สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญรูป ..... ญ

สัญลักษณ์ ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

2 หลักการทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีการอบแห้ง 3

2.1.1 สมบัติของวัตถุชื้น 3

2.1.1.1 ความชื้นของวัตถุ 3

2.1.1.2 ลักษณะการเกาะตัวของน้ำบนวัตถุชื้น 4

2.1.1.3 ความชื้นสมดุล 4

2.1.1.4 ความร้อนแฝง 5

2.1.2 สมบัติของอากาศชื้น 6

2.1.3 ทฤษฎีการอบแห้ง 8

2.1.4 ผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการอบแห้ง 10

2.1.5 ประเภทของการอบแห้ง 11

2.2 การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 11

2.2.1 เครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนตามธรรมชาติ 12

2.2.2 เครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนโดยบังคับอากาศ 13

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15

3 การดำเนินการวิจัย 25

3.1 การออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม 25

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่

3.2 การเลือกวัสดุและอุปกรณ์ 29
3.2.1 วัสดุโปรงแสงปิดด้านบน 29
3.2.2 แผ่นฉนวนด้านล่าง 34
3.2.3 ระบบระบายอากาศ 34
3.3 การสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม 35
3.4 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม 38
3.4.1 อุปกรณ์การวัดและเก็บข้อมูล 38
3.4.2 วิธีการทดลอง 45
3.5 ผลการทดลอง 51
ก) การทดลองครั้งที่ 1 (4 – 8 ธันวาคม 2549) 51
ข) การทดลองครั้งที่ 2 (30 มกราคม – 2 กุมภาพันธ์ 2550) 59
ค) การทดลองครั้งที่ 3 (26 กุมภาพันธ์ – 1 มีนาคม 2550) 66
ง) การทดลองครั้งที่ 4 (23 มีนาคม – 26 มีนาคม 2550) 73
จ) การทดลองครั้งที่ 5 (4 – 7 พฤษภาคม 2550) 80
4 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 87
4.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 87
4.1.1 แบบจำลองของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ 88
4.1.1.1 การเขียนสมการสมดุลทางความร้อน 88
4.1.1.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน 92
4.1.1.3 การหาผลเฉลย (solution) ของสมการแบบจำลอง 94
4.1.1.4 การเขียนโปรแกรมสำหรับคำนวณในการหาผลเฉลย 96
4.1.2 แบบจำลองของส่วนอบแห้งผลิตภัณฑ์ 97
4.1.2.1 การเขียนสมการสมดุลทางความร้อน 97
4.1.2.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน 102
4.1.2.3 การหาผลเฉลย (solution) ของสมการแบบจำลอง 104
4.1.2.4 การเขียนโปรแกรมสำหรับการคำนวณในการหาผลเฉลย 107
4.2 การทดสอบแบบจำลอง 108

มหาวิทยาลัยศิลปากร ลิขสิทธิ์

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่

5 สรุป 110

บรรณานุกรม 112

ภาคผนวก ก 115

ภาคผนวก ข 117

ภาคผนวก ค 119

ประวัติผู้วิจัย 193

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงแผนภูมิน้ำประเภทต่างๆในวัตถุชื้น 4

2.2 แสดง sorption isotherm ของผลิตผลการเกษตรทั่วไป 5

2.3 แสดงการแปรค่าของความร้อนแฝงของผลิตผลการเกษตร 5

2.4 แสดงแผนภูมิอากาศชื้น และการเปลี่ยนแปลงสมบัติของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง . 7

2.5 แสดงการถ่ายเทมวลและความร้อนในการอบแห้ง 8

2.6 แสดงการลดลงของความชื้นในการอบแห้งผลิตผลการเกษตรทั่วไป 9

2.7 แสดงอัตราการแห้งของผลิตผลการเกษตรระหว่างการอบแห้ง 9

2.8 แสดงเครื่องอบแห้งแบบรับแสงอาทิตย์โดยตรง 12

2.9 แสดงเครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม 13

2.10 แสดงเครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง และใช้พัดลมดูดอากาศ 13

2.11 แสดงเครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อมและใช้พัดลมดูดอากาศ..... 14

2.12 แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นสำหรับเขตแห้งแล้งโดย Lutz et at. (1987) 15

2.13 แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นสำหรับเขตร้อนชื้น โดย Eddy et al. (1991) 16

2.14 แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น โดย Janjai และ Hirunlabh (1993)..... 16

2.15 แสดงแผงโซลาร์เซลล์และพัดลมที่ติดตั้งเข้ากับเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลม 17

2.16 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม 18

2.17 แสดงส่วนประกอบของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์..... 18

2.18 แสดงส่วนประกอบของส่วนอบแห้งผลิตภัณฑ์..... 19

2.19 แสดงเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมที่ติดตั้งในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา .. 20

2.20 แสดงเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมที่พัฒนาขึ้นโดย Janjai et al. (1998)..... 21

2.21 แสดงเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมที่พัฒนาโดย Janjai et al. (1998)
และติดตั้งใช้งานที่กลุ่มแม่บ้านอำเภอกงไกรลาส จังหวัดสุโขทัย..... 21

2.22 แสดงเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมที่พัฒนาโดย Janjai et al. (1998)
และติดตั้งใช้งานที่กลุ่มแม่บ้านอำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง..... 22

2.23 แสดงเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมที่พัฒนาโดย Janjai et al. (1998) และติดตั้งใช้งาน
ที่โครงการสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี จังหวัดสกลนคร 22

2.24 แสดงเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมที่ใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตเป็นฉนวนโปร่งแสง.... 23

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ลิขสิทธิ์

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.25 แสดงภาพถ่ายเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลม
ที่ใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตเป็นฉนวนโปร่งแสง 24
3.1 แสดงลักษณะโครงด้านข้างของเครื่องอบแห้ง 26
3.2 แสดงเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมที่ออกแบบขึ้นใหม่ 26
3.3 แสดงภาพถ่ายเครื่องอบแห้งกับกรอบกระจกที่ออกแบบขึ้น 29
3.4 แสดงภาพถ่ายกรอบกระจกที่ออกแบบขึ้น 30
3.5 แสดงภาพถ่ายเครื่องอบแห้งกับกรอบกระจกที่ออกแบบขึ้นใหม่ 30
3.6 แสดงภาพถ่ายกรอบกระจกที่ออกแบบขึ้นใหม่ 31
3.7 แสดงภาพถ่ายการเคลื่อนย้ายกรอบกระจกถอดเข้าออกจากเครื่องอบแห้ง 31
3.8 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมที่ใช้กระจกปิดด้านบน 32
3.9 แสดงลักษณะรอยต่อของแผ่นกระจกใสแต่ละแผ่น 33
3.10 ภาพถ่ายลักษณะรอยต่อของแผ่นกระจกแต่ละแผ่นพร้อมกรอบอลูมิเนียมปิดด้านบน 33
3.11 แสดงโครงสร้างของแผ่นฉนวนด้านล่าง 34
3.12 แสดงภาพถ่ายลานทดลองพลังงานแสงอาทิตย์ของภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร 35
3.13 แสดงภาพถ่ายแผงโซลาร์เซลล์ที่ให้กำลังไฟฟ้ากับพัดลมดูดอากาศ 36
3.14 แสดงภาพถ่ายพัดลมดูดอากาศที่ติดตั้งกับเครื่องอบแห้ง 36
3.15 แสดงภาพถ่ายของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมที่สร้างขึ้น
ที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร 37
3.16 แสดงภาพถ่ายเครื่องบันทึกข้อมูล ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DC 100 39
3.17 แสดงภาพถ่ายสายเทอร์โมคอปเปิลชนิดเค 39
3.18 แสดงภาพถ่ายเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ E+E Elektronik รุ่น EE23 B 40
3.19 แสดงภาพถ่ายเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศแบบฮ๊อตไวร์ ยี่ห้อ Airflow รุ่น TA5 40
3.20 แสดงภาพถ่ายหัววัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ แบบเทอร์โมไพล์
รุ่น CM11 ของ Kipp&Zonen 41
3.21 แสดงภาพถ่ายเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Kern รุ่น 474-42 41
3.22 แสดงภาพถ่ายมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ Sunwa 42
3.23 แสดงภาพถ่ายแอมป์มิเตอร์ ยี่ห้อ Dagatron รุ่น 7203 42

มหาวิทยาลัยศิลปากร ลิขสิทธิ์

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.24 แสดงภาพถ่ายตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น ISOTEMP 43
3.25 แสดงภาพถ่ายเครื่องสำรองไฟฟ้า 43
3.26 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ 44
3.27 แสดงตำแหน่งของกล้วยตัวอย่าง 45
3.28 แสดงภาพถ่ายกล้วยน้ำว้าสุกที่ใช้ในการอบแห้ง 46
3.29 แสดงภาพถ่ายการปอกเปลือกกล้วยน้ำว้า 47
3.30 แสดงภาพถ่ายการนำกล้วยที่ปอกเปลือกแล้วมาเรียงในตะแกรงที่ใช้ในการอบแห้ง . 48
3.31 แสดงภาพถ่ายกล้วยที่อบอยู่ในส่วนอบแห้งของเครื่องอบแห้ง 48
3.32 แสดงภาพถ่ายการเก็บกล้วยเข้ากล่องพลาสติกเพื่อทำการหมักในช่วงกลางคืน 49
3.33 แสดงการเปรียบเทียบกล้วยอบแห้งในเครื่องอบแห้งกับกล้วยตากตามธรรมชาติ 50
3.34 กราฟแสดงการแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49 53
3.35 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49 53
3.36 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49 53
3.37 กราฟแสดงการแปรค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์
ระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49 54
3.38 กราฟแสดงการแปรค่าความต่างศักย์จากแผงโซลาร์เซลล์
ระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49 54
3.39 กราฟแสดงการแปรค่าความเร็วลมของพัดลมขณะดูดอากาศเข้าเครื่องอบ
ระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49 54
3.40 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณทางเข้าส่วนอบแห้ง
กลางส่วนอบแห้ง และบริเวณปลายส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49 55
3.41 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านจุดต่างๆของส่วนรับรังสี
ระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49 55
3.42 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านจุดต่างๆของส่วนอบแห้ง
ระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49 55
3.43 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลเข้าและออกจากส่วนอบแห้ง
ระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49 56

มหาวิทยาลัยศิลปากร ลิขสิทธิ์

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.44 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ
บริเวณทางเข้าส่วนอบแห้งระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49..... 56
3.45 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ
บริเวณกลางส่วนอบแห้งระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49..... 56
3.46 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ
บริเวณปลายส่วนอบแห้งระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49 57
3.47 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิตามระยะทางของเครื่องอบแห้ง ณ เวลา 13:00 น.
ระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49 57
3.48 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นของกล้วย ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องอบแห้ง
ระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49 58
3.49 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นของกล้วย ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณกลางส่วนอบแห้ง
ระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49 58
3.50 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นของกล้วยระหว่างวันที่ 4-8 ธ.ค. 49..... 58
3.51 กราฟแสดงการแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50 60
3.52 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50 60
3.53 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50 60
3.54 กราฟแสดงการแปรค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์
ระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50 61
3.55 กราฟแสดงการแปรค่าความต่างศักย์จากแผงโซลาร์เซลล์
ระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50 61
3.56 กราฟแสดงการแปรค่าความเร็วลมของพัดลมขณะดูดอากาศเข้าเครื่องอบ
ระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50 61
3.57 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณทางเข้าส่วนอบแห้ง กลาง
ส่วนอบแห้ง และบริเวณปลายส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50..... 62
3.58 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านจุดต่างๆของส่วนรับรังสี
ระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50 62
3.59 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านจุดต่างๆของส่วนอบแห้ง
ระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50 62

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.60 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลเข้าและออกจากส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50 63
3.61 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณทางเข้าส่วนอบแห้งระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50 63
3.62 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณกลางส่วนอบแห้งระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50..... 63
3.63 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณปลายส่วนอบแห้งระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50 64
3.64 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิตามระยะทางของเครื่องอบแห้ง ณ เวลา 13:00 น. ระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50 64
3.65 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นของกล้วย ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องอบแห้ง ระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50 65
3.66 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นของกล้วย ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณกลางส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50 65
3.67 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นของกล้วยระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50..... 65
3.68 กราฟแสดงการแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50 67
3.69 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50 67
3.70 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50 67
3.71 กราฟแสดงการแปรค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ ระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50 68
3.72 กราฟแสดงการแปรค่าความต่างศักย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50 68
3.73 กราฟแสดงการแปรค่าความเร็วลมของพัดลมขณะดูดอากาศเข้าเครื่องอบ ระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50 68
3.74 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณทางเข้าส่วนอบแห้ง กลางส่วนอบแห้ง และบริเวณปลายส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50..... 69
3.75 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านจุดต่างๆของส่วนรับรังสี ระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50 69

มหาวิทยาลัยศิลปากร ลิขสิทธิ์

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.76 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านจุดต่างๆของส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50 69
3.77 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลเข้าและออกจากส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50 70
3.78 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณทางเข้าส่วนอบแห้งระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50 70
3.79 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณกลางส่วนอบแห้งระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50..... 70
3.80 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณปลายส่วนอบแห้งระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50 71
3.81 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิตามระยะทางของเครื่องอบแห้ง ณ เวลา 13:00 น. ระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50 71
3.82 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นของกล้วย ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องอบแห้ง ระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50 72
3.83 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นของกล้วย ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณกลางส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50 72
3.84 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นของกล้วยระหว่างวันที่ 26 ก.พ. 50 – 1 มี.ค. 50..... 72
3.85 กราฟแสดงการแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50 74
3.86 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50 74
3.87 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50..... 74
3.88 กราฟแสดงการแปรค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ ระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50 75
3.89 กราฟแสดงการแปรค่าความต่างศักย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50 75
3.90 กราฟแสดงการแปรค่าความเร็วลมของพัดลมขณะดูดอากาศเข้าเครื่องอบ ระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50 75
3.91 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณทางเข้าส่วนอบแห้ง กลางส่วนอบแห้ง และบริเวณปลายส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50..... 76

มหาวิทยาลัยศิลปากร ลิขสิทธิ์

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.92 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านจุดต่างๆของส่วนรับรังสี ระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50 76

3.93 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านจุดต่างๆของส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50 76

3.94 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลเข้าและออกจากส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50 77

3.95 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณทางเข้าส่วนอบแห้งระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50..... 77

3.96 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณกลางส่วนอบแห้งระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50..... 77

3.97 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณปลายส่วนอบแห้งระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50 78

3.98 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิตามระยะทางของเครื่องอบแห้ง ณ เวลา 13:00 น. ระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50 78

3.99 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นของกล้วย ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องอบแห้ง ระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50 79

3.100 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นของกล้วย ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณกลางส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50 79

3.101 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นของกล้วยระหว่างวันที่ 23 – 26 มี.ค. 50..... 79

3.102 กราฟแสดงการแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50..... 81

3.103 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50 81

3.104 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50..... 81

3.105 กราฟแสดงการแปรค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ ระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50..... 82

3.106 กราฟแสดงการแปรค่าความต่างศักย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50..... 82

3.107 กราฟแสดงการแปรค่าความเร็วลมของพัดลมขณะดูดอากาศเข้าเครื่องอบ ระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50..... 82

มหาวิทยาลัยศิลปากร ลิขสิทธิ์

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.108 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณทางเข้าส่วนอบแห้ง กลางส่วนอบแห้ง และบริเวณปลายส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50 83
3.109 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านจุดต่างๆของส่วนรับรังสี ระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50..... 83
3.110 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านจุดต่างๆของส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50..... 83
3.111 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศที่ไหลเข้าและออกจากส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50..... 84
3.112 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณทางเข้าส่วนอบแห้งระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50 84
3.113 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณกลางส่วนอบแห้งระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50 84
3.114 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณปลายส่วนอบแห้งระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50..... 85
3.115 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิตามระยะทางของเครื่องอบแห้ง ณ เวลา 13:00 น. ระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50..... 85
3.116 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นของกล้วย ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องอบแห้ง ระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50..... 86
3.117 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นของกล้วย ณ ตำแหน่งต่างๆ บริเวณกลางส่วนอบแห้ง ระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50..... 86
3.118 กราฟแสดงการแปรค่าความชื้นของกล้วยระหว่างวันที่ 4 – 7 พ.ค. 50..... 86
4.1 แสดงการส่งผ่านความร้อนในปริมาตรควบคุมที่เกิดขึ้นในส่วนแผงรับรังสี ของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลม..... 88
4.2 แสดงการแบ่งองค์ประกอบของแผงรับรังสีออกเป็นส่วนย่อย ตามทิศทางการไหลของอากาศ..... 94
4.3 แสดงแผนภูมิขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับส่วนแผงรับรังสี 97
4.4 แสดงการถ่ายเทความร้อนและมวลภายในปริมาตรควบคุม ของส่วนตากแห้งผลิตภัณฑ์..... 98

มหาวิทยาลัยศิลปากร ลิขสิทธิ์

4.5 กราฟแสดงความชื้นสมดุลของกล้วยที่ได้จากการทดลอง 101
4.6 แสดงการแบ่งส่วนอบแห้งผลิตภัณฑ์ออกเป็นส่วนเล็ก 104
4.7 แสดงแผนภูมิขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์
สำหรับส่วนอบแห้งผลิตภัณฑ์..... 107
4.8 กราฟแสดงการแปรค่าอุณหภูมิอากาศบริเวณส่วนรับรังสีที่ได้จากแบบจำลอง
และจากผลการทดลองอบกล้วยระหว่างวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50..... 108
4.9 กราฟแสดงการคำนวณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งโดยอาศัยแบบจำลอง
เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดในช่วงวันที่ 30 ม.ค. 50 – 2 ก.พ. 50..... 109

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สัญลักษณ์

A	=	พื้นที่รับแสงของแผงโซลาร์เซลล์ [m^2]
A_c	=	พื้นที่รับแสงของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ [m^2]
c_b	=	ความร้อนจำเพาะของแผ่นดูดกลืนรังสี [kJ/kg-K]
c_c	=	ความร้อนจำเพาะของแผ่นคลุม [kJ/kg-K]
c_f	=	ความร้อนจำเพาะของอากาศ [kJ/kg-K]
c_p	=	ความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ [kJ/kg-K]
c_v	=	ความร้อนจำเพาะของไอน้ำ [kJ/kg-K]
c_w	=	ความร้อนจำเพาะของน้ำ [kJ/kg-K]
D	=	ระยะระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับแผ่นคลุม [m]
e	=	ประจุของอิเล็กตรอนมีค่า 1.61 x 10^{-19} C
E_{g0}	=	ช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำในโซลาร์เซลล์ที่ศูนย์องศาสัมบูรณ์ (eV)
G	=	อัตราการไหลจำเพาะของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง [kg/s-m^2]
H	=	ความชื้นของอากาศ [kg/kg]
$h_{c,b-f}$	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสีไปยังอากาศอบแห้ง [W/m^2-K]
$h_{c,c-f}$	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นคลุมไปยังอากาศอบแห้ง [W/m^2-K]
h_{fg}	=	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ [kJ/kg]
$h_{r,b-c}$	=	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจากแผ่นดูดกลืนรังสีไปยังแผ่นคลุม [W/m^2-K]
$h_{r,c-s}$	=	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจากแผ่นคลุมไปยังท้องฟ้า [W/m^2-K]
h_w	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลม [W/m^2-K]
I	=	กระแสไฟฟ้าสุทธิที่ไหลในวงจรสมมูลของโซลาร์เซลล์ [A]
I_m	=	กระแสไฟฟ้าที่ให้กับพัดลม [A]
I_{module}	=	กระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ [A]
I_{mp}	=	กระแสไฟฟ้าที่กำลังงานสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์ [A]
I_{ph}	=	กระแสไฟฟ้าเนื่องจากแสงของโซลาร์เซลล์ [A]
I_0	=	กระแสไฟฟ้าย้อนกลับอิ่มตัวของโซลาร์เซลล์ [A]
I_{sc}	=	กระแสไฟฟ้าลัดวงจรของโซลาร์เซลล์ [A]

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ลิขสิทธิ์

สัญลักษณ์ (ต่อ)

I_t	=	ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบระนาบแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ [W/m^2]
k	=	ค่าคงที่โบลต์ซมานน์ (Boltzmann's constant) [J/K]
k_m	=	ค่าคงที่ของมอเตอร์พัดลม [N-m/A)
K	=	ค่าคงที่ของพัดลม [$N-m/min^2$]
m_i	=	มวลเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ [kg]
$m_p(t)$	=	มวลของผลิตภัณฑ์ขณะเวลาใดๆ [kg]
m_s	=	มวลแห้งของผลิตภัณฑ์ [kg]
m_w	=	ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผลิตภัณฑ์ [kg]
$\dot{m}$	=	อัตราการไหลของอากาศ [kg/hr]
M	=	ความชื้นของผลิตภัณฑ์ [%]
M_d	=	ความชื้นฐานแห้ง [kg/kg]
M_e	=	ความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ [%]
M_i	=	ความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ [%]
M_f	=	ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ [%]
M_w	=	ความชื้นฐานเปียก [kg/kg]
M(t)	=	ความชื้นขณะเวลาใดๆ [%]
n	=	อัตราการหมุนของใบพัดของพัดลม [rpm]
N_p	=	จำนวนโซลาร์เซลล์ที่ต่อขนานกันในแผงเซลล์
N_s	=	จำนวนโซลาร์เซลล์ที่ต่ออนุกรมกันในแผงเซลล์
$P_{v,sur}$	=	ความดันของไอน้ำที่ผิววัตถุ [Pa]
P_v	=	ความดันไอน้ำในอากาศ [Pa]
Q_u	=	พลังงานที่ได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ [J]
S	=	พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ [W/m^2-day]
rh	=	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ [%]
rh_e	=	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขณะที่เกิดสมดุล [%]
R_a	=	ความต้านทานของมอเตอร์ไฟฟ้าของพัดลม [Ω]

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ลิขสิทธิ์

สัญลักษณ์ (ต่อ)

R_p = ความต้านทานขนานของโซลาร์เซลล์ [Ω]

R_s = ความต้านทานอนุกรมของโซลาร์เซลล์ [Ω]

t = เวลา [hr]

T = อุณหภูมิเซลล์ [K]

T_a = อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม [K]

T_b = อุณหภูมิของแผ่นดูดกลืนรังสี [K]

T_c = อุณหภูมิของแผ่นคลุม [K]

$T_{D,i}$ = อุณหภูมิของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องอบ [^oC]

$T_{D,o}$ = อุณหภูมิของอากาศที่ไหลออกจากเครื่องอบ [^oC]

T_f = อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง [K]

$T_{f,o}$ = อุณหภูมิของอากาศที่ไหลออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ [^oC]

$T_{f,i}$ = อุณหภูมิของอากาศที่ไหลเข้าแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ [^oC]

มหาวิทยาลัยศิลปากร ลิขสิทธิ์

T_{pv} = อุณหภูมิของโซลาร์เซลล์ [K]

U_b = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านล่างของแผ่นฉนวน [W/m^2-K]

U_{pv} = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านล่างของแผงโซลาร์เซลล์ [W/m^2-K]

V = ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากโซลาร์เซลล์ [volt]

V_m = ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับพัดลม [volt]

V_{mp} = ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่กำลังงานสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์ [volt]

V_{module} = ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ [volt]

V_{oc} = ความต่างศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดของแผงโซลาร์เซลล์ [volt]

W = ความกว้างของเครื่องอบแห้ง [m]

X = ระยะทางใดๆ ตามทิศทางการไหลของอากาศในเครื่องอบแห้ง [m]

สัญลักษณ์ (ต่อ)

α = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของแผ่นดูดกลืน [decimal]

α_c = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของแผ่นคลุม [decimal]

α_p = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของผลิตภัณฑ์ [decimal]

δ_b = ความหนาของแผ่นดูดกลืนรังสี [m]

δ_c = ความหนาของแผ่นคลุม [m]

ρ_b = ความหนาแน่นของแผ่นดูดกลืนรังสี [kg/m^3]

ρ_c = ความหนาแน่นของแผ่นคลุม [kg/m^3]

ρ_f = ความหนาแน่นของอากาศ [kg/m^3]

$\rho_{s,p}$ = ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของผลิตภัณฑ์แห้ง [kg_{solid}/m^2]

τ = สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ของแผ่นคลุม [decimal]

τ_b = ทอร์คของใบพัดของพัดลมระบายอากาศ [N-m]

τ_m = ทอร์คของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [N-m]

มหาวิทยาลัยศิลปากร ลิขสิทธิ์

ε = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ช่องว่างอากาศกับพื้นที่อบแห้ง [decimal]

μ = สัมประสิทธิ์การลดลงของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ [%/K]

μ_{sc} = สัมประสิทธิ์การลดลงของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ [A/K]

η = ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ [%]

ω_m = อัตราเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ไฟฟ้า [rad/s]