ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

Thermal Efficiency of Solar Tunnel Dryer

นาย นคร อินทรวรรณ รหัสนิสิต 50361293

นาย วัชระ เณรรอด รหัสนิสิต 50362252

นาย อังกูร แก้วเจริญ รหัสนิสิต 50363006

วิทยทรัพยากร วิศวกรรมศาสตร์

วันที่รับ 20 มิ.ย. 2554

เลขทะเบียน 1550384X

เลขเรียกหนังสือ ส.

มหาวิทยาลัยนเรศวร 41142 2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553

1550384X

ส.

41142

2553

ใบรับรองโครงงาน

หัวข้อโครงงาน : ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

ผู้ดำเนินโครงงาน : นาย นคร อินทรวรรณ รหัสนิสิต 50361293
นาย วัชระ เฉรรอด รหัสนิสิต 50362252
นาย อังกูร แก้วเจริญ รหัสนิสิต 50363006

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร. มัทนี สงวนเสริมศรี

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ดร. อนันต์ พงศ์ธรกุลพานิช

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2553

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติโครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการ

มัทนี สงวนเสริมศรี ..... ประธานกรรมการ
(รศ.ดร. มัทนี สงวนเสริมศรี)

..... กรรมการ
(ดร. อนันต์ พงศ์ธรกุลพานิช)

..... กรรมการ
(ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

..... กรรมการ
(อาจารย์ นินนาท ราชประดิษฐ์)

หัวข้อโครงงาน : ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

ผู้ดำเนินโครงงาน : นาย นคร อินทรวรรณ รหัสนิสิต 50361293
นาย วัชระ เณรรอด รหัสนิสิต 50362252
นาย อังกูร แก้วเจริญ รหัสนิสิต 50363006

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร. มัทนี สงวนเสริมศรี

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ดร. อนันต์ พงศ์ธรกุลพานิช

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2553

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและอัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร เครื่องอบแห้งที่ใช้ทดลองประกอบด้วยชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบซึ่งประกอบด้วย กระจกใสหนา 3 mm แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ทำจากอลูมิเนียมทาด้วยสีดำหนา 1 mm ฉนวนกันความร้อนทำจากโฟมหนา 30 mm มีพื้นที่รับรังสีเท่ากับ 6,090 cm^2 และชุดตู้อบแห้งซึ่งมีห้องอบแห้งทำจากอลูมิเนียม ด้านบนปิดด้วยแผ่นกระจกใส ภายในมีถาดอลูมิเนียม 4 ถาดสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์ มีพื้นที่ในการอบแห้งทั้งหมดเท่ากับ 5,850 cm^2 ระหว่างชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์และชุดตู้อบแห้งมีพัดลมดูดอากาศจำนวน 3 ตัว และมีฮีทเตอร์ขนาด 500 W 2 ตัว

จากการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศคงที่เท่ากับ 0.0167kg/s และมีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่ 613.3W/m^2 ชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ในช่วง 47.2%-58.3% (เฉลี่ย 51.85%) และอากาศไหลที่เข้าสู่บริเวณชุดตู้อบแห้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเฉลี่ย 12.45°C โดยอุณหภูมิสูงสุด ณ ตำแหน่งกลางตู้อบแห้งเท่ากับ 51.25°C เมื่อทำการทดลองอบกล้วยน้ำว้า 6.84 kg ความชื้นเริ่มต้นที่ 222.6 %(d.b.) เป็นเวลา 5 วัน วันละ 9 ชั่วโมง พบว่ากล้วยน้ำว้ามีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 31.1 %(d.b.) คิดเป็นอัตราการอบแห้งเฉลี่ย 4.2%(d.b.)/hr โดยมีอัตราการอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 11.9%(d.b.)/hr เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวมเท่ากับ 7.69% ลักษณะรูปร่าง สี และรสชาติของกล้วยน้ำว้าหลังจากการอบแห้งนั้น มีลักษณะไม่ต่างจากกล้วยตากที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด โดยค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อหน่วยมวลของน้ำที่ถูกระเหยสำหรับการอบแห้งกล้วยน้ำว้าเท่ากับ 4.07 บาทต่อกิโลกรัม

Project Title : Thermal Efficiency of Solar Tunnel Dryer

Name : Mr. Nakhon Intarawan Student ID 50361293

Mr. Watchara Nenrod Student ID 50362252

Mr. Anggoon Kaewcharoen Student ID 50363006

Project Adviser : Assoc. Prof. Dr. Mathanee Sanguansermsri

Project Co-Advisor : Dr. Anan Pongtornkulpanich

Department : Mechanical Engineering

Academic Year : 2010

.....

Abstract

This research project aims to determine the thermal efficiency and drying rate of solar tunnel dryer, which is located at School of Renewable Energy Technology, Nareasuan University, Thailand. The solar tunnel dryer mainly consists of 2 subsystems: solar collector system which heating air is provided by flat plate collector type and tunnel drying system. The components of collector system are a glass cover of 3 mm thickness, blackened aluminum absorber of 1 mm thickness, insulation material made from foam of 30 mm thicknesses and collector area of 6,090 cm^2. The rest subsystem is tunnel dryer, which is built from aluminum and glass cover on top. Four aluminum trays, total area of 5,850 cm^2, are designed inside of dryer for placing drying material. Three inducing fans and two 500 Watts heaters are also installed between the solar collector system and tunnel dryer.

From experiment of solar tunnel dryer, controlled air flow rate of 0.0167kg/s and average solar radiation of 613.3W/m^2, the results show the thermal efficiency of flat plate collector ranging from 47.2% to 58.3% with average of 51.85%. In addition, average rising temperature of heating air within dryer is 12.45°C with maximum temperature obtained at midpoint of dryer is 51.25°C. For testing of drying banana for 5 days with 9 hours for each day, total weight of 6.84 kg, initial moisture content of 222.6 %(d.b.), the result shows final moisture of 31.1 %(d.b.) and maximum drying rate of 11.9 %(d.b.) per hour with average of 4.2 %(d.b.) per hr. The overall thermal efficiency of the solar tunnel dryer is 7.69%. For comparing quality of dried banana and commercial dried banana, it is found that shape, color and flavor of both types of dried banana are

quite the same. The ratio of energy cost to mass of evaporated water for drying banana with the solar tunnel dryer is 4.07 baht per kg.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากในด้านการให้ความรู้และคำแนะนำในการทำโครงงานจาก รศ.ดร.มัทนี สงวนเสริมศรี และ ดร.อนันต์ พงศ์ธรกุลพานิช ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และคอยให้คำปรึกษาแก่ผู้ดำเนินโครงงานตลอดมา ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.พิสิษฎ์ มณีโชติ .นายบงกช ประสิทธิ์ นายรัฐพร เงินมีศรี และบุคลากรของวิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่กรุณาให้ความร่วมมือ และให้ความช่วยเหลือในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อใช้ในการทำโครงงานนี้ให้สำเร็จไปด้วยดี

นาย นคร อินทรวรรณ

นาย วัชระ เฉรรอด

นาย อังกูร แก้วเจริญ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
สารบัญแผนภูมิ	ฐ
สารบัญสัญลักษณ์	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน	2
1.6 งบประมาณ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์	3
2.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ (Solar Tunnel Dryer)	3
2.3 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่ใช้ในการทดลอง	
2.3.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์	7
2.3.2 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์	9
2.4 ความต้องการของลูกค้าและมาตรฐานของกล้วยตาก	
2.4.1 คุณลักษณะทางกายภาพ	12
2.4.2 คุณลักษณะทางเคมี	12
2.4.3 คุณลักษณะทางชีวภาพ	12

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5 ทฤษฎีการอบแห้ง

2.5.1 อัตราการอบแห้ง 13

2.6 สมการที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การคำนวณพลังงานที่ของไหลได้รับจากการดูดกลืนของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 14

2.6.2 การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 15

2.6.3 การคำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง 15

2.6.4 การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง 15

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16

บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน

การทดลองที่ 1 20

การทดลองที่ 2 21

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 ผลการทดลองเมื่อไม่มีภาระ 23

4.2 ผลการทดลองอบกล้วยน้ำว้า

4.2.1 แผนภูมิผลการทดลองอบกล้วยน้ำว้า 27

4.2.2 ผลการสังเกตทางด้านลักษณะของกล้วยที่อบจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ 31

4.2.3 การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ 32

4.3 วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ 32

บทที่ 5 บทสรุป

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 33

5.2 ข้อเสนอแนะ 34

บรรณานุกรม 35

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก รูปและแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่ใช้ในการทดลอง 38

ภาคผนวก ก แบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่ใช้ในการทดลอง 39

ภาคผนวก ก การหาเปอร์เซ็นต์รูเปิดของถาดวางผลิตภัณฑ์ 42

ภาคผนวก ข รูปการทดลองและการเก็บข้อมูล 44

ภาคผนวก ข รูปการอบกล้วยตัวอย่างด้วยตู้อบแบบ Hot air oven 48

ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนชั่วขณะใดขณะหนึ่ง 50

ภาคผนวก ค ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ 51

ภาคผนวก ค ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เทียบกับพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์อย่างเดียว 51

ภาคผนวก ค ความชื้นมาตรฐานแห้งของกล้วย 52

ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณอัตราการระเหยของน้ำและอัตราการอบแห้ง 54

ภาคผนวก ง ความเร็วอากาศที่ไหลเข้าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ 57

ภาคผนวก ง ข้อมูลสภาวะจากการเปิดเครื่องโดยไม่มีผลิตภัณฑ์อยู่ในตู้อบแห้ง 58

ภาคผนวก ง ข้อมูลสภาวะในการอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ 59

ภาคผนวก ง ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยที่ตากโดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ 64

ภาคผนวก ง ข้อมูลน้ำหนักกล้วยรวมในแต่ละวันของการอบแห้ง 72

ภาคผนวก ง ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตากด้วยแสงอาทิตย์โดยตรง 74

ภาคผนวก ง ข้อมูลน้ำหนักกล้วยรวมในแต่ละวันของการตากแห้ง 76

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน 78

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน 2

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดส่วนประกอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่ใช้ในการทดลอง 8

ตาราง ง.1 ความเร็วอากาศที่ไหลเข้าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ 57

ตาราง ง.2 ข้อมูลสภาวะจากการเปิดเครื่องโดยไม่มีผลิตภัณฑ์อยู่ในตู้อบแห้ง วันที่ 25 มกราคม 2554 58

ตาราง ง.3 ข้อมูลสภาวะในการอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2554 59

ตาราง ง.4 ข้อมูลสภาวะในการอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ วันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2554 60

ตาราง ง.5 ข้อมูลสภาวะในการอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554 61

ตาราง ง.6 ข้อมูลสภาวะในการอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2554 62

ตาราง ง.7 ข้อมูลสภาวะในการอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2554 63

ตาราง ง.8 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2554 64

ตาราง ง.9 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2554 65

ตาราง ง.10 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554 67

ตาราง ง.11 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2554 68

ตาราง ง.12 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2554 70

ตาราง ง.13 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนอบและหลังอบ วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2554 72

ตาราง ง.14 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนอบและหลังอบ วันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2554 72

ตาราง ง.15 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนอบและหลังอบ วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554 72

ตาราง ง.16 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนอบและหลังอบ วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2554 73

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตาราง ง.17 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนอบและหลังอบ วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2554 73

ตาราง ง.18 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2554 74

ตาราง ง.19 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2554 74

ตาราง ง.20 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554 75

ตาราง ง.21 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2554 75

ตาราง ง.22 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2554 76

ตาราง ง.23 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนตากและหลังตาก วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2554 76

ตาราง ง.24 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนตากและหลังตาก วันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2554 76

ตาราง ง.25 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนตากและหลังตาก วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554 76

ตาราง ง.26 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนตากและหลังตาก วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2554 77

ตาราง ง.27 ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนตากและหลังตาก วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2554 77

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์โดยตรง 4
รูปที่ 2.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกแบบมีแผงโซล่าเซลล์ 5
รูปที่ 2.3 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลังคาจั่ว 5
รูปที่ 2.4 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์แบบมีชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 5
รูปที่ 2.5 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่ใช้ในการทดลอง 7
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบที่ใช้ในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ 8
รูปที่ 2.7 ส่วนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ 9
รูปที่ 2.8 ส่วนตู้อบแห้งและถาดวางผลิตภัณฑ์ 10
รูปที่ 2.9 ทิศทางการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 11
รูปที่ 2.10 รูปแสดงการระเหยความชื้นจากผิวผลิตภัณฑ์สู่อากาศภายนอก 13
รูปที่ 2.11 รูปแสดงการระเหยความชื้นจากเนื้อในของผลิตภัณฑ์สู่ผิวผลิตภัณฑ์ 14
รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ 19
รูปที่ 1 (ผก) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ 38
รูปที่ 2 (ผก) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์และอุโมงค์อบแห้ง 38
รูปที่ 3 (ผก) มุมมองจากด้านหน้าของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ 39
รูปที่ 4 (ผก) มุมมองจากด้านบนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ 39
รูปที่ 5 (ผก) มุมมองจากด้านข้างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ 40
รูปที่ 6 (ผก) มุมมองจากด้านหน้าของถาดบรรจุผลิตภัณฑ์อบแห้ง 40
รูปที่ 7 (ผก) มุมมองจากด้านบนของถาดบรรจุผลิตภัณฑ์อบแห้ง 41
รูปที่ 8 (ผก) มุมมองจากด้านบนของแบบชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 41
รูปที่ 9 (ผก) มุมมองจากด้านหน้าของแบบชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 42
รูปที่ 1 (ผข) การติดตั้งเครื่องมือวัดเพื่อเก็บข้อมูล 44
รูปที่ 2 (ผข) กล้วยก่อนการอบแห้งในเครื่องอบแห้งและกล้วยก่อนตากนอกเครื่องอบแห้ง วันที่ 1 45
รูปที่ 3 (ผข) กล้วยหลังการอบแห้งในเครื่องอบแห้งและกล้วยหลังตากนอกเครื่องอบแห้ง วันที่ 1 45

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4 (ผข) กล้วยหลังการอบแห้งในเครื่องอบแห้งและกล้วยหลังตากนอกเครื่องอบแห้ง วันที่ 2 45

รูปที่ 5 (ผข) กล้วยหลังการอบแห้งในเครื่องอบแห้งและกล้วยหลังตากนอกเครื่องอบแห้ง วันที่ 3 46

รูปที่ 6 (ผข) กล้วยหลังการอบแห้งในเครื่องอบแห้งและกล้วยหลังตากนอกเครื่องอบแห้ง วันที่ 4 46

รูปที่ 7 (ผข) กล้วยหลังการอบแห้งในเครื่องอบแห้งและกล้วยหลังตากนอกเครื่องอบแห้ง วันที่ 5 46

รูปที่ 8 (ผข) การเก็บกล้วยหลังการอบในแต่ละวันเพื่อทำการอบในวันถัดไป 47

รูปที่ 9 (ผข) การชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่างและน้ำหนักรวมในแต่ละวัน 47

รูปที่ 10 (ผข) การอบกล้วยตัวอย่างด้วยตู้อบแบบ Hot air oven 48

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 4.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาในวันที่ 25 มกราคม 2554 23

แผนภูมิที่ 4.2 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีอาทิตย์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา ในวันที่ 25 มกราคม 2554 24

แผนภูมิที่ 4.3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ความแตกต่างของอุณหภูมิ เทียบกับความเข้มรังสีอาทิตย์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบบอุโมงค์ในวันที่ 25 มกราคม 2554 25

แผนภูมิที่ 4.4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ของอากาศในแต่ละช่วงเวลาในวันที่ 25 มกราคม 2554 26

แผนภูมิที่ 4.5 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของมวลน้ำที่ระเหยออกไประหว่างการอบแห้ง และการตากแห้งในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างวันที่ 8 - 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554 27

แผนภูมิที่ 4.6 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของความชื้นมาตรฐานแห้งเทียบกับระยะเวลา ในการอบแห้งและการตากแห้ง ระหว่างวันที่ 8 - 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554 28

แผนภูมิที่ 4.7 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งเทียบกับ ความชื้นมาตรฐานแห้งในขณะนั้น ระหว่างวันที่ 8 - 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554 29

แผนภูมิที่ 4.8 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักกล้วยในตำแหน่งต่างๆ ระหว่างการอบเทียบกับเวลาในการอบ 30

แผนภูมิที่ 4.9 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ในแต่ละช่วงเวลา ในวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554 31

สารบัญสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่	m^2
c_p	ค่าความร้อนจำเพาะของของไหล	J/kg.K
d	มวลผลิตภัณฑ์แห้ง	g
G_t	ความเข้มรังสีอาทิตย์	W/m^2
h_{fg}	ค่าเอนทาลปีระหว่างการระเหยเป็นไอ	J/kg
$MC_{d.b.}$	ความชื้นมาตรฐานแห้ง	-
$MC_{w.b.}$	ความชื้นมาตรฐานเปียก	-
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล	kg/s
Q_u	พลังงานความร้อนที่นำไปในระบบ	W
$T_{f,i}$	อุณหภูมิของของไหลที่ทางเข้า	^oC
$T_{f,o}$	อุณหภูมิของของไหลที่ทางออก	^oC
w	มวลผลิตภัณฑ์เปียก	g
η	ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง	-
η_c	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์	-

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในการเก็บเกี่ยวผลิตผลทางการเกษตร หลังการเก็บเกี่ยวจะพบว่าผลผลิตมีความชื้นสูง ซึ่งความชื้นนี้มีผลให้ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวมาเสียหาย ก่อนที่จะทำไปขายหรือนำไปแปรรูปได้

การอบแห้ง เป็นกระบวนการหนึ่งของเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว รักษาคุณภาพของผลิตผล และยังช่วยในการเพิ่มมูลค่าของผลิตผลอีกด้วย แต่การอบแห้งยังมีค่าใช้จ่ายที่สูงอยู่ เนื่องมาจากค่าใช้จ่ายพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นพลังงานทางเลือกที่จะนำมาใช้ในการอบแห้ง เนื่องจากเป็นพลังงานธรรมชาติ และเป็นพลังงานสะอาด และยังช่วยลดต้นทุนในการอบแห้งผลิตผลได้อีกด้วย จึงมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งในรูปแบบต่างๆ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหลักในการอบแห้ง

ทาง วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จึงได้ออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ภายใต้โครงการส่งเสริมเผยแพร่เทคโนโลยีเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรแบบครบวงจรขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ให้แก่ชุมชนเพื่อใช้อบแห้งผลิตผลทางการเกษตร ทางคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน และอัตราการอบแห้ง ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ดังกล่าว เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงวิชาการที่จำเป็นในการศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้ให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น อันจะส่งผลให้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อทดลองประสิทธิภาพเชิงความร้อนและอัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ทำการทดลอง เก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยใช้วัสดุในการทดลองคือกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อง น้ำหนักประมาณ 7 กิโลกรัม ทำการอบแห้งเพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายที่ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง เพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน และ

อัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์นี้ โดยมีการบังคับการไหลของอากาศให้ไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ด้วยพัดลมดูดอากาศ และไม่ใช้แหล่งความร้อนเสริม

1.4 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน

กิจกรรม	2553							2554	
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. หาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พร้อมศึกษาทฤษฎี									
2. เตรียมการทดลอง									
3. ดำเนินการทดลองโดยการอบกล้วยด้วยเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์									
4. ดำเนินการวิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง									
5. จัดทำปริญญานิพนธ์									

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน

1.5.1 ทราบถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

1.5.2 นำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ต่อไปได้

1.5.3 เป็นส่วนหนึ่งของส่งเสริมให้เกิดการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรต่อไป

1.6 งบประมาณ

ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน	1,000 บาท
ค่าเอกสาร	500 บาท
ค่าจัดทำรูปเล่มโครงงาน	1,500 บาท
รวมทั้งสิ้น	3,000 บาท

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีมานานแล้วและในปัจจุบันก็ยังนิยมใช้กันอยู่ กล่าวคือผลิตผลส่วนใหญ่จะถูกทำให้แห้งโดยวิธีการตากแดด เวลาที่ใช้ในการตากขึ้นอยู่กับชนิด ความชื้นของผลิตผล และสภาพอากาศ

แม้ว่าการตากแดดจะได้ผลดี แต่ในบางครั้งก็ประสบปัญหาผลิตผลเปียกชื้น ไม่สามารถทำให้แห้งได้ทันเวลา ทำให้ผลิตผลเสียหาย เช่น มีเชื้อรา ปัญหาผลิตผลเปียกมักเกิดในช่วงฤดูฝน ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์นั้นเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ทำให้เกิดมลภาวะ แต่การที่เราจะดึงพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้นั้น ต้องมีการลงทุนสร้างอุปกรณ์ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทั่วไปแล้วจะแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อให้ความร้อนแก่อากาศเพื่อนำไปอบแห้งผลิตผล และส่วนที่เป็นตู้อบแห้งซึ่งไว้ใส่ผลิตผลที่ต้องการอบแห้ง [1]

การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์สามารถแบ่งตามลักษณะการไหลได้เป็น 2 แบบคือ

1) แบบการไหลของอากาศแบบธรรมชาติ (Natural convection) ซึ่งจะเกิดการไหลเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นอากาศภายในและภายนอกเครื่อง

2) แบบการไหลของอากาศแบบบังคับ (Force convection) โดยใช้พัดลมสร้างความแตกต่างของความดันให้แก่อากาศเพื่อบังคับการไหลให้เป็นไปตามต้องการ

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองจะเป็นเครื่องอบแห้งที่มีการไหลอากาศแบบบังคับ โดยจะมีการติดตั้ง พัดลมเพื่อดูดอากาศเข้ามา ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบบังคับจะมีค่าที่สูงกว่าเครื่องอบแห้งที่มีการไหลแบบธรรมชาติ เนื่องจากจะสามารถควบคุมปริมาณการไหลของอากาศได้ แต่การไหลแบบธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีอาทิตย์ โดยหากค่ารังสีต่ำการไหลของอากาศก็จะต่ำไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าน้อยตามไปด้วย

2.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ (Solar Tunnel Dryer)

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ จะทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยอาศัยหลักการ เปลี่ยนพลังงานจากรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน ซึ่งความร้อนจะถูกอากาศพาไปสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ในช่วงตู้อบแห้ง ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมา และผ่าน

ออกไปทางช่องระบายอากาศของตู้อบ มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์แห้ง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์แบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลักๆต่อไปนี้

1) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์แบบรับความร้อนจากรังสีอาทิตย์โดยตรง

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์แบบรับความร้อนจากรังสีอาทิตย์โดยตรง โดยรังสีอาทิตย์จะผ่านหลังคากระจกให้รังสีผ่านไปตกกระทบพื้นโลหะและเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานความร้อน ทำให้ภายในตู้อบแห้งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในตู้ระเหยน้ำได้เร็วขึ้น การติดตั้งพัดลมที่ตู้ปลายด้านหนึ่งและเจาะช่องอากาศออกของตู้อีกปลายหนึ่ง จากรูปที่ 2.1 จะมีโซล่าเซลล์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้แก่พัดลมดูดอากาศ ซึ่งสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อีกวิธีหนึ่ง

รูปที่ 2.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์โดยตรง [2]

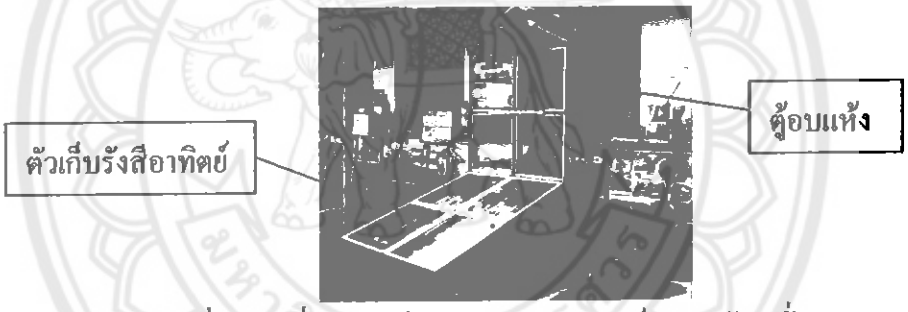
2) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก

เครื่องอบแห้งชนิดนี้จะใช้หลักการเรือนกระจก (Greenhouse effect) กล่าวคือเมื่อรังสีอาทิตย์ส่งผ่านกระจกหรือพลาสติกใสเข้าไปภายใน จะถูกผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบ ภายในเรือนกระจกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน วัสดุภายในเรือนกระจกจะแผ่รังสีอินฟาเรดออกมา แต่ไม่สามารถออกมาภายนอกเรือนกระจกได้ ทำให้อุณหภูมิในเรือนกระจกสูงขึ้นและถ่ายเทความร้อนให้แก่ผลิตภัณฑ์ โดยมีพัดลมระบายอากาศอยู่ข้างบนเพื่อระบายอากาศที่มีความชื้นออกสู่บรรยากาศภายนอก [3] จากรูปที่ 2.2 จะมีการใช้พลังงานจากโซล่าเซลล์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลมดูดอากาศ

รูปที่ 2.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกแบบมีแผงโซล่าเซลล์ [4]

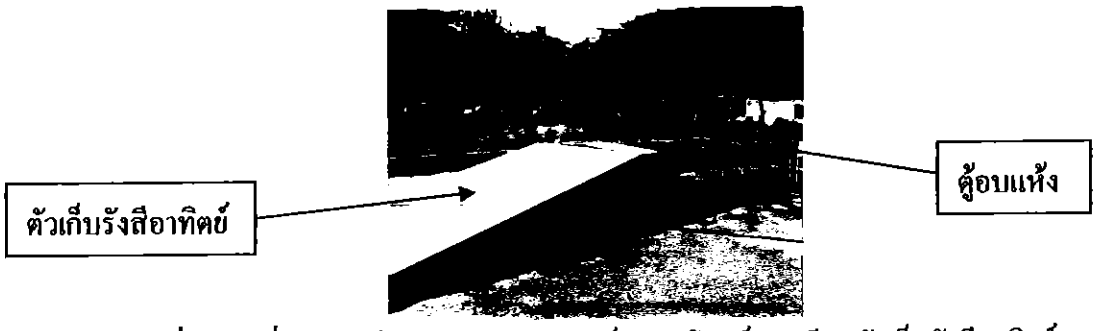
3) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลังคาจั่ว จะมีส่วนที่เป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่อากาศที่ไหลผ่าน โดยจะมีพัดลมดูดอากาศติดตั้งที่ทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เพื่อนำไปใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในส่วนของตู้อบแห้ง แล้วอากาศที่ผ่านการดูดความชื้นจากผลิตภัณฑ์แล้ว จะถูกระบายออกที่ปล่องด้านบน



รูปที่ 2.3 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลังคาจั่ว [5]

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ จะอาศัยการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่อากาศที่ถูกดูดเข้ามาด้วยพัดลมดูดอากาศ ด้วยส่วนตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิแก่อากาศ แล้วนำอากาศที่ได้รับการเพิ่มอุณหภูมิแล้วไปผ่านผลิตภัณฑ์ในส่วนตู้อบเพื่อลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ แล้วระบายออกทางด้านท้ายของเครื่องอบแห้ง



รูปที่ 2.4 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์แบบมีชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ นิยมใช้ในการอบผลผลิตทางการเกษตร เช่น พืชผักและผลไม้ เนื่องจาก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งจะมีคุณลักษณะที่ดี ต้นทุนในการผลิตต่ำ เพราะใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจัดเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สะอาดและไม่มีค่าใช้จ่าย รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อม ข้อดีของการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ มีหลายประการ สรุปเป็นข้อๆ ได้ดังต่อไปนี้

1) ได้ผลิตภัณฑ์สีสวย สม่ำเสมอ และไม่มีการสูญเสียผลิตภัณฑ์มาก

2) สะอาดเพราะสามารถป้องกันสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น แมลง นก และฝุ่นละออง เป็นต้น

3) ป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และเชื้อราที่เป็นพิษได้

4) ใช้เวลาน้อยกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ

5) สามารถเก็บรักษาได้นาน หลังจากที่มีการอบแห้งแล้ว

6) เพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์

7) การดำเนินงานใช้ต้นทุนน้อย

8) ประหยัดแรงงาน

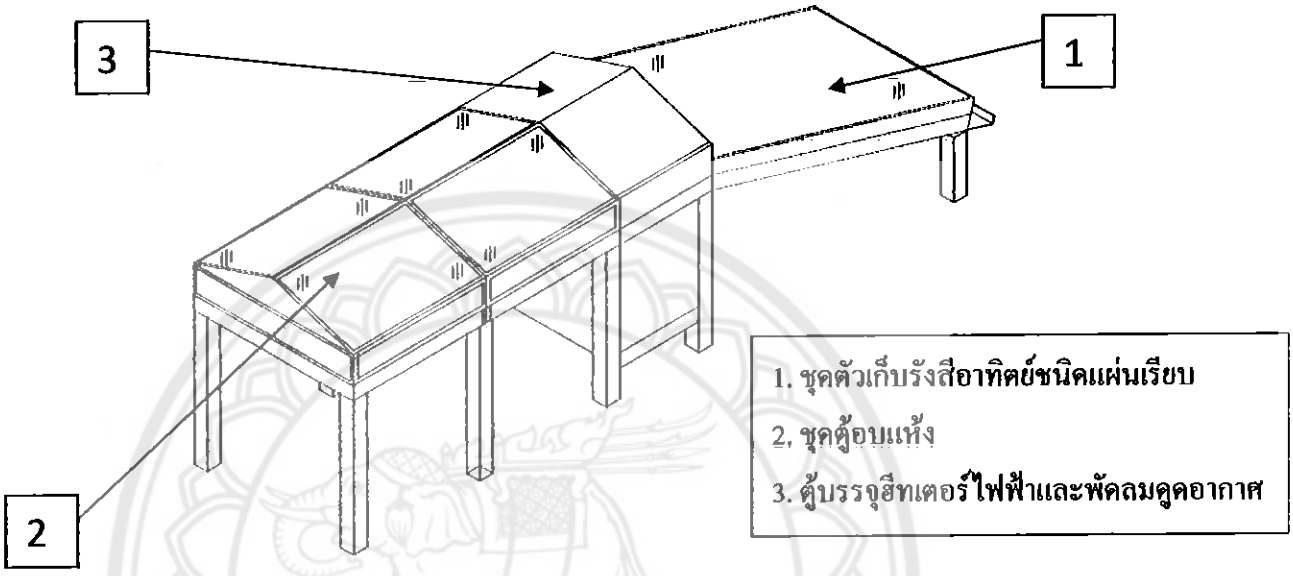
9) สามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็กได้

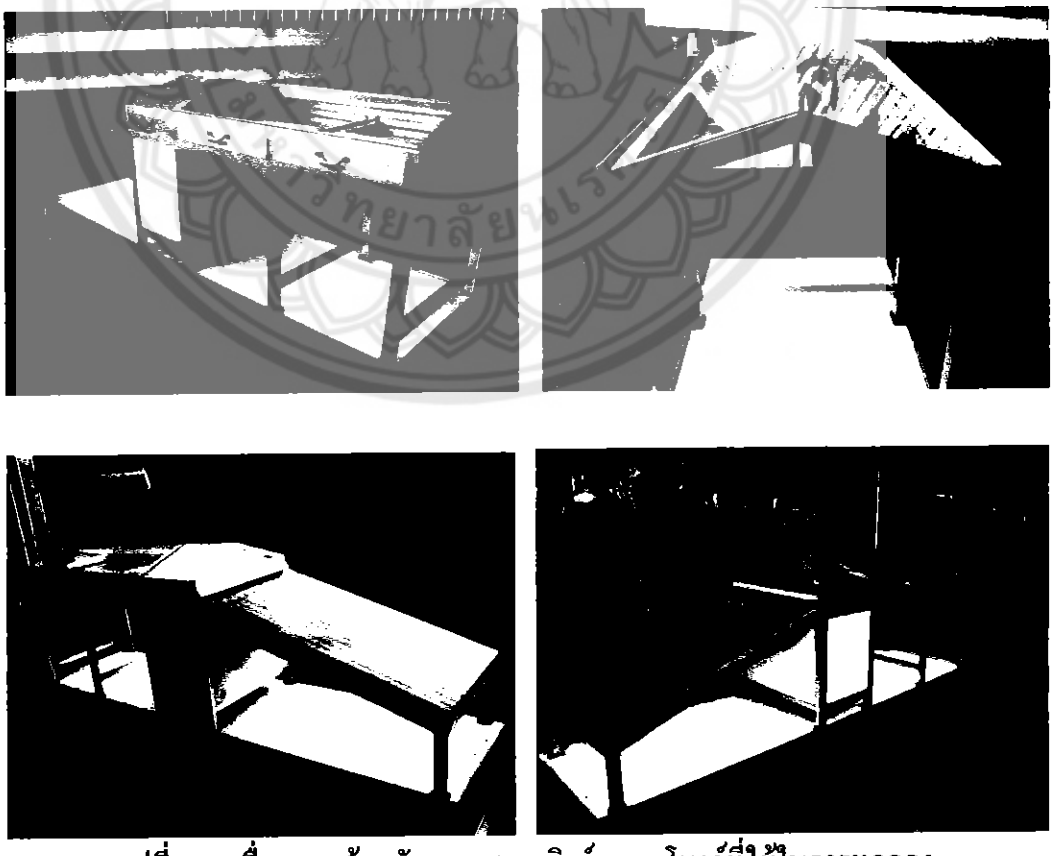
10) เป็นเครื่องมือที่มีการติดตั้งง่าย และสามารถที่จะดูแลรักษาความสะอาดได้ง่ายด้วย

2.3 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่ใช้ในการทดลอง

2.3.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์สามารถแบ่งได้ 3 ส่วน แสดงได้ตามรูปที่ 2.6 ดังนี้





รูปที่ 2.5 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่ใช้ในการทดลอง

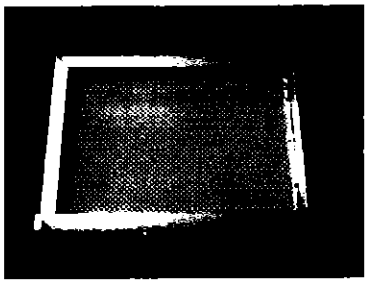
ตารางที่ 2.1 รายละเอียดส่วนประกอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนประกอบ	ขนาด
ชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ - กระจกใสหนา 3mm - ฉนวนโฟมหนา 30 mm - แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เป็นอลูมิเนียมทาสีดำ	1025mm × 600mm
ชุดตู้อบแห้งผลิตภัณฑ์ - ถาดสำหรับวางผลิตภัณฑ์ 4 ถาด 220mm × 386mm ขอบสูง 45 mm ต่อ 1 ถาด มีเปอร์เซ็นต์รูเปิดเท่ากับ 5.6 % - ฮีทเตอร์ไฟฟ้า : INFRARAPA A-2-500 220/230V 500W จำนวน 2 ตัว - พัดลมดูดอากาศ : MITSUMI AC 220V 50/60Hz จำนวน 3 ตัว	1275mm × 600mm 975mm × 600mm 1000 W

รายละเอียดเพิ่มเติมของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ แสดงในภาคผนวก ก

(ก) พัดลมดูดอากาศ

(ข) ฮีทเตอร์ไฟฟ้า



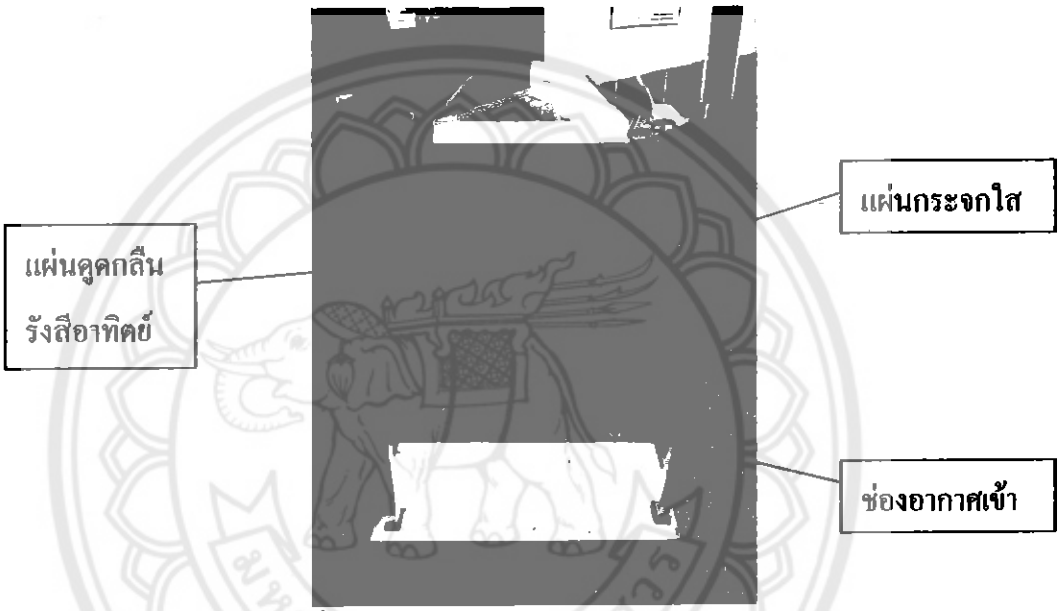
(ค) ถาดวางผลิตภัณฑ์

รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบที่ใช้ในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

2.3.2 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่ใช้ในการทดลอง จะมีชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศที่ไหนผ่านชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และไหลเข้าสู่ชุดตู้อบแห้งเพื่อดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ รายละเอียดและหน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบ มีดังต่อไปนี้

1. ส่วนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิแก่อากาศที่ไหลผ่าน เพื่อนำอากาศไปใช้ในการอบแห้ง



รูปที่ 2.7 ส่วนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

รายละเอียดและหน้าที่ของส่วนประกอบที่แสดงในรูปที่ 2.7 มีดังต่อไปนี้

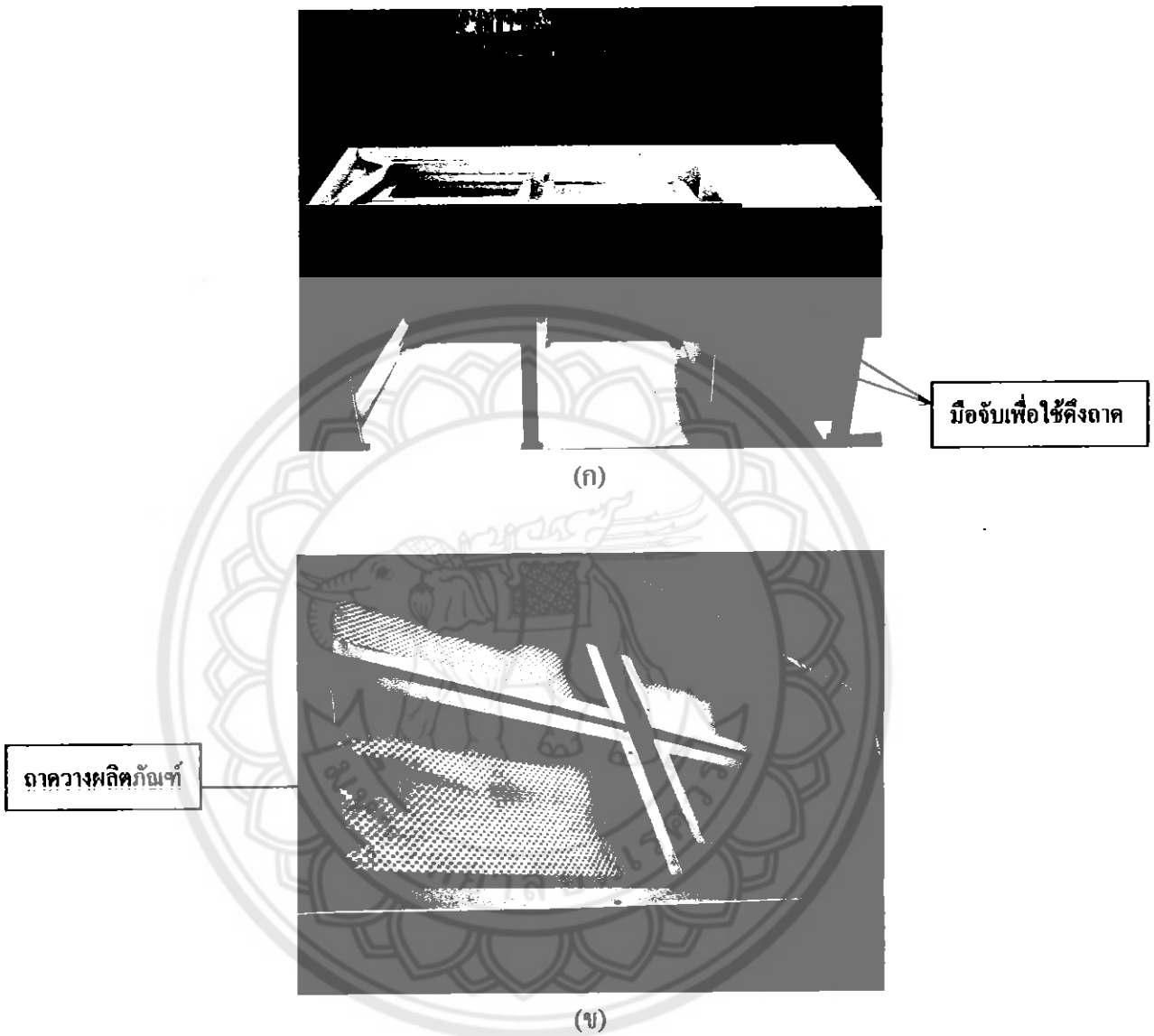
- แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ วัสดุเป็นอลูมิเนียมลอนเล็กทาสีดำ หนา 1 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอาทิตย์โดยเปลี่ยนพลังงานจากรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนเพิ่มอุณหภูมิแก่อากาศที่ไหลผ่าน

- แผ่นกระจกปิดบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เป็นกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ช่วยลดการสูญเสียความร้อนอันเนื่องมาจากการพาความร้อน และลดการสะท้อนกลับของรังสีอาทิตย์ ทั้งยังช่วยลดความเสียหายของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จากการชะล้างของน้ำฝน

- ฉนวนความร้อน วัสดุเป็นโฟมขาวหนา 30 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์

- กรอบนอกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ วัสดุเป็นอลูมิเนียม ทำหน้าที่ช่วยป้องกันฝุ่น ความชื้น หรือสิ่งต่างๆที่มีผลกระทบต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์

2. ส่วนชุดตู้อบแห้ง นำผลิตภัณฑ์มาวางเพื่อให้อากาศที่ผ่านการเพิ่มอุณหภูมิโดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ มาผ่านผลิตภัณฑ์เพื่อดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์



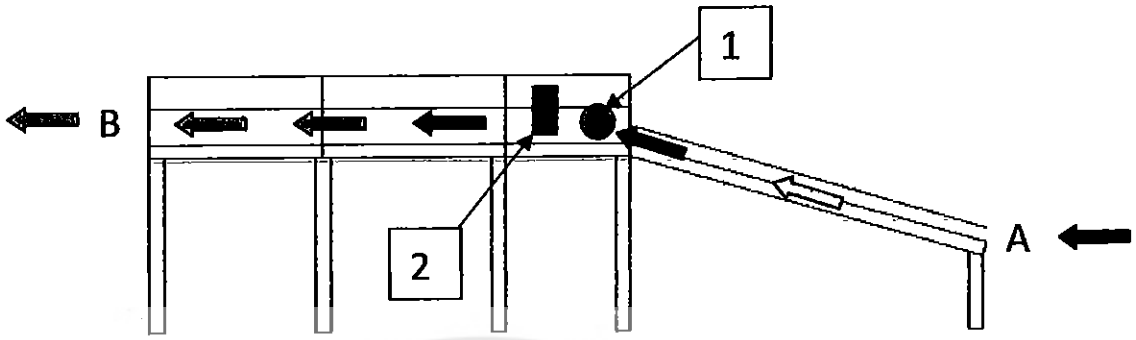
รูปที่ 2.8 ส่วนตู้อบแห้งและถาดวางผลิตภัณฑ์

รายละเอียดและหน้าที่ของส่วนประกอบที่แสดงในรูปที่ 2.8 มีดังต่อไปนี้

- แผ่นกระจกปิดบน เป็นกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ในการเพิ่มความร้อนโดยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบที่ผิวกระจกจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่อากาศภายในตู้อบแห้งได้ อีกทั้งช่วยป้องกันผลิตภัณฑ์ภายในจากน้ำฝน

- ถาดสำหรับวางผลิตภัณฑ์ ทำมาจากอลูมิเนียม ทำหน้าที่เป็นที่บรรจุผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาอบแห้ง ซึ่งพื้นวางทำมาจากตะแกรงอลูมิเนียมที่มีเปอร์เซ็นต์รูเปิด 5.6% โดยรูเปิดจะช่วยในการ

ระบายน้ำที่ไหลออกจากผลิตภัณฑ์ไม่ให้เกิดการขังในถาด และมีมือจับเพื่อใช้ในการดึงถาดได้สะดวก



รูปที่ 2.9 ทิศทางการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

⬅ คือ อากาศที่ถูกดูดจากจุด A เข้าสู่ส่วนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่อากาศ ก่อนที่จะนำไปใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์

⬅ คือ อากาศที่ได้รับการเพิ่มอุณหภูมิโดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แล้ว นำไปผ่านผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้งเพื่อลดความชื้น แล้วไหลออกที่จุด B

1. ตำแหน่งพัดลมดูดอากาศ
2. ตำแหน่งฮีทเตอร์ไฟฟ้า

2.4 ความต้องการของลูกค้าและมาตรฐานของกล้วยตาก

คุณลักษณะและคุณภาพของกล้วยตากที่ผู้บริโภคต้องการและเป็นไปตามมาตรฐานอาหารปลอดภัย [6] มีดังนี้

2.4.1 คุณลักษณะทางกายภาพ พบว่าลักษณะของกล้วยตากที่ผู้บริโภคต้องการ คือ

1) มีสีน้ำตาลทอง สีเข้มไม่เหนียวติดมือ

2) รูปร่างสม่ำเสมอ ไม่เหี่ยว ไม่เบี้ยว ไม่มีรอยด่าง

3) กล้วยไม่สุกงอม รสหวานธรรมชาติ

4) กลิ่นหอมของกล้วยธรรมชาติ กลิ่นน้ำผึ้ง

5) เหนียวนุ่ม ไม่แข็งมาก ไม่ติดฟัน ชุ่มฉ่ำ

6) รสไม่ฝาด ลูกใหญ่

7) บรรจุภัณฑ์ดูสวยงาม มีตรางค์การอาหารและยา และมีโลโก้ยี่ห้อ

2.4.2 คุณลักษณะทางเคมี พบว่ากระบวนการผลิตกล้วยตากที่ได้มาตรฐาน ได้แก่

1) ต้องมีค่า aw หรือ water activity คือปริมาณปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ไม่มากกว่า 0.75 [7]

2) ส่วนใหญ่มีน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคสเป็นองค์ประกอบ และมีน้ำตาลซูโครสเล็กน้อย โดยมีน้ำตาลทั้งหมด 51.77 - 58.73 กรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง

3) ค่าความเป็นกรด (pH) โดยส่วนใหญ่ คือ 4.60-4.85

2.4.3 คุณลักษณะทางชีวภาพ ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ได้แก่

1) จำนวนจุลินทรีย์ ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^3 โคโลนี ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

2) เชื้อแบคทีเรีย เอสเชอริเชีย โคไล โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

3) เชื้อแบคทีเรีย สตาฟิโลค็อกคัส ออเรียส ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม

ยีสต์และรา ต้องไม่เกิน100 โคโลนี ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

2.5 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้น โดยส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยใช้อาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย โดยปกติจะใช้ความชื้นเป็นตัวบงบอกปริมาณของน้ำที่อยู่ในวัสดุ [8] ซึ่งสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis moisture content) คือ อัตราส่วนมวลของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อมวลผลิตภัณฑ์ชื้น โดยมีสมการดังนี้

$$MC_{w.b.} = \frac{w-d}{w} \times 100 \quad (1)$$

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis moisture content) คือ อัตราส่วนมวลของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อมวลผลิตภัณฑ์แห้ง โดยมีสมการดังนี้

$$MC_{d.b.} = \frac{w-d}{d} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ $MC_{w.b.}$ คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก

$MC_{d.b.}$ คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

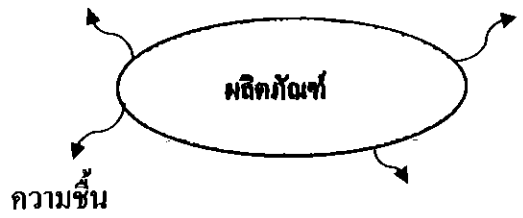
w คือ มวลเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์, กรัม

d คือ มวลผลิตภัณฑ์แห้ง, กรัม

2.5.1 อัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้ง คือ อัตราเร็วหรือความสามารถในการระเหยของน้ำต่อหน่วยเวลาในระหว่างการอบแห้ง โดยทั่วไปการอบแห้งวัสดุสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ

1. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ซึ่งปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าสูงกว่าความชื้นวิกฤติ (Critical moisture content) โดยความชื้นวิกฤติ คือค่าความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุ ณ เวลาที่อัตราเร็วในการอบแห้งเริ่มลด นับเป็นจุดสุดท้ายของ อัตราการอบแห้งคงที่ การอบแห้งต่อจากนี้ไป จะมีอัตราการระเหยต่ำลงเรื่อยๆ[9] เมื่อความชื้นที่ผิวของวัสดุมีน้ำอยู่จำนวนมาก เมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุ ช่วงนี้อุณหภูมิผิวของวัสดุอบแห้งและอัตราการอบแห้งจะมีค่าคงที่ [8]



รูปที่ 2.10 รูปแสดงการระเหยความชื้นจากผิวผลิตภัณฑ์สู่อากาศภายนอก

2. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤติ เมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในเนื้อวัสดุมาที่ผิวของวัสดุในลักษณะของเหลวหรือไอน้ำและน้ำที่ผิวจึงจะระเหยไปกับอากาศ [8]

รูปที่ 2.11 รูปแสดงการระเหยความชื้นจากเนื้อในของผลิตภัณฑ์สู่ผิวผลิตภัณฑ์

2.6 สมการที่เกี่ยวข้อง

พลังงานที่นำมาใช้ในการเพิ่มความร้อน ได้มาจากการเก็บรังสีความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์ที่ตัว ดูดกลืนรังสี ถ่ายเทให้กับของไหลที่ไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์พลังงานส่วนที่นำไปใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่อากาศ จะไม่ได้เต็มร้อยเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการสะท้อนกลับของรังสีและการสูญเสียความร้อนในรูปแบบต่างๆตัวในเครื่องเก็บรังสีอาทิตย์เอง

2.6.1 การคำนวณพลังงานที่ของไหลได้รับจากการดูดกลืนของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน ปริมาณพลังงานที่ ถูกดูดกลืน จะเท่ากับ พลังงานที่ถูกนำไปให้ความร้อนกับของไหลรวมด้วยพลังงานที่สูญเสียในรูปแบบต่างๆ

$$E_{in} = E_{use} + E_{out} \tag{3}$$

โดยที่ E_{in} คือ พลังงานที่เข้าสู่ระบบ, W

E_{use} คือ พลังงานที่ถูกนำไปใช้โดยระบบ, W

E_{out} คือ พลังงานที่สูญเสียออกจากระบบ, W

พลังงานที่ถูกดูดกลืนโดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ คำนวณได้จาก

$$E_{in} = Q_{in} = G_t A_c \tag{4}$$

โดยที่ G_t คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกลงบนชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์, W/m^2

A_c คือ พื้นที่รับรังสีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์, m^2

พลังงานที่ถูกนำไปเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ของไหลคำนวณได้จาก

$$E_u = Q_u = \dot{m} c_p \left(T_{f,o} - T_{f,i}\right) \tag{5}$$

โดยที่ Q_u คือ พลังงานความร้อนที่นำไปในระบบ , W

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล, kg/s

c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของของไหล, J/kg.K

$T_{f,i}$ คือ อุณหภูมิของของไหลที่ทางเข้า, °C

$T_{f,o}$ คือ อุณหภูมิของของไหลที่ทางออก, °C

2.6.2 การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ คือ สัดส่วนระหว่างพลังงานที่นำไปใช้ในระบบต่อพลังงานที่เข้าสู่ระบบ โดยพลังงานที่นำไปใช้ในระบบคือพลังงานที่นำไปใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ของไหล และพลังงานที่เข้าสู่ระบบคือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\eta_c = \frac{\dot{m}c_p\left(T_{f,o} - T_{f,i}\right)}{G_t A_c} \tag{6}$$

2.6.3 การคำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

การนำความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ต้องอาศัยหลักการดึงความชื้นโดยให้พลังงานความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ เพื่อบังคับให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมา พลังงานความร้อนที่ใช้จะมีค่าเท่ากับมวลของน้ำที่ระเหยคูณด้วยค่าผลต่างของเอนทาลปีในขณะที่น้ำกำลังเปลี่ยนสถานะไปเป็นไอ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$Q_u = \dot{m}h_{fg} \tag{7}$$

โดย Q_u คือ พลังงานที่ใช้ในการดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์, W

$\dot{m}$ คือ อัตราการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์, kg/s

h_{fg} คือ ค่าเอนทาลปีระหว่างการเปลี่ยนเฟสของน้ำจากของเหลวไปเป็นไอ, J/kg

2.6.4 การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง

ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง เป็นสัดส่วนระหว่างพลังงานความร้อนที่นำไปใช้ในการดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ต่อพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นที่เครื่องอบแห้งทั้งหมด สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{in}} = \frac{\dot{m}h_{fg}}{G_t A} \tag{8}$$

โดย A คือ พื้นที่รับแสงทั้งหมดของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์, m^2

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คำนึง วาทโยธา [10] ได้ทำการอบกล้วยด้วยเครื่องอบจำลองรูปแบบการทำงานของเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับสายพานลำเลียง โดยในการทดลองใช้กล้วยน้ำว้าปอกเปลือกเป็นผลิตภัณฑ์ โดยใช้อุณหภูมิในการอบที่ 60°C ตลอดการอบ พบว่าคุณภาพของกล้วยหลังการอบไม่แตกต่างจากการใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ธีระชัย ไชยศิริ และคณะ [11] ทำการทดลองอบกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พบว่าสามารถอบกล้วยน้ำว้าจากความชื้นเริ่มต้น 230 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ให้เหลือความชื้นประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง โดยใช้เวลา 3 วัน และสีของกล้วยจะเข้มกว่ากล้วยที่ตากโดยใช้วิธีธรรมชาติ โดยเครื่องอบแห้งนี้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณ 9.2%

สุขฤดี นาถกรณกุล และคณะ [12] ได้ทำการศึกษาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแก๊สชีวภาพ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงาน โดยใช้พัดลมกำหนดอัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง พบว่า ในกรณีการอบกล้วยน้ำว้าจำนวน 150-200 กิโลกรัม สามารถอบกล้วยจากความชื้นเริ่มต้นมาตรฐานแห้ง 2.3 ให้เหลือความชื้นสุดท้ายมาตรฐานแห้ง 0.5 ภายในเวลา 4-5 วัน และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ได้สูงสุดถึง 42.8%

สุวรรณ วิรัชกุล และคณะ [13] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งโดยใช้แสงแดดกับการใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะอยู่ระหว่าง 47°C-72°C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกตู้อบซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 39.5°C-43°C การใช้ตู้อบจึงสามารถทำแห้งได้ดีกว่าและรวดเร็วกว่าการตากแห้ง โดยมีคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่าด้วย

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และคณะ [14] ได้ทำการอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยมีการพาความร้อนแบบธรรมชาติ พบว่าสามารถดึงความชื้นออกจากกล้วยได้ 16 กิโลกรัม จากน้ำหนักกล้วยก่อนอบ 25 กิโลกรัม ภายในเวลา 6-7 วัน (57 ชั่วโมง) โดยมีอุณหภูมิในตู้อบแห้งอยู่ที่ 43°C

Tawon Usub และคณะ [15] ได้ทำการอบดักแด้ไหมด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ พบว่าสามารถอบดักแด้ไหมน้ำหนัก 28 กิโลกรัม โดยบังคับให้มีอากาศไหลผ่าน 0.3 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที สามารถอบดักแด้ไหมให้มีความชื้นสุดท้าย 20 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จากความชื้นเริ่มต้น 370.1 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ภายในเวลา 568 นาที ซึ่งเทียบกับการตากแห้งจะใช้เวลา 1320 นาที หากต้องการความชื้นสุดท้ายเท่ากัน

วีระวุฒิ ลิ้มตระกูล [16] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งกล้วยในแบบต่าง ๆ โดยทำการทดลองเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบตู้โดย อากาศไหลเวียนตามธรรมชาติ, เครื่องอบแห้งแบบตู้โดยอากาศ ไหลเวียนตามธรรมชาติและใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิงและเครื่อง อบแห้งแสงอาทิตย์

แบบตู้โดยอากาศไหลเวียนแบบบังคับ เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบตู้โดยบังคับ การไหลของอากาศช่วงเวลา 9.00 น.-16.00 น. มีพื้นที่รับแสงอาทิตย์ 23.1 m^2 พบว่าการอบแห้ง แบบหมุนเวียนใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ยงวดละ 5 วัน เป็นเวลา 44 ชั่วโมง จะสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนทั้งสิ้น 14.9 MJ/kg water evaporated และมีประสิทธิภาพกฎข้อที่หนึ่งของระบบ อบแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบบตู้โดยบังคับการไหลของอากาศเฉลี่ย เท่ากับ 15.8%

มานพ อัสโย [17] ได้ทำการศึกษาการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเครื่องอบแห้งแบบผสม ซึ่งประกอบด้วยตู้อบแห้งซึ่ง มีพื้นที่รับรังสี 12m^2 และตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ มีกระจกหนึ่งชั้น ซึ่งมีพื้นที่รับรังสี 31.7m^2 รวมพื้นที่ รับรังสี 43.7m^2 การไหลของอากาศเป็นแบบบังคับโดยมีโบล์วเออร์ดูดอากาศตรงทางออกของตัวรับรังสี จากการทดลองอบกล้วยน้ำว้า โดยมีปริมาณกล้วยสดสูงสุด 643 kg จากการทดลองประสิทธิภาพของตัวรับรังสี ระหว่างเวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. ที่ความเข้มแสงอาทิตย์รวม 250 - 990W/m^2 อัตราการไหลของอากาศ 0.33kg/s อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม 26°C-35°C ผลปรากฏว่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีมีค่าเฉลี่ย 28%

จากผลงานวิจัยข้างต้น พบว่าสามารถใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์สำหรับการอบกล้วยให้ได้ความชื้นที่ต้องการ ภายในระยะเวลาเฉลี่ย 3-5 วัน อุณหภูมิในตู้อบแห้งประมาณ 40°C-60°C ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบประมาณ 30-45% และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประมาณ 10-15% โดยความสามารถในการอบแห้งอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยของการอบแห้ง เช่น ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และ สภาพแวดล้อมต่างๆ ในแต่ละสถานที่อีกด้วย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

การทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์นั้น จะทำการแบ่งการทดลองออกเป็นดังนี้

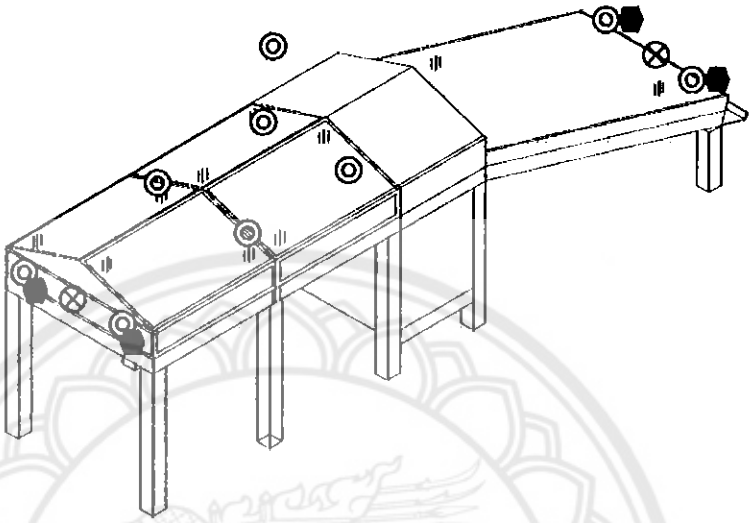
1) ทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ภายในตู้อบแห้ง เพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และการกระจายอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง

2) ทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์โดยมีกล้วยน้ำว้าน้ำหนักประมาณ 7 กิโลกรัม เป็นผลิตภัณฑ์ภายในตู้อบแห้ง เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ในการทดลองครั้งนี้จำเป็นต้องมีการจำกัดขอบเขตของการทดลองและค่าตัวแปรต่างๆ โดยในการวิเคราะห์ทางทฤษฎี เพื่อประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ซึ่งมีข้อสมมุติฐานดังนี้

1. เป็นการวิเคราะห์สำหรับสภาวะสม่ำเสมอ
2. ไม่มีการดูดกลืนของรังสีอาทิตย์ในแผ่นใส
3. การไหลของความร้อนในแผ่นปิดใสเป็นไปในทิศทางเดียว
4. การไหลของความร้อนของฉนวนเป็นไปในทิศทางเดียว
5. การสูญเสียความร้อนด้านหน้าและด้านหลังของตัวเก็บรังสีคิดเทียบอุณหภูมิสภาวะแวดล้อม เดียวกัน
6. ไม่มีฝุ่นละอองและความสกปรกบนตัวเก็บรังสี

การทดลองนี้จะทำการวัดหาค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อนำมาหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยทำการติดตั้งเครื่องมือวัดดังรูปต่อไปนี้



◎ คือ ตำแหน่งวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

● คือ ตำแหน่งวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก

⊗ คือ ตำแหน่งวัดความเร็วอากาศ

รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

การทดลองที่ 1 ทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ภายในตู้อบแห้ง เพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และการกระจายอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลม เพื่อทำให้เกิดการไหลของอากาศ

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

1. อุปกรณ์วัดรังสีอาทิตย์ แบบ Reference cell
2. Data Recorder ยี่ห้อ GRAPHTEC รุ่น GL800
3. สาย Thermocouple Type T
4. อุปกรณ์วัดความเร็วอากาศแบบ Hot Wire

ข้อมูลที่จำเป็นในการใช้วิเคราะห์

- พื้นที่รับรังสีอาทิตย์
- ขนาดพื้นที่ด้านตัดขวางของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
- ความเร็วอากาศเพื่อนำมาหาอัตราการไหลภายในเครื่องอบแห้ง
- อุณหภูมิทางเข้า ทางออก ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง
- อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม
- ความเข้มรังสีอาทิตย์

ขั้นตอนการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

1. ทดลองกลางแจ้ง ที่มีแสงแดด
2. ติดตั้งเครื่องมือวัด
3. เปิดพัดลมดูดอากาศทั้ง 3 ตัว

4. บันทึกข้อมูลอุณหภูมิทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิทางออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งตามจุดต่างๆ (ดังรูปที่ 3.1) ความเข้มรังสีอาทิตย์ และ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ทุกๆ 30 นาที โดยทำการบันทึกข้อมูลตั้งแต่เวลา 8.00 น. – 17.00 น. เป็นเวลา 9 ชั่วโมง

การทดลองที่ 2 ทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยมีกล้วยน้ำว้าน้ำหนักประมาณ 7 กิโลกรัม เป็นผลิตภัณฑ์ภายในตู้อบแห้ง เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลม เพื่อทำให้เกิดการไหลของอากาศ

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

1. อุปกรณ์วัดรังสีอาทิตย์ แบบ Reference cell
2. Data Recorder ยี่ห้อ GRAPHTEC รุ่น GL800
3. สาย Thermocouple Type T
4. อุปกรณ์วัดความเร็วอากาศแบบ Hot Wire
5. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล METTLER TOLEDO PL303
6. Hot Air Oven ยี่ห้อ Memmert

ข้อมูลที่จำเป็นในการใช้วิเคราะห์

- พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์
- ขนาดพื้นที่ด้านตัดขวางของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
- ความเร็วอากาศเพื่อนำมาหาอัตราการไหลภายในเครื่องอบแห้ง
- อุณหภูมิทางเข้า ทางออก ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง
- อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาวะแวดล้อม
- ความเข้มรังสีอาทิตย์
- น้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อน และหลังอบแห้ง

ขั้นตอนการเตรียมกล้วย

นำกล้วยน้ำว้าที่ใกล้สุกมาบ่มโดยการใช้ผ้าห่มคลุมเป็นเวลา 2-3 วัน

ขั้นตอนการทดลอง

1. ปลอกเปลือกกล้วยน้ำว้าแล้วนำไปเรียงในถาดทั้ง 4 สำหรับการอบในเครื่อง และเรียงบนตะแกรงที่เตรียมไว้สำหรับการตากกล้วยแบบธรรมดา

2. นำกล้วยแต่ละถาดและที่จะใช้ตากในตะแกรงไปชั่งน้ำหนัก ชั่งน้ำหนักถุงที่จะใช้บรรจุกล้วยน้ำว้าบันทึกผล

3. สุ่มกล้วยตัวอย่าง 3 ลูกทำการชั่งน้ำหนัก และหั่นกล้วยแต่ละลูกเป็นชิ้นบางๆใส่ในถ้วยแก้ว 3 ใบแล้วนำเข้าไปอบเพื่อหาความชื้นมาหาความชื้นมาตรฐานเปียก และความชื้นมาตรฐานแห้งก่อนอบ โดยใช้ตู้อบแบบ Hot air oven ใช้ระยะเวลาในการอบ 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 103°C

4. กำหนดกล้วยตัวอย่าง โดยการปักหมุดสี จำนวน 5 กลุ่มตัวอย่าง แต่ละกลุ่มจะมี 3 ตัวอย่าง โดยการแบ่ง 4 ตัวอย่างแรกเป็นกลุ่มของกล้วยที่อยู่ในถาดทั้ง 4 ถาดในเครื่องอบแห้ง ส่วนอีก 1 ตัวอย่างเป็นกล้วยที่ตากบนตะแกรงธรรมดาที่อยู่นอกเครื่องอบแห้ง

5. ทดลองกลางแจ้ง ที่มีแสงแดด

6. ติดตั้งเครื่องมือวัด ดังการทดลองที่ 1

7. ทำการเปิดพัดลมดูดอากาศทั้ง 3 ตัว

8. บันทึกข้อมูลอุณหภูมิทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิทางออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งตามจุดต่างๆ (ดังรูปที่ 3.1) ความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ทุกๆ 30 นาที โดยทำการบันทึกข้อมูลตั้งแต่เวลา 8.00 น. – 17.00 น. เป็นเวลา 9 ชั่วโมง

9. บันทึกน้ำหนักกล้วยตัวอย่างทั้ง 5 กลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้ในข้างต้น ทุกๆ 1 ชั่วโมงของการอบแห้ง

10. เมื่อทำการอบแห้งกล้วยเสร็จในแต่ละวันจะทำการชั่งน้ำหนักกล้วยหลังอบทุกครั้ง โดยการเก็บใส่ถุงพลาสติกแล้วปิดปากถุง เพื่อป้องกันความชื้นย้อนกลับสู่กล้วยอีกและก่อนนำกล้วยมาอบในวันที่ 2 และ 3 จะทำการชั่งน้ำหนักกล้วยก่อนอบทุกครั้ง

11. ทำการอบแห้งกล้วย โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 5 วัน โดยในวันที่ 2-5 จะต้องชั่งน้ำหนักของถุงที่ใช้บรรจุกล้วย และทุกๆครั้งหลังการอบกล้วยในแต่ล่ะวันจะต้องทำการเปลี่ยนถุงที่ใช้บรรจุกล้วย และทำการบันทึกข้อมูลตามข้อ 8 9 และ 10

12. เมื่อเสร็จสิ้นการอบแห้ง สุ่มตัวอย่างกล้วยที่ผ่านการอบแห้งประมาณ 5 วันแล้วมา 3 ลูก ชั่งน้ำหนัก หั่นเป็นชิ้นๆใส่ถ้วยแก้ว 3 ใบ และถ้วยแก้วอีก 1 ใบจะใส่กล้วยตากที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาดเพื่อมาหาความชื้นมาตรฐานเปียก และความชื้นมาตรฐานแห้งหลังการอบ โดยใช้ตู้อบแบบ Hot air oven ใช้ระยะเวลาในการอบ 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 103°C ในการอบแห้งกล้วยตัวอย่าง

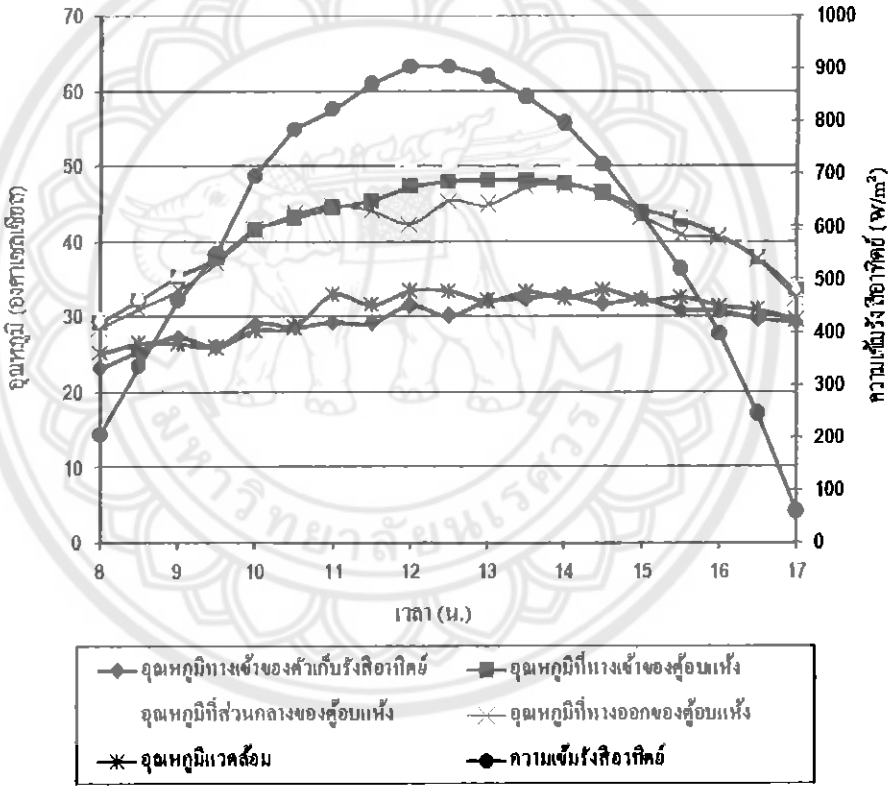
13. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และการกระจายอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์

การทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์นั้น แบ่งผลการทดลองเป็น 2 ส่วนดังนี้

4.1 ผลการทดลองเมื่อไม่มีภาระ

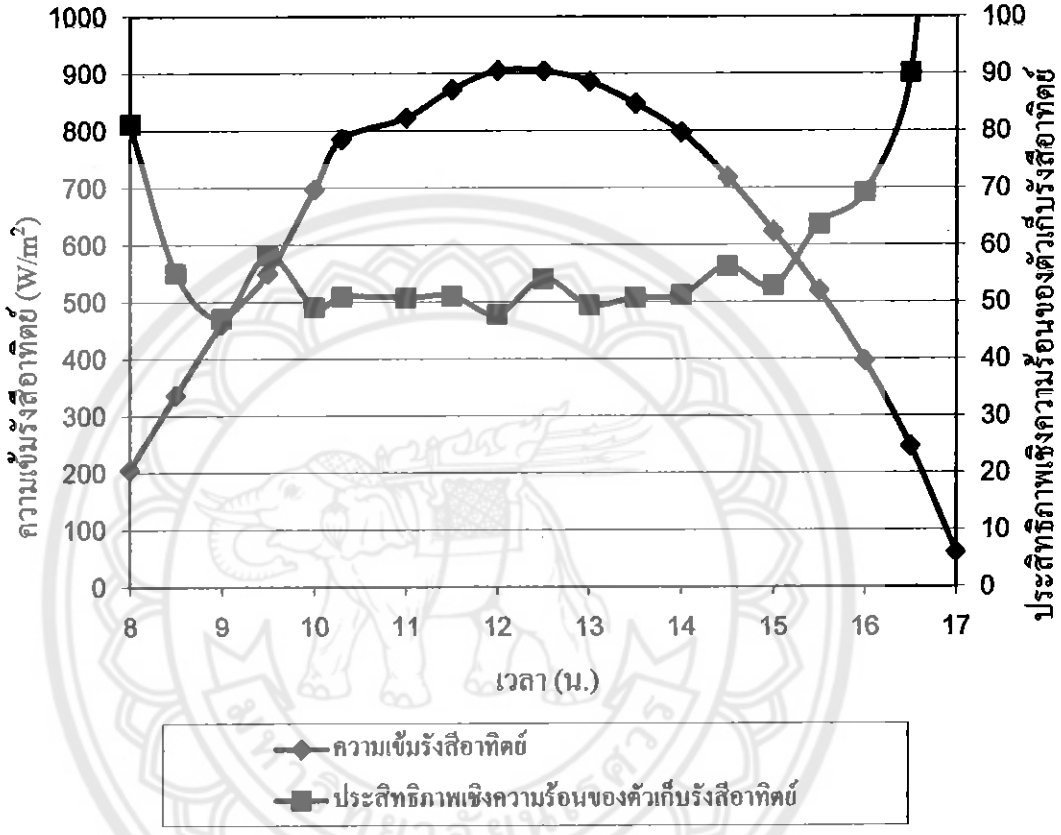
ในการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ภายในตู้อบแห้ง ในวันที่ 25 มกราคม พ.ศ.2554 เวลา 08.00 น. ถึง 17.00 น. สภาพอากาศมีเมฆเป็นบางส่วน อากาศเย็น แสดงผลการทดลองได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 4.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา ในวันที่ 25 มกราคม 2554 โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศคงที่เท่ากับ 0.0167 kg/s

จากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของวัน พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิทุกจุดภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่ทางเข้าของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในช่วง 3.05°C -20.85°C โดยที่บริเวณส่วนกลางของตู้อบแห้งจะมีอุณหภูมิที่สูงสุด

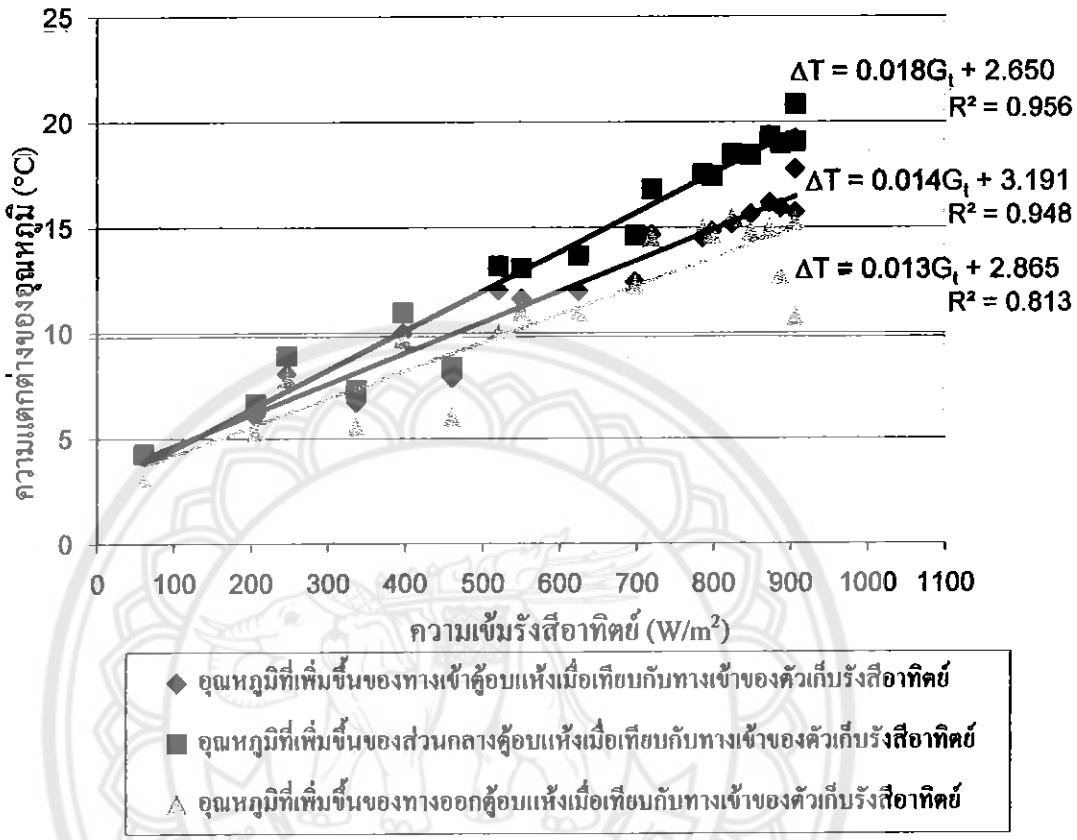
ที่ 51.25°C และมีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดถึง 20.85°C เนื่องจากอากาศที่ไหลผ่านส่วนตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิที่สูงอยู่แล้วแล้วยังได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนกระจกในส่วนของตู้อบแห้ง ซึ่งเกิดการแผ่รังสีภายในตู้อบแห้งอีกด้วย ทำให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นจากทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์อีกเล็กน้อย



แผนภูมิที่ 4.2 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีอาทิตย์และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา ในวันที่ 25 มกราคม 2554 โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศคงที่เท่ากับ 0.0167 kg/s

จากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีอาทิตย์และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบในแต่ละช่วงเวลาของวัน พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบในช่วงเวลา 8.30 น. ถึงเวลา 15.00 น.จะอยู่ในช่วง 47.2%-58.3% (เฉลี่ย 51.85%) เนื่องจากความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวสามารถสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างทางออกและทางเข้าของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสม ส่วนในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 8.30 น. ความเข้มรังสีอาทิตย์จะต่ำในขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิยังมีค่าพอประมาณ และในช่วงเวลา 15.00 น. ถึง 17.00 น. ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะมีค่าที่ต่ำ แต่ความแตกต่างของอุณหภูมิยังมีค่าสูงอยู่ เนื่องมาจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ยังมีความร้อนที่ดูดกลืนไว้อยู่ซึ่งยัง

สามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่อากาศที่ไหลผ่านได้ในขณะที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เริ่มมีค่าลดลง ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลานั้นสูงผิดปกติ

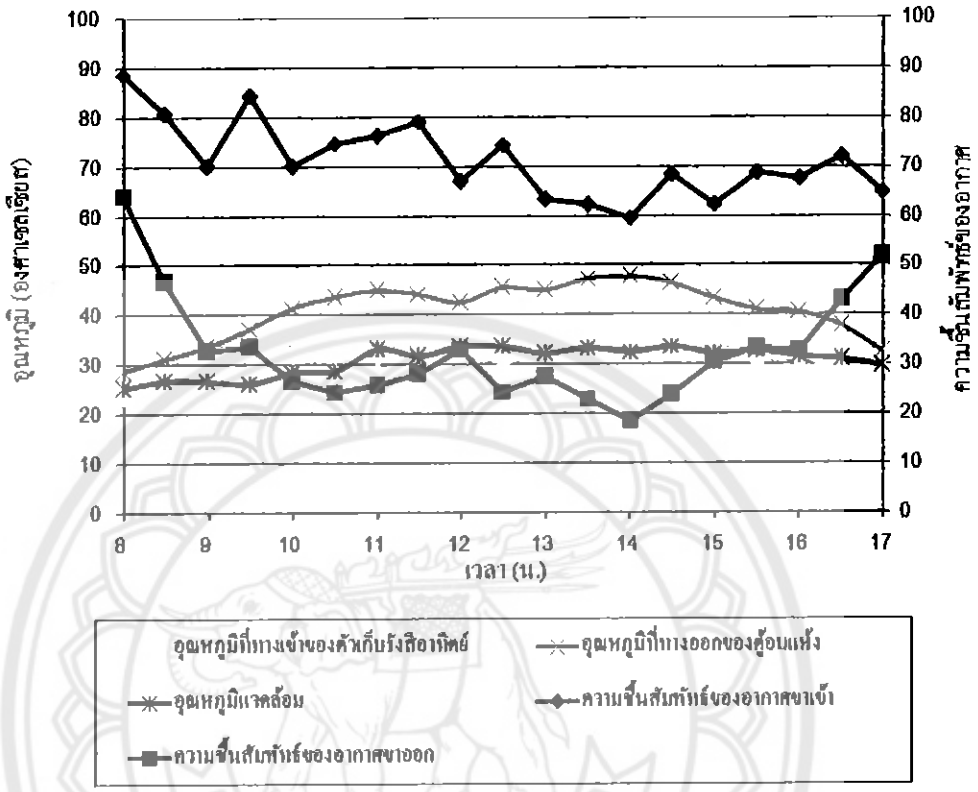


แผนภูมิที่ 4.3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบกับความเข้มรังสีอาทิตย์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ในวันที่ 25 มกราคม 2554 โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศคงที่เท่ากับ 0.0167 kg/s

จากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบกับความเข้มรังสีอาทิตย์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ พบว่าความแตกต่างของอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์ ความแตกต่างของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในบริเวณตู้อบแห้งจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 3.05°C-20.85°C (เฉลี่ย 12.45°C) โดยเมื่ออากาศไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 6.1°C -17.8°C (เฉลี่ย 12.2°C) และเมื่ออากาศจากทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไหลผ่านชุดตู้อบแห้งพบว่าจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีก 0.15°C -3.35°C (เฉลี่ย 1.9°C) เนื่องจากด้านบนของชุดตู้อบแห้งถูกปิดด้วยกระจกใส การประมาณอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งทางเข้าตู้อบแห้งสามารถประมาณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากค่ารังสีอาทิตย์ได้ตามสมการ $\Delta T = 0.014G_t + 3.191$ ที่ตำแหน่งกลางตู้อบแห้งสามารถประมาณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากค่า

มร. 1550384X
ม114 ง
2553

รังสีอาทิตย์ได้ตามสมการ $\Delta T = 0.018G_t + 2.650$ และที่ตำแหน่งทางออกของตู้อบแห้งสามารถประมาณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากค่ารังสีอาทิตย์ได้ตามสมการ $\Delta T = 0.013G_t + 2.865$



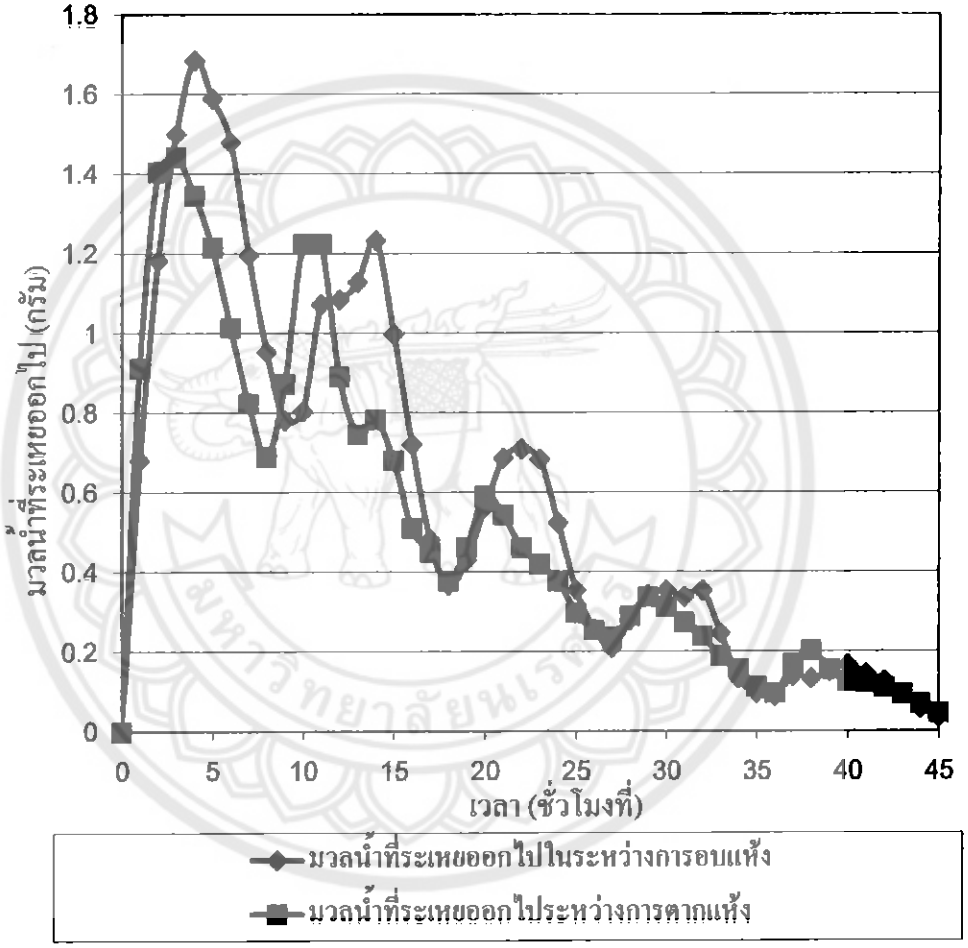
แผนภูมิที่ 4.4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแต่ละช่วงเวลา ในวันที่ 25 มกราคม 2554 โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศคงที่เท่ากับ 0.0167 kg/s

จากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแต่ละช่วงเวลา พบว่าเมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นในช่วง 3.5°C -15.3°C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะลดลงในช่วง 12.88-51.24 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอากาศเกิดการขยายตัวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณของน้ำภายในอากาศยังเท่าเดิม

4.2 ผลการทดลองอบกล้วยน้ำว้า

4.2.1 แผนภูมิผลการทดลองอบกล้วยน้ำว้า

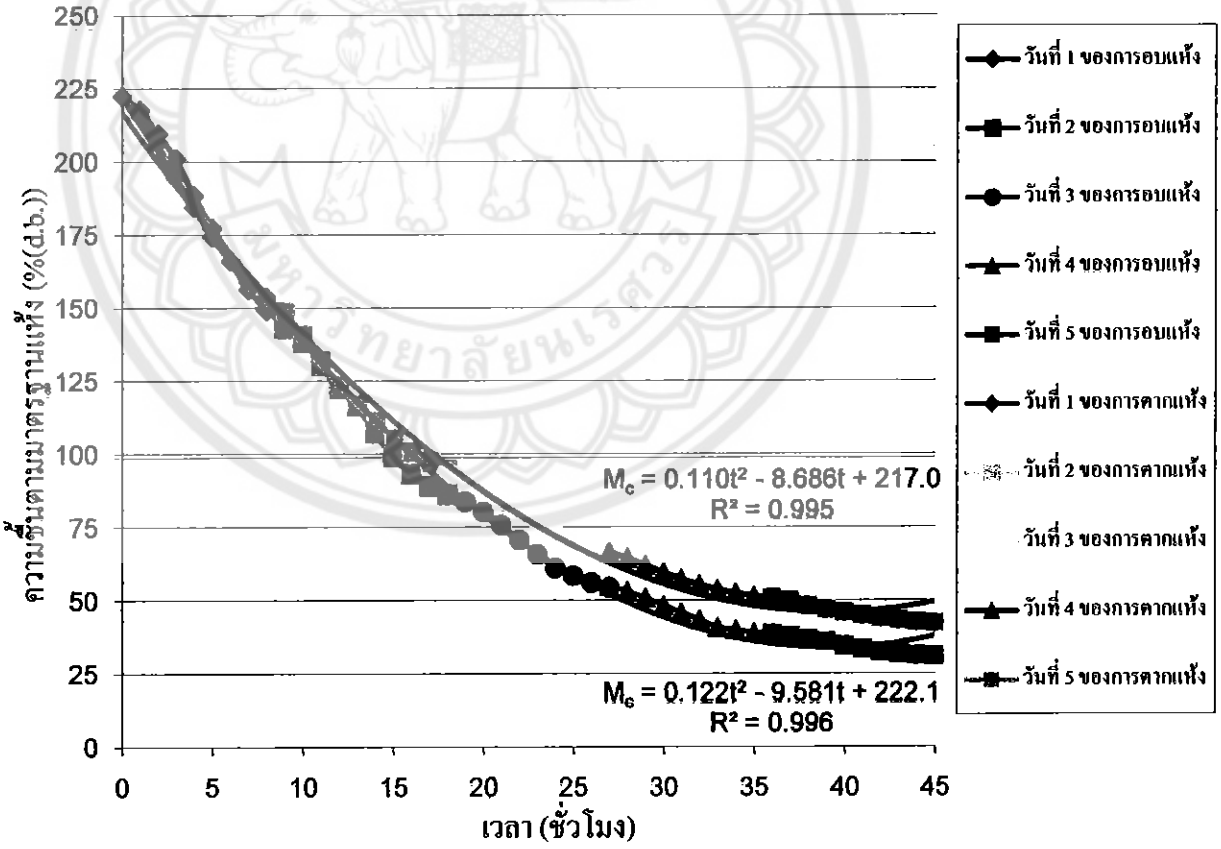
ในการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยมีกล้วยน้ำว้าน้ำหนักประมาณ 7 กิโลกรัม เป็นผลิตภัณฑ์ภายในตู้อบแห้ง อบแห้งในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554 ถึงวันที่ 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554 เวลา 08.00 น. ถึง 17.00 น. โดยสภาพอากาศทั้ง 5 วันมีเมฆเล็กน้อย แสดงผลการทดลองทั้งในการอบแห้งและการตากแห้งได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 4.5 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของมวลน้ำที่ระเหยออกไประหว่างการอบแห้งและการตากแห้งในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างวันที่ 8 - 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

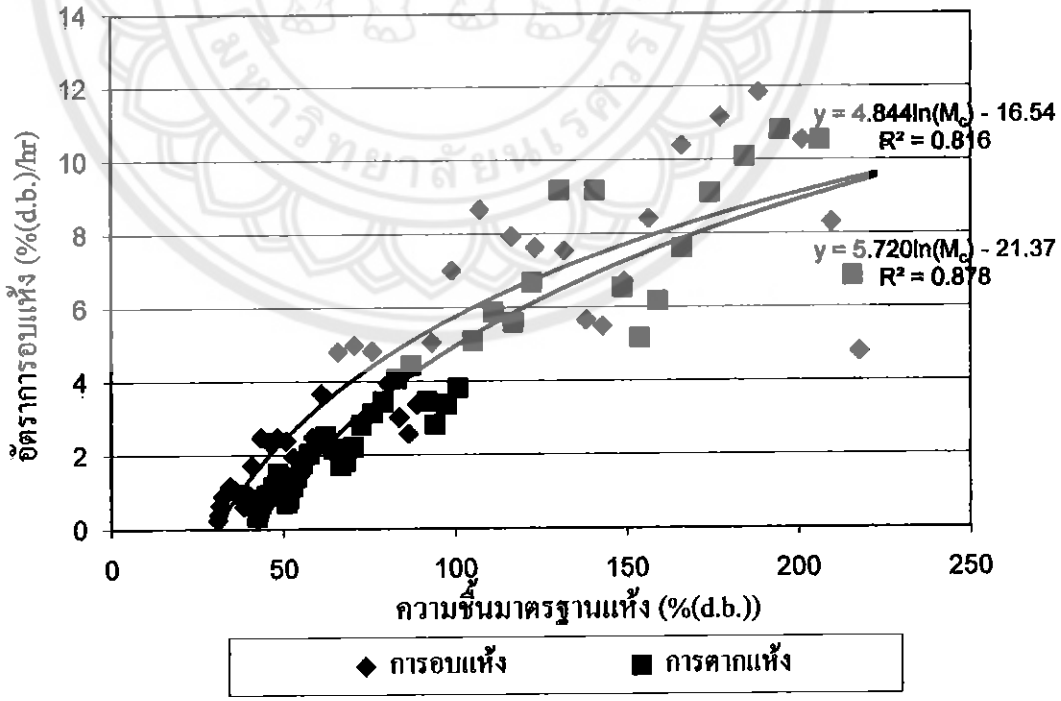
จากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของมวลน้ำที่ระเหยออกไประหว่างการอบแห้งและการตากแห้งในแต่ละช่วงเวลา พบว่าในการอบแห้งมวลน้ำที่ระเหยออกไปในแต่ละช่วงเวลามีผลตามปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ของแต่ละวัน จะเห็นได้ว่าที่ช่วงเวลา 10.00 น. ถึง 14.00 น. (ชั่วโมงที่ 2 ถึง 6 , 11 ถึง 15 , 20 ถึง 24 , 29 ถึง 33 และ 38 ถึง 42) สามารถทำให้เกิดการระเหยได้สูงกว่าช่วงเวลาอื่นของแต่ละวัน เนื่องมาจากความเข้มรังสีอาทิตย์ที่สูงสามารถสร้างความแตกต่างของ

อุณหภูมิได้มาก ทำให้อากาศที่ไหลผ่านมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นและมีความชื้นสัมพัทธ์ลดลง จึงสามารถดึงความชื้นออกจากกล้วยได้ดี ในช่วงวันแรกเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์จะสามารถดึงความชื้นได้ดีกว่าวันถัดไป เนื่องจากความชื้นในระยะแรกของกล้วยจะมีสูง ความชื้นที่ชั้นผิวมีมาก สามารถดึงความชื้นออกได้ง่าย แต่ในวันต่อไป ความชื้นที่ผิวจะมีน้อยลง ต้องรอให้ความชื้นจากแกนกลางของกล้วยแพร่มายังชั้นผิวก่อนจึงจะสามารถดึงความชื้นออกไปได้ ส่วนมวลน้ำที่ระเหยออกไประหว่างการตากแห้งในแต่ละช่วงเวลา พบว่ามวลน้ำที่ระเหยออกไปในแต่ละช่วงเวลามีแนวโน้มใกล้เคียงกับการอบแห้ง และพบว่าปริมาณน้ำที่ระเหยในการตากแห้งในช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 11.00 น. ของทุกวันจะสูงกว่าการระเหยจากการอบแห้ง แต่อย่างไรก็ตามกล้วยน้ำว้าที่ได้จากการอบด้วยเครื่องอบแห้งมีคุณลักษณะโดยรวมที่ดีกว่ากล้วยที่ตากแห้ง โดยเฉพาะกล้วยน้ำว้าที่อบด้วยเครื่องอบแห้งจะมีสีที่สม่ำเสมอทั่วทั้งลูก ตรงตามความต้องการของตลาด (ดูรูปที่ 7 (ผข) ประกอบ) นอกจากนี้การอบโดยใช้เครื่องอบแห้งจะสามารถควบคุมสภาวะของการอบให้เป็นไปตามที่ต้องการได้



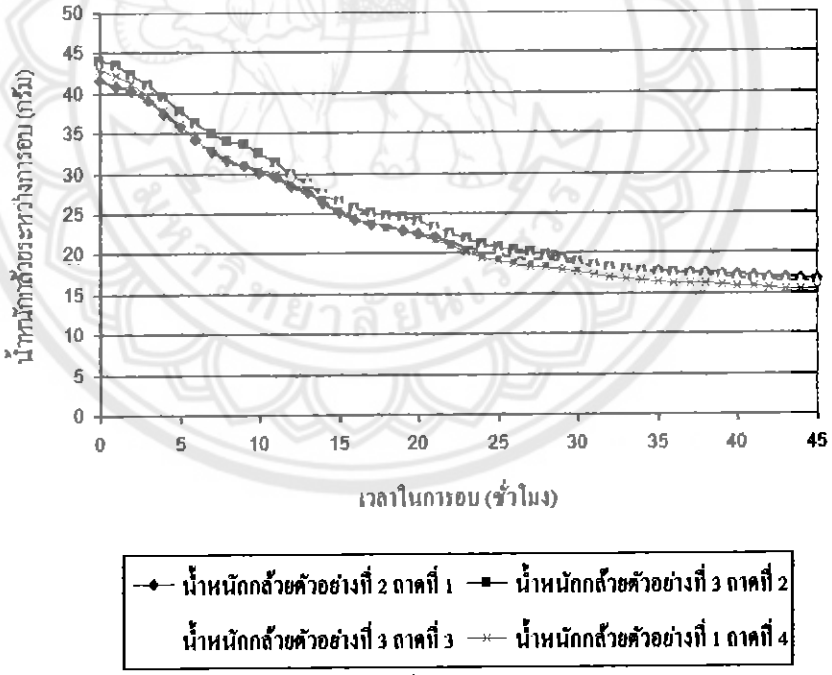
แผนภูมิที่ 4.6 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของความชื้นมาตรฐานแห้งเทียบกับระยะเวลาในการอบแห้งและการตากแห้ง ระหว่างวันที่ 8 - 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

จากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของความชื้นมาตรฐานแห้งเทียบกับระยะเวลาในการอบแห้งและการตากแห้ง พบว่าในการอบแห้งเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งใน 2 วันแรกจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากความชื้นที่ชั้นผิวของกล้วยยังสูงอยู่ทำให้สามารถดึงความชื้นออกได้โดยง่าย แล้วในวันที่ 3-4 ความชื้นจะเริ่มระเหยได้น้อยลง เนื่องจากความชื้นที่ผิวเริ่มน้อยลงแต่ยังมีความชื้นในบริเวณแกนกลางอยู่ ความชื้นจากแกนกลางจึงแพร่ออกมายังชั้นผิวก่อนแล้วค่อยระเหยออกไป และในวันที่ 5 ความชื้นจะเริ่มคงที่ เนื่องจากความชื้นในกล้วยมีน้อยมากทำให้สามารถดึงความชื้นออกมาได้น้อยมาก จนครบ 5 วัน เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์สามารถอบกล้วยน้ำว้าจากความชื้นมาตรฐานแห้งที่ 222.6 เปอร์เซ็นต์(ความชื้นมาตรฐานเปียก 70 เปอร์เซ็นต์) ให้เหลือ 31.1 เปอร์เซ็นต์(ความชื้นมาตรฐานเปียก 23.7 เปอร์เซ็นต์) ได้ ซึ่งสามารถทำให้แห้งได้รวดเร็วกว่าการตากแห้ง โดยในการตากแห้งในเวลาที่เท่ากันสามารถตากกล้วยน้ำว้าได้แห้งที่ความชื้นมาตรฐานแห้งสุดท้ายที่ 42.6 เปอร์เซ็นต์(ความชื้นมาตรฐานเปียก 29.9 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหากต้องการทำให้แห้งด้วยความชื้นสุดท้ายที่เท่ากัน การอบแห้งจะสามารถทำได้รวดเร็วกว่าการตากแห้ง จากความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลอันดับที่ 2 ในการอบแห้งสามารถประมาณความชื้นมาตรฐานแห้งจากระยะเวลาในการอบแห้งได้ตามสมการ $M_c = 0.122t^2 - 9.581t + 222.1$ และการตากแห้งสามารถประมาณความชื้นมาตรฐานแห้งจากระยะเวลาในการตากแห้งได้ตามสมการ $M_c = 0.110t^2 - 8.686t + 217.0$



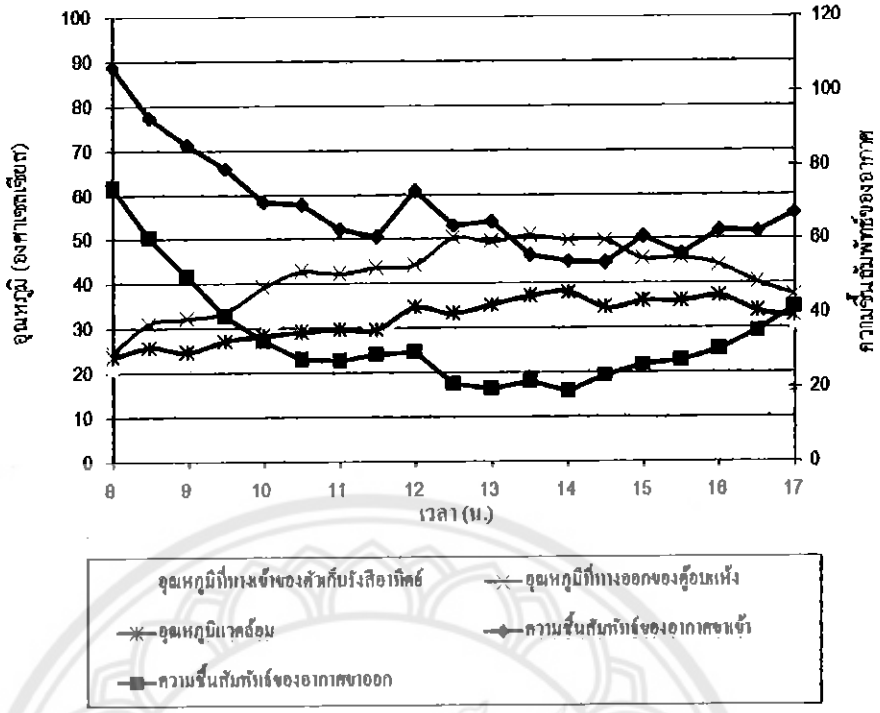
แผนภูมิที่ 4.7 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งเทียบกับความชื้นมาตรฐานแห้งในขณะนั้น ระหว่างวันที่ 8 - 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

จากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งเทียบกับความชื้นมาตรฐานแห้งในขณะนั้น พบว่าในช่วงที่ความชื้นของกล้วยน้ำว้ายังสูงอยู่ (มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง) อัตราการอบแห้งจะมีค่าสูง เนื่องจากสามารถทำให้ความชื้นลดลงได้ในช่วง 4.9-11.9 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง มีอัตราการอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 11.9 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง และในช่วงที่ความชื้นในกล้วยน้ำว้าต่ำ (น้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง) อัตราการอบแห้งจะมีค่าในช่วง 0.2-7 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง มีอัตราการอบแห้งเฉลี่ยที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง โดยเมื่อเทียบกับการตากแห้งพบว่าการอบแห้งยังสามารถระเหยความชื้นได้ดีกว่าการตากแห้งในช่วงที่กล้วยน้ำว้ามีความชื้นตามมาตรฐานแห้งต่ำ และยังสามารถทำให้ความชื้นมาตรฐานแห้งสุดท้ายต่ำกว่าการตากแห้งถึง 11.5 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จากความสัมพันธ์แบบลอกาลิทึม โดย y คือ อัตราการอบแห้ง ในการอบแห้งสามารถประมาณอัตราการอบแห้งจากค่าความชื้นมาตรฐานแห้งได้ตามสมการ $y = 4.844\ln(M_c) - 16.54$ และการตากแห้งสามารถประมาณอัตราการอบแห้งจากค่าความชื้นมาตรฐานแห้งได้ตามสมการ $y = 5.720\ln(M_c) - 21.37$



แผนภูมิที่ 4.8 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักกล้วยในตำแหน่งต่างๆระหว่างการอบเทียบกับเวลาในการอบ

จากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักกล้วยน้ำว้าระหว่างการอบเทียบกับเวลาในการอบ พบว่าในแต่ละช่วงเวลามีการลดของน้ำหนักของกล้วยตัวอย่างที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอในการอบแห้งในแต่ละตำแหน่งของตู้อบแห้ง



แผนภูมิที่ 4.9 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแต่ละ**ช่วง**เวลา ในวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554

จากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแต่ละ**ช่วง**เวลา พบว่าเมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นในช่วง 3.7°C -13.85°C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะลดลงในช่วง 25.53-42.87 เปอร์เซ็นต์

4.2.2 ผลการสังเกตทางด้านลักษณะของกล้วยที่อบจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ**อุโมงค์**

ได้ทำการเปรียบเทียบกับกล้วยตากยี่ห้อจิราพรเนื่องจากกล้วยตากยี่ห้อจิรา**พร**เป็นกล้วยตาก**ที่**หาซื้อได้ง่าย และมีบรรจุภัณฑ์ที่สวยงาม

1) ในด้านของสีสันเมื่อเทียบกับกล้วยตากยี่ห้อจิราพร พบว่ามีลักษณะของสีสันที่ใกล้เคียงกันมาก มีความสม่ำเสมอของสี สีไม่อ่อนและไม่เข้มจนเกินไป

2) ในด้านลักษณะผิวและความแห้งของเนื้อใน มีความแข็งและแห้งใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีความชื้นของกล้วยที่ใกล้เคียงกันมาก

3) ในด้านรสชาติและกลิ่นของกล้วย จากการทดลองชิมพบว่ามีรสชาติหวานใกล้เคียงกับกล้วยตากยี่ห้อจิราพร และไม่มีกลิ่นผิดปกติไปจากกล้วยตากหรือกล้วยอบทั่วไป

4.2.3 การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มีค่าเท่ากับ 7.69% ซึ่งต่ำกว่าเครื่องอบแห้งที่ใช้ในงานวิจัยทั่วไป โดยการปรับปรุงจะมีผลทำให้การอบแห้งเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยยังคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้งเอาไว้ได้ โดยการเพิ่มพลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ ที่จะนำไปใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่อากาศที่ไหลเข้าสู่ตู้อบแห้งผลิตภัณฑ์ และการลดการสูญเสียความร้อนในรูปแบบต่างๆ ดังนี้

1) การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เลือกใช้สีทาแผ่นดูดกลืนรังสีที่เหมาะสมในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เพื่อเพิ่มปริมาณพลังงานที่ได้รับจากรังสีอาทิตย์เนื่องจากมีพื้นที่ที่รังสีอาทิตย์ตกกระทบมากขึ้น

2) การเพิ่มขนาดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ มีผลทำให้ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีมากขึ้น

3) การเพิ่มความหนา หรือ การลดค่าการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนด้านล่างและเพิ่มฉนวนด้านข้างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์และในส่วนของตู้อบแห้ง การปรับปรุงดังกล่าวสามารถลดปริมาณความร้อนที่สูญเสียระหว่างกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่ตำแหน่งต่างๆ

4) การปรับเปลี่ยนกระจกที่ปิดบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ สามารถลดการสะท้อนกลับของรังสีอาทิตย์ และลดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนที่ผิวนอกของกระจก

4.3 วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าน้ำหนักรวม 6.84 กิโลกรัม ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ให้เหลือน้ำหนักรวมอยู่ที่ 2.75 กิโลกรัม ในเวลา 5 วัน วันละ 9 ชั่วโมง ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการใช้พัดลมดูดอากาศทั้ง 3 ตัว แต่ละตัวต้องการพลังงานไฟฟ้าตัวละ 30.8 วัตต์ ดังนั้นในการอบแห้งจะใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 4.158 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งหากค่าไฟฟ้าคิดเป็น 4 บาทต่อหน่วย(กิโลวัตต์-ชั่วโมง) เท่ากับมีค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเท่ากับ 16.63 บาท ในการทำให้น้ำในกล้วยน้ำว้าระเหยออกไป 4.09 กิโลกรัม ดังนั้นในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์นี้จะมีค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานสำหรับการทำให้น้ำระเหยจากกล้วยน้ำว้าเท่ากับ 4.07 บาทต่อกิโลกรัม

โดยปริมาณพลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์จะเทียบเท่ากับการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำให้น้ำในกล้วยระเหยเท่ากับ 678.359 วัตต์ แต่ถ้าหากใช้พลังงานความร้อนจากฮีทเตอร์ในการอบที่ระยะเวลาเท่ากันจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าถึง 45 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เมื่อรวมกับพลังงานไฟฟ้าที่พัดลมดูดอากาศใช้ทั้งหมดจะเท่ากับ 49.158 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นค่าพลังงานถึง 196.63 บาท หรือคิดเป็น 48.08 บาทต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหยออกไป

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศคงที่เท่ากับ 0.0167kg/s และมีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยที่ 613.3W/m^2 จากการทดลองพบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ในช่วง 47.2%-58.3% (เฉลี่ย 51.85%) ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่ใช้ในงานวิจัยทั่วไป และอากาศไหลที่เข้าสู่บริเวณชุดตู้อบแห้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วง 3.05°C-20.85°C (เฉลี่ย 12.45°C) โดยอุณหภูมิสูงสุด ณ ตำแหน่งกลางตู้อบแห้งเท่ากับ 51.25°C

เมื่อนำเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มาทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้ามวลรวม 6.84 กิโลกรัม ที่มีความชื้นมาตรฐานแห้งเริ่มต้นที่ 222.6 เปอร์เซ็นต์ (ความชื้นมาตรฐานเปียก 70 เปอร์เซ็นต์) เป็นเวลาทั้งสิ้น 5 วัน วันละ 9 ชั่วโมง พบว่า ได้กล้วยน้ำว้าที่มีความชื้นมาตรฐานแห้งสุดท้ายเท่ากับ 31.1 เปอร์เซ็นต์ (ความชื้นมาตรฐานเปียก 23.7 เปอร์เซ็นต์) มีอัตราการอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 11.9 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง (เฉลี่ย 4.2 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง) โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวมของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 7.69% การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มีความสม่ำเสมอของการอบแห้งทุกตำแหน่ง มีลักษณะของกล้วยน้ำว้าหลังจากการอบแห้งนั้น มีความคล้ายคลึงทางรูปร่าง รสชาติ และสี เมื่อเทียบกับกล้วยน้ำว้าอบแห้งทั่วไปที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด

จากผลการทดลอง การศึกษาสมการความสัมพันธ์ของการเพิ่มอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องอบแห้งเทียบกับความเข้มรังสีอาทิตย์ ความชื้นมาตรฐานแห้งเทียบกับระยะเวลา และอัตราการอบแห้งเทียบกับความชื้นมาตรฐานแห้ง ทำให้สามารถทำนายคุณลักษณะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ได้

จากการเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งและการตากแห้ง พบว่าอัตราการระเหยน้ำ และอัตราการอบแห้งของการอบแห้งมีค่าสูงกว่าของการตากแห้ง ดังนั้นในระยะเวลาที่เท่ากันกล้วยน้ำว้าจากการอบแห้งจะมีความชื้นมาตรฐานแห้งต่ำกว่าการตากแห้ง และในด้านลักษณะของกล้วยน้ำว้าที่อบด้วยเครื่องอบแห้งมีคุณลักษณะโดยรวมดีกว่ากล้วยที่ตากแห้ง โดยเฉพาะกล้วยน้ำว้าที่อบด้วยเครื่องอบแห้งจะมีสีที่สม่ำเสมอทั่วทั้งลูก ตรงตามความต้องการของตลาด นอกจากนี้การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งจะสามารถควบคุมสภาวะของการอบให้เป็นไปตามที่ต้องการได้

ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าน้ำหนักรวม 6.84 กิโลกรัม ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ให้เหลือน้ำหนักรวม 2.75 กิโลกรัม ในเวลา 5 วัน วันละ 9 ชั่วโมง ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการใช้พัดลมดูดอากาศทั้ง 3 ตัว โดยค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อหน่วยมวลของน้ำระเหยสำหรับการอบแห้งกล้วยน้ำว้าเท่ากับ 4.07 บาทต่อกิโลกรัม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการทดลองใช้ฮีทเตอร์เพื่อช่วยในการเร่งอบแห้งผลิตภัณฑ์

2. ควรมีการเพิ่มฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนทางด้านข้างของส่วนตัวเก็บรังสีอาทิตย์และในส่วนของตู้อบแห้ง

3. ควรมีการพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้งเพื่อให้ได้ความชื้นที่เหมาะสมต่อไป

บรรณานุกรม

[1] ศ.ดร.สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท, พิมพ์ครั้งที่ 7 2540, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[2] http://pineapple-eyes.snru.ac.th/stm/index.php?q=node/144 สืบค้นวันที่ 25 ธันวาคม 2553

[3] สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, คู่มือเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

[4] http://www.creativeenterprise.in.th/detail/creativeenterprise/innovative-machines/20100906/351279/โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.html สืบค้นวันที่ 19 ธันวาคม 2553

[5] http://pineapple-eyes.snru.ac.th/stm/index.php?q=node/77 สืบค้นวันที่ 25 ธันวาคม 2553

[6] http://www.ssmwiki.org/index.phpd/การทดสอบตลาดกล้วยตาก สืบค้นวันที่ 1 มีนาคม 2554

[7] http://www.moodythai.com/new/service/food%20safety%20knowledge/food%20safety_1_1_1_biogrowth.htm สืบค้นวันที่ 20 มีนาคม 2554

[8] ธีรศักดิ์ หุดากร, รายงานวิชาการการศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบร่องรูปตัววี สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

[9] http://www.ic.kmutnb.ac.th/webpage/subject/handout/Unit202/chapter%202%20dry.pdf สืบค้นวันที่ 1 มีนาคม 2554

[10]คำนึง วาทโยธา, การอบกล้วยด้วยเครื่องอบจำลองรูปแบบการทำงานของเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับสายพานลำเลียง, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[11] ธีระชัย ไชยศิริ, บุญบงค์ วัฒนาโกศัย, วิโรจน์ โรจนวิสูตร, เครื่องอบแห้งกล้วยน้ำว้าพลังงานแสงอาทิตย์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[12] สุขฤดี นาถกรณกุล, บงกช ประสิทธิ์, รตนรรฆ์ บุญมัติ, จารุณี มั่งทัด, รายงานวิจัยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแก๊สชีวภาพ, วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

[13] สุวรรณ วิรัชกุล, อุสาห์ เจริญวัฒนา, สมใจ ศรีลออกุล, วิเชียร วรพุทธพร, และ ประทุม สงวนตระกูล, การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งโดยใช้แสงแดดกับการใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[14] Somchart Soponronnarit, Adisak Nathakaranakul, Weeravout Limtrakool, Woravit Rungjawarak, Sukruedee Nathakaranakul, and Wattanapong Rakwichien, Banana Fruit Drying, Division of Energy Technology, School of Energyand Materials, King Mongkut Institute of technology Thonburi, and Department of Physics, Faculty of Science, Nareasuan University

[15] Tawon Usub, Nattapol Poomsa-ad, Lamul Wiset, and Charoenporn Lertsatitthankorn, Solar Drying of Silkworm Chrysalis Using a Triangle Solar Tunnel Dryer, Faculty of Engineering Mahasarakham University

[16] http://www.thaithesis.org/detail.php?id=594 วันที่สืบค้น 25 กุมภาพันธ์ 2554

[17] http://www.thaithesis.org/detail.php?id=363 วันที่สืบค้น 25 กุมภาพันธ์ 2554

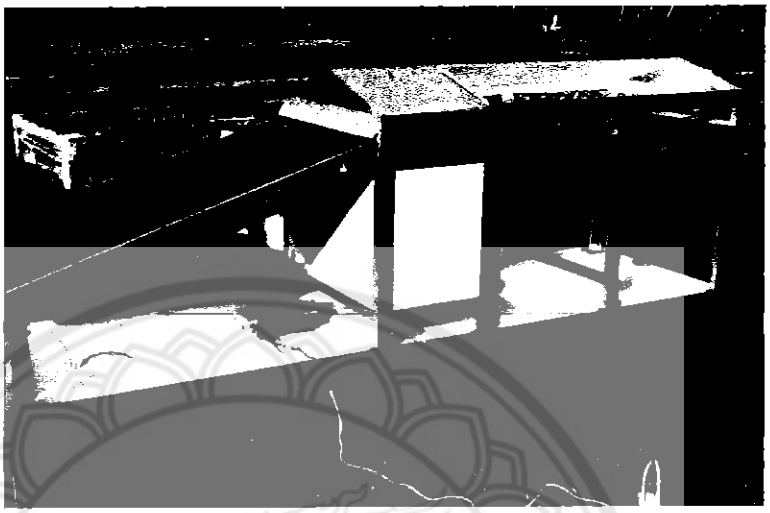
[18] Yunus A. Cengel, and Michael A.Boles, Thermodynamics An Engineering Approach Sixth Edition (SI Units), McGraw-Hill Higher Education, 2007 หน้า 911, 914

[19] http://en.wikipedia.org/wiki/Density_of_air วันที่สืบค้น 25 มกราคม 2554

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก

รูปและแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่ใช้ในการทดลอง

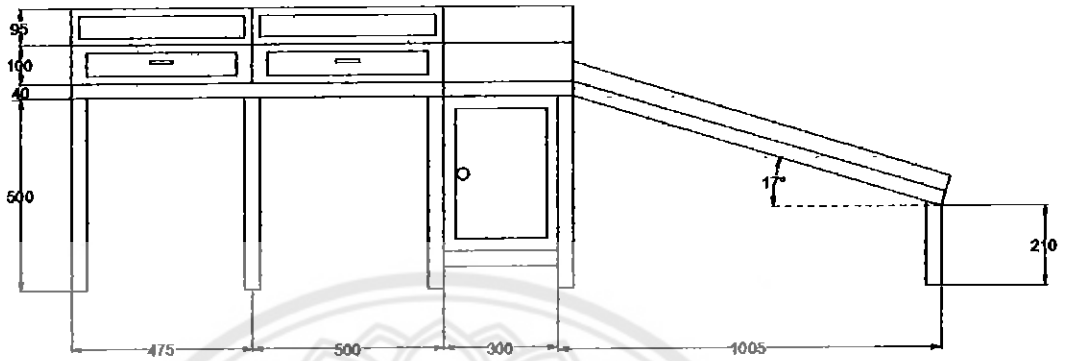


รูปที่ 1 (ผก) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อุโมงค์อบแห้ง

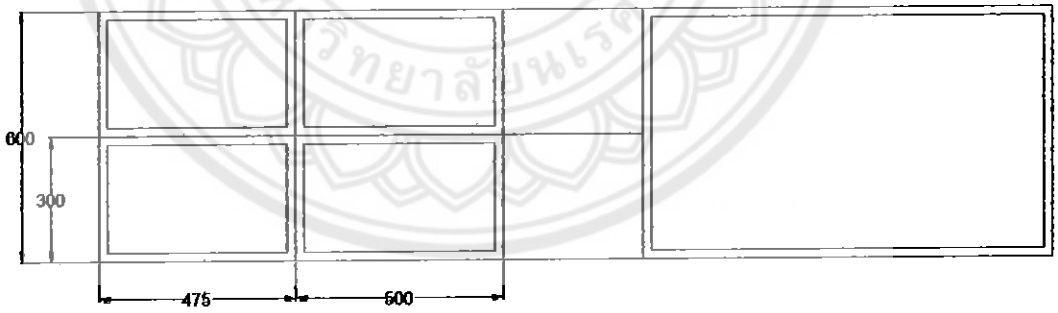
รูปที่ 2 (ผก) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์และอุโมงค์อบแห้ง

แบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่ใช้ในการทดลอง



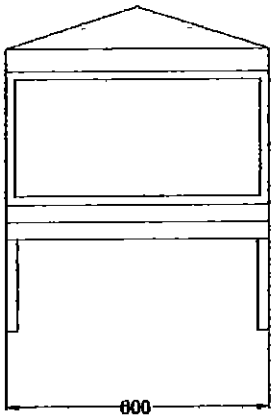
Front View

รูปที่ 3 (ผก) มุมมองจากด้านหน้าของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์



Top View

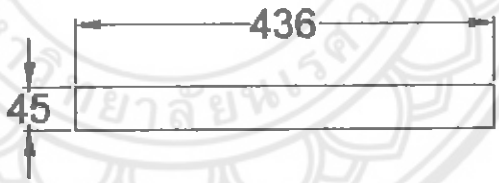
รูปที่ 4 (ผก) มุมมองจากด้านบนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์



Side View

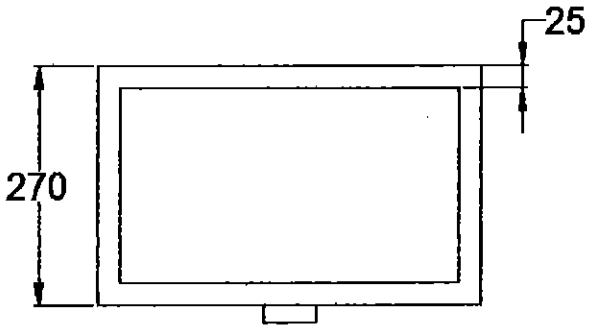
รูปที่ 5 (ผก) มุมมองจากด้านข้างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

แบบถาดบรรจุผลิตภัณฑ์อบแห้ง



Front View

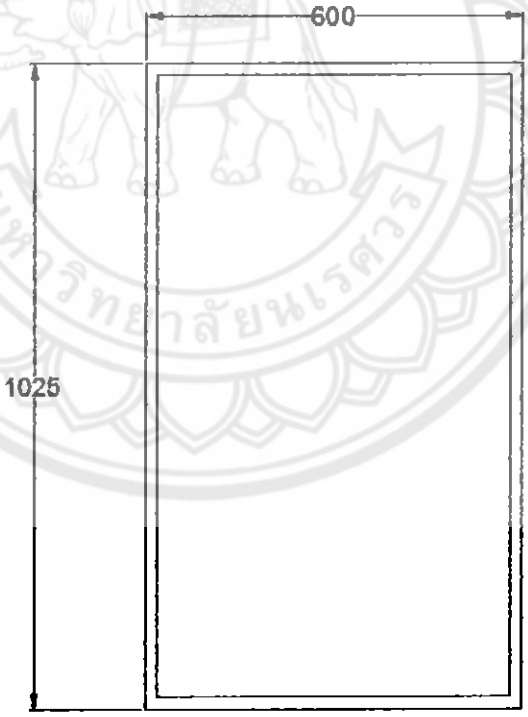
รูปที่ 6 (ผก) มุมมองจากด้านหน้าของถาดบรรจุผลิตภัณฑ์อบแห้ง



Top View

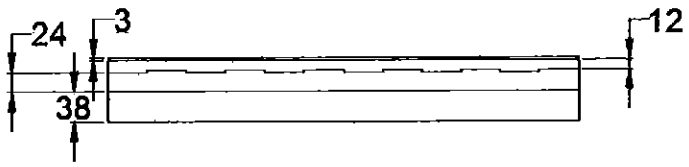
รูปที่ 7 (ผก) มุมมองจากด้านบนของถาดบรรจุผลิตภัณฑ์อบแห้ง

แบบชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์



Top view

รูปที่ 8 (ผก) มุมมองจากด้านบนของแบบชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์



Front View

รูปที่9 (ผก) มุมมองจากด้านหน้าของแบบชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์

หมายเหตุ : หน่วยความยาวทั้งหมดเป็นมิลลิเมตร

ฮีทเตอร์ไฟฟ้า : INFRAPARA A-2-500 220/230V 500W จำนวน 2 ตัว

พัดลมดูดอากาศ : MITSUMI AC 220V 50/60 Hz 0.14 A จำนวน 3 ตัว

การหาเปอร์เซ็นต์รูเปิดของถาดวางผลิตภัณฑ์

เส้นผ่านศูนย์กลางของรูเปิดเท่ากับ 0.0625 นิ้ว

ในการนับจำนวนรูเปิดในพื้นที่ขนาด 1 ตารางนิ้ว ได้ดังนี้

ครั้งที่	จำนวนรูเปิด
1	17
2	18
3	18
4	20
5	19
เฉลี่ย	18.4

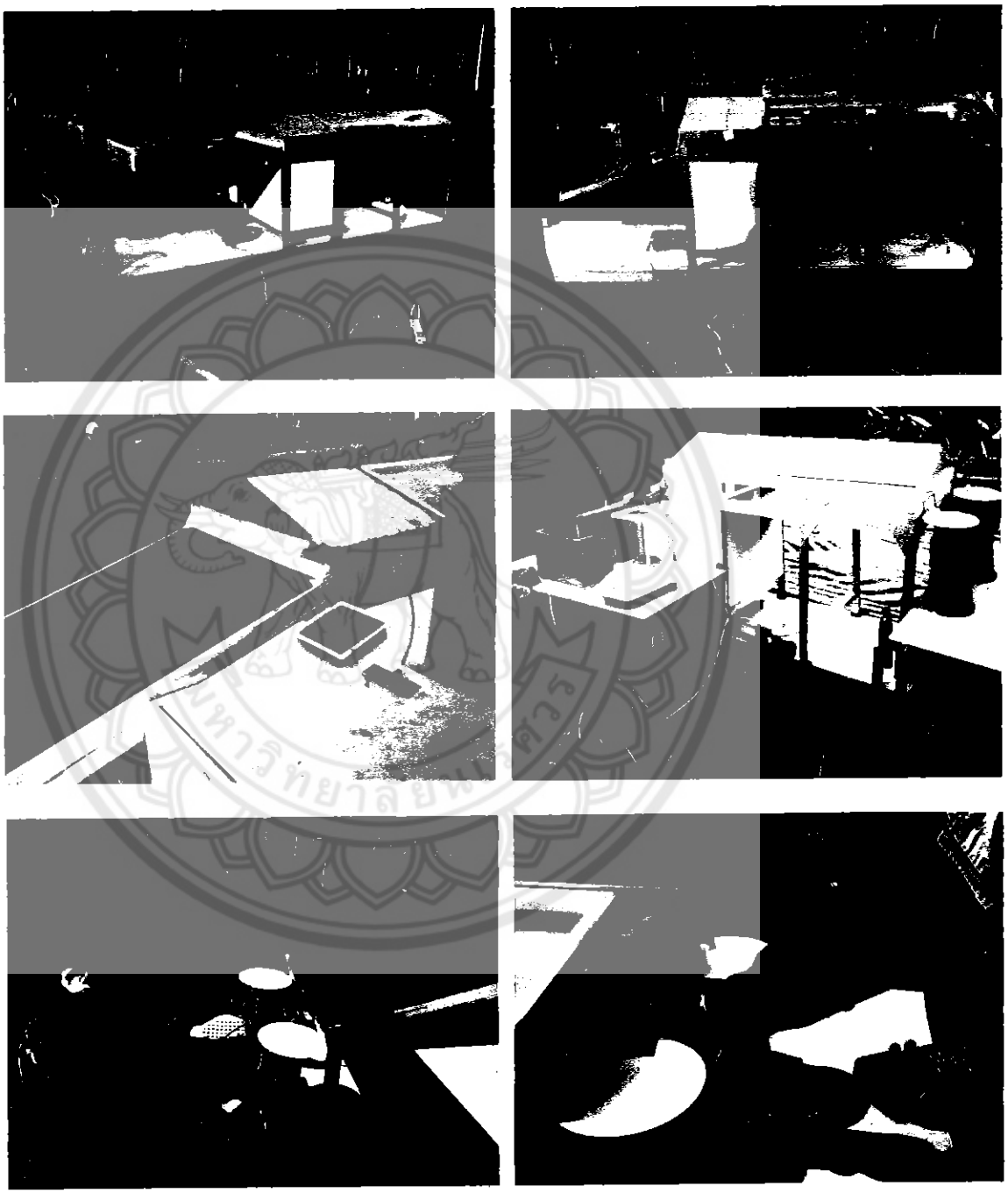
ดังนั้นสามารถหาเปอร์เซ็นต์รูเปิดของถาดวางผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

$$\frac{Area_{open}}{Area_{total}} = \frac{18.4 \times \pi \times \left(\frac{0.0625}{2}\right)^2}{1} \times 100 = 5.645\%$$

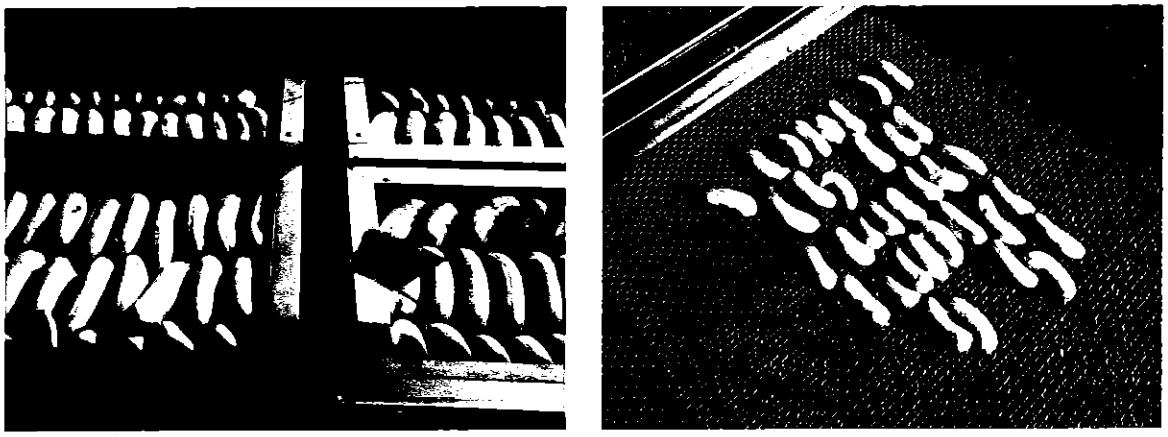
ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข

รูปการทดลองและการเก็บข้อมูล

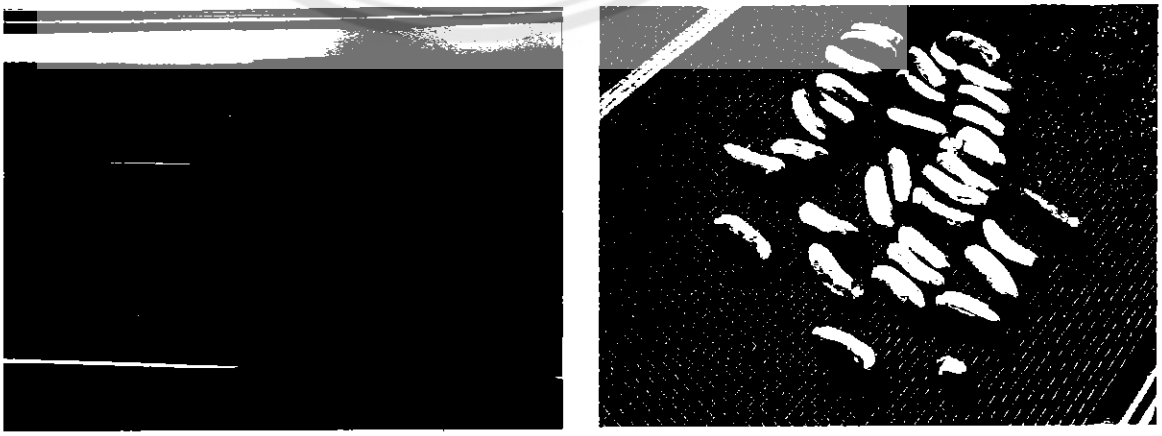


รูปที่ 1 (ผข) การติดตั้งเครื่องมือวัดเพื่อเก็บข้อมูล

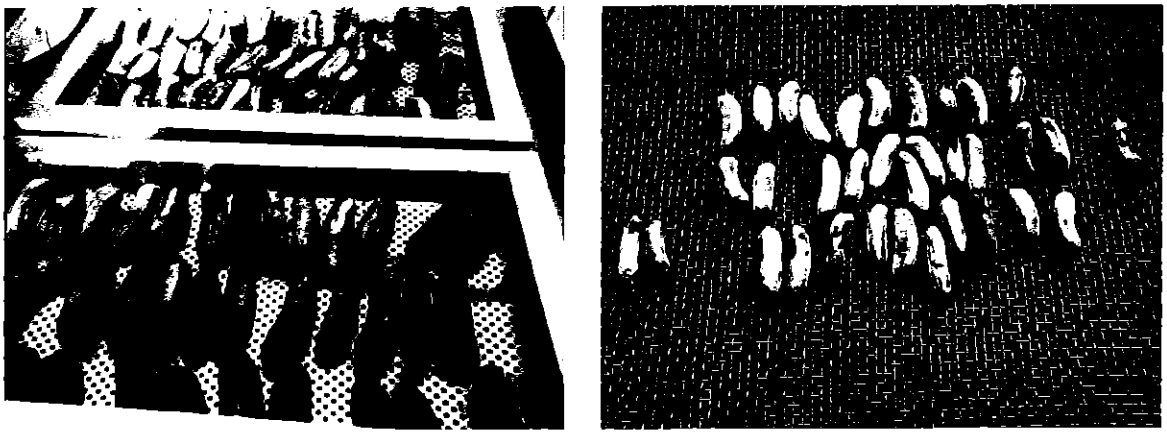


รูปที่ 2 (ผข) กล้วยก่อนการอบแห้งในเครื่องอบแห้งและกล้วยก่อนตากนอกเครื่องอบแห้ง วันที่ 1

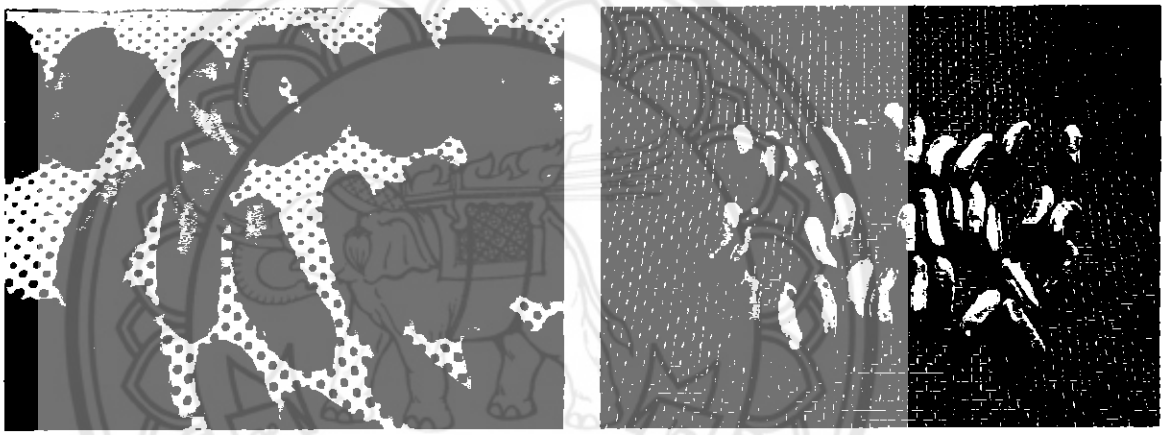
รูปที่ 3 (ผข) กล้วยหลังการอบแห้งในเครื่องอบแห้งและกล้วยหลังตากนอกเครื่องอบแห้ง วันที่ 1



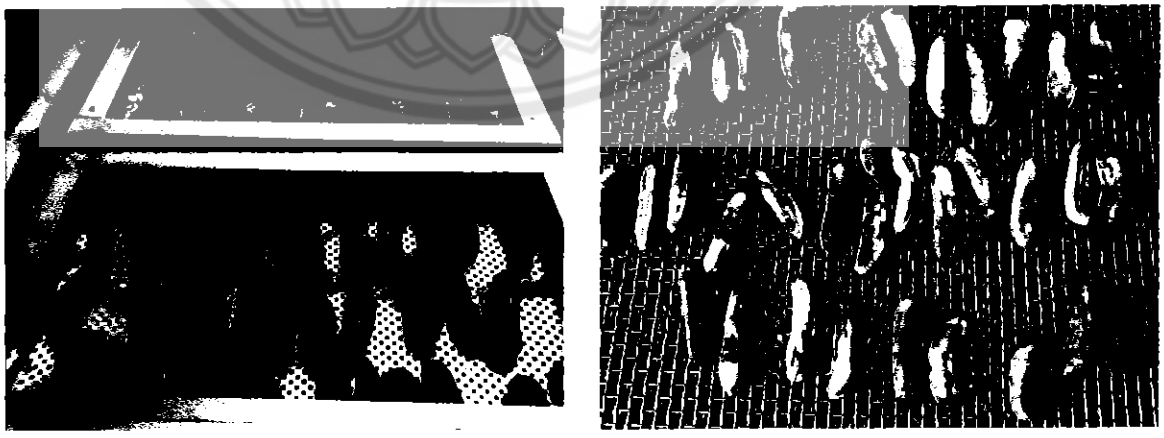
รูปที่ 4 (ผข) กล้วยหลังการอบแห้งในเครื่องอบแห้งและกล้วยหลังตากนอกเครื่องอบแห้ง วันที่ 2



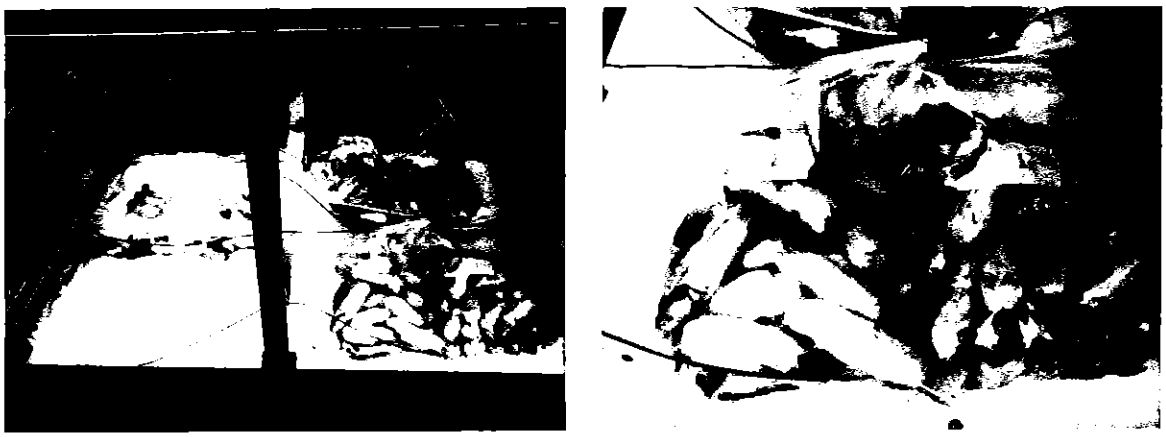
รูปที่ 5 (ผข) กล้วยหลังการอบแห้งในเครื่องอบแห้งและกล้วยหลังตากนอกเครื่องอบแห้ง วันที่ 3



รูปที่ 6 (ผข) กล้วยหลังการอบแห้งในเครื่องอบแห้งและกล้วยหลังตากนอกเครื่องอบแห้ง วันที่ 4



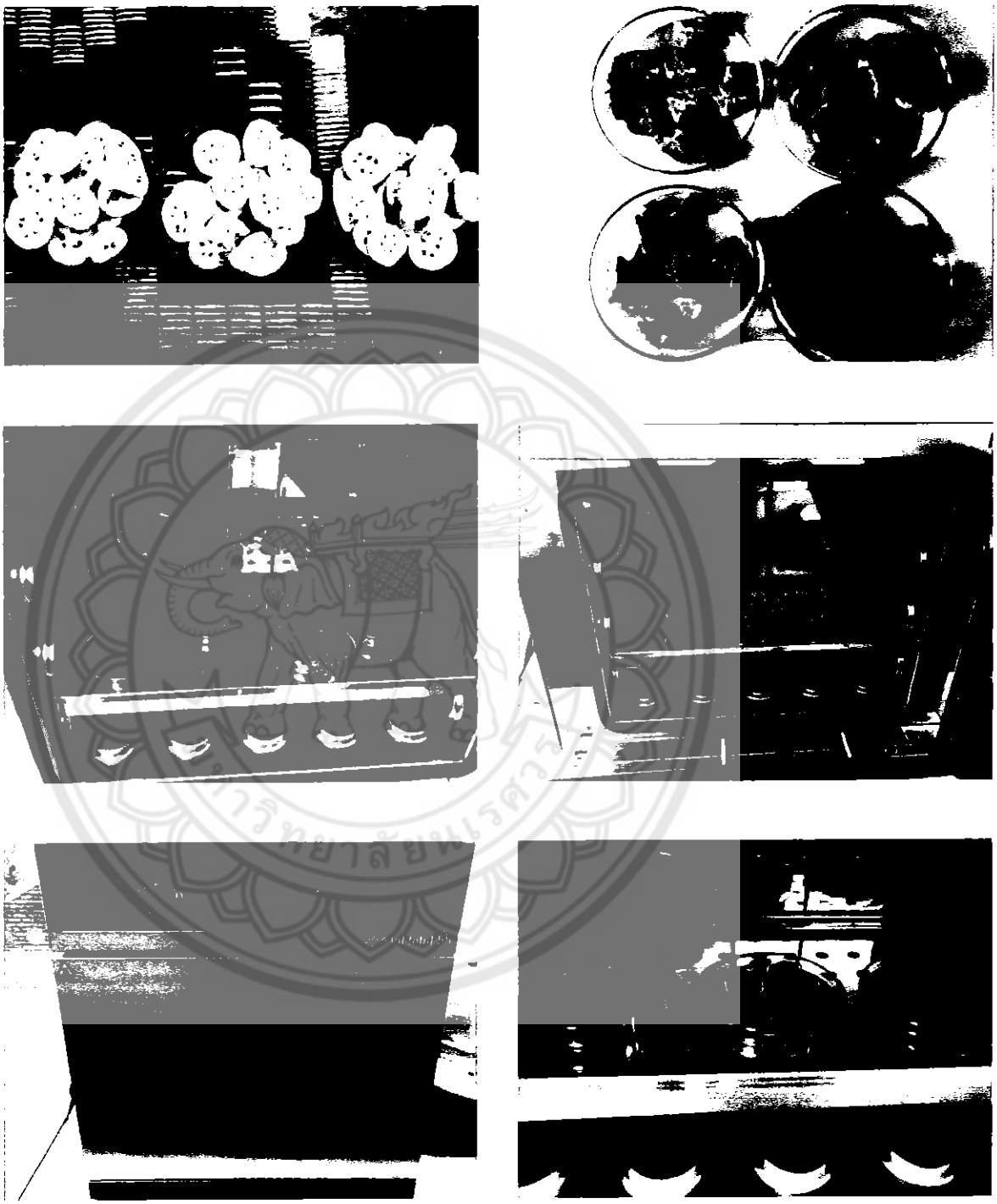
รูปที่ 7 (ผข) กล้วยหลังการอบแห้งในเครื่องอบแห้งและกล้วยหลังตากนอกเครื่องอบแห้ง วันที่ 5



รูปที่ 8 (ผข) การเก็บกล้วยหลังการอบในแต่ละวันเพื่อทำการอบในวันถัดไป

รูปที่ 9 (ผข) การชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่างและน้ำหนักรวมในแต่ละวัน

รูปการอบกล้วยตัวอย่างด้วยตู้อบแบบ Hot air oven



รูปที่ 10 (ผข) การอบกล้วยตัวอย่างด้วยตู้อบแบบ Hot air oven

ภาคผนวก ค

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนชั่วขณะใดขณะหนึ่ง

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

$$\eta_c = \frac{\dot{m}c_p\left(T_{f,o} - T_{f,i}\right)}{G_t A_c}$$

โดย c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของของอากาศ เท่ากับ 1005 J/kg.K [18]

A_c คือ พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์, m^2

ข้อมูลวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554

Time	$\dot{m}$	G	T_1	T_2	T_3	T_4	RH_{in}	RH_{out}	T_{amb}	η_c
9.00	0.0167	445.842	24.15	32.3	33.35	32.2	49.94	24.7	24.7	50.378
9.30	0.0167	543.864	26.95	35.3	35.95	33.7	39.27	27.3	27.3	42.312
10.00	0.0167	677.04	29.8	39.95	41.5	39.15	32.8	28.2	28.2	41.316

จากข้อมูลในตาราง ณ เวลา 10.00 น. โดยที่ T_2 เป็น อุณหภูมิขาออกของตัวเก็บรังสี และ T_1 เป็น อุณหภูมิขาเข้าของตัวเก็บรังสี ดังนั้นสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบได้ดังนี้

$$\eta_c = \frac{0.0167 \times 1005 \times (39.95 - 29.8)}{677.04 \times 1.015 \times 0.6} = 0.413$$

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบเท่ากับ 41.3%

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวมของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

$$\eta = \frac{\dot{m}h_{fg}}{G_t(A_c + A_d)}$$

โดย $\dot{m}$ คือ อัตราการระเหยของน้ำจากผลิตภัณฑ์, kg/s

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ[18] เท่ากับ 2,257 kJ/kg

G_t คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย, W/m^2

$A_c + A_d$ คือ พื้นที่รับรังสีรวมของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์, m^2

มวลของกล้วยน้ำว้าก่อนอบแห้งทั้งหมด เท่ากับ 6.84 kg

มวลของกล้วยน้ำว้าหลังอบแห้งทั้งหมด เท่ากับ 2.75 kg

ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมด 5 วัน วันละ 9 ชั่วโมง เท่ากับ $3600 \times 9 \times 5 = 162{,}000$ วินาที

สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\eta = \frac{\frac{(6.84 - 2.75)}{(162{,}000)} \times 2{,}257{,}000}{620.8667 \times ((1.015 \times 0.6) + (0.975 \times 0.6))} = 0.0769$$

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวมของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เท่ากับ 7.69%

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เทียบกับพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์อย่างเดียว

$$\eta = \frac{\dot{m}h_{fg}}{G_t(A_c)}$$

สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\eta = \frac{\frac{(6.84 - 2.75)}{(162{,}000)} \times 2{,}257{,}000}{620.8667 \times (1.015 \times 0.6)} = 0.1507$$

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เท่ากับ 15.07%

ความชื้นมาตรฐานแห้งของกล้วย

ความชื้นมาตรฐานแห้งของกล้วยก่อนทำการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

กล้วยตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนอบด้วย Hot air oven (g)	น้ำหนักหลังอบด้วย Hot air oven (g)
ชิ้นที่ 1	45.412	14.021
ชิ้นที่ 2	45.228	13.927
ชิ้นที่ 3	41.606	13.05
เฉลี่ย	44.082	13.666

$$MC_{d.b.} = \frac{w-d}{d} \times 100$$

$$= \frac{44.082 - 13.666}{13.666} \times 100 = 222.567 \text{ เปอร์เซ็นต์ (ความชื้นมาตรฐานเปียก 70 เปอร์เซ็นต์)}$$

ความชื้นมาตรฐานแห้งของกล้วยหลังทำการอบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เป็นเวลา 5 วัน

กล้วยตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนอบด้วย Hot air oven (g)	น้ำหนักหลังอบด้วย Hot air oven (g)
ชิ้นที่ 1	17.89	12.997
ชิ้นที่ 2	23.043	16.572
ชิ้นที่ 3	15.039	11.08
เฉลี่ย	18.657	13.55

$$MC_{d.b.} = \frac{w-d}{d} \times 100$$

$$= \frac{18.657 - 13.55}{13.55} \times 100 = 37.69 \text{ เปอร์เซ็นต์ (ความชื้นมาตรฐานเปียก 27.37 เปอร์เซ็นต์)}$$

ความชื้นมาตรฐานแห้งของกล้วยอบแห้งยี่ห้อจิราพร

กล้วย ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อนอบด้วย Hot air oven (g)	น้ำหนักหลังอบด้วย Hot air oven (g)
ชิ้นที่ 1	18.958	13.662
ชิ้นที่ 2	17.115	12.297
ชิ้นที่ 3	18.613	13.406
เฉลี่ย	18.229	13.122

$$MC_{d.b.} = \frac{w-d}{d} \times 100$$

$$= \frac{18.229 - 13.122}{13.122} \times 100 = 38.919$$ เปอร์เซ็นต์ (ความชื้นมาตรฐานเปียก 28.02 เปอร์เซ็นต์)

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการระเหยของน้ำและอัตราการอบแห้ง

จากข้อมูลผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่างในการอบแห้ง สามารถนำมาคำนวณหาอัตราการระเหยของน้ำและอัตราการอบแห้ง ณ เวลาใดๆ ได้ดังต่อไปนี้

ข้อมูลผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่างในการอบแห้ง วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554

เวลา	น้ำหนัก (g)	วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554						
8.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	24.997	23.173	35.934	**28.035**	29.988	25.992	24.877	**26.952**
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	32.262	28.896	24.469	**28.542**	23.146	22.630	21.633	**22.470**
9.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	24.567	22.926	35.402	**27.632**	29.608	25.794	24.618	**26.673**
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	31.080	28.426	24.252	**27.919**	22.930	22.430	21.422	**22.261**
10.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	24.073	22.453	34.570	**27.032**	28.910	25.431	24.043	**26.128**
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	31.207	27.919	23.924	**27.683**	22.408	21.760	20.971	**21.713**

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการระเหยน้ำ

น้ำหนักเฉลี่ยที่เวลา 8.00 น. เท่ากับ (28.035+26.952+28.542+22.470)/4 = 26.499 กรัม

น้ำหนักเฉลี่ยที่เวลา 9.00 น. เท่ากับ (27.632+26.673+27.919+22.261)/4 = 26.121 กรัม

น้ำหนักเฉลี่ยที่เวลา 10.00 น. เท่ากับ (27.032+26.128+27.683+21.713)/4 = 25.639 กรัม

จากการประมาณค่าเริ่มต้นโดยวิธี Forward Difference Approximation

ดังนั้น การระเหยน้ำต่อชั่วโมงที่เวลา 8.00 น. เท่ากับ 26.499-26.121 = 0.378 กรัมของน้ำ/ชั่วโมง

จากการประมาณค่าช่วงกลางโดยวิธี Central Difference Approximation

ดังนั้น การระเหยน้ำต่อชั่วโมงที่เวลา 9.00 น. เท่ากับ (26.499-25.639)/2 = 0.43 กรัมของน้ำ/ชั่วโมง

จากการประมาณค่าท้ายสุดโดยวิธี Backward Difference Approximation

ดังนั้น การระเหยน้ำต่อชั่วโมงที่เวลา 10.00 น. เท่ากับ 26.121-25.639 = 0.482 กรัมของน้ำ/ชั่วโมง

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการอบแห้ง

น้ำหนักเฉลี่ยที่เวลา 8.00 น. เท่ากับ 26.499 กรัม มีความชื้นมาตรฐานแห้งเท่ากับ 86.5 เปอร์เซ็นต์
น้ำหนักเฉลี่ยที่เวลา 9.00 น. เท่ากับ 26.121 กรัม มีความชื้นมาตรฐานแห้งเท่ากับ 83.8 เปอร์เซ็นต์
น้ำหนักเฉลี่ยที่เวลา 10.00 น. เท่ากับ 25.639 กรัม มีความชื้นมาตรฐานแห้งเท่ากับ 80.5 เปอร์เซ็นต์

จากการประมาณค่าเริ่มต้นโดยวิธี Forward Difference Approximation
ดังนั้น อัตราการอบแห้งที่เวลา 8.00 น. เท่ากับ 86.5-83.8 = 2.7 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง/ชั่วโมง

จากการประมาณค่าช่วงกลางโดยวิธี Central Difference Approximation
ดังนั้น อัตราการอบแห้งที่เวลา 9.00 น. เท่ากับ (86.5-80.5)/2 = 3 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง/ชั่วโมง

จากการประมาณค่าท้ายสุดโดยวิธี Backward Difference Approximation
ดังนั้น อัตราการอบแห้งที่เวลา 10.00 น. เท่ากับ 83.8-80.5 = 3.3 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง/ชั่วโมง

ภาคผนวก ง

ภาคผนวก ง

ความเร็วอากาศที่ไหลเข้าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

ได้ทำการวัดเป็นจำนวน 10 ครั้ง ได้ค่าดังนี้

ครั้งที่	ความเร็ว (m/s)
1	0.74
2	0.75
3	0.73
4	0.74
5	0.74
6	0.75
7	0.75
8	0.73
9	0.74
10	0.73
เฉลี่ย	0.74

การหาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่เข้าสู่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

สมการหาอัตราการไหลเชิงมวล $\dot{q} = \rho VA$ หน่วย kg/s

พื้นที่หน้าตัดของช่องลมเท่ากับ 0.035×0.545 m^2

ความหนาแน่นของอากาศ [19] เท่ากับ 1.1839 kg/m^3

$$\dot{q} = \rho VA$$

$$\dot{q} = 1.1839 \times 0.74 \times 0.035 \times 0.545$$

$$\dot{q} = 0.0167 \text{ kg/s}$$

ข้อมูลสภาวะจากการเปิดเครื่องโดยไม่มีผลิตภัณฑ์อยู่ในตู้อบแห้ง

วันที่ 25 มกราคม 2554

Time	$\dot{m}$	G	T_1	T_2	T_3	T_4	RH_{in}	RH_{out}	T_{amb}	η_c
8.00	0.0167	206.77	23.3	29.4	29.95	28.65	88.66	63.98	25.3	81.303
8.30	0.0167	337.528	25.55	32.3	32.85	31.15	80.75	46.68	26.6	55.114
9.00	0.0167	461.218	27.5	35.4	35.9	33.55	70.13	32.79	26.6	47.205
9.30	0.0167	550.684	26.25	37.9	39.35	37.3	84.24	33.58	26	58.303
10.00	0.0167	698.058	29.2	41.65	43.85	41.5	70.16	26.69	28.3	49.152
10.30	0.0167	785.788	28.75	43.3	46.3	43.7	74.68	24.52	28.7	51.030
11.00	0.0167	823.67	29.45	44.65	47.95	44.95	76.29	25.82	33.1	50.858
11.30	0.0167	872.774	29.3	45.5	48.65	44.3	79.15	27.91	31.7	51.154
12.00	0.0167	905.758	31.65	47.4	50.75	42.45	67.07	33.16	33.6	47.922
12.30	0.0167	905.572	30.25	48.05	51.1	45.55	74.44	24.5	33.5	54.170
13.00	0.0167	886.724	32.25	48.2	51.25	45	63.46	27.48	32.2	49.572
13.30	0.0167	848.098	32.55	48.2	51	47.4	62.28	23.14	33.4	50.855
14.00	0.0167	798.002	33	47.85	50.45	47.7	59.61	18.59	32.6	51.285
14.30	0.0167	719.324	31.85	46.55	48.7	46.4	68.34	23.74	33.7	56.319
15.00	0.0167	624.588	32.4	44.4	46.1	43.4	62.46	30.54	32.3	52.948
15.30	0.0167	520.862	31	43.05	44.2	41.05	68.75	33.3	32.7	63.757
16.00	0.0167	397.792	30.85	40.85	41.85	40.6	67.48	32.71	31.6	69.280
16.30	0.0167	247.38	29.8	37.9	38.75	37.7	72.04	42.97	31.1	90.237
17.00	0.0167	61.442	29.45	33.6	33.75	32.5	64.83	51.95	29.7	186.144

ข้อมูลสภาวะในการอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2554

Time	$\dot{m}$	G	T_1	T_2	T_3	T_4	RH_{in}	RH_{out}	T_{amb}	η_c
8.00	0.0167	238.142	22.85	27.8	27.6	26.65	103.39	53.01	26.4	57.284
8.30	0.0167	437.596	25.6	33.65	33.15	31.55	89.21	47.31	25.7	50.698
9.00	0.0167	577.468	25.95	35.65	35.75	33.8	89.29	38.9	25.9	46.292
9.30	0.0167	691.424	28.4	38.25	38.4	36.1	77.13	29.43	26	39.261
10.00	0.0167	787.772	28.6	41.5	42	39.6	87.38	29.14	27	45.129
10.30	0.0167	857.026	31.3	44.35	45.4	40.25	78.33	31.16	26.9	41.964
11.00	0.0167	922.312	31.3	45.6	47.25	43.75	75.84	25.6	32.7	42.729
11.30	0.0167	962.674	34.55	47.9	49.25	46.15	65.11	22.97	34.2	38.218
12.00	0.0167	975.198	34.5	49.65	50.9	47.8	64.28	16.29	32.1	42.814
12.30	0.0167	974.578	33.5	48.8	50.2	46.8	65.05	20.14	35.2	43.265
13.00	0.0167	952.94	34.9	49.35	50.25	47.8	60.59	21.04	37	41.790
13.30	0.0167	900.984	35.3	49.8	50.65	48.1	59.57	20.92	35.4	44.352
14.00	0.0167	826.336	34.6	48.95	49.6	47.8	64.87	23.09	37.5	47.859
14.30	0.0167	745.736	33.4	47.85	47.25	44.55	70.3	20.93	31.3	53.401
15.00	0.0167	622.418	35	45.75	45.4	42.85	59.13	23.55	33.2	47.598
15.30	0.0167	494.946	34.3	43.65	43.6	41.65	55.37	28.13	34.6	52.062
16.00	0.0167	363.072	32.45	41.05	40.95	39.1	57.62	31.64	32.1	65.279
16.30	0.0167	231.57	32.9	38	37.7	36.85	52.02	35.28	32.1	60.695
17.00	0.0167	91.884	28.75	33.8	33.35	32.2	62.85	42.32	30	151.467

วันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2554

Time	$\dot{m}$	G	T_1	T_2	T_3	T_4	RH_{in}	RH_{out}	T_{amb}	η_c
8.00	0.0167	277.016	21.5	26.65	26.9	25.4	80.87	32.49	22	51.235
8.30	0.0167	412.052	25.85	32.85	32.5	31	74.45	29.26	24.5	46.818
9.00	0.0167	547.584	29.85	38	38.55	36.9	85.26	29.44	29.4	41.018
9.30	0.0167	667.492	26.75	38.05	38.9	36.8	76.03	26.97	28.7	46.655
10.00	0.0167	756.586	29.6	41.2	42.35	39.9	75.42	22.7	30.2	42.254
10.30	0.0167	837.558	28.45	41.3	43.2	40.6	60.28	23.89	31.9	42.282
11.00	0.0167	897.45	30.3	43.15	45.05	41.95	72.61	24.62	31.9	39.460
11.30	0.0167	937.068	31.75	46.4	48.5	45.7	81.83	23.74	29.6	43.086
12.00	0.0167	953.126	34.8	47.35	49.2	45.8	64.05	25.3	32.2	36.288
12.30	0.0167	964.72	33.05	48.95	50.1	47.05	68.58	24.85	35.2	45.421
13.00	0.0167	942.772	31.4	48.35	50.2	44.85	69.42	26.7	34.9	49.548
13.30	0.0167	893.234	34.1	47.6	49.45	47.1	65.94	28.74	35.9	41.652
14.00	0.0167	829.312	33.9	48.35	49.55	47.85	61.86	31.13	31.9	48.019
14.30	0.0167	747.224	33.9	47.45	48.45	46.35	68.95	34.49	33.6	49.975
15.00	0.0167	650.504	34.1	46.2	47.2	45.25	67.42	38.67	33.4	51.263
15.30	0.0167	546.158	34.85	45.3	46.25	44.45	63.35	43.49	34	52.731
16.00	0.0167	412.176	32.45	42.1	43.15	41.6	80.87	32.49	33.1	64.522
16.30	0.0167	282.72	31.75	39	39.45	38.35	74.45	29.26	32.5	70.672
17.00	0.0167	143.158	31.2	36.2	36.2	35.1	85.26	29.44	31.5	96.254

วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554

Time	$\dot{m}$	G	T_1	T_2	T_3	T_4	RH_{in}	RH_{out}	T_{amb}	η_c
8.00	0.0167	174.22	21.1	25.75	26.05	24.8	106.66	73.99	23.6	73.556
8.30	0.0167	304.358	22.65	31.1	32.25	31.2	92.94	60.27	25.9	76.513
9.00	0.0167	445.842	24.15	32.3	33.35	32.2	85.42	49.94	24.7	50.378
9.30	0.0167	543.864	26.95	35.3	35.95	33.7	79.22	39.27	27.3	42.312
10.00	0.0167	677.04	29.8	39.95	41.5	39.15	70.2	32.8	28.2	41.316
10.30	0.0167	792.918	31.4	43.2	45.05	42.7	69.27	27.55	29.1	41.013
11.00	0.0167	779.216	32.05	43.25	45.35	42.3	62.79	27.17	29.7	39.612
11.30	0.0167	829.312	29.7	43.15	46.25	43.55	60.62	28.8	29.8	44.696
12.00	0.0167	962.178	32	46.95	50.75	44.2	73.13	29.53	34.6	42.820
12.30	0.0167	964.534	34.2	49.5	52.55	50.3	63.85	20.98	33.3	43.716
13.00	0.0167	884.616	33.25	48.3	51.15	49.45	64.64	19.44	35.4	46.886
13.30	0.0167	901.294	36.2	49.85	52.3	50.9	55.74	21.59	37.2	41.738
14.00	0.0167	843.386	35.3	49.4	51.9	49.9	54.14	18.89	38.2	46.074
14.30	0.0167	735.072	36.55	48.95	50.8	49.85	53.6	23.42	34.6	46.490
15.00	0.0167	640.336	34.35	46.25	48.2	45.6	60.78	26.42	36.1	51.216
15.30	0.0167	550.808	35.25	45.6	47.45	45.95	56.06	27.3	36	51.785
16.00	0.0167	427.49	33.7	43.7	45.35	44.3	62.48	30.24	37.2	64.467
16.30	0.0167	294.128	32.8	40.15	41.3	40.25	61.91	35.46	33.8	68.868
17.00	0.0167	160.766	30.9	37.5	38.15	37.65	67.23	41.7	32.9	113.140

วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2554

Time	$\dot{m}$	G	T_1	T_2	T_3	T_4	RH_{in}	RH_{out}	T_{amb}	η_c
8.00	0.0167	171.244	21.95	24.75	25.2	23.95	103.02	75.67	23.9	45.062
8.30	0.0167	296.98	23.1	31.95	32.95	31.85	96.27	56.39	28.3	82.126
9.00	0.0167	412.486	24.35	32.55	33.95	32.75	91.25	47.45	26.8	54.786
9.30	0.0167	549.878	26.45	36.3	37.75	35.75	100	40.62	26.8	49.367
10.00	0.0167	642.568	28.4	39.8	41.95	39.45	98.14	36.4	27.4	48.893
10.30	0.0167	725.896	29.25	42.5	45.25	42.4	101.11	32.13	28.4	50.304
11.00	0.0167	771.342	32.5	44.15	47	44.85	83.75	28.71	30.2	41.624
11.30	0.0167	844.502	32.85	45.4	49.25	46.4	81.98	25.41	34.1	40.955
12.00	0.0167	881.826	32.55	47.8	51.65	49.35	85.04	20.07	35.7	47.660
12.30	0.0167	887.406	31.95	47.85	51.85	48.85	86.5	18.33	31.2	49.379
13.00	0.0167	853.926	33.45	47.95	52	46.8	80.93	25.2	35.6	46.796
13.30	0.0167	822.368	33.6	48.85	52.1	50.3	86.55	23.53	33.5	51.106
14.00	0.0167	758.57	33.45	47.7	50.75	49.35	84.63	24.28	33.3	51.771
14.30	0.0167	694.586	35.65	47.55	50.3	48.15	73.3	24.99	35.4	47.216
15.00	0.0167	614.11	37.4	46.05	48.8	47.2	61.11	25	36.5	38.818
15.30	0.0167	501.394	36.4	43.6	46	44.95	62.53	28.8	34.7	39.575
16.00	0.0167	385.95	35.35	42.15	44.15	43.15	63.73	32.95	33.9	48.556
16.30	0.0167	257.548	35.35	39.9	41.4	40.85	58.61	34.91	34.6	48.688
17.00	0.0167	144.646	35.05	36.9	37.95	36.9	54.44	41.87	32	35.248

วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2554

Time	$\dot{m}$	G	T_1	T_2	T_3	T_4	RH_{in}	RH_{out}	T_{amb}	η_c
8.00	0.0167	264.244	25.1	30.1	31.3	31.05	89.68	75.79	25.3	52.147
8.30	0.0167	366.792	25.65	32.85	34.4	32.4	80.21	61.01	27.7	54.098
9.00	0.0167	345.464	26	34.2	35.1	29.7	84.42	53.42	27.3	65.415
9.30	0.0167	605.12	29.25	39.3	41.55	39.95	88.56	61.48	27.6	45.771
10.00	0.0167	659.99	29.65	41.1	44	41.6	78.16	31.77	29.6	47.812
10.30	0.0167	702.646	29.25	42.9	46.9	43.85	83.24	33.12	29.3	53.538
11.00	0.0167	796.948	31.2	44.9	48.95	47	91.01	30.95	30.7	47.376
11.30	0.0167	825.902	31	45.85	50.05	41.5	82.42	25.51	34.3	49.552
12.00	0.0167	802.156	32.8	46.3	50.45	49.2	90.61	41.32	31.2	46.381
12.30	0.0167	831.172	33.1	46.05	49.6	47.3	78.89	25.84	34	42.938
13.00	0.0167	779.96	33.35	47.1	50.75	47.35	79.29	29.57	36.8	48.584
13.30	0.0167	727.508	33.15	45.85	49	47.5	80.9	31.21	33.6	48.110
14.00	0.0167	663.4	33.1	45.9	49	47.3	82.69	31.62	33.9	53.174
14.30	0.0167	557.132	34.05	44.65	46.75	44.35	80.82	30.44	35.1	52.434
15.00	0.0167	488.808	32.85	43.25	45.55	44.35	71.19	32.17	33.7	58.635
15.30	0.0167	372	33.8	41.6	43.6	42.35	69.46	29.97	34	57.785
16.00	0.0167	271.498	32.35	39.9	41.85	41.05	67.43	37.6	33.8	76.638
16.30	0.0167	176.762	31.75	38.1	39.2	38.95	69.49	37.43	32.8	99.003
17.00	0.0167	264.244	25.1	30.1	31.3	31.05	71.82	44.43	25.3	52.147

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยที่ตากโดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2554

เวลา	น้ำหนัก (g)	วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2554						
8.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	42.921	41.681	57.445	47.349	48.811	46.714	44.172	46.566
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	52.811	48.908	43.554	48.424	42.926	38.506	41.509	40.980
9.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	42.041	40.981	56.823	46.615	48.120	46.311	43.581	46.004
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	51.698	47.945	43.028	47.557	42.300	37.933	41.020	40.418
10.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	41.120	40.288	54.456	45.288	47.099	45.460	42.478	45.012
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	50.418	46.532	41.882	46.277	41.321	37.012	39.949	39.427
11.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	39.688	39.206	54.456	44.450	45.701	44.354	41.011	43.689
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	48.934	44.856	40.629	44.806	39.716	35.816	39.020	38.184
12.00 น	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	37.021	37.502	52.456	42.326	44.067	42.856	39.512	42.145
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	47.125	43.152	38.860	43.046	37.930	34.356	37.154	36.480
13.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	36.408	35.970	50.745	41.041	42.433	41.385	37.927	40.582
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	45.329	41.400	37.094	41.274	36.125	32.822	35.298	34.748
14.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2

	34.915	34.276	48.576	39.256	41.329	39.348	36.371	39.016
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	43.512	40.077	35.815	39.801	34.220	31.479	33.912	33.204
15.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	33.548	32.712	47.698	37.986	39.932	37.877	35.105	37.638
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	41.934	38.797	34.175	38.302	32.960	30.239	32.457	31.885
16.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	32.778	31.622	46.668	37.023	39.068	36.495	34.175	36.579
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	41.003	37.672	32.932	37.202	31.739	29.504	31.447	30.897
17.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	32.152	31.042	45.945	36.380	38.442	35.845	33.729	36.005
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	40.294	37.045	32.161	36.500	31.001	29.040	30.544	30.195

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2554

เวลา	น้ำหนัก (g)	วันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2554						
8.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	32.107	30.675	45.776	36.186	38.175	35.450	33.311	35.645
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	40.209	37.089	31.967	36.422	30.870	28.992	29.922	29.928
9.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	31.206	30.191	44.969	35.455	37.401	34.905	32.582	34.963
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	39.205	35.832	31.599	35.545	30.527	28.542	29.395	29.488
10.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	30.102	29.484	43.825	34.470	36.359	34.124	31.378	33.954

	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	38.307	34.524	30.944	34.592	29.893	27.690	28.607	28.730
11.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	29.006	28.498	42.238	33.247	35.040	32.788	29.885	32.571
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	37.238	33.229	30.014	33.494	28.776	26.565	27.316	27.552
12.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	28.228	27.596	40.998	32.274	34.034	31.745	28.858	31.546
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	36.429	32.363	29.160	32.651	27.758	25.747	26.273	26.593
13.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	27.363	26.385	39.422	31.057	32.855	29.976	27.532	30.121
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	35.201	31.422	27.856	31.493	26.456	24.256	24.785	25.166
14.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	26.498	25.188	38.128	29.938	31.697	28.207	26.477	28.794
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	33.992	30.443	26.505	30.313	25.395	23.766	23.288	24.150
15.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	25.929	24.335	37.188	29.151	30.983	27.047	25.673	27.901
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	33.149	29.767	25.538	29.485	24.515	23.022	22.411	23.316
16.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	25.426	23.754	36.501	28.560	30.452	26.213	25.166	27.277
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	32.534	29.259	24.889	28.894	23.789	22.491	21.810	22.697
17.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	25.083	23.427	35.971	28.160	30.065	25.762	24.799	26.875
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	32.120	28.937	24.420	28.492	23.352	22.177	21.438	22.322

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554

เวลา	น้ำหนัก (g)	วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554						
8.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	24.997	23.173	35.934	28.035	29.988	25.992	24.877	26.952
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	32.262	28.896	24.469	28.542	23.146	22.630	21.633	22.470
9.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	24.567	22.926	35.402	27.632	29.608	25.794	24.618	26.673
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	31.080	28.426	24.252	27.919	22.930	22.430	21.422	22.261
10.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	24.073	22.453	34.570	27.032	28.910	25.431	24.043	26.128
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	31.207	27.919	23.924	27.683	22.408	21.760	20.971	21.713
11.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	23.605	22.097	33.627	26.443	28.163	24.802	23.322	25.429
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	30.612	27.305	23.210	27.042	21.695	21.136	20.363	21.065
12.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	23.061	21.375	32.739	25.725	27.454	23.941	22.529	24.641
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	29.985	26.697	22.442	26.375	20.980	20.402	19.585	20.322
13.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	22.113	20.754	32.105	24.991	26.881	23.035	21.884	23.933
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	29.345	26.196	21.523	25.688	20.275	19.845	18.956	19.692
14.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2

	21.164	20.225	31.261	24.217	26.308	22.238	21.244	23.263
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	28.724	25.679	20.859	25.087	19.567	19.290	18.209	19.022
15.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	21.861	19.824	30.795	24.160	25.911	21.620	20.810	22.780
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	28.259	25.286	20.318	24.621	19.068	18.897	17.680	18.548
16.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	21.604	19.523	30.404	23.844	25.579	21.150	20.492	22.407
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	27.884	24.984	19.943	24.270	18.713	18.593	17.360	18.222
17.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	21.421	19.353	30.131	23.635	25.343	20.903	20.263	22.170
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	27.620	24.792	19.691	24.034	18.446	18.419	17.140	18.002

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2554

เวลา	น้ำหนัก (g)	วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2554						
8.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	21.497	19.512	30.157	23.722	25.215	21.146	20.231	22.197
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	27.637	24.900	19.781	24.106	18.503	18.525	17.266	18.098
9.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	21.184	19.322	29.764	23.423	24.965	20.915	19.925	21.935
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	27.229	24.611	19.589	23.810	18.323	18.243	17.097	17.888
10.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	20.930	19.087	29.302	23.106	24.621	20.618	19.496	21.578

	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	26.913	24.270	19.321	23.501	18.080	17.958	16.861	17.633
11.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	20.650	18.826	28.738	22.738	24.201	20.207	19.022	21.143
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	26.546	23.918	18.943	23.136	17.733	17.628	16.550	17.304
12.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	20.385	18.546	28.365	22.432	23.848	19.800	18.654	20.767
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	26.154	23.587	18.623	22.788	17.465	17.268	16.254	16.996
13.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	20.127	18.273	27.979	22.126	23.472	19.402	18.262	20.379
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	25.789	23.261	18.270	22.440	17.076	17.031	15.902	16.670
14.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	19.909	17.026	27.448	21.461	23.213	19.085	18.017	20.105
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	25.483	23.034	17.963	22.160	16.806	16.844	15.627	16.426
15.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	19.753	17.848	27.214	21.605	22.951	18.837	17.835	19.874
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	25.224	22.844	17.723	21.930	16.584	16.675	15.437	16.232
16.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	19.631	17.727	27.034	21.464	22.854	18.662	17.698	19.738
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	25.048	22.703	17.578	21.776	16.446	16.564	15.323	16.111
17.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	19.534	17.667	26.894	21.365	22.731	18.580	17.597	19.636
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	24.916	22.616	17.482	21.671	16.349	16.501	15.246	16.032

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2554

เวลา	น้ำหนัก (g)	วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2554						
8.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	19.446	17.771	26.912	21.376	22.588	18.810	17.641	19.680
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	24.893	22.630	17.598	21.707	16.409	16.549	15.356	16.105
9.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	19.338	17.681	26.717	21.245	22.428	18.709	17.473	19.537
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	24.725	22.485	17.510	21.573	16.347	16.446	15.286	16.026
10.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	19.192	17.558	26.473	21.074	22.234	18.550	17.280	19.355
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	24.548	22.325	17.373	21.415	16.224	16.330	15.176	15.910
11.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	19.072	17.448	26.196	20.905	22.031	18.838	17.276	19.382
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	24.381	22.155	17.233	21.256	16.096	16.185	15.053	15.778
12.00 น	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	18.956	17.343	25.991	20.763	21.877	18.230	16.919	19.009
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	24.233	22.012	17.093	21.113	15.963	16.080	14.947	15.663
13.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	18.850	17.215	25.842	20.636	21.785	18.065	16.779	18.876
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	24.032	21.859	16.946	20.946	15.845	15.945	14.785	15.525
14.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	18.725	17.092	25.642	20.486	21.580	17.894	16.639	18.704
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4

	23.875	21.737	16.793	20.802	15.674	15.838	14.679	15.397
15.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	18.672	16.996	25.499	20.389	21.474	17.777	16.554	18.602
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	23.724	21.623	16.676	20.674	15.565	15.756	14.582	15.301
16.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	18.565	16.929	25.394	20.296	21.386	17.688	16.484	18.519
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	23.631	21.545	16.608	20.595	15.497	15.695	14.522	15.238
17.00 น.	ถาด 1	ถาด 1	ถาด 1	เฉลี่ยถาด 1	ถาด 2	ถาด 2	ถาด 2	เฉลี่ยถาด 2
	18.528	16.905	25.345	20.259	21.344	17.659	16.450	18.484
	ถาด 3	ถาด 3	ถาด 3	เฉลี่ยถาด 3	ถาด 4	ถาด 4	ถาด 4	เฉลี่ยถาด 4
	23.579	21.508	16.570	20.552	15.462	15.674	14.503	15.213

ข้อมูลน้ำหนักกล้วยรวมในแต่ละวันของการอบแห้ง

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนอบและหลังอบ วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2554

ถาด	น้ำหนักกล้วยก่อนอบ (kg)	น้ำหนักกล้วยหลังอบ (kg)	น้ำหนักที่หายไปหลังการอบ (kg)	น้ำหนักถุง (kg)
1	1.74	1.36	0.38	0.011846
2	1.73	1.39	0.34	0.011846
3	1.76	1.37	0.39	0.011846
4	1.61	1.26	0.35	0.011846
รวม	6.84	5.38	1.46	0.047384

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนอบและหลังอบ วันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2554

ถาด	น้ำหนักกล้วยก่อนอบ (kg)	น้ำหนักกล้วยหลังอบ (kg)	น้ำหนักที่หายไปหลังการอบ (kg)	น้ำหนักถุง (kg)
1	1.37	1.07	0.3	0.013061
2	1.4	1.09	0.31	0.01282
3	1.37	1.07	0.3	0.012899
4	1.27	0.96	0.31	0.013026
รวม	5.41	4.19	1.22	0.051806

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนอบและหลังอบ วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554

ถาด	น้ำหนักกล้วยก่อนอบ (kg)	น้ำหนักกล้วยหลังอบ (kg)	น้ำหนักที่หายไปหลังการอบ (kg)	น้ำหนักถุง (kg)
1	1.07	0.88	0.19	0.013463
2	1.09	0.88	0.21	0.012605
3	1.07	0.89	0.18	0.012889
4	0.96	0.75	0.21	0.012593
รวม	4.19	3.4	0.79	0.05155

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนอบและหลังอบ วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2554

ถาด	น้ำหนักกล้วยก่อนอบ (kg)	น้ำหนักกล้วยหลังอบ (kg)	น้ำหนักที่หายไปหลังการอบ (kg)	น้ำหนักถุง (kg)
1	0.88	0.78	0.1	0.012457
2	0.88	0.77	0.11	0.012014
3	0.89	0.79	0.1	0.012377
4	0.75	0.65	0.1	0.01198
รวม	3.4	2.99	0.41	0.048828

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนอบและหลังอบ วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2554

ถาด	น้ำหนักกล้วยก่อนอบ (kg)	น้ำหนักกล้วยหลังอบ (kg)	น้ำหนักที่หายไปหลังการอบ (kg)	น้ำหนักถุง (kg)
1	0.78	0.72	0.06	0.012271
2	0.77	0.69	0.08	0.01218
3	0.79	0.73	0.06	0.012164
4	0.65	0.61	0.04	0.012007
รวม	2.99	2.75	0.24	0.048622

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตากด้วยแสงอาทิตย์โดยตรง

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2554

เวลา	น้ำหนัก ตัวอย่าง 1 (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง 2 (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง 3 (g)	เฉลี่ย
8.00 น.	42.66	41.974	44.255	42.963
9.00 น.	41.725	41.115	43.31	42.05
10.00 น.	40.48	39.838	42.025	40.781
11.00 น.	39.043	38.203	40.469	39.238
12.00 น.	37.571	36.93	39.184	37.895
13.00 น.	36.099	35.656	37.881	36.545
14.00 น.	35.142	34.493	36.755	35.463
15.00 น.	34.215	33.421	35.911	34.516
16.00 น.	33.447	32.918	35.077	33.814
17.00 น.	32.741	32.185	34.447	33.124

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2554

เวลา	น้ำหนัก ตัวอย่าง 1 (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง 2 (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง 3 (g)	เฉลี่ย
8.00 น.	32.76	32.188	34.462	33.137
9.00 น.	31.713	31.03	33.461	32.068
10.00 น.	30.255	29.738	32.071	30.688
11.00 น.	29.256	28.697	30.899	29.617
12.00 น.	28.549	28.004	30.163	28.905
13.00 น.	27.778	27.254	29.339	28.124
14.00 น.	27.002	26.491	28.515	27.336
15.00 น.	26.416	25.937	27.932	26.762
16.00 น.	25.962	25.513	27.47	26.315
17.00 น.	25.643	25.108	27.103	25.951

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554

เวลา	น้ำหนัก ตัวอย่าง 1 (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง 2 (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง 3 (g)	เฉลี่ย
8.00 น.	25.556	24.933	27.095	25.861
9.00 น.	25.262	24.628	26.791	25.560
10.00 น.	24.644	24.013	26.15	24.936
11.00 น.	24.05	23.536	25.536	24.374
12.00 น.	23.52	22.986	25.035	23.847
13.00 น.	23.215	22.548	24.589	23.451
14.00 น.	22.705	22.159	24.155	23.006
15.00 น.	22.394	21.856	23.836	22.695
16.00 น.	22.093	21.591	23.546	22.41
17.00 น.	21.875	21.386	23.329	22.197

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2554

เวลา	น้ำหนัก ตัวอย่าง 1 (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง 2 (g)	น้ำหนัก ตัวอย่าง 3 (g)	เฉลี่ย
8.00 น.	21.914	23.314	21.328	22.185
9.00 น.	21.626	21.104	23.073	21.934
10.00 น.	21.307	20.751	22.757	21.605
11.00 น.	20.965	20.434	22.374	21.258
12.00 น.	20.684	20.191	22.058	20.978
13.00 น.	20.42	19.948	21.765	20.711
14.00 น.	20.205	19.749	21.544	20.499
15.00 น.	20.034	19.595	21.369	20.333
16.00 น.	19.888	19.465	21.208	20.187
17.00 น.	19.77	19.363	21.089	20.074

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยตัวอย่าง วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2554

เวลา	น้ำหนักตัวอย่าง 1 (g)	น้ำหนักตัวอย่าง 2 (g)	น้ำหนักตัวอย่าง 3 (g)	เฉลี่ย
8.00 น.	19.856	19.415	21.06	20.11
9.00 น.	19.738	19.308	20.94	19.995
10.00 น.	19.512	19.093	20.708	19.771
11.00 น.	19.322	18.928	20.518	19.589
12.00 น.	19.19	18.808	20.38	19.459
13.00 น.	19.065	18.695	20.247	19.336
14.00 น.	18.941	18.579	20.115	19.212
15.00 น.	18.85	18.487	20.009	19.115
16.00 น.	18.751	18.406	19.913	19.023
17.00 น.	18.706	18.36	19.865	18.977

ข้อมูลน้ำหนักกล้วยรวมในแต่ละวันของการตากแห้ง

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนตากและหลังตาก วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2554

น้ำหนักก่อนตาก (kg)	น้ำหนักหลังตาก (kg)	น้ำหนักที่หายไปหลังตาก(kg)	น้ำหนักถุง (kg)
1.30	1.00	0.3	0.011846

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนตากและหลังตาก วันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2554

น้ำหนักก่อนตาก (kg)	น้ำหนักหลังตาก (kg)	น้ำหนักที่หายไปหลังตาก(kg)	น้ำหนักถุง (kg)
1.00	0.79	0.21	0.013036

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนตากและหลังตาก วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554

น้ำหนักก่อนตาก (kg)	น้ำหนักหลังตาก (kg)	น้ำหนักที่หายไปหลังตาก(kg)	น้ำหนักถุง (kg)
0.79	0.66	0.13	0.012728

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนตากและหลังตาก วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2554

น้ำหนักก่อนตาก (kg)	น้ำหนักหลังตาก (kg)	น้ำหนักที่หายไปหลังตาก(kg)	น้ำหนักถุง (kg)
0.66	0.60	0.06	0.012202

ผลการชั่งน้ำหนักกล้วยรวมก่อนตากและหลังตาก วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2554

น้ำหนักก่อนตาก (kg)	น้ำหนักหลังตาก (kg)	น้ำหนักที่หายไปหลังตาก(kg)	น้ำหนักถุง (kg)
0.60	0.56	0.04	0.012116

ประวัติจัดผู้ทำโครงงาน

ชื่อ – ชื่อสกุล : นาย นคร อินทรวรรณ

วัน เดือน ปี เกิด : 27 มีนาคม พ.ศ. 2532

ที่อยู่ปัจจุบัน : 14/2 หมู่ 2 ตำบลหาดล้า อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ 53190

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี : มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

มัธยมศึกษา : โรงเรียนอุตรดิตถ์

ชื่อ – ชื่อสกุล : นาย วัชระ เณรรอด

วัน เดือน ปี เกิด : 18 สิงหาคม พ.ศ. 2531

ที่อยู่ปัจจุบัน : 43/5 หมู่ 5 ตำบลป่าเซ่า อำเภอเมืองอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี : มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

มัธยมศึกษา : โรงเรียนอุตรดิตถ์

ชื่อ – ชื่อสกุล : นาย อังกูร แก้วเจริญ

วัน เดือน ปี เกิด : 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2532

ที่อยู่ปัจจุบัน : 118/45 หมู่ 9 ตำบลบางม่วง อำเภอเมืองนครสวรรค์
จังหวัดนครสวรรค์ 60000

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี : มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

มัธยมศึกษา : โรงเรียนนครสวรรค์