ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
208881

การศึกษากระบวนการและพัฒนาเครื่องอบแห้งยางแท่ง STR 20 ด้วยไมโครเวฟ

THE STUDY OF PROCEDURE AND DEVELOPMENT OF A DRYER FOR BLOCK RUBBER STR 20 USING MICROWAVE

นางสาวฉลิมขวัญ อริยะวงศ์

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2553

b00257366

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
208881

การศึกษากระบวนการและพัฒนาเครื่องอบแห้งยางแท่ง STR 20 ด้วยไมโครเวฟ

THE STUDY OF PROCEDURE AND DEVELOPMENT OF A DRYER FOR BLOCK RUBBER STR 20 USING MICROWAVE

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

นางสาวเฉลิมขวัญ อริยะวงศ์

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2553

การศึกษากระบวนการและพัฒนาเครื่องอบแห้งยางแท่ง STR 20 ด้วยไมโครเวฟ

นางสาวเฉลิมขวัญ อริยะวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2553

THE STUDY OF PROCEDURE AND DEVELOPMENT OF A DRYER FOR BLOCK RUBBER STR 20 USING MICROWAVE

MISS CHALOEMKWAN ARIYAWONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN AGRICULTURAL AND FOOD ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY
2010

ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
หลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร

ชื่อวิทยานิพนธ์: การศึกษากระบวนการและพัฒนาเครื่องอบแห้งยางแท่ง STR 20 ด้วยไมโครเวฟ

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์: นางสาวเฉลิมขวัญ อริยะวงศ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ธวัชชัย ทิวาวรรณวงศ์	ประธานกรรมการ
	ผศ.ดร.เสรี วงส์พิเชษฐ	กรรมการ
	ดร.ภานุวัฒน์ ทรัพย์ปรุง	กรรมการ
	ดร.คำนึง วาทโยธา	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์:

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.คำนึง วาทโยธา)

.....	.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ลำปาง แม่นมาตย์)	(รศ.ดร.สมนึก ธีระกุลพิศุทธิ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

เฉลิมขวัญ อริยะวงศ์. 2553. **การศึกษากระบวนการและพัฒนาเครื่องอบแห้งยางแท่ง STR 20 ด้วยไมโครเวฟ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ดร.คำนึง วาทโยธา

บทคัดย่อ

208881

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเตาไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการที่มีระดับกำลังสูง สำหรับใช้ศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมธรรมดาและร่วมกับลมร้อน ซึ่งมีปัจจัยการศึกษา คือ ความสูงชั้นยาง 10 15 และ 20 เซนติเมตร อุณหภูมิลมร้อน 100 และ 110 องศาเซลเซียส และเวลาการให้ไมโครเวฟ 1 และ 2 นาที ผลิตภัณฑ์สุดท้ายถูกนำไปทดสอบคุณภาพตามมาตรฐานยางแท่ง STR 20 ซึ่งมีผลการศึกษาดังนี้

เตาไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการที่สร้างขึ้น มีความจุ 76 ลิตร ใช้แมกนีตรอนที่มีความถี่ 2.45 จิกะเฮิรตซ์ ขนาดกำลังสูงสุด 1,700 วัตต์ การศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมธรรมดา พบว่า การเปิด-ปิดให้กำลังไมโครเวฟสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในยางทุกความสูงชั้นยางมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ความสูงชั้นยางที่เพิ่มขึ้นทำให้ความชื้นและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งลดลง ในขณะที่เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่วนการศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน พบว่า ความสูงชั้นยางที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิภายในยางมีค่าลดลง เวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนและการเพิ่มเวลาให้ไมโครเวฟ ทำให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิภายในยางสูงขึ้น ส่งผลให้ความชื้นลดลงได้เร็ว ใช้เวลาการอบแห้งลดลง ทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งลดลงอีกด้วย และยางที่ผ่านการอบแห้งแล้วทุกการทดลองถูกนำไปทดสอบคุณภาพตามมาตรฐานยางแท่ง STR 20 พบว่า คุณสมบัติสำคัญมีคุณภาพผ่านเกณฑ์

เงื่อนไขที่เหมาะสมโดยสรุปของการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟคือการใช้ร่วมกับลมร้อน ที่ความสูงชั้นยาง 10 เซนติเมตร อุณหภูมิลมร้อน 100 องศาเซลเซียส และเวลาการให้ไมโครเวฟ 1 นาที ซึ่งให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะคือ 10.30 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย

Chaloemkwan Ariyawong. 2010. **The Study of Procedure and Development of a Dryer for Block Rubber STR 20 Using Microwave**. Master of Engineering Thesis in Agricultural and Food Engineering, Graduate School, Khon Kaen University.

Thesis advisor: Dr. Cumnueng Watyotha

ABSTRACT

208881

The purpose of this study was to design and construct a high power laboratory-scale microwave oven for drying rubber blocks using ordinary air and hot air. The parameters studied were bed height: 10, 15 and 20 cm, hot air temperature: 100 and 110 °C and heating time: 1 and 2 minutes. The final products were tested according to the standard for STR 20 rubber block, with the following results:

The constructed microwave oven had a capacity of 76 liters, equipped with a 2.45 GHz magnetron tube giving a maximum power of 1,700 W. The test results for microwave drying of rubber blocks with ordinary air indicated that the temperature within each block could be controlled uniformly for varied bed heights, but the moisture content and specific energy consumption decreased while heating time increased with increasing bed height. With hot air, it was found that increasing the bed height resulted in a decrease in the temperature gradient and an increase in the heating time, whereas increasing both the hot air temperature and heating time resulted in an increase in the temperature gradient, which caused the moisture content, heating time and specific energy consumption to decrease. The dried rubber blocks were tested for their quality according to the standard for STR 20 rubber block and passed the major criteria.

In conclusion, the optimum condition for drying rubber blocks with microwave was to use with hot air for a bed height of 10 cm, temperature of 100 °C and heating time of 1 minute, resulting in a specific energy consumption of 10.30 MJ per kilogram of evaporated water.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก อาจารย์ ดร.คำนึง วาทโยธา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมทั้งความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาการศึกษา และช่วยตรวจสอบการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ทิวาวรรณวงศ์ ซึ่งเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี วงส์พิเชษฐ และ ดร. ภานุวัฒน์ ทรัพย์ปรุง ซึ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาช่วยตรวจแก้วิทยานิพนธ์ ให้ความความรู้ และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการสอบในครั้งนี้

การดำเนินการศึกษาในครั้งนี้ ได้รับการสนับสนุนงบประมาณการศึกษาวิจัยจาก ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว: หน่วยงานร่วมมหาวิทยาลัยขอนแก่น และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยชุดโครงการวิจัยขนาดกลางเรื่องยางพารา จึงสามารถดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณ คุณแม่จงรักษ์ พี่ปิยะวิทย์ อริยะวงศ์ และขอบคุณพี่น้องทุกคน ที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนอย่างดียิ่งตลอดการศึกษา

กราบขอบพระคุณ คณาจารย์ ข้าราชการ พนักงาน และลูกจ้าง ของภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่มีส่วนช่วยให้การดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อน และน้อง ๆ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้ ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เฉลิมขวัญ อริยะวงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์การศึกษา	2
3. ขอบเขตการศึกษา	2
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
1. ยางพารา	4
2. ยางแท่ง	8
3. การอบแห้ง	27
4. คลื่นไมโครเวฟ	33
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	48
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา	51
1. การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการ	51
2. การศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมธรรมดา	60
3. การศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	65
4. การวิเคราะห์ผลการศึกษาของค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง	69
5. ประเมินผลคุณภาพยางตามมาตรฐานยางแท่ง STR 20	69
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	71
1. ผลของการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการ	71
2. ผลการศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมธรรมดา	73
3. ผลการศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	76
4. ผลการวิเคราะห์การศึกษาของค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง	84
5. ผลการประเมินคุณภาพยางตามมาตรฐานยางแท่ง STR 20	86
6. เงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	89

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	91
1. สรุปผลการศึกษา	91
2. ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาต่อไป	92
เอกสารอ้างอิง	93
ภาคผนวก	95
ภาคผนวก ก การออกแบบเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการ	96
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบด้านความปลอดภัย การกระจายคลื่นและกำลังของไมโครเวฟ	103
ภาคผนวก ค ผลการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	107
ภาคผนวก ง ผลการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมธรรมดา	144
ภาคผนวก จ ผลการทดสอบคุณภาพยางตามมาตรฐานยางแท่ง STR 20	148
ประวัติผู้เขียน	152

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ส่วนประกอบของยางธรรมชาติ	7
ตารางที่ 2.2	สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ	7
ตารางที่ 2.3	มาตรฐานของยางแท่งชั้นต่าง ๆ	17
ตารางที่ 2.4	น้ำหนักชิ้นทดสอบสมบัติยาง	19
ตารางที่ 2.5	ความยาวคลื่นกับค่าความลึกในการทะลุทะลวงของคลื่นที่ระดับความถี่ต่าง ๆ	40
ตารางที่ 3.1	ค่า attenuation และ Power loss ของโลหะชนิดต่าง ๆ ที่ความถี่ 2.45 GHz	53
ตารางที่ 3.2	โหมดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในห้องอบ	55
ตารางที่ 4.1	รายละเอียดของหมายเลขต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการ	72
ตารางที่ 4.2	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	84
ตารางที่ 4.3	การเปรียบเทียบผลการประเมินคุณภาพยางที่ได้จากการทดสอบกับค่ามาตรฐานยางแท่ง(ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำการทดสอบ)	87
ตารางที่ 4.4	สรุปผลค่าที่เหมาะสมในการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	90
ตารางที่ ข.1	ผลการทดสอบด้านความปลอดภัย (การรั่วของคลื่น)	104
ตารางที่ ข.2	ผลการการทดสอบการกระจายคลื่นในห้องอบเมื่อแทนค่าตามสมการที่(2) (ค่าเฉลี่ย3ซ้ำ)	105
ตารางที่ ข.3	ผลการวัดกำลังของไมโครเวฟ(ค่าเฉลี่ย3ซ้ำ)เมื่อแทนค่าตามสมการที่(20)	106
ตารางที่ ค.1.1	ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิภายใน เวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะการอบแห้งยางแท่งที่เวลาการให้ไมโครเวฟ 1 นาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความสูงชั้นยาง 10 เซนติเมตร เฉลี่ย 3 ซ้ำ	108
ตารางที่ ค.1.2	ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิภายใน เวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งยางแท่งที่เวลาการให้ไมโครเวฟ 1 นาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความสูงชั้นยาง 15 เซนติเมตร เฉลี่ย 3 ซ้ำ	110
ตารางที่ ค.1.3	ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิภายใน เวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งยางแท่งที่เวลาการให้ไมโครเวฟ 1 นาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความสูงชั้นยาง 20 เซนติเมตร เฉลี่ย 3 ซ้ำ	112
ตารางที่ ค.2.1	ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิภายใน เวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งยางแท่งที่เวลาการให้ไมโครเวฟ 2 นาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความสูงชั้นยาง 10 เซนติเมตร เฉลี่ย 3 ซ้ำ	115
ตารางที่ ค.2.2	ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิภายใน เวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งยางแท่งที่เวลาการให้ไมโครเวฟ 2 นาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความสูงชั้นยาง 15 เซนติเมตร เฉลี่ย 3 ซ้ำ	116

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ค.2.3	ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิภายใน เวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งยางแท่งที่เวลาการให้ไมโครเวฟ 2 นาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความสูงชั้นยาง 20 เซนติเมตร เฉลี่ย 3 ซ้ำ	118
ตารางที่ ค.3.1	ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิภายใน เวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งยางแท่งที่เวลาการให้ไมโครเวฟ 1 นาที อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ความสูงชั้นยาง 10 เซนติเมตร เฉลี่ย 3 ซ้ำ	120
ตารางที่ ค.3.2	ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิภายใน เวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งยางแท่งที่เวลาการให้ไมโครเวฟ 1 นาที อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ความสูงชั้นยาง 15 เซนติเมตร เฉลี่ย 3 ซ้ำ	122
ตารางที่ ค.3.3	ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิภายใน เวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งยางแท่งที่เวลาการให้ไมโครเวฟ 1 นาที อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ความสูงชั้นยาง 20 เซนติเมตร เฉลี่ย 3 ซ้ำ	124
ตารางที่ ค.4.1	ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิภายใน เวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งยางแท่งที่เวลาการให้ไมโครเวฟ 2 นาที อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ความสูงชั้นยาง 10 เซนติเมตร เฉลี่ย 3 ซ้ำ	126
ตารางที่ ค.4.2	ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิภายใน เวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งยางแท่งที่เวลาการให้ไมโครเวฟ 2 นาที อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ความสูงชั้นยาง 15 เซนติเมตร เฉลี่ย 3 ซ้ำ	127
ตารางที่ ค.4.3	ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิภายใน เวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งยางแท่งที่เวลาการให้ไมโครเวฟ 2 นาที อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ความสูงชั้นยาง 20 เซนติเมตร เฉลี่ย 3 ซ้ำ	128
ตารางที่ ง.1	ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิภายใน เวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งยางแท่งที่การให้ไมโครเวฟร่วมกับลมธรรมดา ความสูงชั้นยาง 10 เซนติเมตร เฉลี่ย 3 ซ้ำ	145
ตารางที่ ง.2	ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิภายใน เวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งยางแท่งที่การให้ไมโครเวฟร่วมกับลมธรรมดา ความสูงชั้นยาง 15 เซนติเมตร เฉลี่ย 3 ซ้ำ	146
ตารางที่ ง.3	ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิภายใน เวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งยางแท่งที่การให้ไมโครเวฟร่วมกับลมธรรมดา ความสูงชั้นยาง 20 เซนติเมตร เฉลี่ย 3 ซ้ำ	147

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของยางธรรมชาติ 6
ภาพที่ 2.2 กระบวนการผลิตยางแท่งจากน้ำยาง 10
ภาพที่ 2.3 กระบวนการผลิตยางแท่งด้วยยางก้อนจับตัว 11
ภาพที่ 2.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางแท่ง เช่น ยางแผ่นดิบ(ข) เศษยางและยางก้นถ้วย(ก) 11
ภาพที่ 2.5 เครื่องแกรนูเลเตอร์ 12
ภาพที่ 2.6 ลักษณะของยางที่ได้ทำการบดย่อยเรียบร้อยแล้ว 12
ภาพที่ 2.7 การลำเลียงยางลงกระบะก่อนนำเข้าห้องอบแห้ง 13
ภาพที่ 2.8 ลักษณะยางหลังการอบแห้ง 13
ภาพที่ 2.9 ยางที่ถูกอัดแท่งแล้วจะนำไปตรวจโลหะที่อยู่ภายในเนื้อยาง 13
ภาพที่ 2.10 การเก็บตัวอย่างยางเพื่อทดสอบคุณภาพ(ก)และยางห่อด้วยพลาสติกรอการจำหน่าย(ข) 14
ภาพที่ 2.11 เครื่องรีดยาง(Creper) 14
ภาพที่ 2.12 เครื่องบดอัด(Shredder) 15
ภาพที่ 2.13 เครื่องตัดย่อยยาง(Slab Cutter) 15
ภาพที่ 2.14 พรีเบรกเกอร์(Pre Breaker) 16
ภาพที่ 2.15 โรตารี่คัตเตอร์(Rotary Cutter) 16
ภาพที่ 2.16 เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (สำหรับห้องปฏิบัติการ) 18
ภาพที่ 2.17 การละลายน้ำมันสนด้วยความร้อน 20
ภาพที่ 2.18 เตาเผาสำหรับย่อยยาง(ก)และชุดเครื่องกลั่นด้วยไอน้ำ(ข) 21
ภาพที่ 2.19 เครื่องตัดชิ้นทดสอบ และชิ้นทดสอบสำหรับหาค่าพลาสติกซิตี้ 25
ภาพที่ 2.20 เครื่องทดสอบความหนืด(Mooney viscometer) 26
ภาพที่ 2.21 ลักษณะเฉพาะของการอบแห้งภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งคงที่ 28
ภาพที่ 2.22 เตาอบแห้งยางแท่ง 31
ภาพที่ 2.23 ลักษณะการระบายความร้อนภายในเตาอบแห้งยางแท่ง 32
ภาพที่ 2.24 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 33
ภาพที่ 2.25 การหมุนตัวเนื่องจากสารประกอบเนื่องจากไมโครเวฟ 36
ภาพที่ 2.26 ค่าความแปรปรวนของค่าไดอิเล็กตริกลอสแฟกเตอร์กับค่าความชื้น 38
ภาพที่ 2.27 การกระจายการเกิดความร้อนภายในวัสดุด้วยพลังงานต่างๆ 42
ภาพที่ 2.28 ตัวอย่างเส้นโค้งความสัมพันธ์ของระบบอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟและไดอิเล็กตริก 45
ภาพที่ 2.29 องค์ประกอบหลักของเตาไมโครเวฟโดยทั่วไป 46
ภาพที่ 2.30 ลักษณะของหลอกแมกนีตรอนความถี่ 2,450 และ 915 เมกะเฮิตซ์ 46

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 2.31	การต่อท่อนำคลื่นเข้ากับไมโครเวฟในโรงงานอุตสาหกรรม	48
ภาพที่ 3.1	แมกนีตรอนขนาดกำลัง 2,000 วัตต์	52
ภาพที่ 3.2	ชุดควบคุมกำลังไมโครเวฟที่สามารถปรับค่าได้	52
ภาพที่ 3.3	การกระจายตัวเป็นคลื่นนิ่งของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กผ่านส่งผ่านไปตามท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยมในโหมด TE10	53
ภาพที่ 3.4	ลักษณะของห้องอบและการเชื่อมต่อต่าง ๆ	55
ภาพที่ 3.5	โพรงกับดักคลื่นของบานประตู	56
ภาพที่ 3.6	กลไกลสวิตซ์เพื่อความปลอดภัย (Safety Switch)	56
ภาพที่ 3.7	เครื่องมือวัดการรั่วของคลื่นไมโครเวฟ	57
ภาพที่ 3.8	ตำแหน่งที่ทดสอบการรั่วของคลื่นไมโครเวฟ	58
ภาพที่ 3.9	อุปกรณ์ทดสอบการกระจายของคลื่นในห้องอบ(ก)และตำแหน่งวางบีกเกอร์(ข)	59
ภาพที่ 3.10	เครื่องอบแห้งไมโครเวฟและชุดควบคุมกำลัง	61
ภาพที่ 3.11	ยางแท่งที่ใช้ในการทดสอบตัดแต่งให้ได้ความสูงชั้นยางที่ต้องการ	62
ภาพที่ 3.12	แผนผังการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมธรรมดา	64
ภาพที่ 3.13	แผนผังการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	68
ภาพที่ 4.1	เครื่องอบแห้งไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการ	72
ภาพที่ 4.2	การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิตามเวลาการอบแห้งของยางแท่งความสูงชั้นยาง 10 เซนติเมตร	74
ภาพที่ 4.3	การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิตามเวลาการอบแห้งของยางแท่งความสูงชั้นยาง 15 เซนติเมตร	74
ภาพที่ 4.4	การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิตามเวลาการอบแห้งของยางแท่งความสูงชั้นยาง 20 เซนติเมตร	74
ภาพที่ 4.5	การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งตามเวลาการอบแห้งของยางแท่งความหนาเบดต่างๆ	75
ภาพที่ 4.6	การเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งยางแท่งที่ความสูงชั้นยางต่างๆ	75
ภาพที่ 4.7	ปริมาณจุดขาวของยางที่ความสูงชั้นยาง 15 และ 20 เซนติเมตรเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง	76
ภาพที่ 4.8	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในยางแท่งตามเวลาการอบแห้งที่ความสูงชั้นยางต่างๆ สำหรับเวลาการให้ลมร้อน 2 นาทีและไมโครเวฟ 1 นาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	77
ภาพที่ 4.9	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในยางแท่งแต่ละอุณหภูมิลมร้อน สำหรับความสูงชั้นยาง 20 เซนติเมตร เวลาลมร้อน 2 นาที และไมโครเวฟ 1 นาที	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 4.10	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในยางแท่งตามเวลาการการให้ไมโครเวฟ สำหรับความสูงชั้นยาง 10 เซนติเมตร อุณหภูมิลมร้อน 100 องศาเซลเซียส	78
ภาพที่ 4.11	การเปลี่ยนแปลงความชื้นกับเวลาการอบแห้ง สำหรับยางที่ความสูงชั้นยางต่างๆ อุณหภูมิลมร้อน 110 องศาเซลเซียส และเวลาการให้ไมโครเวฟ 2 นาที	79
ภาพที่ 4.12	การเปลี่ยนแปลงความชื้นกับเวลาการอบแห้งแต่ละอุณหภูมิลมร้อน ที่ความสูงชั้นยาง 15 เซนติเมตร เวลาการให้ลมร้อน 2 นาที เวลาการให้ไมโครเวฟ 2 นาที	80
ภาพที่ 4.13	การเปลี่ยนแปลงความชื้นกับเวลาการอบแห้งตามเวลาการให้ไมโครเวฟ สำหรับความสูงชั้นยาง 10 เซนติเมตร อุณหภูมิลมร้อน 100 องศาเซลเซียส	80
ภาพที่ 4.14	การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งตามเวลาการอบแห้งยางที่ความสูงชั้นยางต่างๆ สำหรับอุณหภูมิลมร้อน 110 องศาเซลเซียส เวลาการให้ไมโครเวฟ 2 นาที	81
ภาพที่ 4.15	การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ใช้ที่แต่ละอุณหภูมิลมร้อน ที่ความสูงชั้นยาง 15 เซนติเมตร เวลาการให้ลมร้อน 2 นาที เวลาการให้ไมโครเวฟ 1 นาที	82
ภาพที่ 4.16	การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ใช้ตามเวลาการให้ไมโครเวฟ ที่ความสูงชั้นยาง 20 เซนติเมตร อุณหภูมิลมร้อน 100 องศาเซลเซียส	82
ภาพที่ 4.17	การเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งยางแท่งที่ความสูงชั้นยาง และอุณหภูมิลมร้อนต่างๆ เมื่อให้ไมโครเวฟ 2 นาที	83
ภาพที่ 4.18	การเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งยางแท่งที่ความสูงชั้นยาง และเวลาให้ไมโครเวฟต่าง ๆ เมื่ออบยางในอุณหภูมิลมร้อน 110 องศาเซลเซียส	84
ภาพที่ 4.19	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งยางแท่ง	85
ภาพที่ 4.20	เปรียบเทียบค่าพลังงานจำเพาะของการใช้ไมโครเวฟกับการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	86
ภาพที่ 4.21	การเปรียบเทียบผลของเวลาการให้ไมโครเวฟที่มีต่อค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (P_o) ที่ความสูงชั้นยางต่างๆ	88
ภาพที่ 4.22	การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิลมร้อนที่มีต่อค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (P_o) ที่ความสูงชั้นยางต่างๆ	88
ภาพที่ 4.23	การเปรียบเทียบผลของความสูงชั้นยางต่างๆ ที่มีต่อค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (P_o)	89
ภาพที่ 4.24	การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ตามเงื่อนไขของค่าที่เลือกที่มีความสูงชั้นยาง 10 เซนติเมตร	90
ภาพที่ ก.1	เตาอบไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการ (ภาพรวม)	97
ภาพที่ ก.2	เตาอบไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการ (ห้องอบ 3)	98
ภาพที่ ก.3	เตาอบไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการ (ส่วนประกอบของห้องอบ 3)	99
ภาพที่ ก.4	เตาอบไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการ (ส่วนประกอบของประตู A)	100
ภาพที่ ก.5	เตาอบไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการ (ส่วนประกอบของประตู 1)	101

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ ก.6	เตาอบไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการ (ส่วนประกอบของประตู A 3 โพรงกับดักคลื่น)	102
ภาพที่ ข.1	ผลการทดสอบด้านความปลอดภัย (การรั่วของคลื่น)	104
ภาพที่ ค.1	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในยางแท่งตามเวลาการอบแห้งที่ความสูงชั้นยางต่างๆ ให้ไมโครเวฟ 1 และ 2 นาที อุณหภูมิ 100 และ 110 องศาเซลเซียส	129
ภาพที่ ค.1.1	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในยางแท่งแต่ละอุณหภูมิลมร้อน สำหรับความสูงชั้นยาง 15 10 และ 20 เซนติเมตร เวลาการให้ลมร้อน 2 นาที เวลาการให้ไมโครเวฟ 1 นาที	130
ภาพที่ ค.1.2	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในยางแท่งแต่ละอุณหภูมิลมร้อน สำหรับความสูงชั้นยาง 15 10 และ 20 เซนติเมตร เวลาการให้ลมร้อน 2 นาที เวลาการให้ไมโครเวฟ 2 นาที	131
ภาพที่ ค.1.3	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในยางแท่งตามเวลาการให้ไมโครเวฟ สำหรับความสูงชั้นยาง 15 10 และ 20 เซนติเมตร เวลาการให้ลมร้อน 2 นาที อุณหภูมิลมร้อน 100 องศาเซลเซียส	132
ภาพที่ ค.1.4	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในยางแท่งตามเวลาการให้ไมโครเวฟ สำหรับความสูงชั้นยาง 15 10 และ 20 เซนติเมตร เวลาการให้ลมร้อน 2 นาที อุณหภูมิลมร้อน 110 องศาเซลเซียส	133
ภาพที่ ค.2	การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในยางแท่งตามเวลาการอบแห้งที่ความสูงชั้นยางต่างๆ ให้ไมโครเวฟ 1 และ 2 นาที ณ อุณหภูมิ 100 และ 110 องศาเซลเซียส	134
ภาพที่ ค.2.1	การเปลี่ยนแปลงความชื้นกับเวลาการอบแห้งแต่ละอุณหภูมิลมร้อน ที่ความสูงชั้นยาง 10 15 และ 20 เซนติเมตร เวลาการให้ลมร้อน 2 นาที เวลาการให้ไมโครเวฟ 1 นาที	135
ภาพที่ ค.2.2	การเปลี่ยนแปลงความชื้นกับเวลาการอบแห้งแต่ละอุณหภูมิลมร้อน ที่ความสูงชั้นยาง 10 15 และ 20 เซนติเมตร เวลาการให้ลมร้อน 2 นาที เวลาการให้ไมโครเวฟ 2 นาที	136
ภาพที่ ค.2.3	การเปลี่ยนแปลงความชื้นกับเวลาการอบแห้งตามเวลาการให้ไมโครเวฟ ที่ความสูงชั้นยาง 10 15 และ 20 เซนติเมตร อุณหภูมิลมร้อน 100 องศาเซลเซียส	137
ภาพที่ ค.2.4	การเปลี่ยนแปลงความชื้นกับเวลาการอบแห้งตามเวลาการให้ไมโครเวฟ ที่ความสูงชั้นยาง 10 15 และ 20 เซนติเมตร อุณหภูมิลมร้อน 110 องศาเซลเซียส	138
ภาพที่ ค.3	การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งตามเวลาการอบแห้งยางที่ความสูงชั้นยางต่างๆ สำหรับอุณหภูมิลมร้อน 100 และ 110 องศาเซลเซียส เวลาการให้ไมโครเวฟ 1 และ 2 นาที	139
ภาพที่ ค.3.1	การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ใช้ที่แต่ละอุณหภูมิลมร้อน ที่ความสูงชั้นยาง 10 15 และ 20 เซนติเมตร เวลาการให้ลมร้อน 2 นาที เวลาการให้ไมโครเวฟ 1 นาที	140

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ ค.3.2	การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ใช้ที่แต่ละอุณหภูมิลมร้อน ที่ความสูงชั้นยาง 10 15 และ 20เซนติเมตร เวลาการให้ลมร้อน 2 นาที เวลาการให้ไมโครเวฟ 2 นาที	141
ภาพที่ ค.3.3	การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ใช้ตามเวลาการให้ไมโครเวฟ ที่ความสูงชั้นยาง 10 15 และ 20เซนติเมตร อุณหภูมิลมร้อน 100 องศาเซลเซียส	142
ภาพที่ ค.3.4	การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ใช้ตามเวลาการให้ไมโครเวฟ ที่ความสูงชั้นยาง 10 15 และ 20เซนติเมตร อุณหภูมิลมร้อน 110 องศาเซลเซียส	143