วลม เท่ากับ 4 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W	36
4.11 อัตราการทำแห้งยางแผ่น ด้วยลมร้อนอย่างเดียว อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s	38
4.12 อัตราการทำแห้งในยางแผ่น ด้วยไมโครเวฟอย่างเดียว ระดับไมโครเวฟเท่ากับ 600 และ 800 W ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s	39
4.13 อัตราการทำแห้งยางแผ่นด้วยลมร้อนร่วมไมโครเวฟ ความเร็วลม 2 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C ไมโครเวฟเท่ากับ 600 และ 800 W	40
4.14 อัตราการทำแห้งยางแผ่นด้วยลมร้อนร่วมไมโครเวฟ ความเร็วลม 3 m/s อุณหภูมิ 100 และ 120 °C ไมโครเวฟเท่ากับ 600 และ 800 W	41
4.15 อัตราการทำแห้งยางแผ่นด้วยลมร้อนร่วมไมโครเวฟ ความเร็วลม 4 m/s อุณหภูมิ 100 และ 120 °C ไมโครเวฟเท่ากับ 600 และ 800 W	42

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อของประเทศ ยางพาราสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่างๆ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภทตั้งแต่อุตสาหกรรมหนัก เช่น การผลิตยางรถยนต์ ไปจนถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในครัวเรือน น้ำยางที่ได้จากต้นยางพารามีคุณสมบัติบางอย่างที่ยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber) ไม่สามารถทำให้เหมือนได้ เมื่อ พ.ศ. 2551 สมาคมยางพาราไทยได้สรุปสถิติการผลิตยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลกมีผลผลิตยางถึง 3089.8 พันตัน รองลงมา คือ อินโดนีเซียมีผลผลิตถึง 2751.0 พันตัน และมาเลเซียมีผลผลิตถึง 1077.9 พันตัน [1]

เกษตรกรในภาคใต้ตอนล่างได้แก่ ปัตตานี ยะลา นราธิวาส สตูล และสงขลา [2] ส่วนใหญ่จะประกอบอาชีพทำสวนยางแล้วน้ำยางที่ได้ก็จะนำมาทำยางแผ่น ซึ่งในปัจจุบันยางแผ่นมีราคาสูงท้องตลาดต้องการ เกษตรกรส่วนใหญ่จึงมุ่งผลิตยางแผ่นแต่ยางแผ่นที่นำไปขายได้ ต้องนำมาตากแห้งเป็นเวลานานประมาณ 1 เดือน ยางแผ่นจึงแห้งสนิท ถ้าฝนตกตากแห้งไม่ได้จะทำให้ยางแผ่นขึ้นรา คุณภาพยางแผ่น และราคายางแผ่นลดลง [3] การทำยางแผ่นดิบให้แห้งอยู่หลายวิธี เช่น การผึ่งในที่ร่ม การรมควัน อบไอร้อน ดังรายการวิจัยของ สมศักดิ์ ได้ทำการศึกษาการทดลองการอบแห้งไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม [33] G.P. Sharma and Suresh Prasad [39] ได้ศึกษาอัตราการอบแห้งกระเทียมโดยใช้พลังงานไมโครเวฟและลมร้อน [39] ซึ่งการอบยางด้วยพลังงานลมร้อนร่วมไมโครเวฟเป็นการอบแห้งที่ประหยัดเวลา และลดความชื้นได้ดี เป็นกรรมวิธีอย่างหนึ่งที่ทำให้ยางแผ่นแห้งสนิท แผ่นยางสีโป่งใสกว่าการผึ่งในที่ร่มและไม่ขึ้นราในขณะเก็บ และใช้เวลาไม่นานในการอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมควนยางทั่วๆ ไป จะใช้เวลานานถึง 3-4 วัน โดยโรงอบยางพลังงานแสงอาทิตย์ [4]

โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งการอบแห้งยางแผ่นด้วยพลังงานความร้อนร่วม เพื่อหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นและหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งยางแผ่น ด้วยพลังงานลมร้อนร่วมกับพลังงานคลื่นไมโครเวฟ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งยางแผ่น ด้วยลมร้อน ไมโครเวฟ และลมร้อนร่วมไมโครเวฟ

1.2.2 เพื่อหาสภาวะเหมาะสมในการอบแห้งยางแผ่นด้วยลมร้อน ไมโครเวฟ และลมร้อนร่วมไมโครเวฟ

1.3 ขอบเขตของปัญหา

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการทดลองอบยางแผ่นด้วยพลังงานความร้อนร่วมลมร้อนและไมโครเวฟ ที่ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s อุณหภูมิ 100 และ 120 °C ระดับกำลังของคลื่นไมโครเวฟ 600 และ 800 W โดยการทดลองใช้ยางแผ่นขนาดความหนา 0.4 cm กว้าง 6 cm ยาว 8 cm

1.3.1 ตัวแปรต้น คือ ยางแผ่น

1.3.2 ตัวแปรตาม คือ ความชื้นยางแผ่น

1.3.3 ตัวแปรควบคุม คือ อุณหภูมิลมร้อน ความชื้นเริ่มต้นในยางแผ่น ระดับกำลังไมโครเวฟ ความเร็วลม และ ขนาดของยางแผ่น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งยางแผ่นด้วยลมร้อน ไมโครเวฟ และลมร้อนร่วมไมโครเวฟ

1.6.2 ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งยางแผ่นด้วยลมร้อน ไมโครเวฟ และลมร้อนร่วมไมโครเวฟ

1.6.3 เป็นการอบแห้งยางแผ่นที่ช่วยลดความชื้นในยางแผ่นเร็ว และใช้เวลาในการอบแห้งยางแผ่นน้อย ทำให้เกษตรกรขายผลผลิตเร็วขึ้น

1.6.4 เป็นข้อมูลสำหรับผู้สนใจในการศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาความรู้ต่อไป

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 การอบแห้ง (Drying) หมายถึง การให้ความร้อนเพื่อลดความชื้นในยางแผ่น ด้วยพลังงานลมร้อน ไมโครเวฟ และลมร้อนร่วมไมโครเวฟ

1.5.2 ยางแผ่น (Rubber sheet) หมายถึง ยางที่ได้จากการแปรรูปของน้ำยางสด ที่ หมู่บ้าน ตาเนาะปูเต๊ะใน ต.ตาเนาะปูเต๊ะ อ.บันนังสตา จ.ยะลา ขนาดความหนา 0.4 cm กว้าง 6 cm ยาว 8 cm

1.5.3 ลมร้อน (Hot- air) หมายถึง อากาศร้อนที่ได้จากขดลวดความร้อน

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางพารา

ยางพาราเป็นต้นไม้ยืนต้น [5] มีถิ่นกำเนิดบริเวณลุ่มน้ำอเมซอน ประเทศบราซิล และเปรู ทวีปอเมริกาใต้ โดยชาวพื้นเมืองเรียกว่า คาอูท์ซุค [Caoutchouc] แปลว่าต้นไม้ร้องไห้ จนถึงปี พ.ศ. 2313 (1770) โจเซฟ ปริสตี จึงพบว่า ยางสามารถนำมาลบรอยคำของดินสอได้ จึงเรียกว่า ยางลบ หรือตัวลบ [Rubber] ซึ่งเป็นศัพท์ใช้ในอังกฤษและฮอลแลนด์เท่านั้น ในอเมริกาใต้มีศูนย์กลางของการซื้อขายยางอยู่ที่เมืองท่าชื่อ พารา (Para) จึงมีชื่อเรียกว่า ยางพารา [6]

2.1.1 ชื่อต้นยางพารา

ชื่อภาษาท้องถิ่น ต้นยางพารา ชื่อสามัญ (ภาษาอังกฤษ) Para rubber และชื่อวิทยาศาสตร์ *Hevea brasiliensis*

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้นยางพาราเป็นต้นไม้ใหญ่ ต้นยางที่ยังไม่ถูกกรีดเลยมีต้นขนาดใหญ่ วัดโดยรอบอาจได้กว่า 3.00 m บ้างต้นมีขนาด 5.0 m ก็มีและอาจจะมีสูงถึง 40 m หากปลูกที่มีการระบายน้ำดี แต่ในเอเชียมีความโตไม่เกิน 1.50 - 2.00 m และสูงเพียง 15 - 40 m

ดินฟ้าอากาศที่เหมาะสมกับต้นยาง ต้นยางชอบดินร่วน การระบายน้ำดี ไม่แข็ง ต้นยางชอบขึ้นในดินเป็นกรดมี PH ระหว่าง 4.0-5.5 จะเจริญได้ดีที่สุด ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

(1) ลำต้น กลมตรง ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ

(1.1) เนื้อไม้ ยางพาราจัดเป็นไม้เนื้ออ่อน เนื้อไม้มีสีขาวปนเหลืองอยู่ด้านในกลางลำต้น

(1.2) เยื่อเจริญ เป็นเยื่อบางๆ อยู่โดยรอบเนื้อไม้มีหน้าที่สร้างความเจริญเติบโตให้กับต้นยาง

(1.3) เปลือกไม้ เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากเยื่อเจริญออกมาด้านนอกสุด ช่วยป้องกันอันตรายที่จะมากระทบต้นยาง เปลือกของต้นยางนี้มีความสำคัญต่อเกษตรกรชาวสวนยางมาก เนื่องจากท่อน้ำยางจะอยู่ในส่วนนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเปลือกด้านในที่ติดอยู่เยื่อเจริญจะมีท่อน้ำยางอยู่มากที่สุด

(2) ใบ เป็นใบประกอบโดยทั่วไป ก้านใบจะมีใบย่อย 3 ใบ มีหน้าที่หลักในการปรุงอาหารหายใจและคายน้ำ ใบยางจะแตกออกมาเป็นชั้น ๆ เรียกว่า "ฉัตร" ระยะเวลาเริ่มแตกฉัตรจนถึงใบใน

จักรนั้นแก่เต็มที่จะใช้เวลาประมาณ 2-3 เดือน ยางจะผลัดใบในฤดูแล้งของทุกปี ยกเว้นยางต้นเล็กที่ยังไม่แตกกิ่งก้านสาขาหรือมีอายุไม่ถึง 3 ปี จะไม่ผลัดใบ

(3) ดอก มีลักษณะเป็นช่อมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในช่อดอกเดียวกัน ดอกยางทำหน้าที่ผสมพันธุ์โดยการผสมแบบเปิด ดอกยางจะออกตามปลายกิ่งของยางหลังจากที่ต้นยางผลัดใบ

(4) ผล มีลักษณะเป็นพวงโดยปกติจะมี 3 พวง ในแต่ละพวงจะมีเมล็ดอยู่ภายใน ผลอ่อนมีสีเขียว ผลแก่มีสีน้ำตาลและแข็ง

(5) เมล็ด - มีสีน้ำตาลลายขาวคล้ายสีของเมล็ดละหุ่ง ยาวประมาณ 2-2.5 cm กว้างประมาณ 1.5-2.5 cm หนักประมาณ 3-6 g เมล็ดยางเมื่อหล่นใหม่ๆ จะมีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงมาก แต่เปอร์เซ็นต์ความงอกนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในสภาพปกติเมล็ดยางจะรักษาความงอกไว้ได้ประมาณ 20 วันเท่านั้น

(6) น้ำยาง - เป็นของเหลวสีขาวถึงขาวปนเหลืองข้น อยู่ในท่อน้ำยางซึ่งเรียงตัวกันอยู่ในเปลือกของต้นยาง ในน้ำยางจะมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ 2 ส่วนคือส่วนที่เป็น "เนื้อยาง" และส่วนที่ "ไม่ใช่ยาง" ตามปกติในน้ำยางจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 25-45 เปอร์เซ็นต์

2.1.3 ประโยชน์

(1) ผลิตเป็นน้ำยางข้น

(2) ผลิตเป็นยางแห้ง เช่น ยางแผ่นอบแห้ง ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางแห้ง เป็นต้น

(3) ทำผลิตภัณฑ์จากยาง เช่น ยางล้อรถยนต์ ชัต ถูมือ ถูยาง เป็นต้นไม้ยางใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ [7]

2.2 ความชื้น

2.2.1 ความชื้นในยางแผ่น

ความชื้นในยางแผ่นมีทั้งความชื้นเกาะติดที่ผิวของวัสดุ ซึ่งสามารถไล่ความชื้นนี้ออกหมดโดยการให้ความร้อน ความชื้นอาจเกาะติดอยู่ภายในผนังด้านในท่อเล็กที่อยู่ภายในวัสดุ โดยไม่สามารถไล่ความชื้นภายในวัสดุนี้หมด ปริมาณความชื้นในวัสดุ การหาค่าความชื้นในวัสดุ ค่าความชื้นเป็นตัวบ่งบอกปริมาณน้ำในวัสดุว่ามีปริมาณมากหรือน้อยความชื้นสามารถวัดได้ค่าได้ 2 แบบ ดังนี้ [8]

2.2.2 ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนความดันไอน้ำในบรรยากาศกับความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเดียวกัน อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะสามารถรับความชื้นจากอากาศได้มาก

2.2.3 ความชื้นสมดุล

อาหารที่มีคุณสมบัติในการดูดและคายความชื้นให้กับบรรยากาศ เมื่อนำอาหารวางสัมผัสกับอากาศ ถ้าความชื้นมีแรงดันไอน้ำสูงกว่าอากาศกว่า อากาศจะถ่ายเทความชื้นความชื้นภายในตัวมันให้กับอากาศ ในทางตรงข้ามถ้าอากาศมีแรงดันไอน้ำจะสูงกว่าอาหาร ความชื้นจากอาหารก็จะถ่ายเทให้กับอาหาร การถ่ายเทความชื้นจะดำเนินไปเรื่อยๆจนกระทั่งความดันไอน้ำทั้งสองมีค่าเท่ากัน ความชื้นที่อาหารมีขณะนี้เรียกว่า ความชื้นสมดุล [9]

การเคลื่อนที่ของไอน้ำจากอาหารไปยังอากาศรอบๆขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นและองค์ประกอบของอาหารรวมทั้งอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ที่อุณหภูมิที่คงที่ปริมาณความชื้นของอาหารจะเปลี่ยนไปจนกว่าความชื้นในอาหารจะสมดุลกับไอน้ำในอากาศรอบๆ นั่นคือไอน้ำจะไม่มีน้ำหนักเพิ่มหรือลดลงภายใต้การเก็บรักษาในสภาวะดังกล่าวเราเรียกปริมาณความชื้นดังกล่าวว่า ปริมาณความชื้นสมดุลของอาหารและเรียกความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศการเก็บรักษาว่า ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล [10]

(1) การหาค่าความชื้นสมดุลในวัสดุ ค่าความชื้นเป็นตัวบ่งบอกปริมาณน้ำในวัสดุว่ามีปริมาณมากหรือน้อยความชื้นสามารถวัดได้ค่าได้ 2 แบบ ดังนี้

(1.1) ความชื้นมาตรฐานเปียกคำนวณได้ ดังนี้

$$M_{wb} = \frac{(w - d)}{w} \times 100 \quad (2.1)$$

(1.2) ความชื้นมาตรฐานแห้งคำนวณได้ ดังนี้

$$M_{db} = \frac{(w - d)}{d} \times 100 \quad (2.2)$$

โดยที่	M_{wb}	คือ	ความชื้นมาตรฐานเปียก (% w.b.)
	M_{db}	คือ	ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% d.b.)
	w	คือ	มวลของน้ำภายในวัสดุ (g)
	d	คือ	มวลของวัสดุแห้ง (g)

(1.3) อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลน้ำในวัสดุเทียบกับความชื้นเริ่มต้นเมื่อเวลาการอบแห้งดำเนินไปเป็นเวลาต่างๆ เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$MR = \frac{(M_t - M_{eq})}{(M_0 - M_{eq})} \quad (2.3)$$

เมื่อถือว่าค่าความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมากๆ เทียบกับค่าความชื้นเริ่มต้น ($MC_{eq} \ll MC_0$) และความชื้นที่เวลาใดๆ ($MC_{eq} \ll MC$) [11] จะทำให้สามารถเขียนสมการ (3) ได้ใหม่ ดังนี้

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (2.4)$$

2.3 ความร้อน

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่นได้ และสามารถเปลี่ยนรูปมาจากพลังงานรูปอื่นๆ ได้เช่นเดียวกัน ผลของความร้อน เช่น ความร้อนกับอุณหภูมิ ความร้อนกับสถานะของวัตถุ และความร้อนกับการขยายตัวของวัตถุ

ความร้อนเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของพลังงานซึ่งมีหน่วยวัดเป็นจูล เมื่อวัตถุร้อนขึ้น วัตถุ 2 ก้อนมีระดับความร้อนต่างกัน เมื่อวางติดกัน ความร้อนจะถ่ายเทจากวัตถุที่มีความร้อน สูงกว่าไปยังวัตถุที่มีความร้อนต่ำกว่าพลังงานความร้อนสามารถเคลื่อนที่ได้โดยการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation) ออกไป [12]

การให้ความร้อนแก่อาหารสามารถทำได้ 2 ลักษณะคือ การให้ความร้อนโดยตรงและการให้ความร้อนโดยอ้อม

2.3.1 การให้ความร้อนโดยตรง

เป็นการให้ความร้อนสัมผัสกับอาหารโดยตรง ทั้งนี้รวมถึงการสัมผัสอาหารกับสารที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงด้วย อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ไม่รวมถึงการให้ความร้อนโดยตรงจากไอน้ำร้อน

2.3.2 การให้ความร้อนโดยอ้อม

วิธีการนี้เป็นวิธีการให้ความร้อนแก่อาหารโดยที่ความร้อนไม่สัมผัสกับเชื้อเพลิงที่กำลังเผาไหม้โดยตรง วิธีการนี้นิยมใช้กันมากในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการที่ใช้ไอน้ำร้อนเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน [13]

2.3.4 การถ่ายโอนความร้อน

ความร้อนจะมีการถ่ายโอน (Heat transfer) จากที่หนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ถ้าจุดทั้งสองมีอุณหภูมิแตกต่างกันโดยความร้อนจะถ่ายโอนจากที่ ๆ มีอุณหภูมิสูงไปสู่ที่ ๆ มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ และจะหยุดถ่ายโอนความร้อนเมื่อทั้งสองจุดมีอุณหภูมิเท่ากัน คือ อยู่ในสถานะสมดุลความร้อน การถ่ายโอนความร้อนมี 3 วิธี คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน กระบวนการส่งถ่ายความร้อนทั้ง 3 วิธีนี้ มักเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน เพียงแต่ว่ากระบวนการใดจะแสดงผลออกมาให้เห็นได้ชัดเจนกว่าชนิดอื่นเท่านั้น [14]

(1) การนำความร้อน

กระบวนการส่งถ่ายความร้อนโดยการนำความร้อน (Conduction) นี้เป็นการถ่ายโอนความร้อนระหว่างวัตถุ 2 ชนิด หรือระหว่างจุด 2 จุดภายในวัตถุโดยวัตถุนั้น ๆ ไม่มีการเคลื่อนที่ไปด้วย เช่น เมื่อถือปลายแท่งเหล็กไว้โดยที่ปลายหนึ่งอยู่ในเตาไฟสักครู่จะรู้สึกร้อน ทั้งนี้เพราะการส่งถ่ายความร้อนจากปลายหนึ่งผ่านเนื้อเหล็กมายังปลายที่มีมือถืออยู่โดยตรง การที่ความร้อนถ่ายโอนมาได้นั้นอธิบายได้ดังนี้ คือ อะตอมหรือโมเลกุลข้างเคียงเกิดการสั่นไหวขึ้นแล้วไปกระทบกับอะตอมหรือโมเลกุลถัดไปจะเป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ ไป จนทำให้ปลายอีกข้างหนึ่งร้อนตามไปด้วย [15]

(2) การพาความร้อน

การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการพาความร้อน เกิดขึ้นระหว่างผิวของแข็งและของไหลในบริเวณใกล้เคียงกันที่มีอุณหภูมิต่างกัน ทั้งนี้ของไหลที่กล่าวถึงได้แก่ แก๊สหรือของเหลว เป็นต้น ของไหลนี้เปรียบเสมือนตัวพาความร้อน เป็นผลจากการที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน ความร้อนจะถูกพาจากที่มีความหนาแน่นมากไปสู่ที่มีความหนาแน่นน้อยเช่น อากาศร้อนหรือผลจากกาคนหรือกวนอาหาร อาหารที่ร้อนในน้ำเดือด ซึ่งการพาความร้อนเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ

(2.1) การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) เกิดขึ้นในกรณีที่มีของไหลพาความร้อนผ่านผิวของของแข็งด้วยแรงภายนอก เช่น พัดลม

(2.2) การพาความร้อนแบบอิสระ (Free convection) ความร้อนผ่านผิวของของแข็งด้วยแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของความหนาแน่นในของไหล เพราะมีอุณหภูมิต่างกัน

(3) การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นกลไกการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสี มีความแตกต่างจากการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำและการพาความร้อน เนื่องจากการแผ่รังสีความ

ร้อนไม่ต้องอาศัยในตัวกลาง แต่จะถ่ายเทความร้อนในรูปของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการแผ่รังสีที่เกิดขึ้นในช่วงความยาวช่วงคลื่น 0.1 – 100 cm จัดเป็นรังสีความร้อน (Thermal radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [16]

2.3.5 อุณหภูมิ

อุณหภูมิ คือระดับความร้อนและเป็นสารประกอบอุณหนิยมวิทยาที่สำคัญยิ่งอีกอย่างหนึ่ง อุณหภูมิมีความสำคัญเกี่ยวกับการหมุนเวียนของอากาศดังที่ได้กล่าวมาแล้วด้วย เพราะอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะสามารถรับจำนวนไอน้ำในอากาศไว้ได้มากกว่าอากาศเย็น นอกจากนี้อุณหภูมิยังเป็นสิ่งที่ บังคับดินฟ้าอากาศของแต่ละประเทศ เราจะใส่เสื้อผ้าน้อยเท่าไรก็ได้แล้วแต่ว่าอุณหภูมิจะสูงมากน้อยแค่ไหน ถ้าอุณหภูมิต่ำหนาวจัดมาก เราก็ต้องสวมเสื้อผ้าชนิดขนสัตว์ เป็นต้น เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิเรียกว่า "เทอร์มอมิเตอร์" ซึ่งทำด้วยหลอดแก้วและ บรรจุของเหลว เช่นปรอท อยู่ภายใน หน่วยวัดอุณหภูมิเรียกว่า "องศาเซลเซียส" หรือ "องศาฟาเรนไฮต์"

นักวิทยาศาสตร์ใช้ระดับความร้อนของน้ำแข็งกับระดับความร้อนของน้ำเดือด สำหรับบอกเทียบระดับความร้อนของสิ่งต่าง ๆ โดยกำหนดไว้ว่า 0 °C หรือเท่ากับ 32 F เป็นอุณหภูมิของน้ำแข็ง 100 °C หรือเท่ากับ 212 F เป็นอุณหภูมิของน้ำเดือดที่ระดับน้ำทะเล ช่วงระหว่างอุณหภูมิของน้ำแข็งและของน้ำเดือดแบ่งออกได้เป็นระยะๆ และมีเลขกำกับอยู่ด้วย เพื่อจะแสดงระดับความร้อนของอากาศหรือสิ่งต่างๆ ให้ละเอียดมากขึ้น หลายคนคงเคยใช้ปรอทวัดไข้มาแล้ว ขณะที่ปรอทอาจขึ้นสูงถึง 104 องศาฟาเรนไฮต์ แต่ถ้าร่างกายปกติ จะวัดอุณหภูมิได้ประมาณ 98 F เท่านั้น เทอร์มอมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศมีหลักคล้ายกันแต่มีช่วงของการวัดยาวกว่า [17]

2.4 การอบแห้ง

การอบแห้ง หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ออกไปจากอาหารโดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็งในการอบแห้งแบบระเหิด [18] การอบแห้งเป็นวิธีการที่อาศัยเครื่องจักรกลไม่ต้องพึ่งธรรมชาติให้ความร้อนจากแหล่งพลังงานอื่นๆ เช่น ไฟฟ้า หรือ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น ก๊าซหุงต้ม, น้ำมันเชื้อเพลิง, วัสดุการเกษตรและฟืน โรงงานอุตสาหกรรมใช้น้ำเป็นแหล่งให้ความร้อน และมีเครื่องจักรสำหรับทำแห้งหลายแบบ สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของอาหารที่จะทำแห้ง การอบแห้งใช้พื้นที่น้อยกว่าการตากแห้ง สามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้คงที่และมีคุณภาพดีกว่าและสามารถควบคุมความสะอาดได้ดีกว่า การอบแห้งได้เปรียบในช่วงที่มีฝนตกและอากาศชื้นไม่ค่อยมีแดด [19] นอกจากนี้การอบแห้งยังสามารถหยุดยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่จะก่อให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพและการเน่าเสียได้ของอาหาร ทำให้ค่า Aw อยู่ในระดับที่จุลินทรีย์และปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์

ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียคุณภาพนั้นอยู่ในระดับต่ำสุด ดังนั้นการอบแห้งจึงจัดเป็นการถนอมอาหารเนื่องจากช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้เสื่อมเสียได้ยากขึ้น นอกจากนี้โดยทั่วไปผลจากการอบแห้งจะทำให้น้ำหนักและปริมาตรของอาหารลดลง ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและเก็บรักษา และเป็นการแปรรูปอาหารให้อยู่ในรูปที่สะดวกแก่การนำไปใช้ประโยชน์และบริโภค หรือเพื่อพัฒนาให้เป็นรูปแบบใหม่ของผลิตภัณฑ์อาหารแก่ผู้บริโภค [15]

2.4.1 ลักษณะการอบแห้งในวิจัยนี้มี 3 ลักษณะดังนี้

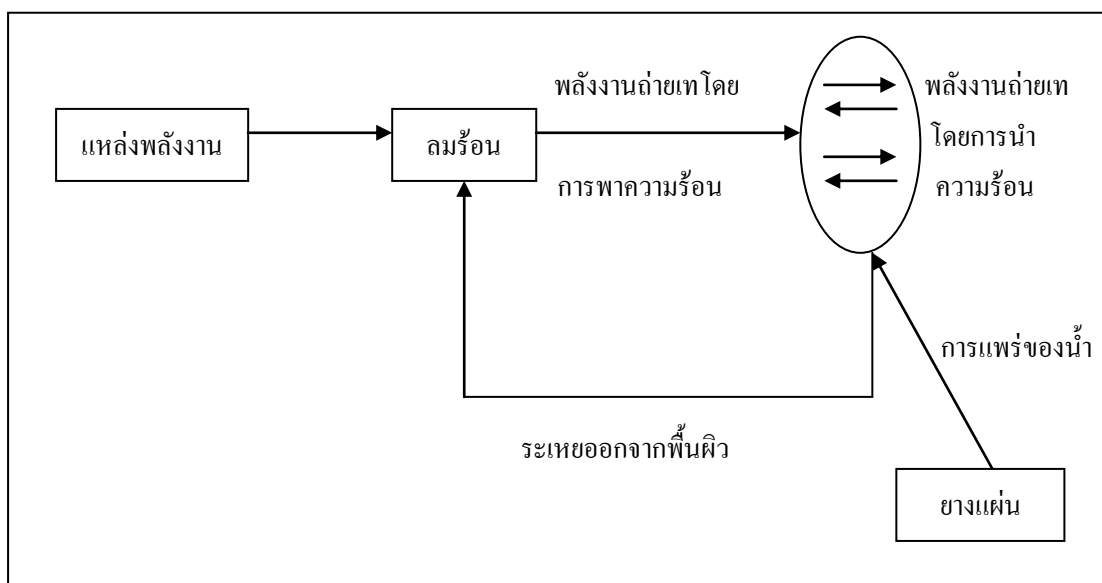
(1) การอบแห้งด้วยลมร้อน

การอบแห้งด้วยลมร้อน หมายถึง การให้ความร้อนจากแหล่งพลังงานลมร้อน ภายใต้สภาวะการควบคุมเพื่อกำจัดน้ำที่มีอยู่ในยางแผ่นโดยการระเหยของน้ำโดยมีกลไกการอบแห้ง ดังภาพที่ 2.1 [20]

(1.1) ความเร็วและทิศทางของลม

ความเร็วและทิศทางของลม นั้น เป็นสารประกอบอุตุนิยมวิทยาที่มีความสำคัญยิ่ง เพราะความเร็วของลมจะเป็นเครื่องแสดงถึงความรุนแรงของอากาศ ส่วนทิศทางของลมหมายถึงแหล่งที่มาของอากาศ ในการบอกทิศทางของลมนี้ ได้มีการตกลงกันไว้ว่า ลมเหนือ หมายถึงลมที่พัดมาจากทิศเหนือไปสู่ทิศใต้ หรือลมตะวันออกเฉียงใต้ หมายถึงลมที่พัดจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปสู่ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ส่วนทิศอื่น ๆ ก็มีวิธีเรียกในทำนองเดียวกัน

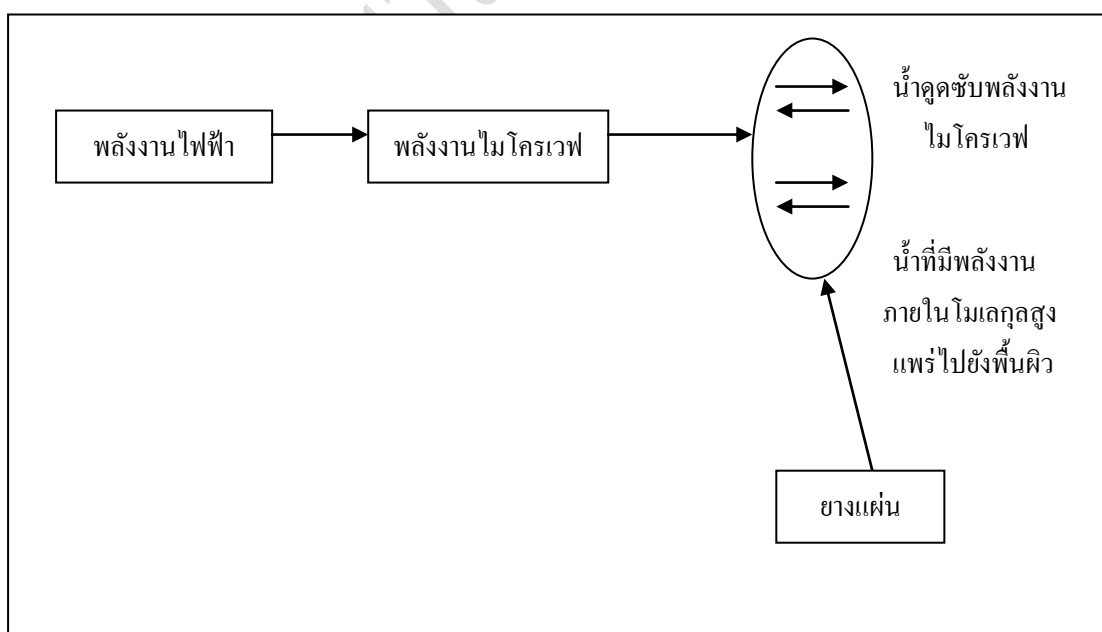
หน่วยวัดความเร็วของลม นั้น คิดเป็นกิโลเมตรหรือไมล์ต่อชั่วโมง เช่น ถ้าว่าลมเหนือความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หมายความว่า ลมพัดจากทิศเหนือด้วยความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เครื่องมือสำหรับวัดลมมีลักษณะเป็นลูกศรชี้และถ้วยหมุน [21]



ภาพที่ 2.1 กลไกการอบแห้งด้วยลมร้อน

(2) การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ

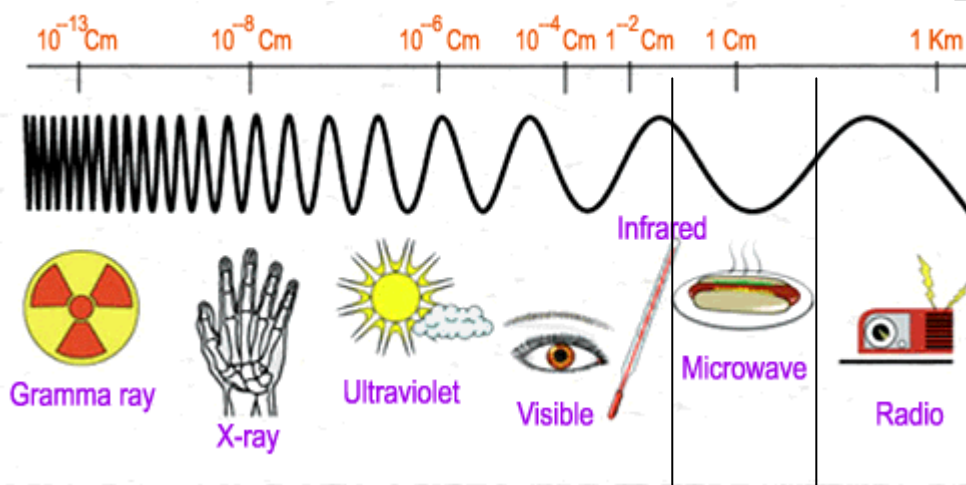
การอบแห้งยางแผ่นด้วยพลังงานไมโครเวฟ คือ การให้ความร้อนจากแหล่งพลังงานไมโครเวฟภายใต้สภาวะการควบคุมเพื่อกำจัดน้ำที่มีอยู่ในยางแผ่นโดยการระเหยของน้ำ โดยมีกลไกการอบแห้ง ดังภาพ 2.2 [20]



ภาพที่ 2.2 กลไกการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ

(2.1) พลังงานความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟและการให้พลังงานความร้อนกับวัสดุ

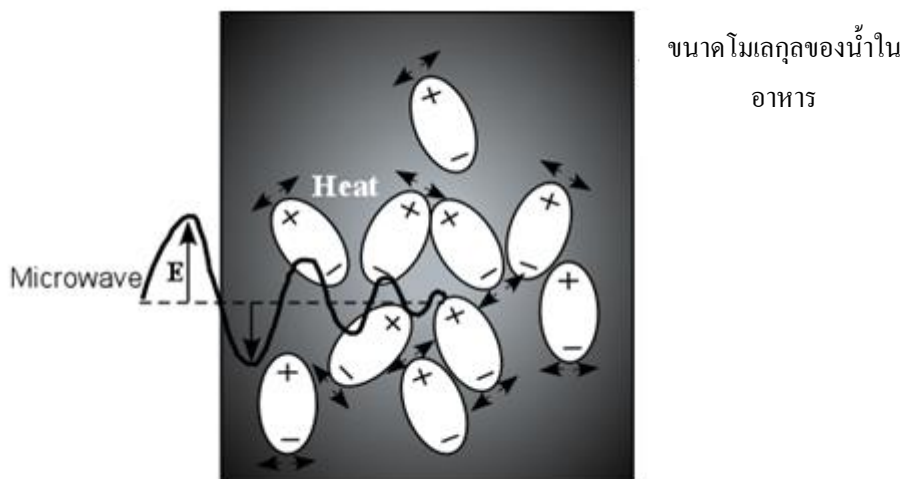
ไมโครเวฟ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งซึ่งมีความยาวคลื่นระหว่าง 1 mm ถึง 1 m ดังแสดงในภาพที่ 2.3 โดยเมื่อแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดมาเรียงกันตามความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน จะได้แผนภาพที่เรียกว่าสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic spectrum) โดยคลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างคลื่นวิทยุและคลื่นอินฟราเรด คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นและความถี่ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการเกี่ยวกับอาหาร เช่น การต้ม การนึ่ง การอุ่น และการทำแห้ง



ภาพที่ 2.3 สเปกตรัมของคลื่นไมโครเวฟ [22]

คลื่นไมโครเวฟถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับเรดาร์ในสมัยสงครามโลกครั้งที่สอง เนื่องจากมันจะสะท้อนได้ดีที่ผิวของโลหะ ประกอบกับคลื่นไมโครเวฟเคลื่อนที่ในอากาศด้วยความเร็วเท่ากับแสง ดังนั้น เรดาร์จึงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงมากในการตรวจจับเครื่องบินของฝ่ายศัตรู สำหรับการนำคลื่นไมโครเวฟไปใช้ในการให้ความร้อนกับอาหารเพื่อการทำให้อสุกหรือการทำแห้งนั้นสามารถทำได้เนื่องจากเมื่อไมโครเวฟเคลื่อนที่เข้าไปในวัสดุต่างๆ ที่ประกอบด้วยโมเลกุลที่มี ความเป็นขั้ว หรือ โมเลกุลที่ประจุบวกและประจุลบมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ โมเลกุลเหล่านั้นจะมีการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงกระทำจากสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ การที่คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นที่มีความถี่สูง ซึ่งความถี่ของคลื่นไมโครเวฟสำหรับใช้ในกระบวนการให้ความร้อนอาหารจะเท่ากับ 2.45 GHz ดังนั้นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟจะมีการสลับขั้ว 2,450 ล้านครั้งต่อวินาที เมื่อโมเลกุลของน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลมีขั้วที่มีจำนวนมากที่สุดมันจะพยายามหมุนตามการสลับขั้วของสนามไฟฟ้า ก็จะทำให้เกิดการชนกันระหว่างโมเลกุลหรือเกิดแรงเสียดทานภายในโมเลกุลของน้ำนั่นเอง การชนกันดังกล่าวจะทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นอย่าง

รวดเร็ว ปรากฏการณ์การเกิดความร้อนดังกล่าวเหมือนกันกับการเกิดความร้อนเมื่อนำเอากิ่งไม้แห้งสองอันมาถูกัน ดังภาพที่ 2.4 แสดงการตอบสนองของโมเลกุลน้ำเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ [22]



ภาพที่ 2.4 แบบจำลองการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟแล้วเกิดเป็นความร้อนขึ้นในวัสดุไดอิเล็กตริก[22]

กระบวนการที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในวัสดุเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ เรียกว่า Dielectric heating ซึ่งทำให้พลังงานของคลื่นไมโครเวฟซึ่งอยู่ในรูปของสนามไฟฟ้า เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนภายในวัสดุได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง ดังภาพที่ 2.5 ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการนำเทคโนโลยีไมโครเวฟมาใช้มากมายเช่น การอบแห้ง การฆ่าเชื้อโรค การเร่งปฏิกิริยาเคมี และการกำเนิดพลาสมา เป็นต้น [22]

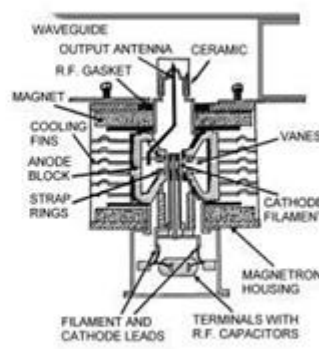
ในกระบวนการอบแห้งอาหารนั้น จะใช้คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟที่ตอบสนองต่อโมเลกุลชนิดต่างๆ ไม่เท่ากัน โดยจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเชิงไดอิเล็กตริกของมัน คลื่นไมโครเวฟจะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำได้ดีที่สุดเนื่องจากความถี่ของการหมุนของโมเลกุลของน้ำซึ่งมีความเป็นเชิงขั้ว (Dipole) สูงกับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 GHz เกิดการกำทอน (Resonance) กัน ทำให้น้ำสามารถดูดพลังงานของคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยพลังงานของคลื่นไมโครเวฟมีผลต่อวัสดุอื่นๆ น้อยมาก น้ำจะถูกทำให้ร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วจนระเหยออกไปหมด ดังนั้นพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจึงใช้ในการระเหยของความชื้นในอาหารโดยที่ความร้อนดังกล่าวจะไม่ทำให้โครงสร้างและรสชาติของอาหารเกิดการเสียหายถ้าหากมีการควบคุมที่เหมาะสม ซึ่งจะเห็นว่าการอบแห้งโดยคลื่นไมโครเวฟมีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้เพื่อพัฒนากระบวนการอบแห้งอาหารที่มีประสิทธิภาพสูง [22]

ในการอบแห้งยางแผ่นโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อให้ได้ยางแผ่นที่มีคุณภาพเป็นที่ต้องการของตลาดนั้น จะต้องทราบเงื่อนไขที่เหมาะสมของการอบแห้ง เช่น กำลังคลื่นไมโครเวฟ การถ่ายเทความร้อนและความชื้นในเตาอบ และในยางแผ่น

คลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในการให้ความร้อนกับอาหารสามารถผลิตได้ด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่าแมกนีตรอน (Magnetron) ซึ่งจะเป็นส่วนประกอบสำคัญของเตาไมโครเวฟ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.5 (ก) แมกนีตรอน (ข) โครงสร้างแมกนีตรอน [22]

(2.2) แมกนีตรอน

แมกนีตรอนเป็นอุปกรณ์ที่ให้กำเนิดคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 2.45 GHz มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยไส้หลอด (Filament) คาโทด (Cathode) ซึ่งเป็นขั้วใดขั้วหนึ่งของไส้หลอด และถูกบรรจุอยู่ในช่องสุญญากาศซึ่งส่วนของผนังรอบๆจะทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด (Anode) คลื่นไมโครเวฟที่ถูกกำเนิดขึ้นจะถูกส่งออกมาภายนอกโดยAntenna ในการทำงานของแมกนีตรอนนั้นแมกนีตรอนจะถูกจ่ายด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำประมาณ 3-4 V กระแส 10 A ที่ไส้หลอด ซึ่งจะทำให้ไส้หลอดร้อนและปล่อยอิเล็กตรอนออกมา และเมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงมากกว่า 4,000 V ไปที่ขั้วใดขั้วหนึ่งของไส้หลอดซึ่งทำหน้าที่เป็นคาโทดเทียบกับขั้วแอโนด ก็จะทำให้อิเล็กตรอนถูกบังคับให้เคลื่อนที่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กถาวร ซึ่งจะทำให้แมกนีตรอนสามารถปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาได้ โดยที่ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟจะถูกกำหนดด้วยโครงสร้างภายในช่องสุญญากาศระหว่างขั้วคาโทดกับขั้วแอโนดให้เท่ากับ 2.45 GHz [22]

(2.3) คุณสมบัติทั่วไปของคลื่นไมโครเวฟ มี 3 ประการ

(2.3.1) การสะท้อนกลับ (Reflection) คลื่นไมโครเวฟเมื่อไปกระทบกับภาชนะที่เป็นโลหะหรือมีสีผสมของโลหะ คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านภาชนะดังกล่าวได้ จะสะท้อนกลับหมด ดังนั้นยางแผ่นที่ใส่ในภาชนะที่เป็นโลหะก็จะไม่สุก

(2.3.2) การส่งผ่าน (Transmission) คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านภาชนะที่ทำด้วยแก้ว กระจก ยาง เซรามิกและพลาสติกได้ เพราะภาชนะดังกล่าวไม่มีส่วนผสมของโลหะจึงเป็นภาชนะที่ได้ดีในเตาไมโครเวฟ

(2.3.3) การดูดซึม (Absorption) ปกติยางแผ่นโดยทั่วไป จะประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำในยางแผ่นซึ่งจะดูดซึมคลื่นไมโครเวฟทำให้ยางแผ่นร้อนอย่างรวดเร็ว และอีกนัยเมื่อโมเลกุลของน้ำดูดซึมคลื่นไมโครเวฟแล้วจะสลายตัวในทันทีที่ไม่สะสมในยางแผ่น [23]

(2.4) สมบัติทางไดอิเล็กทริก (Dielectric properties) เป็นสมบัติที่บอกว่สารชนิดหนึ่งดูดซับไมโครเวฟได้ดีเพียงใด สมบัตินี้สำคัญมากสำหรับผู้ผลิตอาหารที่ต้องการสร้างสูตรอาหารที่ใช้สำหรับการแปรรูปด้วยไมโครเวฟได้ เนื่องจากสมบัติทางไดอิเล็กทริกจะแปรเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบของอาหาร [24]

ในปีพ.ศ. 2491 Collie, Hasted และคณะ [17] ได้ศึกษาหลักพื้นฐานของพฤติกรรมทางไดอิเล็กทริกของอาหารและได้อธิบายว่า น้ำและเกลือแร่ที่อยู่ในรูปของปริมาณถ้าเมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของอาหารนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้อาหารแทบทุกชนิดมีสมบัติไดอิเล็กทริก แต่จะดูดซับไมโครเวฟแตกต่างกันไปขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อไปนี้คือองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร พบว่าปริมาณน้ำและเกลือแร่รวมถึงรูปแบบของน้ำ มีความสำคัญต่อการดูดซับคลื่นไมโครเวฟด้วย น้ำที่อยู่ในรูปอิสระ จะทำให้ดูดซับไมโครเวฟได้ดีกว่าน้ำที่เกาะอยู่กับสารประกอบอื่น ส่วนปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการดูดซับไมโครเวฟนั้นได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของอาหาร อุณหภูมิของอาหารและระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ สมบัติไดอิเล็กทริกของอาหารต่างๆสามารถแสดงเป็นค่าตัวเลขที่มีความเกี่ยวข้องกับค่าต่างๆอยู่ 3 ค่า คือ

(2.4.1) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric) คือค่าที่แสดงถึงความสามารถของสารประกอบที่กักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ได้ เมื่อนำสารประกอบนั้นไปวางไว้ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ สารใดที่มีค่านี้สูง จะสามารถกักเก็บพลังได้สูง ค่านี้จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ และปริมาณความชื้นของอาหารนั้นๆ

(2.4.2) แฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริก (Dielectric loss factor) คือค่าของพลังงานที่สูญเสียไปหรือที่แพร่กระจายไปในสารไดอิเล็กทริกเมื่อนำไปวางไว้ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งพลังที่สูญเสียไปจะสูญเสียไปเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนขึ้นในชิ้นอาหาร

นั้นๆ ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าจะเกิดความร้อนขึ้นสูง แต่พลังงานจะถูกดูดซับไปอย่างรวดเร็วเมื่อคลื่นไมโครเวฟผ่านเข้าไปในชิ้นอาหารนั้นเพียงระยะสั้นๆ แล้วความร้อนนั้นจะลดลงโดยกระบวนการนำและการพาความร้อนเข้าสู่ภายในชิ้นอาหารด้วย

(2.4.3) Loss Tangent หรือ Dissipation Factor หมายถึง ลักษณะการสูญเสียพลังงานของสารนั้นซึ่งคิดออกมาในรูปของมุมต่างไปจาก 90° C ในสภาพปกติทั่วไปของกระแสไฟฟ้า การสูญเสียอย่างรวดเร็ว

(3) การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมไมโครเวฟ

การอบแห้งด้วยพลังงานลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ เป็น การให้ความร้อนจากแหล่งพลังงานลมร้อนร่วมกับความร้อนจากแหล่งพลังงานไมโครเวฟภายใต้สภาวะการควบคุมเพื่อกำจัดน้ำที่มีอยู่ในยางแผ่นโดยการระเหยของน้ำ

2.4.2 การประเมินสมรรถนะของกระบวนการอบแห้ง

(1) อัตราการทำแห้ง (Drying rate) คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อระยะเวลาในการอบแห้ง มีหน่วยเป็น kg/h หรือปริมาณความชื้น ซึ่งมีหน่วยเป็น %d.b./h

$$DR = \frac{(m_{p,i} - m_{p,f})}{t} \quad (2.5)$$

$$DR = \frac{(M_i - M_f)}{t} \quad (2.6)$$

(2) อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific moisture extraction rate) คือปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อพลังงานที่ใช้ตลอดการอบแห้ง ซึ่งมีหน่วยเป็น kg/kW h

$$SMER = \frac{(m_{p,i} - m_{p,f})}{Pe} \quad (2.7)$$

(3) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) เป็นส่วนกลับของ SMER กล่าวคือ เป็นพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำระเหย ซึ่งมีหน่วยเป็น MJ/kg

$$SEC = \frac{3.6 Pe}{(m_{p,i} - m_{p,f})} \quad (2.8)$$

เมื่อ	$m_{p,i}$	คือ	น้ำหนักวัสดุก่อนอบแห้ง (kg)
	$m_{p,f}$	คือ	น้ำหนักวัสดุหลังอบแห้ง (kg)
	M_i	คือ	ความชื้นวัสดุก่อนอบแห้ง (%d.b.)
	M_f	คือ	ความชื้นวัสดุหลังอบแห้ง (%d.b.)
	P_e	คือ	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kW h)
	t	คือ	เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

(4) คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ขึ้นอยู่กับรูปแบบการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์แห้ง โดยส่วนมากจะพิจารณาจาก ค่าสี ตามมาตรฐาน หรือ กลิ่นและรสชาติ เนื้อสัมผัสด้วยวิธีการ อัตราส่วนการคืนน้ำกลับ และคุณค่าทางโภชนาการ [25]

2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

- (1) ลักษณะธรรมชาติของยางแผ่น
- (2) ขนาดและรูปร่างของยางแผ่น
- (3) ความชื้นสัมพัทธ์ในยางแผ่น
- (4) อุณหภูมิในการทำอบยางแผ่น
- (5) ความเร็วลมในการอบแห้ง
- (6) ระดับความดัน
- (7) เวลาที่ใช้
- (8) พลังงานไมโครเวฟ

2.4.4 การเปลี่ยนแปลงของยางแผ่นในระหว่างการอบแห้ง

- (1) ยางแผ่นเกิดการหดตัว และการเหี่ยวแห้งยางแผ่น
- (2) ความสามารถในการคืนตัวหรือคืนสภาพเดิมของยางแผ่น
- (3) การสูญเสียคุณค่าทางอาหาร และสารระเหยยางแผ่น
- (4) การเปลี่ยนแปลงสีของยางแผ่น

2.4.5 ข้อดีที่ได้จากการอบทำแห้ง

- (1) อัตราการทำแห้งสูงและผลิตยางแผ่นได้รวดเร็ว
- (2) ผลิตภัณฑ์หลังทำแห้งมีลักษณะเหมือนกันหมด และมีความสะอาดสูง
- (3) รักษาคุณค่าทางอาหาร
- (4) คงสีของผลิตภัณฑ์อบแห้ง
- (5) เก็บผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งได้นาน

(6) ใช้ผลิตภัณฑ์ในการทำแห้งน้อยและมีประสิทธิภาพสูง [20]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กาญจนา [26] ได้ศึกษาสภาวะในการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพหลังการอบแห้งของใบมะกรูด โดยทำการประยุกต์เครื่องอบไมโครเวฟที่ใช้ตามบ้านด้วยการเพิ่มระบบสุญญากาศ ทำการอบแห้งแบบ Pulsed mode ใช้ระดับกำลังของไมโครเวฟอยู่ระหว่าง 0.5 – 2.0 W/g ที่ระดับความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure) 3 ระดับ คือ 7, 10 และ 13 kPa ตามลำดับ โดยมี Power-on time 15, 30 และ 45 s และ Power-off time 45, 30 และ 15 s เปรียบเทียบกับเครื่องทำแห้งแบบถาด ที่อุณหภูมิ 40 °C ปรับความเร็วลมที่ 2 m/s วิเคราะห์คุณภาพหลังการอบแห้งด้าน (การเปลี่ยนแปลงค่า L^* , a^* และ b^*) ค่า water activity ปริมาณความชื้น (% w.b.) ความสามารถในการคืนรูปโดยวัดอัตราการดูดน้ำกลับของผลิตภัณฑ์

คำนึ่ง [27] ได้ศึกษางานคุณลักษณะการอบแห้งแบบชั้นบางของชิ้นมันสำปะหลัง ด้วยลมร้อน และอิทธิพลของไมโครเวฟต่อคุณลักษณะการอบแห้งแบบชั้นบางของชิ้นมันสำปะหลัง ด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน วิธีการศึกษาใช้ขนาดชิ้นมันสำปะหลัง 3 ระดับขนาด (3-4, 4-5 และ 5-6 mm) ความหนาของชิ้นการอบแห้งเท่ากับ 3 cm อุณหภูมิอากาศร้อน 60 °C ความเร็ว การไหลของอากาศผ่านพื้นที่หน้าตัดการอบ 4 ระดับ (0.2, 0.3, 0.4, และ 0.5 m/s) และความชื้นไมโครเวฟ 3 ระดับ (0.18, 0.30 และ 0.45 w/g) พบว่าพฤติกรรมการอบแห้ง แบบชั้นบางเกิดขึ้นเมื่อความเร็วของอากาศมีค่าตั้งแต่ 0.4 m/s ทุกระดับความชื้น ไมโครเวฟไม่มีอิทธิพลต่อการลดลงของความชื้นในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ แต่ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงทุกความชื้นไมโครเวฟมีอิทธิพลต่อการลดลงของความชื้นอย่างมากเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว

คำนึ่ง และเฉลิมขวัญ [28] ได้ศึกษาการอบแห้งยางแท่งหนัก 500 g ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm สูง 2.5 cm ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 36.9 (% w.b.) เพื่อลดความชื้นเป็น 0.8 (% w.b.) ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 100, 110 และ 120 °C ความเร็วลม 1 m/s พบว่าการลดลงของความชื้นในช่วง 30 s แรกเป็นไปอย่างรวดเร็วและหลังจากนั้นความชื้นลดลงอย่างช้าๆ โดยอุณหภูมิของแท่งยางเป็น 85.6, 97.4 และ 109.9 °C สอดคล้องกับเวลาอบแห้งนาน 180 120 และ 105 min ตามลำดับ และเมื่อให้พลังงานไมโครเวฟกำลัง 800 W เปิด-ปิดเป็นระยะ พบว่าการลดลงของความชื้นใน 20 min แรกเป็นไปอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิยางแท่งเฉลี่ย 100.5 °C ใช้เวลาอบแห้งรวม 48 min การอบแห้งด้วยไมโครเวฟสามารถลดเวลาได้ 73 60 และ 54 % เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยลมร้อนที่ อุณหภูมิ 100 110 และ 120 °C ตามลำดับ

คำนี้ [29] ได้ศึกษาการอบกล้วยด้วยเครื่องอบจำลองรูปแบบการทำงานของเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับสายพานลำเลียงกล้วยอบเป็นผลิตภัณฑ์การแปรรูปกล้วยน้ำว้าที่ทำรายได้แก่กลุ่มแม่บ้านและเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยได้ดีอย่างหนึ่ง ปัจจุบันการอบกล้วยนิยมใช้เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแก๊สหุงต้มจึงต้องใช้เวลาในการอบนานและทำให้ความสามารถในการผลิตต่ำ ดังนั้นโครงการนี้ได้มุ่งศึกษาเทคนิคการอบที่มีศักยภาพในการเพิ่มความสามารถในการผลิต โดยการใช้พลังงานไมโครเวฟเร่งให้เวลาการอบสั้นลง จากการทดลองอบกล้วยน้ำว้าในตู้ไมโครเวฟดัดแปลงซึ่งจำลองรูปแบบการทำงานของเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับสายพานลำเลียงภายใต้อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้อบ 60°C และระดับพลังงานไมโครเวฟ 3 ระดับ (0.24, 0.40 และ 0.56 W/g) ป้อนพลังงานไมโครเวฟเข้าตู้อบเป็นเวลา 0.5 s แล้วหยุด 5 s สลับกันไปจนการอบเสร็จสิ้นลง พบว่าเวลาและพลังงานที่ใช้อบลดลงอย่างมากเมื่อใช้ระดับพลังงานไมโครเวฟสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้ระดับพลังงานไมโครเวฟต่ำทำให้ได้คุณภาพผลิตภัณฑ์กล้วยอบที่ดีกว่า และ การใช้ระดับพลังงานไมโครเวฟที่ 0.24 W/g กล้วยอบมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยไม่เกิน 70°C เวลาและพลังงานในการอบเป็น 60 และ 74% ของการอบด้วยอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว พร้อมกันนี้สีของผลิตภัณฑ์กล้วยอบยังมีช่วงสีเดียวกันกับผลิตภัณฑ์กล้วยอบที่ได้จากการอบด้วยเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์อีกด้วย

คำนี้ และ เสรี [30] ได้ศึกษาศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งมะม่วงด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดร่วมกับไมโครเวฟ ผลการศึกษาพบว่าทำให้พลังงานไมโครเวฟช่วยลดเวลาและพลังงานได้อย่างมาก ณ ระดับความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟที่ 0.45, 0.75 และ 1.13 W/g ค่าพลังงานที่ต้องการในการระเหยน้ำเป็นเพียง 26, 12 และ 10% ของการอบด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบดเพียงลำพัง และเวลาการอบแห้งที่ระดับพลังงานไมโครเวฟ 0.45, 0.75 และ 1.13 W/g คือ 1.5, 0.7 และ 0.5 h ตามลำดับ

จินดา [31] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการอบแห้งข้าวเปลือกช่วงความชื้น สูงโดยใช้เทคนิคสเปาเต็ดเบดสองมิติ โดยพิจารณาถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ ได้พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ทำนายการอบแห้งข้าวเปลือก โดยอบแห้งข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้น 60-45 (% d.b.) อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าห้องอบแห้ง 130, 140, 150°C ปริมาณการอบแห้ง 20, 25 และ 30 kg และความเร็วของอากาศอบแห้ง 17.4-20.2 m/s จากการทดลอง พบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าห้องอบแห้งและอัตราการไหลจำเพาะของอากาศ และยังพบว่า แบบจำลอง First order polynomial มีความเหมาะสมมากที่สุดที่จะใช้อธิบายผลการทดลอง อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ยในการอบแห้ง 7.02 MJ/kg-water evapo. ปริมาณข้าวคั้นสามารถเพิ่มได้สูงสุด เมื่อข้าวเปลือกมี

ความชื้นสุดท้ายในช่วง 25-27 (% d.b.) โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณข้าวต้น คือ ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก ในขณะที่อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าห้องอบแห้งที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณข้าวต้นลดลง ส่วนคุณภาพด้านความขาวของข้าวสารส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ณัฐพล และละมุล [32] ได้ทำการศึกษาลักษณะการอบแห้งชั้นบางและความชื้นสมดุลของเห็ดขอนขาว โดยทำการทดลองหาความชื้นสมดุลที่อุณหภูมิในช่วง 40-60 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 10-80% ผลการทดลองพบว่าค่าความชื้นสมดุลลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำลง สมการของ Oswin เป็นสมการที่สามารถทำนายค่าความชื้นสมดุลได้ถูกต้องมากที่สุด ในส่วนของการอบแห้งชั้นบางทำการศึกษาที่อุณหภูมิระหว่าง 40-60 °C และความเร็วในห้องอบแห้งคงที่ที่ 0.6 m/s พบว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ สมการสองเทอมมีความเหมาะสมที่นำมาใช้ทำนายอัตราการอบแห้งเห็ดขอนขาว

สมศักดิ์ และ คณะ [33] ได้ทำการศึกษาการทดลองการอบแห้งไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม ภายใต้ความถี่คลื่นไมโครเวฟ 2.45 GHz (โหมด TE₁₀) พารามิเตอร์ที่ศึกษาคือ กำลังคลื่นไมโครเวฟ (50, 100 W) อุณหภูมิของลมร้อน (40, 60°C) และความหนาของชิ้นไม้ (50, 80 mm) ที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในชิ้นไม้ ความชื้นของชิ้นไม้ (ชิ้นไม้มีความชื้นเริ่มต้น 89 – 95 (% w.b.) และการดูดซับกำลังไมโครเวฟของชิ้นไม้ จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงกำลังคลื่นไมโครเวฟ อุณหภูมิของลมร้อนและความหนาของชิ้นไม้ มีผลต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานของกระบวนการอบแห้งวัสดุพืชน้ำที่ไม่อัมตรึงโดยใช้ไมโครเวฟได้ รวมทั้งสามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบสร้างระบบอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟในภาคอุตสาหกรรมต่อไป

มนตรีและคณะ [34] ได้ทำการศึกษาและทดลองอบแห้งผลหมากในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องอบแห้งไฟฟ้าแบบตู้ชนิดถาดอยู่กับที่ขนาดเล็ก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งผลหมาก เพื่อนำไปใช้กำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องอบแห้งหมากขนาดใหญ่ การทดลองได้กำหนดค่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้ออบแห้งไว้ที่ 50, 55, 60, 65 และ 70 °C และความเร็วของลมร้อน 1, 2, 3 และ 4 m/s พิจารณาผลการทดลองทางด้านคุณภาพของผลหมากแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงาน และเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง จากการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งจะขึ้นกับอุณหภูมิของลมร้อนอย่างมาก แต่ในขณะเดียวกันความเร็วของลมร้อนมีผลต่ออัตราการอบแห้งน้อย ที่อุณหภูมิต่างๆคุณภาพของหมากแห้งจะมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที มีอัตราการใช้พลังงานต่ำที่สุด

อีลีหัยะ และ คณะ [35] ได้ศึกษาเครื่องอบแห้งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับการศึกษา จลนศาสตร์การอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตร ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเลือกที่จะ ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งชั้นบางพลังงานความร้อนร่วมระหว่างลมร้อนและพลังงาน แสงอาทิตย์ (YRU-TLD#1(R&E)) เพื่อใช้ศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิต ทางการเกษตรในลักษณะต่าง ๆ โดยทดสอบในที่ร้อนและกลางแจ้งเมื่อควบคุมอุณหภูมิของขด ลวดความร้อน และความเร็วลมในช่วง 60-200 °C และ 1-3 m/s ตามลำดับพบว่า เมื่ออุณหภูมิของ ขดลวดความร้อนเพิ่มสูงขึ้นอุณหภูมิในห้องอบแห้งจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยและที่อุณหภูมิของขด ลวดความร้อนเท่ากันการทดสอบกลางแจ้งจะให้อุณหภูมิในห้องอบสูงกว่าการทดสอบในที่ร้อน ในขณะที่ความเร็วลมจะมีผลต่ออุณหภูมิในห้องอบทั้งที่ทดสอบในที่ร้อนและกลางแจ้ง โดยเมื่อ ความเร็วลมเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในห้องอบจะลดลง และเครื่องอบแห้งที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ สามารถใช้ในการอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตรได้

Somsak [36] ในการศึกษาการอบแห้งไม้ ด้วยพลังงานไมโครเวฟ และลมร้อน โดยใช้ท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยม ภายใต้ความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz (โหมด TE₁₀) พารามิเตอร์ คือ กำลังไมโครเวฟ (50, 100W) อุณหภูมิลมร้อน คือ (40 และ 60°C) ความหนาของไม้ (50 และ 80 mm) ที่มีผลต่ออุณหภูมิไม้ (ไม้มีความชื้นเริ่มต้น 89 – 95 (%d.b.) และการดูดซับกำลังไมโครเวฟของไม้ จากการทดลองเปลี่ยนแปลงกำลังไมโครเวฟ อุณหภูมิลมร้อนและ ความหนาของไม้ มีผลต่อจลนศาสตร์ของการอบแห้ง

A. Reyes and S. Ceron [37] ได้ทำการศึกษการอบแห้งมันฝรั่งด้วยลมร้อนและไมโครเวฟ ร่วมกับลมร้อน ซึ่งในการอบแห้งนั้นซึ่งจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและความเร็วลมในการศึกษา จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง โดยทำการศึกษาจนมันเทศมีความชื้นลดลงเหลือ 12±1.5% (w.b.) จากนั้นจึงใช้พารามิเตอร์ในการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของมันฝรั่งที่ได้

Nattapol and Lamul [38] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการอบแห้งชั้นบาง และความชื้นสมดุลของเห็ดขอนขาว โดยทำการทดลองหาความชื้นสมดุลที่อุณหภูมิในช่วง 40-60 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 10-80% ผลการทดลองพบว่าค่าความชื้นสมดุลลดลงเมื่ออุณหภูมิ สูงขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำลง สมการของ Oswin เป็นสมการที่สามารถทำนายค่า ความชื้นสมดุลได้ถูกต้องมากที่สุด ในส่วนของการอบแห้งชั้นบางทำการศึกษาที่อุณหภูมิระหว่าง 40-60 °C และความเร็วในห้องอบแห้งคงที่ที่ 0.6 m/s พบว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ สมการสองเทอมมีความเหมาะสมที่นำมาใช้ทำนายอัตราการอบแห้งเห็ดขอนขาว

G.P. Sharma and Suresh Prasad [39] ได้ศึกษาอัตราการอบแห้งกระเทียมโดยใช้พลังงานไมโครเวฟและลมร้อน โดยใช้ความเร็วลมร้อน 1.0 m/s ที่อุณหภูมิลมร้อน 70°C ได้ค่าโดยประมาณ 85.45 MJ / kg และมีพลังงานเพิ่มเมื่ออัตราเร็วลมสูงขึ้น และที่การอบแห้งด้วยพลังงานไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 400 w โดยใช้ความเร็วลมร้อน 1.0 m/s ที่อุณหภูมิลมร้อน 70°C ได้ค่าโดยประมาณ 26.32 MJ/kg ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานได้ 70% เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว อัตราการอบแห้งของหมากจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อพลังงานของไมโครเวฟสูงขึ้น

Arkorn, Nattapol and Kittisak [40] วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาลักษณะการอบแห้งถั่วลิสงด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟเปรียบเทียบกับ การอบแห้งไมโครเวฟโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว ในการทดลองจะใช้ถั่วลิสงทั้งฝัก ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้น 86.95 % d.b. อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้าย 9 % d.b. การอบแห้งถั่วลิสงด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C พบว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น และใช้เวลาในการอบแห้งลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟที่ระดับพลังงานไฟฟ้า 450 และ 800 W อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละอุณหภูมิกับเทคนิคการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว นั้น พบว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน มีอัตราการอบแห้งและการระเหยน้ำของผลิตภัณฑ์ดีกว่า อัตราการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น และใช้เวลาในการอบแห้งลดลงเมื่อระดับพลังงานไมโครเวฟเพิ่มขึ้น ลักษณะผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งไม่เกิดรอยไหม้และความเสียหายในทุกการทดลองสีและค่าวอเตอร์แอคทีวิตีของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามแรงที่ใช้ในการกดเมล็ดเพื่อทดสอบความแข็งของถั่วลิสงที่ได้จากการอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจะมีค่ามากกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ

3.1.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ยางแผ่น

กลุ่มตัวอย่าง คือ ยางแผ่นขนาดความหนา 0.4 cm กว้าง 6 cm ยาว 8 cm

3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์

(1) ยางแผ่น

(2) เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ ZEPPER รุ่น EPS /PS-SERIES ชั่งได้สูงสุด 3000 g ความละเอียด 0.1 g

(3) เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม : YRU – HA/MW DRYER#1 (FR&E)

(4) ตู้อบไฟฟ้า (Oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น UNB 400 230 V/ 50 – 60 Hz/ 1400 W

(5) เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-41 ความละเอียด 0.1 m/s

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการอบยางผ่าน ด้วยลมร้อนร่วมไมโครเวฟ

ขั้นตอนที่ 2 ทดลองอบยางแผ่น ดังนี้

1. หาค่าความชื้นของยางแผ่นดิบโดย นำยางแผ่นดิบมาชั่งน้ำหนักก่อนที่อุณหภูมิ 130 °C เป็นเวลา 5 h หลังจากอบแล้วนำยางแผ่นมาชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณหาค่าความชื้นตามสมการ ที่ (2.5) และ (2.6)

2. ทดลองอบยางแผ่นด้วยลมร้อนอย่างเดียวที่ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s อุณหภูมิ 100 และ 120°C โดยนำยางแผ่นออกมาชั่งน้ำหนักที่เวลาอบ 0, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 150, 210 และ 330 min

3. ทดลองอบยางแผ่นด้วยไมโครเวฟอย่างเดียวที่ระดับคลื่นไมโครเวฟ 600 และ 800 W โดยใช้ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s แล้วนำยางแผ่นออกมาชั่งน้ำหนักที่เวลาอบ 0, 1, 3, 5, 10, 15, 25 และ 40 min

4. ทดลองอบยางแผ่นด้วยลมร้อนร่วมไมโครเวฟที่ระดับความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s อุณหภูมิ 100 และ 120°C และระดับคลื่นไมโครเวฟ 600 และ 800 W แล้วนำยางแผ่นออกมาชั่งน้ำหนักที่เวลาอบ 0, 1, 3, 5, 10, 15, 25 และ 40 min

5. หาค่าความชื้นสุดท้าย ของยางแผ่นที่ได้หลังการอบด้วยพลังงานลมร้อนอย่างเดียว ไมโครเวฟอย่างเดียว และลมร้อนร่วมไมโครเวฟ

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. หาค่าความชื้นเวลาใดๆ ตามสมการ (2.1)
2. หาค่าอัตราการทำแห้ง ตามสมการ (2.5)
3. หาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะตามสมการ (2.8)

3.3 สถิติวิเคราะห์

การทดลองนี้ได้พิจารณาค่าทางสถิติ 2 ชนิด คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean, $\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.) เพื่อวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ ซึ่งสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (3.1)$$

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (3.4)$$

$\bar{X}$	คือ	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
S.D.	คือ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
X	คือ	ข้อมูลการทดลอง
N	คือ	จำนวนครั้งของการทดลอง
i	คือ	จำนวนเต็มใดๆ เท่ากับ 1, 2, 3,...

บทที่ 4

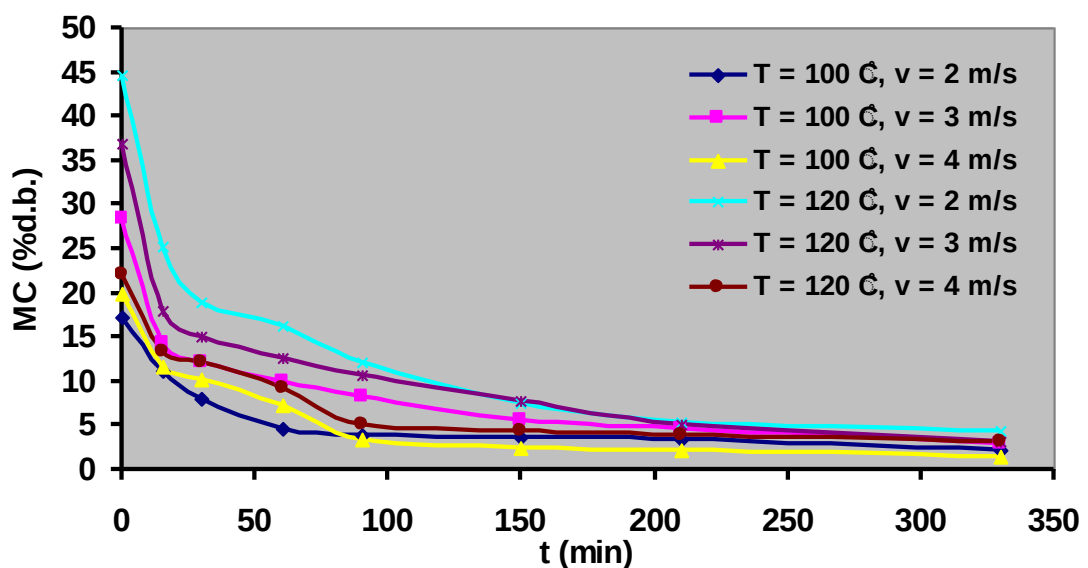
ผลการศึกษา

เมื่อนำข้อมูลการทดลองอบแห้งยางแผ่น (ภาคผนวก ก) มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบการลดความชื้น และอัตราการทำแห้งของยางแผ่น เมื่อใช้ลมร้อน ไมโครเวฟ และลมร้อนร่วมไมโครเวฟ ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s ได้ผล ดังนี้

4.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้น

4.1.1 การอบแห้งยางแผ่นด้วยลมร้อนอย่างเดียว

ในการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียวนั้นได้ทดลองที่ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s และอุณหภูมิลมร้อน เท่ากับ 100 และ 120 °C ดังนี้



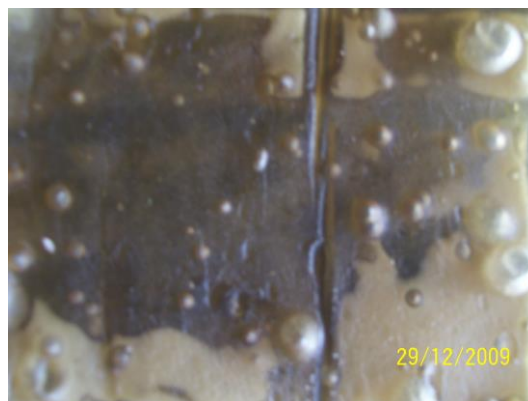
ภาพที่ 4.1 การลดความชื้นในยางแผ่น ด้วยลมร้อนอย่างเดียว ที่อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s

จากภาพที่ 4.1 ข้างต้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อระดับความเร็วลม และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความชื้นของยางแผ่นลดลงตามไปด้วย โดยที่ระดับความเร็วลมเท่ากับ 2, 3 และ 4 m/s อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 100 °C ความชื้นของยางแผ่นจะลดลงจากความชื้นเริ่มต้น 33.89% d.b. เหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 3.58, 3.21 และ 2.03% d.b. ตามลำดับ และที่ระดับความเร็วลมเท่ากับ 2, 3 และ 4 m/s อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 120 °C ความชื้นของยางแผ่นจะลดลงจากความชื้นเริ่มต้น

25.36% d.b. เหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 4.15, 3.12 และ 2.03% d.b. ตามลำดับ สรุปแล้วการอบแห้งยางแผ่นด้วยลมร้อน ที่ระดับความเร็วลมเท่ากับ 2, 3 และ 4 m/s และอุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 100 และ 120 °C จะใช้เวลาเฉลี่ยในการอบแห้ง 350 min เมื่อความเร็วลม และอุณหภูมิลมร้อนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้การลดความชื้นของยางแผ่นมากขึ้น ยางแผ่นหดรัดตัว มีขนาดเล็กลงและสีค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลืองด้วย ดังภาพที่ 4.2



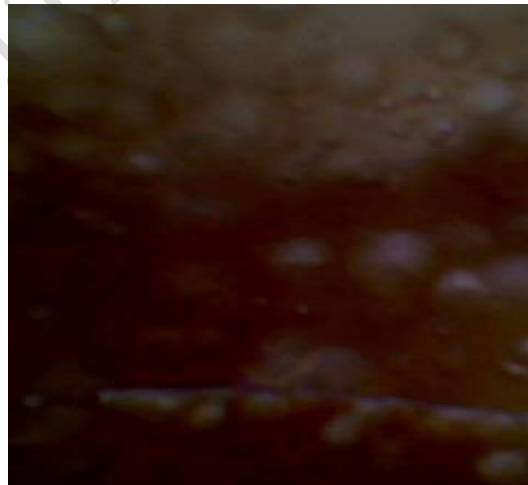
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4.2 โครงสร้างผิวของยางแผ่น ช่วงเวลาต่างๆ ใช้อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C
ความเร็ว ลม 4 m/s

(ก) ผิวยางแผ่นก่อนอบแห้ง

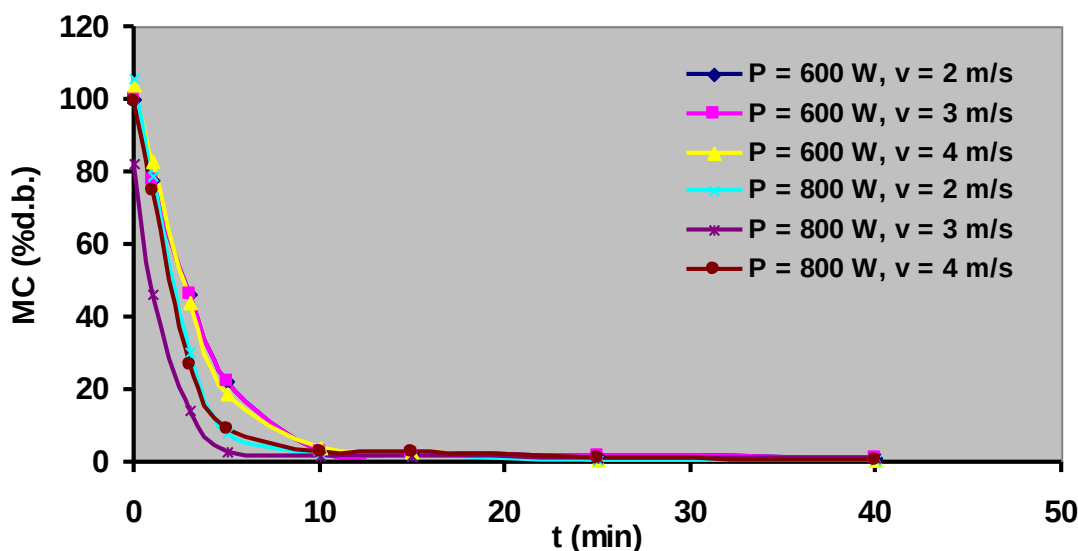
(ข) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 100 °C ที่เวลา 330 min

(ค) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 120 °C ที่เวลา 180 min

(ง) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 120 °C ที่เวลา 330 min

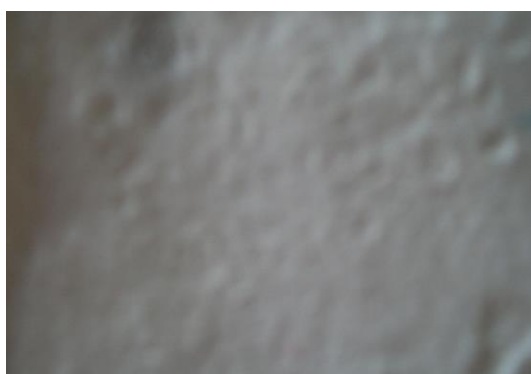
4.1.2 การอบแห้งยางแผ่นด้วยไมโครเวฟอย่างเดี่ยว

ในการอบแห้งยางแผ่นด้วยคลื่นไมโครเวฟอย่างเดียวนั้นได้ทดลองที่ไมโครเวฟ 600 และ 800 W และใช้ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s ดังนี้

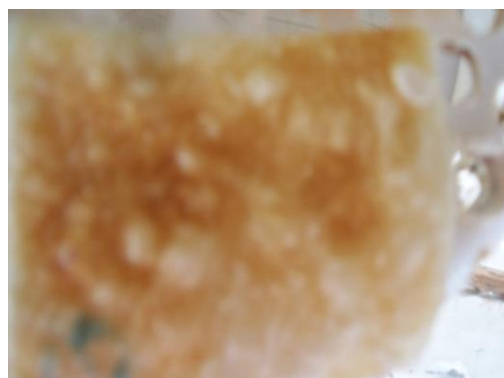


ภาพที่ 4.3 การลดความชื้นในยางแผ่น ด้วยลมร้อนอย่างเดี่ยว ที่อุณหภูมิลมร้อน 600 และ 800 W ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s

จากภาพที่ 4.3 ข้างต้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อระดับไมโครเวฟเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความชื้นของยางแผ่นลดลงตามไปด้วย โดยที่ระดับไมโครเวฟ 600 W ความเร็วลมเท่ากับ 2, 3 และ 4 m/s ความชื้นของยางแผ่นจะลดลงจากความชื้นเริ่มต้น 41.60% d.b. เหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 3.04, 0.95 และ 0.69% d.b. ตามลำดับ และระดับไมโครเวฟ 800 W ความเร็วลมเท่ากับ 2, 3 และ 4 m/s ความชื้นของยางแผ่นจะลดลงจากความชื้นเริ่มต้น 39.11% d.b. เหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 0.97, 0.80 และ 0.76% d.b. ตามลำดับ สรุปแล้วการอบแห้งยางแผ่นด้วยไมโครเวฟ ที่ระดับไมโครเวฟ 600 และ 800 W ความเร็วลมเท่ากับ 2, 3 และ 4 m/s ใช้ในเวลารอบแห้งเฉลี่ย 40 min เมื่อระดับไมโครเวฟ และความเร็วลมเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้การลดความชื้นของยางแผ่นมากขึ้นยางแผ่นหดตัว มีขนาดเล็กลงและสีค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองด้วย ขณะที่คลื่นไมโครเวฟก็มีส่วนทำให้ความชื้นของยางแผ่นลดลงเร็วมาก และใช้เวลาในการอบไม่นาน แต่ก็ส่งผลทำให้ผิวยางแผ่นแตกเป็นรอย เนื่องจากผิวยางแผ่นปิดตัวเมื่อโดนคลื่นไมโครเวฟ และยางแผ่นขาดความยืดหยุ่นด้วย ดังภาพที่ 4.4 ยิ่งระดับคลื่นไมโครเวฟสูง ก็ทำให้ยางแผ่นขาดความยืดหยุ่นในตัว ดังภาพที่ 4.4



(ก)



(ข)



(ค)



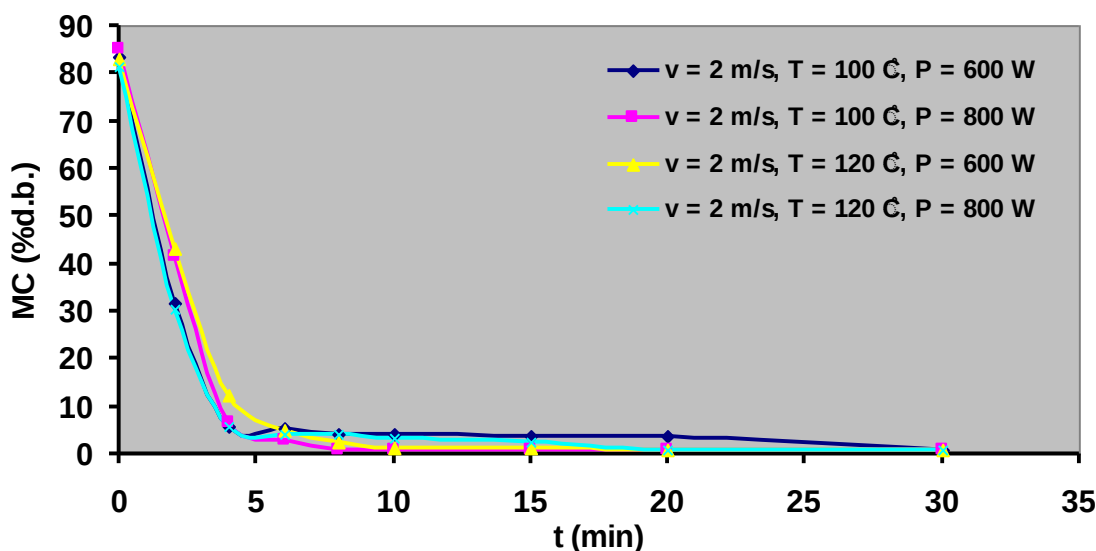
(ง)

ภาพที่ 4.4 โครงสร้างผิวของยางแผ่น ช่วงเวลาต่างๆ ใช้ระดับไมโครเวฟ 600 และ 800 W ความเร็วลม 4 m/s

- (ก) ผิวยางแผ่น ก่อนอบแห้ง
- (ข) ผิวยางแผ่น อบด้วยไมโครเวฟ 600 W ที่เวลา 40 min
- (ค) ผิวยางแผ่น อบด้วยไมโครเวฟ 800 W ที่เวลา 3 min
- (ง) ผิวยางแผ่น อบด้วยไมโครเวฟ 800 W ที่เวลา 40 min

4.1.3 การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ

(1) การอบแห้งยางแผ่นด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ได้ทดลองใช้ความเร็วลม เท่ากับ 2 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และใช้ระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W



ภาพที่ 4.5 การลดความชื้นในยางแผ่น ด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ได้ทดลองใช้ความเร็วลม เท่ากับ 2 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และใช้ ระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W

จากภาพที่ 4.5 ข้างต้น แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิลมร้อน และระดับไมโครเวฟเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความชื้นของยางแผ่นลดลงตามไปด้วย โดยที่ใช้ระดับความเร็วลมเท่ากับ 2 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และระดับไมโครเวฟ 600 และ 800 W ความชื้นของยางแผ่น จะลดลงจากความชื้นเริ่มต้น 45.00% d.b. เหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 0.83, 0.74, 0.79 และ 0.70% d.b. ตามลำดับ สรุปแล้วการอบแห้งยางแผ่นด้วยไมโครเวฟ ที่ระดับความเร็วลมเท่ากับ 2 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และระดับไมโครเวฟ 600 และ 800 W จะใช้เวลาอบแห้งเฉลี่ย 50 min เมื่ออุณหภูมิลมร้อน และระดับไมโครเวฟเพิ่มขึ้น การลดความชื้นของยางแผ่นก็จะมีมากขึ้นและ จะส่งผลให้ยางแผ่นหดตัว มีขนาดเล็กลงและสีค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีส้มทองปนกับสีขาวรอบ และใช้เวลาในการอบไม่นาน แต่ที่ส่งผลทำให้ผิวยางแผ่นแตกเป็นรอยและยางแผ่นขาดความยืดหยุ่นด้วย ดังภาพที่ 4.14, 4.15, 4.16 และ 4.17 ยิ่งระดับคลื่นไมโครเวฟสูง ก็ทำให้ยางแผ่นขาดความยืดหยุ่นในตัว ขณะที่ระดับความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งไม่ค่อยมีผลต่อการลดความชื้นของยางแผ่น



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

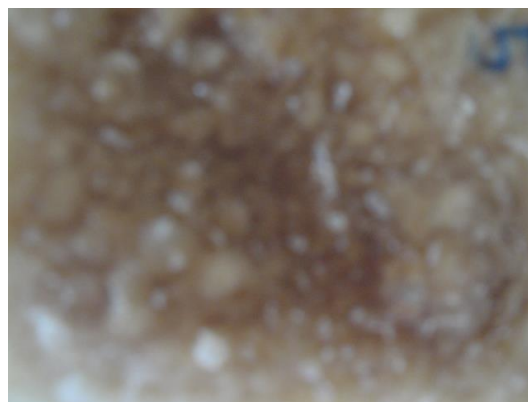


(ฉ)

ภาพที่ 4.6 โครงสร้างผิวของยางแผ่นช่วงเวลาต่างๆ ที่ความเร็วลม เท่ากับ 2 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W



(ข)



(ช)

ภาพที่ 4.6 โครงสร้างฟิวของยางแผ่นช่วงเวลาต่างๆ ที่ความเร็วลม เท่ากับ 2 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W (ต่อ)

(ก) ฟิวยางแผ่น ก่อนอบแห้ง

(ข) ฟิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 100 °C ไมโครเวฟ 600 W ที่เวลา 30 min

(ค) ฟิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 100 °C ไมโครเวฟ 800 W ที่เวลา 15 min

(ง) ฟิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 100 °C ไมโครเวฟ 800 W ที่เวลา 30 min

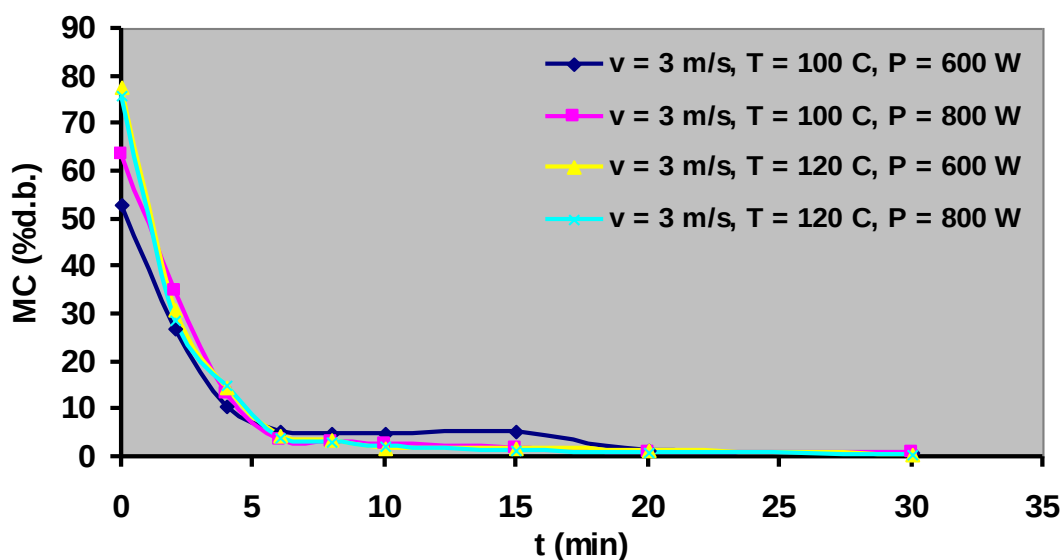
(จ) ฟิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 120 °C ไมโครเวฟ 600 W ที่เวลา 15 min

(ฉ) ฟิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 120 °C ไมโครเวฟ 600 W ที่เวลา 30 min

(ช) ฟิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 120 °C ไมโครเวฟ 800 W ที่เวลา 15 min

(ซ) ฟิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 120 °C ไมโครเวฟ 800 W ที่เวลา 30 min

(2) การอบแห้งยางแผ่นด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ได้ทดลองใช้ความเร็วลม เท่ากับ 3 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และใช้ระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W



ภาพที่ 4.7 การลดความชื้นในยางแผ่น ด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ได้ทดลองใช้ความเร็วลม เท่ากับ 3 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และใช้ ระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W

จากภาพที่ 4.7 ข้างต้น แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิลมร้อน และระดับไมโครเวฟ เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความชื้นของยางแผ่นลดลงตามไปด้วย โดยที่ใช้ระดับความเร็วลมเท่ากับ 3 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และระดับไมโครเวฟ 600 และ 800 W ความชื้นของยางแผ่น จะลดลงจากความชื้นเริ่มต้น 45.00% d.b. เหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 0.67, 0.67, 0.49 และ 0.47% d.b. ตามลำดับ สรุปแล้วการอบแห้งยางแผ่นด้วยไมโครเวฟ ที่ระดับความเร็วลมเท่ากับ 3 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และระดับไมโครเวฟ 600 และ 800 W จะใช้เวลาอบแห้งเฉลี่ย 50 min เมื่ออุณหภูมิลมร้อน และระดับไมโครเวฟเพิ่มขึ้น การลดความชื้นของยางแผ่นก็จะมีมากขึ้นและ จะส่งผลให้ยางแผ่นหดตัว มีขนาดเล็กกลงและสีค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีส้มทองปนกับสีขาวรอบ และใช้เวลาในการอบไม่นาน แต่ก็ส่งผลทำให้ผิวยางแผ่นแตกเป็นรอยและยางแผ่นขาดความยืดหยุ่นด้วย ดังภาพที่ 4.19, 4.20, 4.21 และ 4.22 ยิ่งระดับคลื่นไมโครเวฟสูง ก็ทำให้ยางแผ่นขาดความยืดหยุ่นในตัว ขณะที่ระดับความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งไม่ค่อยมีผลต่อการลดความชื้นของยางแผ่น



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

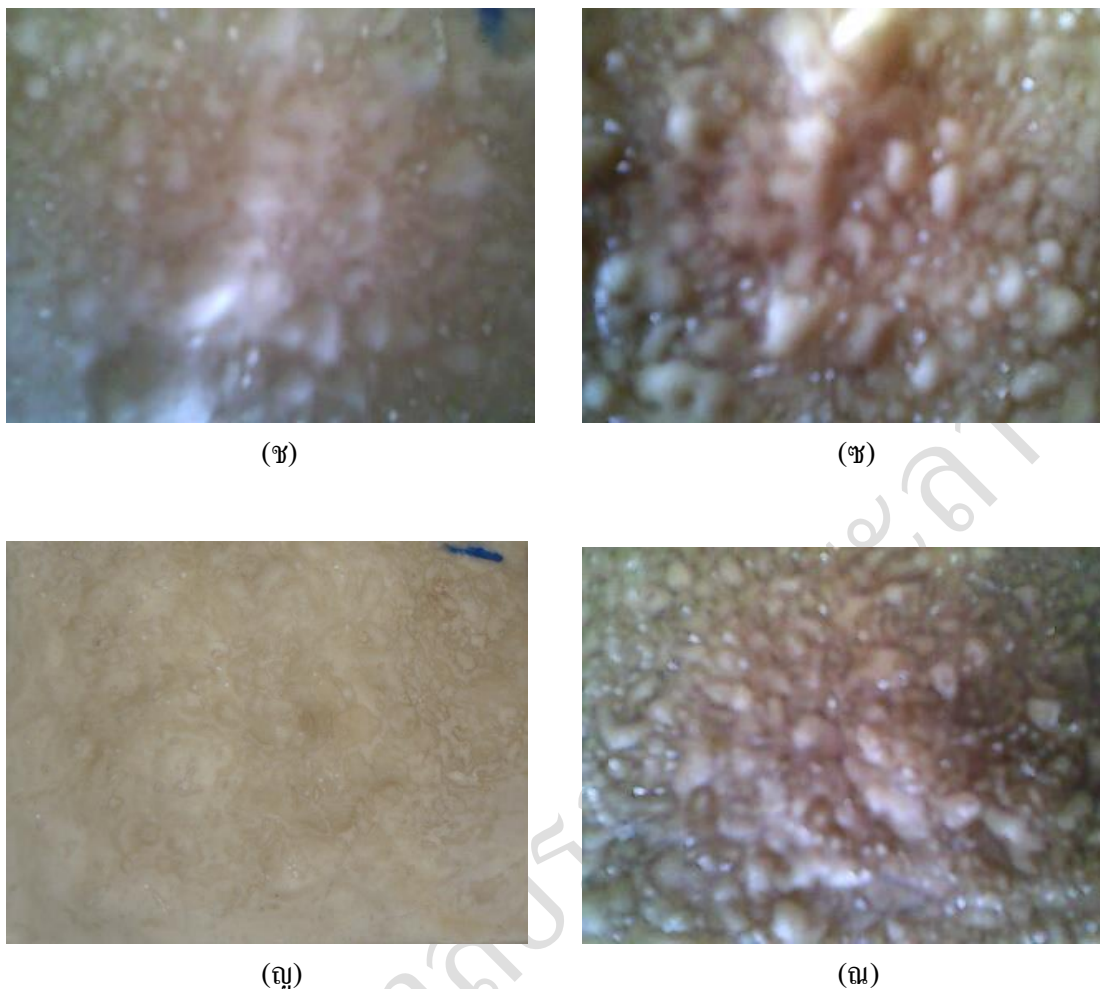


(จ)



(ฉ)

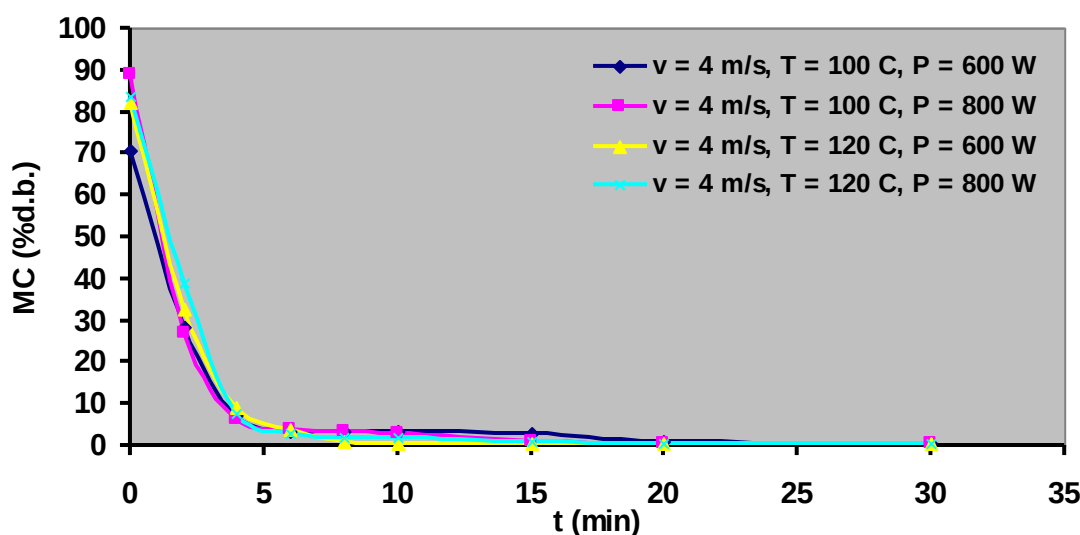
ภาพที่ 4.8 โครงสร้างผิวของยางแผ่นช่วงเวลาต่างๆ ที่ความเร็วลม เท่ากับ 3 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W



ภาพที่ 4.8 โครงสร้างผิวของยางแผ่นช่วงเวลาต่างๆ ที่ความเร็วลม เท่ากับ 3 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W (ต่อ)

- (ก) ผิวยางแผ่น ก่อนอบแห้ง
- (ข) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 100 °C ไมโครเวฟ 600 W ที่เวลา 3 min
- (ค) ผิวยางแผ่น ก่อนอบแห้ง
- (ง) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 100 °C ไมโครเวฟ 800 W ที่เวลา 4 min
- (จ) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 100 °C ไมโครเวฟ 800 W ที่เวลา 15 min
- (ฉ) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 100 °C ไมโครเวฟ 800 W ที่เวลา 30 min
- (ช) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 120 °C ไมโครเวฟ 600 W ที่เวลา 15 min
- (ซ) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 120 °C ไมโครเวฟ 600 W ที่เวลา 30 min
- (ญ) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 120 °C ไมโครเวฟ 800 W ที่เวลา 4 min
- (ณ) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 120 °C ไมโครเวฟ 800 W ที่เวลา 15 min

(3) การอบแห้งยางแผ่นด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ได้ทดลองใช้ความเร็วลม เท่ากับ 4 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และใช้ระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W



ภาพที่ 4.9 การลดความชื้นในยางแผ่น ด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ได้ทดลองใช้ความเร็วลม เท่ากับ 4 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และใช้ ระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W

จากภาพที่ 4.9 ข้างต้น แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิลมร้อน และระดับไมโครเวฟเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความชื้นของยางแผ่นลดลงตามไปด้วย โดยที่ใช้ระดับความเร็วลมเท่ากับ 4 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และระดับไมโครเวฟ 600 และ 800 W ความชื้นของยางแผ่น จะลดลงจากความชื้นเริ่มต้น 45.00 % d.b. เหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 0.59, 0.54, 0.32 และ 0.32% d.b. ตามลำดับ สรุปแล้วการอบแห้งยางแผ่นด้วยไมโครเวฟ ที่ระดับความเร็วลมเท่ากับ 4 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และระดับไมโครเวฟ 600 และ 800 W จะใช้เวลาอบแห้งเฉลี่ย 50 min เมื่ออุณหภูมิลมร้อน และระดับไมโครเวฟเพิ่มขึ้น การลดความชื้นของยางแผ่นก็จะมีความชื้นและ จะส่งผลให้ยางแผ่นหดตัว มีขนาดเล็กกลงและสีค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีส้มทองปนกับสีขาวรอบ และใช้เวลาในการอบไม่นาน แต่ก็ส่งผลทำให้ผิวยางแผ่นแตกเป็นรอยและยางแผ่นขาดความยืดหยุ่นด้วย ดังภาพที่ 4.24, 4.25, 4.26 และ 4.27 ยิ่งระดับคลื่นไมโครเวฟสูง ก็ทำให้ยางแผ่นขาดความยืดหยุ่นในตัว ขณะที่ระดับความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งไม่ค่อยมีผลต่อการลดความชื้นของยางแผ่น

การอบแห้งด้วยไมโครเวฟจะส่งผลเสียต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ คือ ทำให้ยางแผ่นแตก ขาดความยืดหยุ่น และสีของยางแผ่นเป็นสีส้มไหม้ ผิวยางแผ่นปิดเมื่อได้รับพลังงานคลื่นไมโครเวฟน้ำในยางแผ่นระเหยไม่ได้ จึงทำให้ผิวยางแตกดังภาพที่ 4.10



(ก)



(ข)

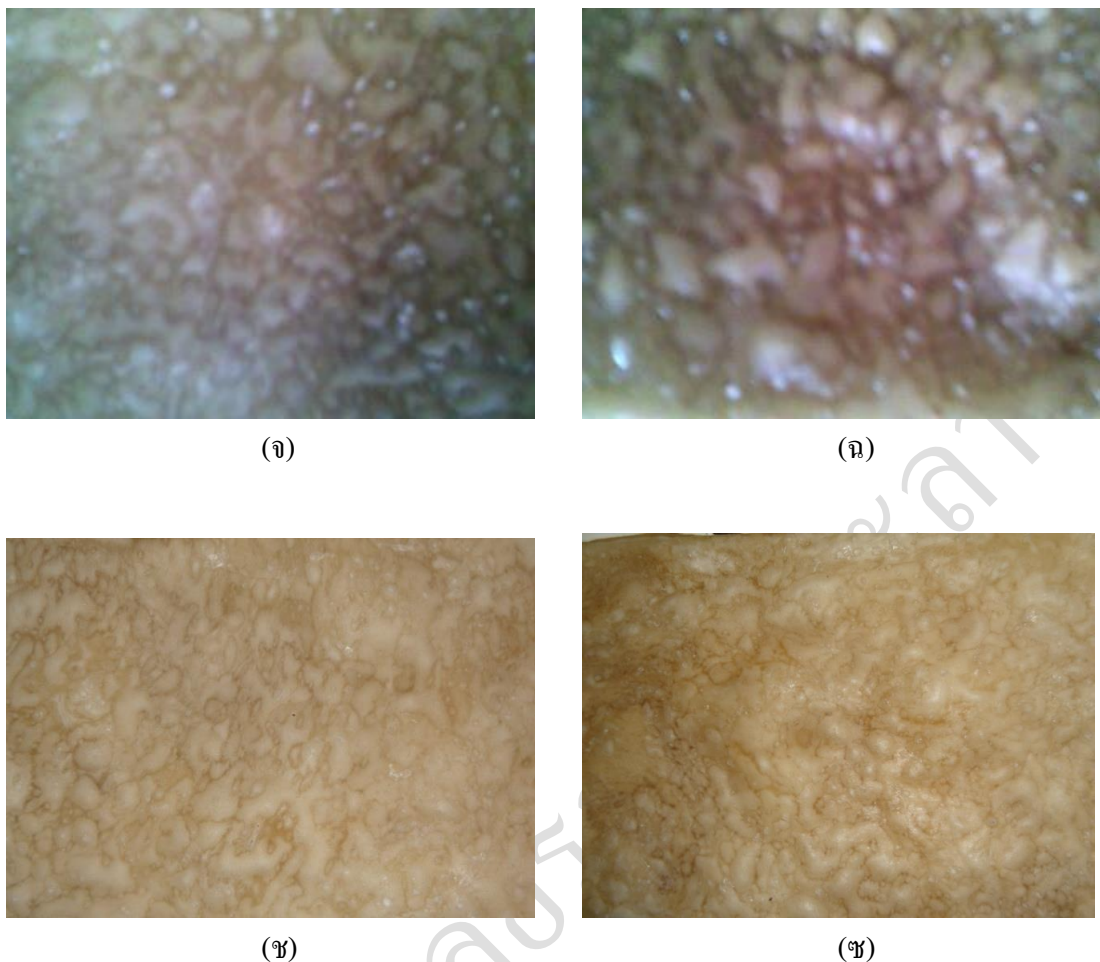


(ค)



(ง)

ภาพที่ 4.10 โครงสร้างผิวของยางแผ่นช่วงเวลาต่างๆ ที่ความเร็วลม เท่ากับ 4 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W



ภาพที่ 4.10 โครงสร้างผิวของยางแผ่นช่วงเวลาต่างๆ ที่ความเร็วลม เท่ากับ 4 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 600 และ 800 W (ต่อ)

(ก) ผิวยางแผ่น ก่อนอบแห้ง

(ข) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 100 °C ไมโครเวฟ 600 W ที่เวลา 30 min

(ค) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 100 °C ไมโครเวฟ 800 W ที่เวลา 4 min

(ง) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 100 °C ไมโครเวฟ 800 W ที่เวลา 15 min

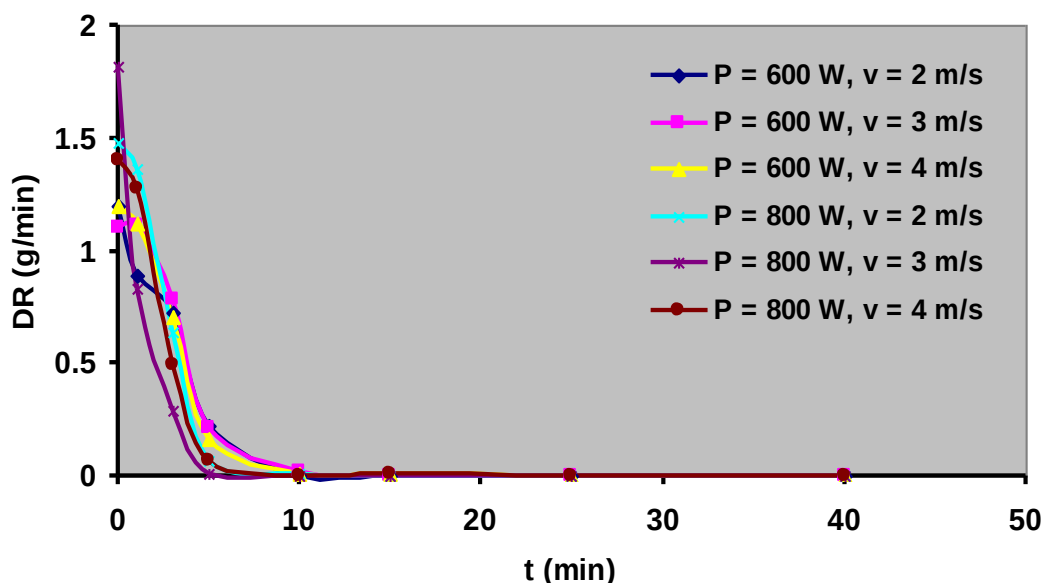
(จ) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 120 °C ไมโครเวฟ 600 W ที่เวลา 4 min

(ฉ) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 120 °C ไมโครเวฟ 600 W ที่เวลา 15 min

(ช) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 120 °C ไมโครเวฟ 800 W ที่เวลา 15 min

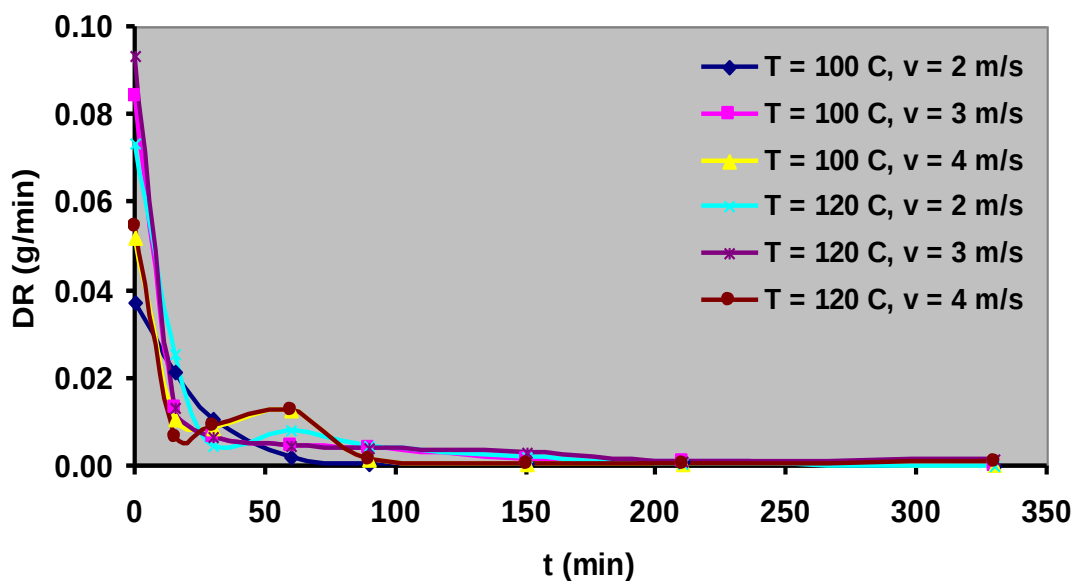
(ซ) ผิวยางแผ่น อบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 120 °C ไมโครเวฟ 800 W ที่เวลา 30 min

4.2 อัตราการทำแห้งของยางแผ่น



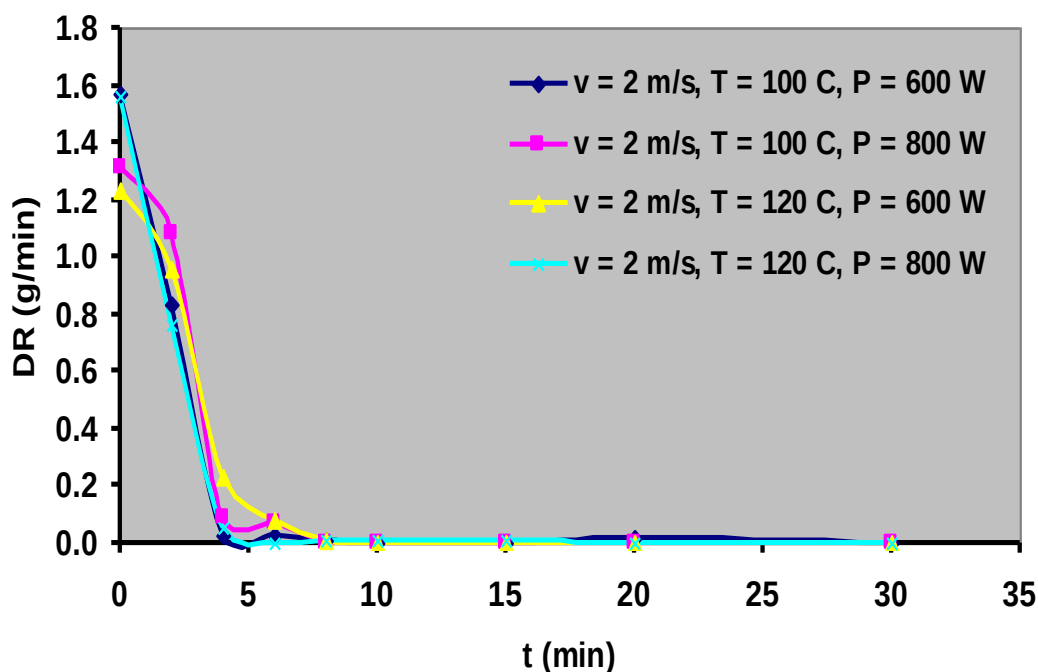
ภาพที่ 4.11 อัตราการทำแห้งยางแผ่น ด้วยลมร้อนอย่างเฉียว ที่ระดับอุณหภูมิลมร้อน 100 และ 120 °C ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s

จากภาพที่ 4.11 ข้างต้น แสดงให้เห็นอัตราการทำแห้งของยางแผ่นจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลมร้อน และความเร็วลมเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิลมร้อน 100 °C ความเร็วลม 2, 3, และ 4 m/s และ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากยางแผ่นก็จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเวลาและน้ำหนักเริ่มต้นของยางแผ่น โดยที่อุณหภูมิลมร้อน 100 °C ความเร็วลม 2 m/s อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 15 และ 30 m/s คือ 0.04, 0.02 และ 0.01 g/min ตามลำดับ ส่วนที่อุณหภูมิลมร้อน 100 °C ความเร็วลม 3 m/s อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 15 และ 30 m/s ตามลำดับ คือ 0.08, 0.01 และ 0.01 g/min ส่วนที่อุณหภูมิลมร้อน 100 °C ความเร็วลม 4 m/s มีอัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 15, 30 และ 60 m/s คือ 0.05, 0.01, 0.01 และ 0.01 g/min ตามลำดับ และที่ อุณหภูมิลมร้อน 120 °C ความเร็วลม 2 m/s อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 15, 30 และ 60 m/s คือ 0.07, 0.03, 0.00 และ 0.01 g/min ตามลำดับ ที่อุณหภูมิลมร้อน 120 °C ความเร็วลม 2 m/s อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 15 และ 30 m/s ตามลำดับ คือ 0.09, 0.01 และ 0.01 g/min อุณหภูมิลมร้อน 120 °C ความเร็วลม 2 m/s มีอัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 15, 30 และ 60 m/s คือ 0.05, 0.01, 0.01 และ 0.01 g/min ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 90, 150, 210 และ 330 min จะไม่มีปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากยางแผ่น



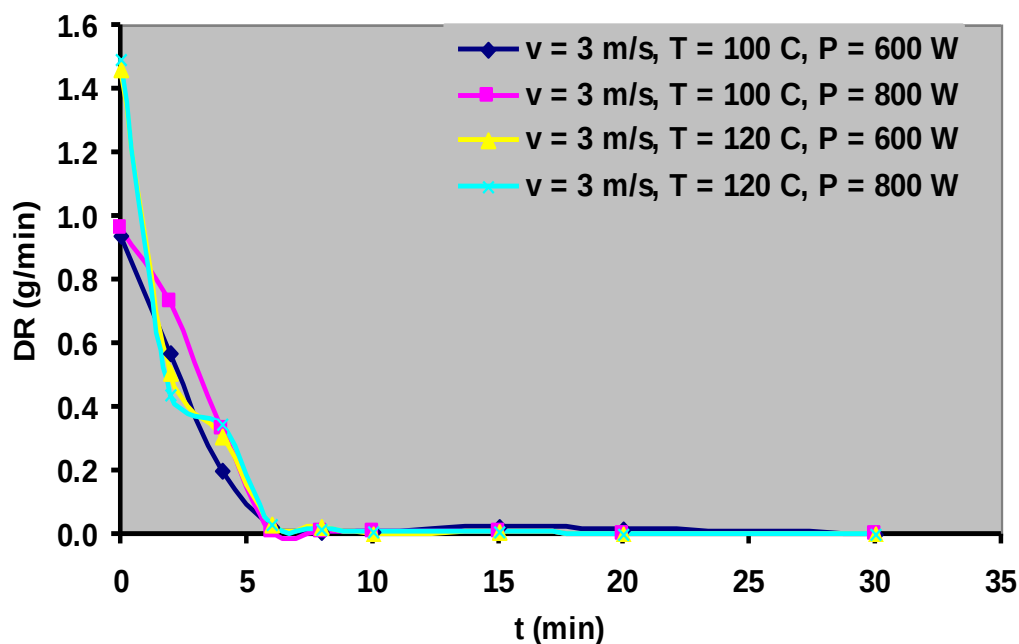
ภาพที่ 4.12 อัตราการทำแห้งในยางแผ่น ด้วยไมโครเวฟอย่างเดียวย ที่ระดับไมโครเวฟเท่ากับ 600 และ 800 W ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s

จากภาพที่ 4.12 ข้างต้น แสดงให้เห็นอัตราการทำแห้งของยางแผ่นจะเพิ่มขึ้น เมื่อระดับไมโครเวฟ และความเร็วลมเพิ่มขึ้น โดยใช้ระดับไมโครเวฟเท่ากับ 600 และ 800 W ความเร็วลม 2, 3, และ 4 m/s จะมีปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากยางแผ่นก็จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเวลาและน้ำหนักเริ่มต้นของยางแผ่น โดยที่ระดับไมโครเวฟเท่ากับ 600 W ความเร็วลม 2 m/s อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 1, 3 และ 10 m/s คือ 1.20, 0.89, 0.72 และ 0.22 g/min ตามลำดับ ระดับไมโครเวฟเท่ากับ 600 W ความเร็วลม 3 m/s อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 1, 3, 10 และ 15 m/s คือ 1.10, 1.11, 0.78, 0.21 และ 0.02 g/min ส่วนระดับไมโครเวฟเท่ากับ 600 W ความเร็วลม 4 m/s มีอัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 1, 3, 10 และ 15 m/s คือ 1.20, 1.12, 0.71, 0.17 และ 0.01 g/min ตามลำดับ และที่ ไมโครเวฟเท่ากับ 800 W ความเร็วลม 2 m/s อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 1, 3 และ 10 m/s คือ 1.20, 0.89, 0.72 และ 0.22 g/min ตามลำดับ ที่ ไมโครเวฟเท่ากับ 800 W ความเร็วลม 3 m/s อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 1, 3, 10 และ 15 m/s คือ 1.10, 1.11, 0.78, 0.21 และ 0.02 g/min ที่ไมโครเวฟเท่ากับ 800 W ความเร็วลม 4 m/s มีอัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 1, 3, 10 และ 15 m/s คือ 1.20, 1.12, 0.71, 0.17 และ 0.01 g/min ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 25 และ 40 min จะไม่มีปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากยางแผ่น



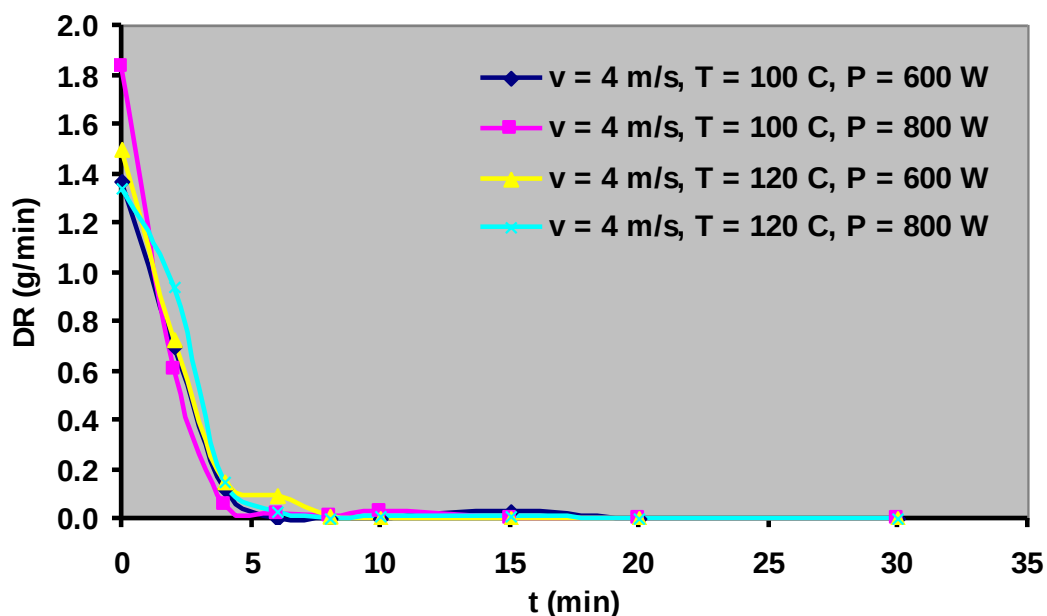
ภาพที่ 4.13 อัตราการทำแห้งยางแผ่นด้วยลมร้อนร่วมไมโครเวฟ ความเร็วลม 2 m/s อุณหภูมิ 100 และ 120 °C ไมโครเวฟเท่ากับ 600 และ 800 W

จากภาพที่ 4.13 ข้างต้น แสดงให้เห็นอัตราการทำแห้งของยางแผ่นจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วลม อุณหภูมิของลมร้อน และระดับไมโครเวฟเพิ่มขึ้น ที่ระดับ ความเร็วลม 2 m/s อุณหภูมิ 100 และ 120 °C ไมโครเวฟเท่ากับ 600 และ 800 W จะมีปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากยางแผ่นก็จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเวลาและน้ำหนักเริ่มต้นของยางแผ่น โดยที่ความเร็วลม 2 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 °C และระดับไมโครเวฟ 600 W อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 2, 4, 6 และ 8 m/s คือ 1.57, 0.83, 0.03 , 0.03 และ 0.01 g/min ตามลำดับ ส่วนที่ความเร็วลม 2 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 °C และระดับไมโครเวฟ 800 W อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 m/s คือ 1.23, 0.96, 0.23, 0.08 และ 0.03 g/min ตามลำดับ ที่ความเร็วลม 2 m/s อุณหภูมิลมร้อน 120 °C และระดับไมโครเวฟ 600 W อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 2, 4, 6 และ 8 m/s คือ 1.57, 0.83, 0.03 , 0.03 และ 0.01 g/min ตามลำดับ และที่ความเร็วลม 2 m/s อุณหภูมิลมร้อน 120 °C และระดับไมโครเวฟ 800 W อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 15 m/s คือ 1.56, 0.76, 0.05 , 0.00, 0.01, 0.01 และ 0.01 g/min ตามลำดับ



ภาพที่ 4.14 อัตราการทำแห้งของยางแผ่นด้วยลมร้อนร่วมไมโครเวฟ ความเร็วลม 3 m/s อุณหภูมิ 100 และ 120 °C ไมโครเวฟเท่ากับ 600 และ 800 W

จากภาพที่ 4.14 ข้างต้น แสดงให้เห็นอัตราการทำแห้งของยางแผ่นจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วลม อุณหภูมิของลมร้อน และระดับไมโครเวฟเพิ่มขึ้น ที่ระดับ ความเร็วลม 3 m/s อุณหภูมิ 100 และ 120 °C ไมโครเวฟเท่ากับ 600 และ 800 W จะมีปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากยางแผ่นก็จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเวลาและน้ำหนักเริ่มต้นของยางแผ่น โดยที่ความเร็วลม 3 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 °C และระดับไมโครเวฟ 600 W อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10, 15 และ 20 m/s คือ 0.94, 0.57, 0.20, 0.02, 0.01, 0.01, 0.03 และ 0.01 g/min ตามลำดับ ส่วนที่ความเร็วลม 3 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 °C และระดับไมโครเวฟ 800 W อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 15 m/s คือ 0.96, 0.73, 0.33, 0.01, 0.01, 0.01 และ 0.01 g/min ตามลำดับ ที่ความเร็วลม 3 m/s อุณหภูมิลมร้อน 120 °C และระดับไมโครเวฟ 600 W อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 2, 4, 6 และ 8 m/s คือ 1.46, 0.51, 0.31, 0.03 และ 0.02 g/min ตามลำดับ และที่ความเร็วลม 3 m/s อุณหภูมิลมร้อน 120 °C และระดับไมโครเวฟ 800 W อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 2, 4, 6, 8, และ 10 m/s คือ 1.49, 0.44, 0.35, 0.03, 0.01 และ 0.01 g/min



ภาพที่ 4.15 อัตราการทำแห้งของยางแผ่นด้วยลมร้อนร่วมไมโครเวฟ ความเร็วลม 4 m/s อุณหภูมิ 100 และ 120 °C ไมโครเวฟเท่ากับ 600 และ 800 W

จากภาพที่ 4.15 ข้างต้น แสดงให้เห็นอัตราการทำแห้งของยางแผ่นจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วลม อุณหภูมิของลมร้อน และระดับไมโครเวฟเพิ่มขึ้น ที่ระดับ ความเร็วลม 4 m/s อุณหภูมิ 100 และ 120 °C ไมโครเวฟเท่ากับ 600 และ 800 W จะมีปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากยางแผ่นก็จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเวลาและน้ำหนักเริ่มต้นของยางแผ่น โดยที่ความเร็วลม 4 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 °C และระดับไมโครเวฟ 600 W อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 2, และ 6 m/s คือ 1.37, 0.70, และ 0.12 g/min ตามลำดับ ส่วนที่ความเร็วลม 4 m/s อุณหภูมิลมร้อน 100 °C และระดับไมโครเวฟ 800 W อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 m/s คือ 1.83, 0.60, 0.06, 0.02, 0.01 และ 0.02 g/min ตามลำดับ ที่ความเร็วลม 4 m/s อุณหภูมิลมร้อน 120 °C และระดับไมโครเวฟ 600 W อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 2, 4, 6 และ 8 m/s คือ 1.50, 0.73, 0.15, 0.09 และ 0.01 g/min ตามลำดับ และที่ความเร็วลม 4 m/s อุณหภูมิลมร้อน 120 °C และระดับไมโครเวฟ 800 W อัตราการทำแห้งเฉลี่ยที่เวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 15 m/s คือ 1.34, 0.24, 0.09, 0.04, 0.00, 0.01 และ 0.01 g/min ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการทดลองอบยางแผ่น ด้วยลมร้อนอย่างเดียว ไมโครเวฟอย่างเดียว และลมร้อนร่วมไมโครเวฟ โดยกำหนดความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s อุณหภูมิ 100 และ 120 °C และไมโครเวฟเท่ากับ 600 และ 800 W เพื่อหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งยางแผ่น ด้วยลมร้อนไมโครเวฟ และลมร้อนร่วมไมโครเวฟ และหาสภาวะเหมาะสมในการอบแห้งยางแผ่นด้วยลมร้อน ไมโครเวฟ และลมร้อนร่วมไมโครเวฟ สามารถสรุปได้ดังนี้

เมื่อทำการอบแห้งยางแผ่นด้วยลมร้อนอย่างเดียว ที่ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s อุณหภูมิ ลมร้อน 100 และ 120 °C พบว่า ที่ความเร็วลม 4 m/s ลมร้อนอุณหภูมิ 120 °C ความชื้นของยางแผ่นลดลงต่ำสุด โดยความชื้นของยางแผ่นลดลงเหลือ 1.45% d.b. จากความชื้นเริ่มต้นที่ 25.36% d.b. ใช้เวลาในการอบแห้ง 350 min ในขณะที่การอบแห้งด้วยไมโครเวฟอย่างเดียว ระดับไมโครเวฟ 600 และ 800 W ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s พบว่า ที่ความเร็วลม 4 m/s ระดับไมโครเวฟ 600 W จะใช้เวลา 40 min ความชื้นของยางแผ่นลดลงต่ำสุดเหลือ 0.69% d.b. จากความชื้นเริ่มต้นที่ 41.60% d.b. ในขณะที่การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมไมโครเวฟ พบว่าความชื้นของยางแผ่นจะลดลงต่ำสุดที่ระดับความเร็วลม 4 m/s อุณหภูมิ ลมร้อนเท่ากับ 100 °C และไมโครเวฟ 800 W โดยความชื้นของยางแผ่นจะลดลงเหลือ 0.32% d.b. จากความชื้นเริ่มต้นที่ 45.00% d.b. ภายในเวลา 30 min การอบแห้งลมร้อนร่วมไมโครเวฟ พบว่าความชื้นของยางแผ่นจะลดลงเร็วแต่ส่งผลเสียต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ และสภาวะที่เหมาะสมในอบแห้งยางแผ่น คือ การอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว ที่ความเร็วลม 4 m/s และลมร้อนอุณหภูมิ 100 °C ความชื้นของยางแผ่นลดลงต่ำสุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการอบแห้งยางแผ่นด้วยความร้อนร่วมไมโครเวฟผู้ศึกษามีข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจที่ต้องการศึกษาต่อ ดังนี้

5.2.1 ทดลองอบแห้งยางแผ่นหลายๆ ขนาด เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมในการอบแห้ง

5.2.2 ควรชั่งน้ำหนักยางแผ่นหลังการอบแห้งหลายๆ ครั้งเพื่อให้ได้ค่าที่แน่นอน

5.2.3 ควรปรับปรุงเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม: YRU – HA/MW#1 (FR&E) ในด้านความเร็วลม อุณหภูมิ ในมีความเที่ยงตรง

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยลมร้อนที่ความเร็วลมเท่ากับ 2 อุณหภูมิ 100 °C

t (min)	Exp. data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\overline{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\overline{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\overline{X}$	S.D
0	11.50	11.20	11.20	11.20	11.20	11.26	0.05	15.35	12.22	14.40	18.02	25.70	17.14	3.32	0.03	0.02	0.02	0.05	0.07	0.04	0.02
15	11.10	10.90	10.90	10.40	10.20	10.70	0.20	11.33	9.22	11.34	9.59	14.48	11.19	1.56	0.02	0.01	0.05	0.01	0.01	0.02	0.02
30	10.80	10.70	10.20	10.20	10.00	10.38	0.10	8.32	7.21	4.19	7.48	12.23	7.89	2.17	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01
60	10.50	10.40	9.90	10.10	9.40	10.06	0.28	5.32	4.21	1.12	6.43	5.50	4.52	2.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	10.40	10.30	9.90	10.00	9.40	10.00	0.28	4.31	3.21	1.12	5.37	5.50	3.90	1.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	10.40	10.30	9.90	9.90	9.40	9.98	0.26	4.31	3.21	1.12	4.32	5.50	3.69	1.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
210	10.30	10.20	9.90	9.90	9.40	9.94	0.28	3.31	2.20	1.12	4.32	5.50	3.29	1.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
330	10.30	10.10	9.80	9.80	9.20	9.84	0.30	3.31	1.20	0.10	3.27	3.25	2.23	1.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	9.97	9.98	9.79	9.49	8.91																
SEC (MJ/kg)	3.00	3.27	2.57	2.57	1.80																

*หมายเหตุ d คือ ค่าความชื้นที่เวลาใดๆ

SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ คำนวณจากสมการ (2.8)

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยลมร้อนที่ความเร็วลมเท่ากับ 3 อุณหภูมิ 100 °C

t (min)	Exp. Data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	11.40	11.40	11.60	11.40	11.90	11.54	1.52	26.53	28.52	28.46	30.58	27.68	28.4	1.39	0.08	0.09	0.07	0.08	0.10	0.08	0.01
15	10.20	10.10	10.50	10.20	10.40	10.28	1.80	13.21	13.87	16.28	16.84	11.59	14.4	1.47	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
30	9.70	10.00	10.30	10.10	10.30	10.08	1.63	7.66	12.74	14.06	15.69	10.52	12.1	2.97	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
60	9.50	9.70	10.10	9.80	10.30	9.88	1.09	5.44	9.36	11.85	12.26	10.52	9.9	2.75	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
90	9.40	9.70	9.80	9.80	10.00	9.74	0.96	4.33	9.36	8.53	12.26	7.30	8.4	2.80	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
150	9.40	9.20	9.60	9.40	9.90	9.50	0.93	4.33	3.72	6.31	7.67	6.22	5.7	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
210	9.30	9.20	9.50	9.20	9.80	9.40	0.99	3.22	3.72	5.20	5.38	5.15	4.5	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
330	9.30	9.10	9.30	9.00	9.60	9.26	0.96	3.22	2.59	2.99	3.09	3.00	3.0	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	9.01	8.87	9.03	8.73	9.32																
SEC (MJ/kg)	1.71	1.57	1.57	1.50	1.57																

ตารางที่ ก-3 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยลมร้อนที่ความเร็วลมเท่ากับ 4 อุณหภูมิ 100 ๐C

t (min)	Exp. data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	11.50	11.40	11.50	11.40	11.30	11.42	1.52	17.83	19.25	21.56	21.66	19.45	19.95	1.58	0.04	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.01
15	10.90	10.60	10.40	10.50	10.60	10.60	1.80	11.68	10.88	12.05	12.06	12.05	11.74	0.56	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
30	10.50	10.50	10.60	10.30	10.60	10.50	1.63	7.58	9.83	10.99	9.93	12.05	10.08	1.51	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
60	10.40	10.00	10.40	10.00	10.30	10.22	1.09	6.56	4.60	9.94	6.72	8.88	7.34	2.05	0.00	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
90	10.40	9.80	9.60	9.40	10.00	9.84	0.96	6.56	2.51	1.48	0.32	5.71	3.32	2.54	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
150	10.10	9.80	9.70	9.40	9.80	9.76	0.93	3.48	2.51	2.54	0.32	3.59	2.49	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
210	10.00	9.80	9.70	9.40	9.70	9.72	0.99	2.46	2.51	2.54	0.32	2.54	2.07	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
330	9.90	9.70	9.60	9.50	9.60	9.66	0.96	1.43	1.46	1.48	1.39	1.48	1.45	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	9.76	9.56	9.46	9.37	9.46																
SEC (MJ/kg)	2.25	2.12	1.89	1.89	2.12																

ตารางที่ ก-4 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยลมร้อนที่ความเร็วลมเท่ากับ 2 อุณหภูมิ 120 °C

t (min)	Exp. data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\overline{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\overline{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\overline{X}$	S.D
0	10.00	7.50	8.80	7.70	7.70	8.34	1.52	44.93	37.36	43.56	48.65	48.65	44.63	4.31	0.08	0.04	0.07	0.09	0.08	0.07	0.02
15	8.80	6.90	7.70	6.30	6.30	7.20	1.80	27.54	26.37	25.61	21.62	21.62	24.55	2.18	0.05	0.01	0.02	0.04	0.01	0.03	0.02
30	8.10	6.70	7.40	5.70	6.40	6.86	1.63	17.39	22.71	20.72	10.04	23.55	18.88	5.08	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01
60	8.10	6.70	7.20	5.70	5.90	6.72	1.09	17.39	22.71	17.46	10.04	13.90	16.30	4.48	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
90	7.80	6.10	7.00	5.70	5.60	6.44	0.96	13.04	11.72	14.19	10.04	8.11	11.42	1.50	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
150	7.50	6.00	6.40	5.40	5.90	6.24	0.93	8.70	9.89	4.40	4.25	13.90	8.23	3.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
210	7.30	5.90	6.40	5.40	4.40	5.88	0.99	5.80	8.06	4.40	4.25	4.25	5.35	1.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
330	7.20	5.70	6.40	5.40	5.40	6.02	0.96	4.35	4.40	4.40	4.25	4.25	4.33	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	6.90	5.46	6.13	5.18	5.18																
SEC (MJ/kg)	1.28	2.00	1.50	1.57	1.57																

ตารางที่ ก-5 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยลมร้อนที่ความเร็วลมเท่ากับ 3 อุณหภูมิ 120 °C

t (min)	Exp. Data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	9.40	11.00	11.00	11.40	8.90	10.34	1.52	47.10	30.49	30.49	36.85	39.28	36.84	6.87	0.10	0.09	0.07	0.11	0.10	0.09	0.02
15	7.90	9.70	9.90	9.80	7.40	8.94	1.80	23.63	15.07	17.44	17.65	15.81	17.92	3.12	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
30	7.40	9.60	9.70	9.70	7.30	8.74	1.63	15.81	13.88	15.07	16.45	14.24	15.09	0.86	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
60	7.20	9.30	9.50	9.40	7.30	8.54	1.09	12.68	10.32	12.69	12.85	14.24	12.56	1.30	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
90	7.10	9.30	9.20	9.40	7.00	8.40	0.96	11.11	10.32	9.13	12.85	9.55	10.59	1.27	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
150	7.10	8.80	9.00	9.00	6.90	8.16	0.93	11.11	4.39	6.76	8.04	7.98	7.66	2.44	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
210	6.60	8.80	8.90	8.80	6.80	7.98	0.99	3.29	4.39	5.58	5.64	6.42	5.06	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
330	6.60	8.70	8.70	8.60	6.60	7.84	0.96	3.29	3.20	3.20	3.24	3.29	3.24	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	6.39	8.43	8.43	8.33	6.39																
SEC (MJ/kg)	0.80	1.57	1.57	1.29	1.57																

ตารางที่ ก-6 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยลมร้อนที่ความเร็วลมเท่ากับ 4 อุณหภูมิ 120 °C

t (min)	Exp. Data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	11.50	11.40	11.50	11.40	11.30	11.42	1.52	24.86	20.00	18.56	27.80	18.95	22.03	3.69	0.04	0.05	0.07	0.06	0.05	0.05	0.01
15	10.90	10.60	10.40	10.50	10.60	10.60	1.80	18.35	11.58	7.22	17.71	11.58	13.29	4.56	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
30	10.50	10.50	10.60	10.30	10.60	10.50	1.63	14.01	10.53	9.28	15.47	11.58	12.17	2.49	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
60	10.40	10.00	10.40	10.00	10.30	10.22	1.09	12.92	5.26	7.22	12.11	8.42	9.19	3.20	0.00	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
90	10.40	9.80	9.60	9.40	10.00	9.84	0.96	12.92	3.16	-1.03	5.38	5.26	5.14	5.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
150	10.10	9.80	9.70	9.40	9.80	9.76	0.93	9.66	3.16	0.00	5.38	3.16	4.27	3.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
210	10.00	9.80	9.70	9.40	9.70	9.72	0.99	8.58	3.16	0.00	5.38	2.11	3.84	3.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
330	9.90	9.70	9.60	9.50	9.60	9.66	0.96	7.49	2.11	-1.03	6.50	1.05	3.22	3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	9.21	9.50	9.70	8.92	9.50																
SEC (MJ/kg)	1.80	1.80	1.89	1.64	2.12																

ตารางที่ ก – 7 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 2 m/s ระดับกำลังไมโครเวฟ 600 W

t (min)	Exp. Data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\overline{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\overline{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\overline{X}$	S.D
0	9.80	13.40	10.20	12.50	11.60	11.50	1.52	49.49	53.43	55.29	46.08	43.62	49.58	4.88	1.70	1.30	1.50	0.80	0.70	1.20	0.44
1	8.10	12.10	8.70	11.70	10.90	10.30	1.80	38.89	48.43	47.59	42.39	40.00	43.46	4.35	0.50	1.20	1.10	0.75	0.90	0.89	0.28
3	7.10	9.70	6.50	10.20	9.10	8.52	1.63	30.28	35.67	29.85	33.92	28.13	31.57	3.11	0.35	1.05	0.50	1.05	0.65	0.72	0.32
5	6.40	7.60	5.50	8.10	7.80	7.08	1.09	22.66	17.89	17.09	16.79	16.15	18.12	2.61	0.26	0.26	0.14	0.22	0.24	0.22	0.05
10	5.10	6.30	4.80	7.00	6.60	5.96	0.96	2.94	0.95	5.00	3.71	0.91	2.70	1.78	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
15	5.10	6.30	4.80	6.90	6.60	5.94	0.93	2.94	0.95	5.00	2.32	0.91	2.42	1.69	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
25	5.00	6.30	4.70	6.90	6.60	5.90	0.99	1.00	0.95	2.98	2.32	0.91	1.63	0.96	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
40	5.00	6.30	4.70	6.80	6.60	5.88	0.96	1.00	0.95	2.98	0.88	0.91	1.34	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	4.95	6.24	4.56	6.74	6.54																
SEC (MJ/kg)	0.75	0.51	0.65	0.63	0.72																

ตารางที่ ก-8 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 3 m/s ระดับกำลังไมโครเวฟ 600 W

t (min)	Exp. Data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\overline{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\overline{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\overline{X}$	S.D
0	11.20	11.60	10.80	11.40	12.30	11.46	0.55	54.11	54.83	52.31	53.16	58.13	54.51	2.24	0.60	1.70	1.20	0.50	1.50	1.10	0.53
1	10.60	9.90	9.60	10.90	10.80	10.36	0.58	51.51	47.07	46.35	51.01	52.31	49.65	2.74	1.95	1.05	0.70	0.85	1.00	1.11	0.49
3	6.70	7.80	8.20	9.20	8.80	8.14	0.97	23.28	32.82	37.20	41.96	41.48	35.35	7.69	0.05	0.65	1.00	1.00	1.20	0.78	0.45
5	6.60	6.50	6.20	7.20	6.40	6.58	0.38	22.12	19.38	16.94	25.83	19.53	20.76	3.38	0.22	0.18	0.18	0.28	0.18	0.21	0.04
10	5.50	5.60	5.30	5.80	5.50	5.54	0.18	6.55	6.43	2.83	7.93	6.36	6.02	1.90	0.02	0.02	0.00	0.04	0.04	0.02	0.02
15	5.40	5.50	5.30	5.60	5.30	5.42	0.13	4.81	4.73	2.83	4.64	2.83	3.97	1.04	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
25	5.40	5.40	5.30	5.50	5.30	5.38	0.08	4.81	2.96	2.83	2.91	2.83	3.27	0.87	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
40	5.30	5.40	5.30	5.50	5.30	5.36	0.09	3.02	2.96	2.83	2.91	2.83	2.91	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	5.14	5.24	5.15	5.34	5.15																
SEC (MJ/kg)	0.61	0.58	0.65	0.61	0.51																

t	Exp. Data	MC (%d.b.)	DR (g/min)
---	-----------	------------	------------

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$\bar{X}$	S.D	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$\bar{X}$	S.D	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$\bar{X}$	S.D
0	11.80	11.20	13.20	10.40	11.40	11.60	1.03	50.34	47.68	54.09	52.21	50.35	50.93	2.39	1.50	0.90	1.40	1.10	1.10	1.20	0.24
1	10.30	10.30	11.80	9.30	10.30	10.40	0.89	43.11	43.11	48.64	46.56	45.05	45.29	2.37	1.15	0.75	1.55	0.90	1.25	1.12	0.31
3	8.00	8.80	8.70	7.50	7.80	8.16	0.57	26.75	33.41	30.34	33.73	27.44	30.33	3.25	0.70	0.65	0.90	0.75	0.55	0.71	0.13
5	6.60	7.50	6.90	6.00	6.70	6.74	0.54	11.21	21.87	12.17	17.17	15.52	15.59	4.26	0.12	0.28	0.14	0.18	0.12	0.17	0.07
10	6.00	6.10	6.20	5.10	6.10	5.90	0.45	2.33	3.93	2.26	2.55	7.21	3.66	2.10	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.01	0.02
15	6.00	6.10	6.20	5.00	5.90	5.84	0.48	2.33	3.93	2.26	0.60	4.07	2.64	1.42	0.01	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01
25	5.90	5.90	6.10	5.00	5.70	5.72	0.43	0.68	0.68	0.66	0.60	0.70	0.66	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	5.90	5.90	6.10	5.00	5.70	5.72	0.43	0.68	0.68	0.66	0.60	0.70	0.66	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	5.86	5.86	6.06	4.97	5.66																
SEC (MJ/kg)	0.61	0.67	0.51	0.67	0.63																

ตารางที่ ก-9 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 4 m/s ระดับกำลังไมโครเวฟ 600 W

ตารางที่ ก – 9 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 2 m/s ระดับกำลังไมโครเวฟ 800

t (min)	Exp. Data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	12.30	11.30	11.90	11.60	11.10	11.64	0.48	82.22	95.84	110.25	133.87	107.09	105.85	19.13	0.90	0.60	2.30	2.30	1.30	1.48	0.79
1	11.40	10.70	9.60	9.30	9.80	10.16	0.87	68.89	85.44	69.61	87.50	82.84	78.86	8.93	1.15	1.50	1.35	1.25	1.55	1.36	0.17
3	9.10	7.70	6.90	6.80	6.70	7.44	1.01	34.81	33.45	21.91	37.10	25.00	30.45	6.61	0.70	0.80	0.55	0.70	0.45	0.64	0.14
5	7.70	6.10	5.80	5.40	5.80	6.16	0.90	14.07	5.72	2.47	8.87	8.21	7.87	4.28	0.16	0.06	0.00	0.08	0.02	0.06	0.06
10	6.90	5.80	5.80	5.00	5.70	5.84	0.68	2.22	0.52	2.47	0.81	6.34	2.47	2.33	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01
15	6.80	5.80	5.70	5.00	5.60	5.78	0.65	0.74	0.52	0.71	0.81	4.48	1.45	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01
25	6.80	5.80	5.70	5.00	5.40	5.74	0.67	0.74	0.52	0.71	0.81	0.75	0.70	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	6.80	5.80	5.70	5.00	5.40	5.74	0.67	0.74	0.52	0.71	0.81	0.75	0.70	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	6.75	5.77	5.66	4.96	5.36																
SEC (MJ/kg)	0.65	0.65	0.58	0.55	0.63																

ตารางที่ ก – 11 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 3 m/s ระดับกำลังไมโครเวฟ 800 W

t (min)	Exp. data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	9.30	7.10	10.10	9.80	10.20	9.30	1.28	84.16	88.83	85.32	73.45	80.53	82.46	5.84	1.90	1.50	2.70	1.10	1.90	1.82	0.59
1	7.40	5.60	7.40	8.70	8.30	7.48	1.19	46.53	48.94	35.78	53.98	46.90	46.43	6.65	0.85	0.55	0.65	1.15	0.95	0.83	0.24
3	5.70	4.50	6.10	6.40	6.40	5.82	0.79	12.87	19.68	11.93	13.27	13.27	14.21	3.11	0.25	0.30	0.25	0.35	0.30	0.29	0.04
5	5.20	3.90	5.60	5.70	5.80	5.24	0.78	2.97	3.72	2.75	0.88	2.65	2.60	1.04	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
10	5.10	3.80	5.60	5.70	5.80	5.20	0.83	0.99	1.06	2.75	0.88	2.65	1.67	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	5.10	3.80	5.60	5.70	5.80	5.20	0.83	0.99	1.06	2.75	0.88	2.65	1.67	0.95	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
25	5.10	3.80	5.50	5.70	5.70	5.16	0.80	0.99	1.06	0.92	0.88	0.88	0.95	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	5.10	3.80	5.50	5.70	5.70	5.16	0.80	0.99	1.06	0.92	0.88	0.88	0.95	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	5.05	3.76	5.45	5.65	5.65																
SEC (MJ/kg)	0.86	1.09	0.78	0.97	0.80																

ตารางที่ ก – 12 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 4 m/s ระดับกำลังไมโครเวฟ 800 W

t (min)	Exp. data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	11.10	9.30	13.10	10.90	11.10	11.10	1.35	111.03	117.80	86.08	103.36	77.60	99.17	16.90	1.20	1.10	3.10	1.10	0.50	1.40	0.99
1	9.90	8.20	12.80	9.80	10.60	10.26	1.67	88.21	92.04	81.82	82.84	69.60	82.90	8.51	1.65	1.35	0.70	1.60	1.10	1.28	0.39
3	6.60	5.50	8.60	6.60	8.40	7.14	1.32	25.48	28.81	22.16	23.13	34.40	26.79	4.96	0.40	0.50	0.50	0.50	0.55	0.49	0.05
5	5.80	4.50	7.60	5.60	7.30	6.16	1.28	10.27	5.39	7.95	4.48	16.80	8.98	4.93	0.06	0.02	0.06	0.04	0.18	0.07	0.06
10	5.50	4.40	7.30	5.40	6.40	5.80	1.10	4.56	3.04	3.69	0.75	2.40	2.89	1.44	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
15	5.50	4.40	7.20	5.40	6.40	5.78	1.06	4.56	3.04	2.27	0.75	2.40	2.61	1.38	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
25	5.40	4.30	7.10	5.40	6.30	5.70	1.06	2.66	0.70	0.85	0.75	0.80	1.15	0.85	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	5.30	4.30	7.10	5.40	6.30	5.68	1.06	0.76	0.70	0.85	0.75	0.80	0.77	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	5.26	4.27	7.04	5.36	6.25																
SEC (MJ/kg)	0.62	0.68	0.57	0.65	0.75																

ตารางที่ ก – 13 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 2 m/s อุณหภูมิเท่ากับ 100 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 600 W

t (min)	Exp. data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	11.50	11.40	11.20	11.20	11.60	11.38	0.27	86.99	71.43	98.23	91.45	68.12	83.24	10.37	1.80	1.30	1.85	1.95	0.95	1.57	0.43
2	7.90	8.80	7.50	7.30	9.70	8.24	0.91	28.46	32.33	32.74	24.79	40.58	31.78	4.18	0.80	1.05	0.85	0.20	1.25	0.83	0.39
4	6.30	6.70	5.80	6.90	7.20	6.58	0.60	2.44	0.75	2.65	17.95	4.35	5.63	6.95	0.00	0.00	0.00	0.10	0.05	0.03	0.04
6	6.30	6.70	5.80	6.70	7.30	6.56	0.60	2.44	0.75	2.65	14.53	5.80	5.23	5.51	0.05	0.00	0.05	0.00	0.05	0.03	0.03
8	6.20	6.70	5.70	6.70	7.20	6.50	0.61	0.81	0.75	0.88	14.53	4.35	4.27	5.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.02
10	6.20	6.70	5.70	6.70	7.10	6.48	0.59	0.81	0.75	0.88	14.53	2.90	3.98	5.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01
15	6.20	6.70	5.70	6.70	7.00	6.46	0.57	0.81	0.75	0.88	14.53	1.45	3.69	5.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	6.20	6.70	5.70	6.70	7.00	6.46	0.57	0.81	0.75	0.88	14.53	1.45	3.69	5.92	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.02	0.04
30	6.20	6.70	5.70	5.90	7.00	6.30	0.59	0.81	0.75	0.88	0.85	1.45	0.95	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	6.15	6.65	5.65	5.85	6.90																
SEC (MJ/kg)	0.20	0.23	0.20	0.20	0.23																

ตารางที่ ก – 14 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 3 m/s อุณหภูมิเท่ากับ 100 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 600 W

t (min)	Exp. data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	11.10	11.00	11.00	11.00	11.00	11.02	0.05	51.02	38.36	60.58	56.03	58.27	52.85	8.49	1.00	0.85	0.85	0.85	1.15	0.94	0.13
2	9.10	9.30	9.30	9.30	8.70	9.14	0.30	23.81	16.98	35.77	31.91	25.18	26.73	7.26	0.60	0.35	0.70	0.60	0.60	0.57	0.13
4	7.90	8.60	7.90	8.10	7.50	8.00	0.17	7.48	8.18	15.33	14.89	7.91	10.76	3.62	0.20	0.20	0.30	0.20	0.10	0.20	0.07
6	7.50	8.20	7.30	7.70	7.30	7.60	0.21	2.04	3.14	6.57	9.22	5.04	5.20	2.83	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03
8	7.40	8.10	7.30	7.70	7.30	7.56	0.19	0.68	1.89	6.57	9.22	5.04	4.68	3.48	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
10	7.50	8.00	7.30	7.70	7.30	7.56	0.08	2.04	0.63	6.57	9.22	5.04	4.70	3.46	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
15	7.50	8.20	7.30	7.70	7.30	7.60	0.21	2.04	3.14	6.57	9.22	5.04	5.20	2.83	0.01	0.01	0.02	0.06	0.03	0.03	0.02
20	7.40	8.10	7.10	7.10	7.00	7.34	0.30	0.68	1.89	3.65	0.71	0.72	1.53	1.14	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02
30	7.40	8.00	6.90	7.10	7.00	7.28	0.33	0.68	0.63	0.73	0.71	0.72	0.69	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	7.35	7.95	6.85	7.05	6.95																
SEC (MJ/kg)	0.19	0.24	0.18	0.18	0.18																

ตารางที่ ก – 15 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 4 m/s อุณหภูมิเท่ากับ 100 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 600 W

t (min)	Exp. data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	11.40	11.10	11.00	11.00	11.10	11.12	0.15	71.17	71.83	72.96	67.68	69.21	70.57	1.91	1.40	1.40	1.40	1.25	1.40	1.37	0.07
2	8.60	8.30	8.20	8.50	8.30	8.38	0.07	29.13	28.48	28.93	29.57	26.52	28.53	0.32	0.75	0.65	0.75	0.70	0.65	0.70	0.05
4	7.10	7.00	6.70	7.10	7.00	6.98	0.18	6.61	8.36	5.35	8.23	6.71	7.05	1.21	0.15	0.20	0.05	0.15	0.05	0.12	0.07
6	6.80	6.60	6.60	6.80	6.90	6.74	0.23	2.10	2.17	3.77	3.66	5.18	3.38	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	6.80	6.60	6.60	6.80	6.90	6.74	0.23	2.10	2.17	3.77	3.66	5.18	3.38	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	6.80	6.60	6.60	6.80	6.90	6.74	0.23	2.10	2.17	3.77	3.66	5.18	3.38	1.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
15	6.70	6.60	6.60	6.80	6.90	6.72	0.23	0.60	2.17	3.77	3.66	5.18	3.08	1.57	0.00	0.02	0.04	0.02	0.06	0.03	0.02
20	6.70	6.50	6.40	6.70	6.60	6.58	0.15	0.60	0.62	0.63	2.13	0.61	0.92	0.60	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
30	6.70	6.50	6.40	6.60	6.60	6.56	0.15	0.60	0.62	0.63	0.61	0.61	0.61	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	6.66	6.46	6.36	6.56	6.56																
SEC (MJ/kg)	0.23	0.23	0.23	0.25	0.24																

ตารางที่ ก – 16 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 2 m/s อุณหภูมิเท่ากับ 120 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 600 W

t (min)	Exp. data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	11.20	11.70	11.30	11.30	11.50	11.40	0.25	68.42	75.94	96.52	95.50	78.29	82.9	12.22	1.10	0.90	1.55	1.40	1.20	1.23	0.25
2	9.00	9.90	8.20	8.50	9.10	8.94	0.68	35.34	48.87	42.61	47.06	41.09	43.0	5.19	0.85	1.10	0.90	1.05	0.90	0.96	0.11
4	7.30	7.70	6.40	6.40	7.30	7.02	0.63	9.77	15.79	11.30	10.73	13.18	12.2	2.38	0.25	0.40	0.20	0.15	0.15	0.23	0.10
6	6.80	6.90	6.00	6.10	7.00	6.56	0.53	2.26	3.76	4.35	5.54	8.53	4.9	1.77	0.00	0.00	0.05	0.10	0.25	0.08	0.10
8	6.80	6.90	5.90	5.90	6.50	6.40	0.50	2.26	3.76	2.61	2.08	0.78	2.3	0.44	0.00	0.05	0.05	0.05	0.00	0.03	0.03
10	6.80	6.80	5.80	5.80	6.50	6.34	0.54	2.26	2.26	0.87	0.35	0.78	1.3	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	6.80	6.80	5.80	5.80	6.50	6.34	0.54	2.26	2.26	0.87	0.35	0.78	1.3	0.77	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
20	6.70	6.70	5.80	5.80	6.50	6.30	0.50	0.75	0.75	0.87	0.35	0.78	0.7	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	6.70	6.70	5.80	5.80	6.50	6.30	0.50	0.75	0.75	0.87	0.35	0.78	0.7	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	6.65	6.65	5.75	5.78	6.45																
SEC (MJ/kg)	0.24	0.21	0.20	0.20	0.22																

t	Exp. data					MC (%d.b.)					DR (g/min)				
---	-----------	--	--	--	--	------------	--	--	--	--	------------	--	--	--	--

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	11.00	11.30	11.00	10.90	11.20	11.08	0.23	72.96	83.14	67.68	73.84	90.80	77.7	6.71	1.45	1.50	1.40	1.50	1.45	1.46	0.04
2	8.10	8.30	8.20	7.90	8.30	8.16	0.24	27.36	34.52	25.00	26.00	41.40	30.9	4.85	0.40	0.60	0.55	0.45	0.55	0.51	0.08
4	7.30	7.10	7.10	7.00	7.20	7.14	0.16	14.78	15.07	8.23	11.64	22.66	14.5	3.73	0.35	0.35	0.15	0.20	0.50	0.31	0.14
6	6.60	6.40	6.80	6.60	6.20	6.52	0.22	3.77	3.73	3.66	5.26	5.62	4.4	0.92	0.00	0.00	0.00	0.05	0.10	0.03	0.04
8	6.60	6.40	6.80	6.50	6.00	6.46	0.28	3.77	3.73	3.66	3.67	2.21	3.4	0.46	0.02	0.02	0.04	0.02	0.00	0.02	0.01
10	6.50	6.30	6.60	6.40	6.00	6.36	0.26	2.20	2.11	0.61	2.07	2.21	1.8	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	6.50	6.30	6.60	6.40	6.00	6.36	0.26	2.20	2.11	0.61	2.07	2.21	1.8	0.73	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
20	6.50	6.20	6.60	6.30	6.00	6.32	0.22	2.20	0.49	0.61	0.48	2.21	1.2	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	6.40	6.20	6.60	6.30	5.90	6.28	0.24	0.63	0.49	0.61	0.48	0.51	0.5	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	6.36	6.17	6.56	6.27	5.87																
SEC (MJ/kg)	0.23	0.21	0.25	0.23	0.20																

ตารางที่ ก – 17 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 3 m/s อุณหภูมิเท่ากับ 120 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 600 W

ตารางที่ ก – 18 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 4 m/s อุณหภูมิเท่ากับ 120 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 600 W

t	Exp. data	MC (%d.b.)	DR (g/min)
---	-----------	------------	------------

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$\bar{X}$	S.D	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$\bar{X}$	S.D	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$\bar{X}$	S.D
0	11.00	11.10	11.00	11.10	11.20	11.08	0.18	80.92	85.62	77.99	92.04	75.55	82.4	5.42	1.60	1.55	1.35	1.70	1.30	1.50	0.17
2	7.80	8.00	8.30	7.70	8.60	8.08	0.45	28.29	33.78	34.30	33.22	34.80	32.9	2.55	0.60	0.80	0.70	0.65	0.90	0.73	0.12
4	6.60	6.40	6.90	6.40	6.80	6.62	0.30	8.55	7.02	11.65	10.73	6.58	8.9	1.75	0.15	0.10	0.20	0.20	0.10	0.15	0.05
6	6.30	6.20	6.50	6.00	6.60	6.32	0.33	3.62	3.68	5.18	3.81	3.45	3.9	0.55	0.10	0.10	0.15	0.10	0.00	0.09	0.05
8	6.10	6.00	6.20	5.80	6.60	6.14	0.39	0.33	0.33	0.32	0.35	3.45	1.0	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.02
10	6.10	6.00	6.20	5.80	6.50	6.12	0.35	0.33	0.33	0.32	0.35	1.88	0.6	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	6.10	6.00	6.20	5.80	6.50	6.12	0.35	0.33	0.33	0.32	0.35	1.88	0.6	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	6.10	6.00	6.20	5.80	6.50	6.12	0.35	0.33	0.33	0.32	0.35	1.88	0.6	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
30	6.10	6.00	6.20	5.80	6.40	6.10	0.32	0.33	0.33	0.32	0.35	0.31	0.3	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	6.08	5.98	6.18	5.78	6.38																
SEC (MJ/kg)	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15																

ตารางที่ ก – 19 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 2 m/s อุณหภูมิเท่ากับ 100 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 800 W

t	Exp. data	MC (%d.b.)	DR (g/min)
---	-----------	------------	------------

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$\bar{X}$	S.D	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$\bar{X}$	S.D	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$\bar{X}$	S.D
0	11.20	11.20	11.50	11.50	11.50	11.38	0.23	85.12	65.93	127.27	63.12	84.00	85.1	25.63	1.45	1.15	1.75	1.10	1.10	1.31	0.29
2	8.30	8.90	8.00	9.30	9.30	8.76	0.64	37.19	31.85	58.10	31.91	48.80	41.6	11.04	1.05	1.05	0.95	0.95	1.40	1.08	0.19
4	6.20	6.80	6.10	7.40	6.50	6.60	0.50	2.48	0.74	20.55	4.96	4.00	6.5	7.85	0.00	0.00	0.40	0.00	0.05	0.09	0.17
6	6.20	6.80	5.30	7.40	6.40	6.42	0.77	2.48	0.74	4.74	4.96	2.40	3.1	1.70	0.05	0.00	0.10	0.15	0.05	0.07	0.06
8	6.10	6.80	5.10	7.10	6.30	6.28	0.77	0.83	0.74	0.79	0.71	0.80	0.8	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	6.10	6.80	5.10	7.10	6.30	6.28	0.77	0.83	0.74	0.79	0.71	0.80	0.8	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	6.10	6.80	5.10	7.10	6.30	6.28	0.77	0.83	0.74	0.79	0.71	0.80	0.8	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	6.10	6.80	5.10	7.10	6.30	6.28	0.77	0.83	0.74	0.79	0.71	0.80	0.8	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	6.10	6.80	5.10	7.10	6.30	6.28	0.77	0.83	0.74	0.79	0.71	0.80	0.8	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	6.05	6.75	5.06	7.05	6.25																
SEC (MJ/kg)	0.21	0.25	0.17	0.25	0.21																

ตารางที่ ก – 20 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 3 m/s อุณหภูมิเท่ากับ 100 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 800 W

t (min)	Exp. data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	11.10	11.00	11.00	11.00	11.10	11.04	0.13	53.10	65.41	51.72	70.28	77.32	63.6	8.83	0.85	1.20	0.75	1.10	0.90	0.96	0.19
2	9.40	8.60	9.50	8.80	9.30	9.12	0.44	29.66	29.32	31.03	36.22	48.56	35.0	4.76	0.65	0.60	0.65	0.75	1.00	0.73	0.16
4	8.10	7.40	8.20	7.30	7.30	7.66	0.28	11.72	11.28	13.10	13.00	16.61	13.1	1.50	0.30	0.20	0.45	0.35	0.35	0.33	0.09
6	7.50	7.00	7.30	6.60	6.60	7.00	0.16	3.45	5.26	0.69	2.17	5.43	3.4	1.90	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
8	7.40	7.00	7.30	6.60	6.60	6.98	0.10	2.07	5.26	0.69	2.17	5.43	3.1	1.93	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
10	7.30	6.90	7.30	6.60	6.60	6.94	0.10	0.69	3.76	0.69	2.17	5.43	2.5	1.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.02
15	7.30	6.90	7.30	6.60	6.40	6.90	0.14	0.69	3.76	0.69	2.17	2.24	1.9	1.30	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
20	7.30	6.70	7.30	6.60	6.30	6.84	0.10	0.69	0.75	0.69	2.17	0.64	1.0	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	7.30	6.70	7.30	6.50	6.30	6.82	0.12	0.69	0.75	0.69	0.62	0.64	0.7	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	7.25	6.65	7.25	6.46	6.26																
SEC (MJ/kg)	0.19	0.17	0.19	0.16	0.15																

ตารางที่ ก – 21 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 4 m/s อุณหภูมิเท่ากับ 100 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 800 W

t (min)	Exp. data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	11.00	11.30	11.00	11.10	11.20	11.12	0.19	94.00	83.44	67.68	99.28	101.08	89.1	12.55	1.75	1.80	1.75	1.85	2.00	1.83	0.10
2	7.50	7.70	7.50	7.40	7.20	7.46	0.22	32.28	25.00	14.33	32.85	29.26	26.7	7.54	0.65	0.70	0.35	0.70	0.60	0.60	0.15
4	6.20	6.30	6.80	6.00	6.00	6.26	0.16	9.35	2.27	3.66	7.72	7.72	6.1	2.98	0.20	0.00	0.00	0.00	0.10	0.06	0.09
6	5.80	6.30	6.80	6.00	5.80	6.14	0.25	2.29	2.27	3.66	7.72	4.13	4.0	2.23	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.02	0.04
8	5.80	6.30	6.60	6.00	5.80	6.10	0.15	2.29	2.27	0.61	7.72	4.13	3.4	2.72	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
10	5.70	6.30	6.60	6.00	5.80	6.08	0.22	0.53	2.27	0.61	7.72	4.13	3.1	2.99	0.00	0.02	0.00	0.08	0.02	0.02	0.03
15	5.70	6.20	6.60	5.60	5.70	5.96	0.32	0.53	0.65	0.61	0.54	2.33	0.9	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01
20	5.70	6.20	6.60	5.60	5.60	5.94	0.29	0.53	0.65	0.61	0.54	0.54	0.6	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	5.70	6.20	6.60	5.60	5.60	5.94	0.29	0.53	0.65	0.61	0.54	0.54	0.6	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	5.67	6.16	6.56	5.57	5.57																
SEC (MJ/kg)	0.19	0.21	0.25	0.20	0.19																

ตารางที่ ก – 22 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 2 m/s อุณหภูมิเท่ากับ 120 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 800 W

t (min)	Exp. data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	11.10	11.10	11.60	11.00	11.10	11.18	0.19	66.92	69.47	94.63	97.84	77.32	81.2	14.10	1.35	1.40	1.90	1.70	1.45	1.56	0.23
2	8.40	8.30	7.80	7.60	8.20	8.06	0.38	26.32	26.72	30.87	36.69	30.99	30.3	4.20	0.75	0.75	0.75	0.80	0.75	0.76	0.02
4	6.90	6.80	6.30	6.00	6.70	6.54	0.42	3.76	3.82	5.70	7.91	7.03	5.6	1.83	0.00	0.00	0.05	0.10	0.10	0.05	0.05
6	6.90	6.80	6.20	5.80	6.50	6.44	0.47	3.76	3.82	4.03	4.32	3.83	4.0	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	6.90	6.80	6.20	5.80	6.50	6.44	0.47	3.76	3.82	4.03	4.32	3.83	4.0	0.14	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01
10	6.90	6.80	6.20	5.70	6.40	6.40	0.48	3.76	3.82	4.03	2.52	2.24	3.3	0.40	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01
15	6.80	6.70	6.10	5.70	6.40	6.34	0.47	2.26	2.29	2.35	2.52	2.24	2.3	0.10	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
20	6.70	6.70	6.00	5.60	6.30	6.26	0.48	0.75	2.29	0.67	0.72	0.64	1.0	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	6.70	6.60	6.00	5.60	6.30	6.24	0.47	0.75	0.76	0.67	0.72	0.64	0.7	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	6.65	6.55	5.96	5.56	6.26																
SEC (MJ/kg)	0.16	0.16	0.13	0.13	0.15																

ตารางที่ ก – 23 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 3 m/s อุณหภูมิเท่ากับ 120 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 800 W

t (min)	Exp. data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	11.40	11.00	11.30	11.00	11.10	11.16	0.13	78.96	72.68	74.65	75.44	77.03	75.8	2.36	1.55	1.50	1.50	1.40	1.50	1.49	0.05
2	8.30	8.00	8.30	8.20	8.10	8.18	0.07	30.30	25.59	28.28	30.78	29.19	28.8	2.07	0.40	0.20	0.60	0.55	0.45	0.44	0.16
4	7.50	7.60	7.10	7.10	7.20	7.30	0.17	17.74	19.31	9.74	13.24	14.83	15.0	3.77	0.40	0.50	0.15	0.35	0.35	0.35	0.13
6	6.70	6.60	6.80	6.40	6.50	6.60	0.04	5.18	3.61	5.10	2.07	3.67	3.9	1.25	0.00	0.00	0.10	0.00	0.05	0.03	0.04
8	6.70	6.60	6.60	6.40	6.40	6.54	0.14	5.18	3.61	2.01	2.07	2.07	3.0	1.23	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
10	6.50	6.50	6.60	6.40	6.40	6.48	0.10	2.04	2.04	2.01	2.07	2.07	2.0	0.08	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01
15	6.50	6.50	6.60	6.30	6.30	6.44	0.14	2.04	2.04	2.01	0.48	0.48	1.4	0.52	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
20	6.40	6.50	6.50	6.30	6.30	6.40	0.14	0.47	2.04	0.46	0.48	0.48	0.8	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	6.40	6.40	6.50	6.30	6.30	6.38	0.10	0.47	0.47	0.46	0.48	0.48	0.5	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	6.37	6.37	6.47	6.27	6.27																
SEC (MJ/kg)	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23																

ตารางที่ ก – 24 ข้อมูลการทดลอง ลดความชื้นยางแผ่นด้วยไมโครเวฟที่ความเร็วลมเท่ากับ 4 m/s อุณหภูมิเท่ากับ 120 °C และระดับกำลังไมโครเวฟ 800 W

t (min)	Exp. data							MC (%d.b.)							DR (g/min)						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	$\bar{X}$	S.D
0	11.00	11.20	11.00	11.00	11.00	11.04	0.04	90.31	72.84	80.92	80.92	93.66	83.7	6.85	1.50	1.35	1.45	1.30	1.10	1.34	0.16
2	8.00	8.50	8.10	8.40	8.80	8.36	0.41	38.41	31.17	33.22	38.16	54.93	39.2	5.41	0.75	0.85	0.80	0.95	1.35	0.94	0.24
4	6.50	6.80	6.50	6.50	6.10	6.48	0.26	12.46	4.94	6.91	6.91	7.39	7.7	2.79	0.30	0.10	0.05	0.15	0.15	0.15	0.09
6	5.90	6.60	6.40	6.20	5.80	6.18	0.14	2.08	1.85	5.26	1.97	2.11	2.7	1.39	0.00	0.05	0.10	0.00	0.00	0.03	0.04
8	5.90	6.50	6.20	6.20	5.80	6.12	0.17	2.08	0.31	1.97	1.97	2.11	1.7	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	5.90	6.50	6.20	6.20	5.80	6.12	0.17	2.08	0.31	1.97	1.97	2.11	1.7	0.81	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01
15	5.80	6.50	6.20	6.20	5.70	6.08	0.14	0.35	0.31	1.97	1.97	0.35	1.0	0.74	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01
20	5.80	6.50	6.10	6.10	5.70	6.04	0.14	0.35	0.31	0.33	0.33	0.35	0.3	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	5.80	6.50	6.10	6.10	5.70	6.04	0.14	0.35	0.31	0.33	0.33	0.35	0.3	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
d	5.78	6.48	6.08	6.08	5.68																
SEC (MJ/kg)	0.14	0.15	0.15	0.15	0.14																

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูล

ข-1 การคำนวณหาค่าเฉลี่ยในการทดลองหาความชื้นของยางแผ่น ด้วยไมโครเวฟ ที่ระดับไมโครเวฟ 600 W ความเร็วลมเท่ากับ 2 m/s ที่เวลา 5 min อยู่ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก-7 ดังนี้

$$\text{จากสูตร } \bar{X} = \frac{\sum X_N}{N}$$

$$\bar{X} = \frac{6.40 + 7.60 + 5.50 + 8.10 + 7.80}{5}$$

$$\bar{X} = \frac{35.40}{5}$$

$$\bar{X} = 7.08$$

ข-2 การคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการทดลองหาความชื้นของยางแผ่น ด้วยไมโครเวฟ ที่ระดับไมโครเวฟ 600 W ความเร็วลมเท่ากับ 2 m/s ที่เวลา 5 min อยู่ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก-7 ดังนี้

จากสูตร

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (X_N - \bar{X})^2}{N-1}}$$

$$S.D. = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + (X_3 - \bar{X})^2 + (X_4 - \bar{X})^2 + (X_5 - \bar{X})^2}{5-1}}$$

$$S.D. = \sqrt{\frac{(6.40 - 7.08)^2 + (7.60 - 7.08)^2 + (5.50 - 7.08)^2 + (8.10 - 7.08)^2 + (7.80 - 7.08)^2}{4}}$$

$$S.D. = \sqrt{\frac{0.46 + 0.27 + 2.50 + 1.04 + 0.52}{4}}$$

$$S.D. = \sqrt{1.20}$$

$$S.D. = 1.10$$

ข-3 การคำนวณหาความชื้นมาตรฐานเปียกของยางแผ่นหลังการทดลองอบด้วยไมโครเวฟ ที่ระดับไมโครเวฟ 600 W ความเร็วลมเท่ากับ 2 m/s ของการทดลอง อยู่ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก-7 ดังนี้

$$\text{จากสูตร } M_w \% = \frac{(w-d)}{w} \times 100$$

$$M_w \% = \frac{29.88 - 29.60}{29.88} \times 100$$

$$M_w \% = \frac{0.28}{29.88} \times 100$$

$$M_w \% = 0.0094 \times 100$$

$$M_w = 0.94\%$$

ข-4 การคำนวณหาความชื้นมาตรฐานแห้งของยางแผ่นหลังการทดลองอบด้วยไมโครเวฟ ที่ระดับไมโครเวฟ 600 W ความเร็วลมเท่ากับ 2 m/s ของการทดลอง อยู่ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก-7 ดังนี้

$$\text{จากสูตร } M_d \% = \frac{(w-d)}{d} \times 100$$

$$M_d \% = \frac{2.88 - 29.60}{29.60} \times 100$$

$$M_d \% = \frac{0.28}{29.60} \times 100$$

$$M_d \% = 0.0095 \times 100$$

$$M_d = 0.95\%$$

ข-5 การคำนวณหาค่าความชื้นแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งยางแผ่นด้วยไมโครเวฟ ที่ระดับไมโครเวฟ 600 W ความเร็วลมเท่ากับ 2 m/s ของการทดลองครั้งที่ 1 อยู่ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก-7 ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{จากสูตร } M_w &= \left(\frac{w-d}{w} \right) \times 100\% \\ 0.94 &= \left(\frac{5.0-d}{5.0} \right) \times 100\% \\ \frac{0.94 \times 5.0}{100} &= 5.0 - d \\ 0.047 - 5.0 &= -d \\ d &= 4.95\end{aligned}$$

ข- 6 การคำนวณหาอัตราการอบแห้งยางแผ่นด้วยไมโครเวฟ ที่ระดับไมโครเวฟ 600 W ความเร็วลมเท่ากับ 2 m/s ของการทดลองครั้งที่ 1 ที่เวลา 3 min อยู่ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก-7 ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{จากสูตร } DR &= \frac{(m_{p,i} - m_{p,f})}{t} \\ DR &= \left(\frac{7.1 - 5.0}{2} \right) \\ DR &= 1.05 \quad \text{Kg/h}\end{aligned}$$

ข- 7 การคำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งยางแผ่น ด้วยไมโครเวฟ ที่ระดับไมโครเวฟ 600 W ความเร็วลมเท่ากับ 2 m/s ของการทดลองครั้งที่ 1 อยู่ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก-7 ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{จากสูตร } SEC &= \frac{3.6Pe}{(m_{p,i} - m_{p,f})} \\ SEC &= \frac{3.6 \times 0.1}{9.8 - 5.0} \\ SEC &= \frac{0.36}{4.8} \\ SEC &= 0.08 \quad \text{MJ/kg}\end{aligned}$$

ภาคผนวก ค
อุปกรณ์ดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ ค - 1 ผิวยางแผ่นก่อนอบ



ภาพที่ ค - 2 เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม: YRU – HA/MW#1 (FR&E)



ภาพที่ ค - 3 เครื่องวัดความเร็วลม



ภาพที่ ค - 4 ตาชั่งดิจิทัล

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นางสาวดาริณี มุสอดี

ชื่อเล่น ได้

ที่อยู่ปัจจุบัน 246/1 ม.9 ต.ตาดนาคปุเต๊ะ อ.บันนังสตา จ.ยะลา 95130

มัธยมศึกษา โรงเรียนสตรีอิสลามวิทยามูลนิธิ ยะลา

ปัจจุบันศึกษาอยู่ สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและ
การเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผลผลิตยางพารา. [on-line]. Available: <http://www.thainr.com/th>. [2552, ธันวาคม 28]
- [2] ยางพารา. [on-line]. Available: <http://www.puibuatip.com>. [2552, กันยายน 23]
- [3] ชุมชุมสหกรณ์ชาวสวนยาง. [on-line]. Available: <http://www.thainr.com/th>. [2552, ตุลาคม 2]
- [4] การตากยางพาราด้วยพลังงานความร้อน. [on-line]. <http://www.rubberchanthaburi.com>. [2552, ตุลาคม 12]
- [5] เสาวณีย์ ก่ออุทัยกุลรังสี. 2547. การผลิตยางธรรมชาติ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
- [7] ยางพารา. [on-line]. Available: <http://th.wikipedia.org>. [2553, มกราคม 7]
- [8] ความชื้น. [on-line]. Available: <http://.202.44.47.77/tam/Subjectsby> WASAN. [2552 , ตุลาคม 3]
- [9] ความชื้นของอาหาร. [on-line]. Available: <http://www.toolmartasia.com> [2553 , มกราคม 25]
- [10] วิไล รังสาทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพมหานคร:ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [11] ความร้อน. [on-line]. Available: <http://www.rmutphysics.com/PHYSICS>. [2552, ธันวาคม 17]
- [12] พรพล รมย์นุกูล .2545. การถนอมอาหาร: กรุงเทพมหานคร :โอเดียนสโตร์.
- [13] สาขานี้ะ รัฟยุร .2547. การศึกษารูปแบบของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ชั้นวางแบบชั้นบันได. ยะลา. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- [14] ชมภู๋ ยิ้มโต. 2550 . การถนอมอาหาร: กรุงเทพมหานคร :โอเดียนสโตร์.
- [15] การถนอมและแปรรูปอาหารด้วยการทำแห้ง.(ม.ป.ป.).กรุงเทพมหานคร:ผู้แต่ง
- [16] อุณภูมิ. [on-line]. Available: <http://kanchanapisek.or.th>. [2553, มกราคม 5]
- [17] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. กรุงเทพมหานคร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [18] ความชื้นของอาหาร. [on-line]. Available: <http://www.toolmartasia.com> [2553 , มีนาคม 25]
- [19] ความชื้น. [on-line]. Available: <http://www.dld.go.th>. [2553, มีนาคม 10]

- [20] การทำแห้ง. [on-line]. Available: <http://www.uto.kmutt.ac.th>. [2553, ธันวาคม 19]
- [21] ความเร็วลม. [on-line]. Available: <http://www.marine.tmd.go.th>. [2553, มีนาคม 10]
- [22] หมุดตอเล็บ หนิสอ. 2552. ฟิสิกส์และเทคโนโลยีของการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ. นครศรีธรรมราช. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.
- [23] คุณสมบัติคลื่นไมโครเวฟ. [on-line]. Available: <http://naipui.tripod.com>. [2553, มกราคม 7]
- [24] เอกสารการสอนชุดวิชาการถนอมและการแปรรูปอาหาร. 2544. สุโขทัย. สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช. [2553, มกราคม 7]
- [25] การลดความชื้นและการทำแห้ง. [on-line]. Available: <http://www.courseware.rmutl.ac.th>. [2553, มกราคม 7]
- [26] กาญจนา ขยันและคณะ. 2547. ผลของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสู่คุณภาพของใบมะกรูด. [on-line]. Available: <http://conf.agi.nu.ac.th>. [2552, กันยายน 23]
- [27] คำนึ่ง วาทโยธา. (2547). การอบแห้งมันสำปะหลังด้วยไมโครเวฟและลมร้อน. [on-line]. Available: <http://www.phtnet.org/newsletter/download>. [2552, กันยายน 21]
- [28] คำนึ่ง วาทโยธาและเฉลิมขวัญ อริยะวงศ์. 2550. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการอบแห้งยางแท่งด้วยลมร้อนและไมโครเวฟ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 38(5), 259-262
- [29] คำนึ่ง วาทโยธา. 2547. การอบกล้วยด้วยเครื่องอบจำลองรูปแบบการทำงานของเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับสายพานลำเลียง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 33(6), 11-15
- [30] คำนึ่ง วาทโยธา และ เสรี วงศ์พิเชษฐ. 2549. การอบแห้งมะม่วงด้วยไมโครเวฟ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร
- [31] จินดา พานิชอิงอร. 2547. การอบแห้งข้าวเปลือกความชื้นสูงโดยเทคนิคสเปาเต็คเบดสองมิติ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [32] ญัฐพล ภูมิสะอาด และละมุล วิเศษ. 2550. สมการอบแห้งชั้นบางและความชื้นสมดุลของเห็ดขอนขาว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 38 (5), 361-364
- [33] สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย วิโรจน์ จินดารัตน์ และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. 2550. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, 19-25
- [34] มนตรี เรืองประดับและคณะ. 2550. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งผลหมาก. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, 350-354
- [35] อธิษฐ์ สนิโซ มะรุติง กาชา และมุฮัมมัดรุสดี เจ๊ะเต๊ะ. 2551. การพัฒนาเครื่องอบแห้งชั้นบางพลังงานความร้อนร่วม. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา, 87-96

- [36] Sosak Wirot and Phadungsak. (2550). **Microwave and Hot-air Drying of Wood a Rectangular Waveguide.** Pathumthani. Thammasat University
- [37] A.Reyes and S. Ceron. (2550). **Acomparative study of microwave-assisted air drying of potato slices.** [online]. Available:<http://www.elevier.com>. [2552, มีนาคม 21]
- [38] Nattapol Poomsa-ad and Lamul Wiset (2550). **Thin layer drying equation and equilibrium moisture content of Khon Khao mushroom.** [online]. Available: <http://www.phtnet.org>. [2552, มีนาคม 10]
- [39] G.P.Sharma and Suresh Prasad .(2547). **Specific energy consumption in microwave drying of garliccloves.**[online].Available:<http://www.sciencedirect.com/science>. [2552, กุมภาพันธ์ 18]
- [40] Arkom Chaiyana, Nattapol Poomsa-ad and Kittisak Vithinutkit. (2550) Drying of peanut pod with hot air combine microwave. [online]. Available: <http://www.phtnet.org>. [2552, มีนาคม 21]