ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
248025

การควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิได้

อนุสรณ์ เรามั่ง

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
กุมภาพันธ์ 2554

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
248025

การควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิได้

อนุสรณ์ เราเท่า

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง

ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กุมภาพันธ์ 2554

การควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับ
กระบวนการอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิได้

อนุสรณ์ เราเท่า

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.สัมพันธ์ ไชยเทพ

..... กรรมการ
อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ช่างเรือ

..... กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล

..... กรรมการ
ดร. ถนัด เกษประดิษฐ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ช่างเรือ

2 กุมภาพันธ์ 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.วิบูลย์ ช่างเรือ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำปรึกษาแนะนำ และให้การช่วยเหลือทุกด้านเป็นอย่างดีตลอดช่วงที่ผ่านมา กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สัมพันธ์ ไชยเทพ ที่กรุณารับเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ กราบขอบพระคุณ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล และดร. ถนัด เกษประดิษฐ ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ทุนสนับสนุนการนำเสนอบทความทางวิชาการ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กฤษดา ยิ่งขยัน ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยเหลือในการออกแบบโปรแกรมควบคุม รวมถึงเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่ทำงานด้วยกันทุกคนที่เป็นกำลังใจให้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับผู้เขียนได้มีความรู้เป็นรากฐานที่ดีในการศึกษาตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้รากฐานชีวิตที่ดีและให้กำลังใจตลอดระยะเวลาที่ศึกษาและดำเนินงานวิจัยประกอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงกำลังใจจากครอบครัว คือ นางสาวมัทนา บุญธรรม และเด็กหญิงณัฐกฤตา เราเท่า ที่ค่อยเป็นกำลังใจเคียงข้างมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้เขียนขอยกความดีและความสำเร็จทั้งหมดให้แก่ผู้มีพระคุณดังกล่าวข้นต้นทุกท่าน

อนุสรณ์ เราเท่า

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิได้

ผู้เขียน นายอนุสรณ์ เราเท่า

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมพลังงาน)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ช่างเรือ

บทคัดย่อ

248025

งานศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ ต้องการพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ ให้มีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาที่ต้องการได้ โดยใช้เทคนิคการป้อนกลับค่าอุณหภูมิที่ตรวจจับได้ ซึ่งผลที่ได้จากการควบคุมอุณหภูมินี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิ เช่น การอบแห้ง เป็นต้น งานศึกษานี้ได้ดัดแปลงเตาอบไมโครเวฟโตชิบ่า รุ่น ER-A7CS ความจุ 30 ลิตร ซึ่งมีระบบกระจายคลื่นแบบไม่ใช้ถาดหมุน โดยใช้เทอร์มอไพล์ รุ่น TPA81 เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแทนอินฟราเรด ส่งค่าอุณหภูมิที่วัดได้ไปยังระบบควบคุมที่สร้างขึ้น ผลการศึกษาพบว่า การทดลองควบคุมอุณหภูมิน้ำสามารถรักษาอุณหภูมิได้ต่อเนื่องตลอดระยะเวลาทดสอบ เมื่อทดสอบกับงานอบแห้งตะไคร้หั่นที่น้ำหนักเริ่มต้น 450 กรัมให้เหลือ 45 กรัม ที่ระดับอุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยให้กำลังของคลื่นไมโครเวฟ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 วัตต์ต่อกรัมวัสดุ พบว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิอบแห้งได้ตามกำหนดทุกระดับการทดสอบ

Thesis Title	Power Control of Microwave Heating for Controllable Temperature Drying Process
Author	Mr. Anusorn Raothao
Degree	Master of Engineering (Energy Engineering)
Thesis Advisor	Lect. Dr. Viboon Changrue

ABSTRACT

248025

The study of this thesis aims to develop a controlling temperature system of 2450 MHz microwave heating in order to fix temperature for a certain period of time. Feedback temperature technique was used for developed control system. Application of this study could be used for microwave heating process is which temperature is able to be controlled for example drying process. Typical 30 L microwave dryer, TOSHIBA model ER-A7CS, accompanied with non rotation disk energy distribution system was modified for this study. Detected temperature using Thermopile sensor model TPA81 was sent to the developed controlling temperature system. The result of testing of microwave heating water revealed a perfect controlling of developed system along the period of testing. The tests of slide lemon grass drying from 450 g to 45 g at temperature 40, 50, 60 and 70 $^{\circ}C$ using input energy of microwave 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 W/g were found that this developed system was able to control drying product temperature for all testing.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สรุปสาระสำคัญ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.3 หลักการและแนวทางการแก้ปัญหา	4
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.5 ขอบเขตของการศึกษา	5
1.6 นิยามศัพท์	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	6
2.2 การให้ความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับวัสดุ	8
2.3 การทำงานของเตาอบไมโครเวฟเชิงพาณิชย์	10
2.4 การควบคุมกำลังไฟฟ้า	11
2.5 การตรวจจับอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส	19
2.6 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	20
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 ขั้นตอนการกำหนดแนวทางการพัฒนาเตาอบไมโครเวฟเชิงพาณิชย์	23
3.2 ขั้นตอนการกำหนดวิธีการทดสอบ	30

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลจากการพัฒนาการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ Toshiba รุ่น ER-A7CS 35

4.2 ผลของตำแหน่งการวางวัสดุ และตำแหน่งการวางตัวตรวจจับอุณหภูมิ 36

4.3 ความเที่ยงตรงในการตรวจจับอุณหภูมิ 37

4.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนกับวัสดุภายในห้องอบ 38

4.5 ผลการทดสอบอบแห้งชิ้นตะไคร้หั่น เพื่อหาข้อสรุปว่าสามารถนำไปใช้งานอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้จริง 40

4.6 ผลการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนในงานวิจัย เรื่อง การควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการอบแห้งที่ควบคุมอุณหภูมิได้ 41

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลจากการพัฒนาเตาอบไมโครเวฟให้สามารถควบคุมอุณหภูมิการให้ความร้อนคงที่ 42

5.2 ข้อเสนอแนะ 43

บรรณานุกรม 44

ภาคผนวก 46

ภาคผนวก ก ภาพชุดเตาอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟที่มีการควบคุมกำลังของให้ความร้อนโดยอาศัยการตรวจจับอุณหภูมิบนวัสดุภายในเตาอบไมโครเวฟโดยการป้อนกลับค่าผลอุณหภูมิที่ตรวจจับได้ 47

ภาคผนวก ข ตารางข้อมูลการทดสอบ 54

ภาคผนวก ค ตัวอย่างการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนในการผลิตชุดควบคุมกำลังของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการอบแห้งชิ้นตะไคร้หั่นที่ควบคุมอุณหภูมิได้ 63

ภาคผนวก ง เอกสารประกอบการนำเสนอบทความทางวิชาการ 68

ประวัติผู้เขียน 81

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

1.1 อุณหภูมิและวิธีในการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพหลังการอบแห้งของสมุนไพรบางชนิด 2
ข.1 ข้อมูลการตรวจจับอุณหภูมิของตัวตรวจจับเทอร์มอไพล์เปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์แบบเส้นใยแก้วนำแสงยี่ห้อ OMEGAรุ่น FOH201 55
ข.2 ข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนที่อัตราส่วนของกำลังงาน 0.5 วัตต์ต่อกรัม 57
ข.3 ข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนที่อัตราส่วนของกำลังงาน 1.0 วัตต์ต่อกรัม 58
ข.4 ข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนที่อัตราส่วนของกำลังงาน 1.5 วัตต์ต่อกรัม 59
ข.5 ข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนที่อัตราส่วนของกำลังงาน 2.0 วัตต์ต่อกรัม 60
ข.6 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความร้อนให้น้ำเปลี่ยนอุณหภูมิ จาก 28 เป็น 40 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 120 นาที 61
ข.7 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในการอบแห้งชิ้นตะไคร้หั่นที่น้ำหนักเริ่มต้น 450 กรัม น้ำหนักสุดท้าย 45 กรัม 62

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก	7
2.2 สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	8
2.3 การเกิดความร้อนเมื่อวัสดุได้รับคลื่นไมโครเวฟ	9
2.4 รูปร่างและโครงสร้างของแมกนีตรอน	10
2.5 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าก่อนถูกควบคุมแบบ Linear resistive control	12
2.6 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหลังถูกควบคุมแบบ Linear resistive control	12
2.7 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าก่อนถูกควบคุมแบบ Variable transformer control	13
2.8 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหลังถูกควบคุมแบบ Variable transformer control	13
2.9 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าก่อนถูกควบคุมแบบ Integral cycle control	14
2.10 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหลังถูกควบคุมแบบ Integral cycle control	14
2.11 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าก่อนถูกควบคุมแบบ Phase control	15
2.12 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าหลังถูกควบคุมแบบ Phase control	15
2.13 วิธีการกำเนิดสัญญาณ PWM	16
2.14 สัญญาณ PWM แบบ NPWM	16
2.15 สัญญาณ PWM แบบ UPWM	16
2.16 การต่อวงจรควบคุมสำหรับเทคนิคการควบคุมไธริสเตอร์โดยการควบคุมมุม	17
2.17 วงจร Voltage divider triggering circuit	17
2.18 RC triggering circuit	18
3.1 แนวคิดที่ใช้ออกแบบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟที่สามารถควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งได้	24
3.2 แผนภาพแสดงระบบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ	25
3.3 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิคงที่ในการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ	26
3.4 เตาอบไมโครเวฟยี่ห้อ Toshiba รุ่น ER-A7C (S)	27

3.5 Thermopile sensor เบอร์ TPA81 28
3.6 โครงสร้างของ ET - OPTO AC DIMMER 28
4.1 ชุดต้นแบบเครื่องอบแห้งไมโครเวฟที่สามารถควบคุมอุณหภูมิอบแห้งคงที่ได้ 35
4.2 ตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางวัสดุ 36
4.3 ตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางตัวตรวจจับอุณหภูมิ 37
4.4 ผลการตรวจจับอุณหภูมิระหว่างเทอร์มอไพล์ TPA81กับเครื่องมือมาตรฐาน เทอร์โมมิเตอร์แบบเส้นใยแก้วนำแสง ยี่ห้อ OMEGA รุ่น FOH201 37
4.5 กราฟเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการทำความร้อนกับอุณหภูมิสุดท้ายของน้ำที่แต่ละระดับกำลังงานการให้ความร้อนต่อมวล 38
4.6 ผลจากการทดสอบอบแห้งชิ้นตะไคร้หั่น 40
ก.1 ชุดเตาอบไมโครเวฟที่มีการควบคุมกำลังของให้ความร้อนโดยอาศัยการตรวจจับอุณหภูมิบนวัสดุภายในเตาอบไมโครเวฟใช้ป้อนกลับค่าผลอุณหภูมิที่ตรวจจับได้ 48
ก.2 ส่วนควบคุม 48
ก.3 ส่วนสวิตช์ควบคุม 49
ก.4 ส่วนวงจรตัดต่อ 49
ก.5 ส่วนควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า 50
ก.6 ส่วนประมวลผล 50
ก.7 ส่วนแสดงผล 51
ก.8 มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 51
ก.9 ส่วนควบคุมกำลังการให้ความร้อนแบบไม่อัตโนมัติ 52
ก.10 มิเตอร์วัดปริมาณการรั่วของคลื่นไมโครเวฟ 52
ก.11 Handheld Fiber Optic Meter 53
ก.12 TPA81 Thermopile Array 53

อักษรย่อและสัญลักษณ์

∇ คือ ตัวกระทำเดลใช้เป็นตัวกระทำทางแคลคูลัสเวกเตอร์ เป็นค่าคงที่ตามระบบพิกัดแกนประสานสามแกน

$\vec{E}$ คือ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนความเข้มสนามไฟฟ้าเป็นปริมาณเวกเตอร์

$\vec{D}$ คือ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าความหนาแน่นสนามไฟฟ้า เป็นปริมาณเวกเตอร์

$\vec{H}$ คือ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนความเข้มสนามแม่เหล็ก เป็นปริมาณเวกเตอร์

$\vec{B}$ คือ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก เป็นปริมาณเวกเตอร์

$\vec{J}$ คือ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เป็นปริมาณเวกเตอร์

ρ คือ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้า เป็นปริมาณสกาลาร์

E_i คือ ขนาดของความเข้มสนามไฟฟ้าภายในเตาอบ

f คือ ความถี่คลื่นของเตาอบไมโครเวฟ

ε_0 คือ ค่าความนำทางไฟฟ้าของอากาศภายในห้องอบ

ε_r คือ ค่าความนำทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุที่ใช้อบแห้ง

$\tan\delta$ คือ ตัวบอกถึงการสูญเสียกำลังงานในวัสดุ

P คือ กำลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้

M คือ มวลของวัสดุ

$\frac{d\theta}{dt}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลา

s คือ ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุ

ΔT คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

m คือ ปริมาณความชื้น (%Wb)

Wm คือ น้ำหนักของน้ำ (g)

Wd คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง (g)

D คือ ค่าเสื่อมราคา (บาท ต่อปี)

P คือ ราคาแรกซื้อ (บาท)

S คือ ค่าราคาเมื่อหมดอายุการใช้งาน (บาท)

L คือ อายุการใช้งาน (ปี)

I คือ ค่าเสียโอกาสเงินลงทุน (บาทต่อปี)

P คือ ราคาแรกซื้อ (บาท)

S คือ ราคาเมื่อหมดอายุการใช้งาน (บาท)

i คือ อัตราดอกเบี้ย (เปอร์เซ็นต์)

Pm คือ ค่าวัตถุดิบ (บาทต่อกิโลกรัม)

Wm คือ น้ำหนักสดของวัตถุดิบที่ใช้ในการอบแห้งแต่ละครั้ง (กิโลกรัม)

Pm คือ ราคาค่าวัตถุดิบต่อหน่วย (บาทต่อกิโลกรัม)

Pe คือ ค่าไฟฟ้า (บาทต่อกิโลกรัม)

We คือ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งแต่ละครั้ง (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง)

E คือ รุาคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้า (บาท)

P_L คือ ค่าแรงงานในการอบแห้ง (บาทต่อกิโลกรัม)

Td คือ เวลาที่ใช้ในการทำงานอบแห้งทั้งหมดจริง (ชั่วโมงทำงาน)

l คือ ราคาค่าจ้างแรงงาน (บาทต่อชั่วโมงทำงาน)

Pd คือ รายรับจากการผลิต (บาทต่อกิโลกรัม)