สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	5
1.3 ขอบเขตของโครงการ	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ	7
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในวัสดุพรุน	12
2.3 ระบบการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ	21
2.4 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสนามไฟฟ้ากับวัสดุไดอิเล็กตริก	22
2.5 อุปกรณ์สำหรับกระบวนการทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ	23
2.6 สมการพื้นฐาน (Basic Equation)	30
2.7 คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุ	32
2.8 ความยาวคลื่นและความลึกในการทะลุทะลวง (Wavelength and penetration dept)	34
2.9 การสะท้อน การส่งผ่าน และการดูดซับ (Reflect, transmit and absorb)	34
2.10 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอบแห้ง	37
2.11 ความชื้นในวัสดุ	40
2.12 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (conduction)	42
2.13 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (convection)	43

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.14 พลังงานความร้อน	45
2.15 พลังงานความร้อนที่ใช้ต่ำสุดและสูงสุด	45
2.16 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง (Energy Effectiveness)	46
2.17 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ	46
2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	48
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	57
3.1 อุปกรณ์ในการทดลอง	57
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	62
4 ผลการทดลอง	81
4.1 องค์ประกอบทางเคมี	81
4.2 ค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก (Dielectric Properties)	84
4.3 ผลการทดลองการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดด้วยไมโครเวฟชนิดป้อนคลื่นหลายตำแหน่งที่ไม่สมมาตรร่วมกับระบบลมร้อนและสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง ในกรณีต่างๆ	85
4.4 ภาพถ่ายทางความร้อน (Infrared Thermography)	91
4.5 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy)..	93
4.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล และความร้อนของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง โดยเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ การอบแห้งด้วยไมโครเวฟและไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	95
5 สรุปผลการทดลอง	100
5.1 สรุปผลการทดลอง	100
5.2 ข้อเสนอแนะ	102
บรรณานุกรม	103
ภาคผนวก	107
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการทดลอง	108
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	114

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ค่าความชื้น ค่าความหนาแน่น และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเปลือกผลไม้แต่ละชนิด 2

2.1 การประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวกับไมโครเวฟ 11

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนหมอนทองแห้ง เส้นใยเปลือกทุเรียนหมอนทอง และผงเปลือกทุเรียนหมอนทอง 81

4.2 ค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก (กรณี 1 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 6 ตัว (กำลัง 800 W/ตัว) 4800 W) 84

4.3 ค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก (กรณี 2 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว (กำลัง 800 W/ตัว) 2400 W อุณหภูมิลมร้อนที่ 40°C) 84

4.4 ค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก (กรณี 3 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว (กำลัง 800 W/ตัว) 2400 W อุณหภูมิลมร้อนที่ 50°C) 84

4.5 ค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก (กรณี 3 ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว (กำลัง 800 W/ตัว) 2400 W อุณหภูมิลมร้อนที่ 60°C) 85

4.6 ภาพถ่ายทางความร้อนแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง (10 min) 91

4.7 ภาพถ่ายทางความร้อนแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง (70 min) 92

4.8 ภาพถ่ายการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) (ด้านในแผ่นชิ้นไม้อัด) 93

4.9 ภาพถ่ายการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) (ผิวแผ่นชิ้นไม้อัด) 94

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1.1 ปริมาณผลผลิตทุเรียนในประเทศไทยใน 5 ปีย้อนหลัง (หน่วย: %) 1

1.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ 3

2.1 สเปคตรัมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและช่วงความถี่ของไมโครเวฟ 7

2.2 การแพร่ของคลื่นไมโครเวฟผ่านวัสดุต่างๆ 9

2.3 การเกิดความร้อนภายในวัสดุ 10

2.4 โครงสร้างของวัสดุพรุนทั่วไป 13

2.5 โครงสร้างวัสดุพรุนแบบเซลลูลาร์-คาพิลลารี(Cellular Capillary) 14

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันคาพิลลารีภายในวัสดุพรุนและค่าการอิ่มตัวของน้ำที่อนุภาคของแข็งต่างกัน 15

2.7 กระบวนการถ่ายเทมวลสารในวัสดุพรุนแบบคาพลลารีต่างกัน 16

2.8 ไดอะแกรมกระบวนการอบแห้งวัสดุพรุน 16

2.9 คาบเวลาของกระบวนการอบแห้งและกลไกควบคุมการถ่ายเทมวลสารในวัสดุพรุน 18

2.10 ปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งลดลงระยะแรก (First Falling Rate Period) 19

2.11 ปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งลดลงระยะที่สอง(Second Falling Rate Period) 20

2.12 ปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งขั้นสุดท้าย (End Stage of Drying) 20

2.13 อันตรกิริยาระหว่างวัสดุไดอิเล็กตริกและสนามไฟฟ้า (Electric Field) 22

2.14 องค์ประกอบพื้นฐานของการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ 24

2.15 ภาพตัดขวางของแมกนีตรอน 25

2.16 โครงสร้างวัสดุพรุนแบบเซลลูลาร์-คาพิลลารี(Cellular Capillary) 27

2.17 โครงสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นสะท้อนกลับ 27

2.18 โครงสร้างอุปกรณ์ปรับค่าคลื่น (3-Stup Tuner) 28

2.19 ตัวอย่างของระบบความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับสายพายลำเลียง 30

2.20 รังสีการตกกระทบและการดูดซับโดยวัสดุไดอิเล็กตริก 35

2.21 ลักษณะของกราฟอัตราการอบแห้ง 38

2.22 ลักษณะยางพาราหลังการอบแห้งด้วยไมโครเวฟระบบสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง 48

2.23 โครงสร้างภายในของยางพาราที่วัดจาก SME ที่กำลังขยายต่างกัน 49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.1 เครื่องไมโครเวฟแบบระบบสายพานลำเลื่องต่อเนื่อง 58

3.2 เตาอบแบบใช้ลมร้อน 59

3.3 เครื่องเน็ตเวิร์คอนาไลเซอร์ 60

3.4 กล้องถ่ายภาพทางความร้อน 60

3.5 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด 61

3.6 เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกล 61

3.7 แผนผังกระบวนการเตรียมวัตถุดิบผงเปลือกทุเรียนหมอนทอง
และเส้นใยเปลือกทุเรียนหมอนทอง 68

3.8 กระบวนการเตรียมผงเปลือกทุเรียนและเส้นใยเปลือกทุเรียนหมอนทอง 69

3.9 แผนผังกระบวนการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง 70

3.10 กระบวนการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง 71

3.11 การถ่ายภาพทางความร้อน 73

3.12 การเตรียมแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองสำหรับส่องกล้องจุลทรรศน์
อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 74

3.13 การส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 75

3.14 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบ 76

3.15 แสดงวิธีวัดความกว้าง ความยาวของชิ้นทดสอบ 78

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา กำลังไมโครเวฟ 4800 W 86

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา กำลังไมโครเวฟ 2400 W
อุณหภูมิลมร้อน 40°C 87

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา กำลังไมโครเวฟ 2400 W
อุณหภูมิลมร้อน 50°C 88

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา กำลังไมโครเวฟ 2400 W
อุณหภูมิลมร้อน 60°C 89

4.4 การใช้พลังงานกำลังไฟฟ้าในกระบวนการอบแห้ง 91

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.5 การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในกระบวนการอบแห้ง (Specific Energy Consumption in Drying Process) 92

4.6 การบวมพองหลังการแช่น้ำของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง 95

4.7 ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง 96

4.8 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ของแผ่นชิ้นไม้อัดในสูตรการผลิต 1:1:1: 80°C 97

4.9 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ของแผ่นชิ้นไม้อัดในสูตรการผลิต 1:1:1: 90°C 97

4.10 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ของแผ่นชิ้นไม้อัดในสูตรการผลิต 1:1:1: 100°C 98

4.11 ค่าการนำความร้อนของแผ่นชิ้นไม้จากเปลือกทุเรียนหมอนทอง 98