

การศึกษาการอบแห้งกล้วยภายในพาราโบลาโคม



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2565

การศึกษาการอบแห้งกล้วยภายในพาราโบลาโดม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สำนักบริหารและพัฒนาระบบราชการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษาการอบแห้งกล้วยภายในพาราโบลาโตม

ณฤทธิ วรหาญ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพาพร คำแดง)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำพร ปัญญาใหญ่)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สืบคำ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รองอธิการบดี

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การศึกษาการอบแห้งกล้วยภายในพาราโบลาโดม
ชื่อผู้เขียน	นายณฤทธิ์ วรหาญ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพาพร คำแดง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอโดมอบแห้งพลังงานร่วมจากการอบแห้งเป็นเทคนิคการเก็บรักษาวัตถุดิบผลิตภัณฑ์จึงมีการนำพลังงานทดแทนมาใช้ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและร่วมกับพลังงานจากแก๊สหุงต้ม ซึ่งมีการนำเทคโนโลยีชุดควบคุมอุณหภูมิมาช่วยในการอบแห้งจึงทำให้การอบแห้งมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยโดมอบแห้งมีขนาดความกว้าง 3.2 เมตร สูง 2.5 เมตร ยาว 4 เมตร วัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบ คือ กล้วยน้ำว้าปริมาณ 5 กิโลกรัม ในการทดสอบได้มีการจำลองทิศทางของอากาศภายในโดมอบแห้งโดยใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ 700 800 900 และ 1000 rpm และในการทดสอบได้มีการเปรียบเทียบโดมอบแห้งที่ไม่มีชุดควบคุมอุณหภูมิกับโดมที่มีการควบคุมอุณหภูมิและศึกษาความชื้นสุดท้ายของกล้วยอบแห้งและการประหยัดแก๊สหุงต้มเชื้อเพลิงที่ใช้ในการให้พลังงานความร้อน คือ แก๊ส LPG ขนาด 15 กิโลกรัม ทำการทดสอบโดยใช้วัสดุชนิดเดียวกัน อย่างละ 3 ซ้ำ และวัดอุณหภูมิภายในโดมอบแห้ง ทั้งหมด 7 จุด โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล วัดความชื้นภายในและนอกโดมอบแห้ง ทั้งหมด 7 จุด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ค่าความชื้นแบบดิจิตอล พบว่าโดมอบแห้งที่มีการควบคุมอุณหภูมิจึงมีประสิทธิภาพการอบแห้งมากกว่าโดมอบแห้งแบบไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ มีอุณหภูมิในโดมที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิมิค่าเฉลี่ยขณะทำการอบแห้งเท่ากับ 73.74 ± 2.06 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในช่วงที่ต้องการคือ 7-12% ในระยะเวลา 5 ชั่วโมง มีการใช้ปริมาณแก๊สอยู่ที่ 8.2 กิโลกรัม และมีประสิทธิภาพการอบแห้ง 1.136 เปอร์เซนต์ และโดมที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิมิค่าเฉลี่ยขณะทำการอบแห้งสูงสุดที่ 83.32 ± 2.70 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในช่วงที่ต้องการคือ 7-12% ในระยะเวลา 5 ชั่วโมง มีการใช้ปริมาณแก๊สอยู่ที่ 11.4 กิโลกรัม และมีประสิทธิภาพการอบแห้ง 1.1 เปอร์เซนต์ ทำให้การปรับปรุงประสิทธิภาพของโดมดียิ่งขึ้นแต่ยังคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้งไว้คงที่ได้

คำสำคัญ : อบแห้ง, พาราโบลาโดม, พลังงานความร้อน

Title	THE STUDY OF BANANA DRYING INSIDE A PARABOLIC DOME
Author	Mr. Narid Worrahan
Degree	Master of Engineering in Agricultural Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Tipapon Khamdaeng

ABSTRACT

This thesis presents the hybrid solar drying dome. This drying is a technique of preserving raw materials adopting renewable energy such as environmentally friendly solar energy together with energy from cooking gas including a technology of a temperature control unit to enhance the drying efficiency. The drying dome has a width of 3.2 meters, a height of 2.5 meters, 4 meters long, raw materials used in the test are 5 kilograms of bananas. In the test, the direction of the air inside the drying dome was simulated using different speeds of the motor, namely 700, 800, 900 and 1000 rpm. A drying dome without temperature control was compared with a temperature controlled dome. The final moisture content of dried bananas and the savings in cooking gas were studied. The fuel used for heating is 15 kg of LPG gas. The test was performed 3 times with the same material, and the temperature inside the drying dome was measured at 7 points by using thermocouples. Moisture was measured inside and outside the drying dome in all 7 points using a digital moisture analyzer. It was found that the temperature-controlled drying dome had more drying efficiency than the non-temperature-controlled drying dome. The mean temperature in the temperature-controlled dome during drying was $73.74 \pm 2.06^{\circ}\text{C}$, the final moisture content of the product was in the required range of 7-12% within 5 hours, the gas consumption was 8.2 kg, and the drying efficiency was 1.136% and the non temperature-controlled dome had a mean temperature of $83.32 \pm 2.7^{\circ}\text{C}$, and the final moisture content of the product was in the required range of 7-12% within 5 hours, the gas consumption was 11.4 kg, and the drying efficiency was 1.1%. This study improved the dome

efficiency but still kept the quality of the banana drying product.

Keywords : Drying, Parabola dome, Heat energy



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิตติ คำเมืองลือ อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งได้ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการอบแห้งกล้วยภายในพาราโบลาทอม เป็นงานวิจัยที่ผู้วิจัยตั้งใจในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพาพร คำแดง เป็นประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ความรู้คำแนะนำ และให้คำปรึกษา ตลอดจนการดูแลเอาใจใส่จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำพร ปัญญาใหญ่ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย ซึ่งได้ให้เกียรติเป็นกรรมการที่ปรึกษาร่วมในการทำวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่การทำวิจัยรวมถึงตรวจแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเนตร สืบคำ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมเกษตร ซึ่งได้ให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆ เกี่ยวกับความรู้และทดสอบทางด้าน การอบแห้งอาหารเป็นประโยชน์ แก่การทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน และบุคลากรสาขาวิศวกรรมเกษตรและวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้คำแนะนำในหลายๆ ด้าน และเป็นกำลังใจจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบคุณ หจก.คำธาราการ์ลิก แอนด์ โพรเซสฟู้ดส์ ที่ให้ได้คำแนะนำ และศึกษาการอบแห้ง เพื่อเป็นความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุน พร้อมทั้งคำแนะนำ และเป็นกำลังใจจนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จด้วยดี

ณฤทธิ์ วรหาญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญภาพภาคผนวก.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ.....	3
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
1.4 ขอบเขตของการทำโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การอบแห้ง (DRYING).....	4
2.2 ความหมายของการอบแห้ง.....	4
2.3 อัตราเร็วในการอบกับเส้นกราฟแสดงสมบัติการอบ.....	4
2.4 ความชื้น (Humidity).....	7
2.5 วิธีการหาความชื้น.....	8
2.6 ประเภทของการอบแห้ง.....	8
2.7 ประเภทของเครื่องอบกับการเลือกใช้.....	10
2.8 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.....	20

2.9 กลไกการถ่ายเทความร้อน.....	23
2.10 การหาประสิทธิภาพของการอบแห้ง	25
2.11 วัสดุคลุมผนังโดมอบแห้ง.....	25
2.12 หลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์สีของผลิตภัณฑ์ โดยเครื่องมือ Reflected-color measurement spectrophotometer (Hunter Lab mini-scan XE).....	27
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	36
3.1 วิธีการดำเนินวิจัย.....	37
3.2 วิธีการหาค่าความชื้นของวัตถุดิบ (Moisture Content).....	50
3.3 การวัดค่าความหวาน (Brix)	51
3.4 วิธีการวัดค่าความร้อนภายในโดมด้วยเทอร์โมคัปเปิล	51
3.5 วิธีการวัดค่าความชื้นในอากาศด้วยเครื่องวัดความชื้น	51
3.6 วิเคราะห์ข้อมูลโดยการกำหนดตัวแปร	52
3.7 วิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้ง.....	52
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล	55
4.1 รายละเอียดการออกแบบ.....	55
4.2 ผลการศึกษาโดมอบแห้ง	56
4.3 การจำลองการไหลเวียนของอากาศภายในโดมพาราโบลา.....	57
4.4 ผลการทดสอบ	60
4.5 การวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิของโดมอบแห้ง เพื่อหาความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ เหมาะสม.....	61
4.6 การทดสอบการกระจายอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ.....	64
4.7 การทดสอบวัดค่าความชื้นภายในโดมเปรียบเทียบระหว่างโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุม อุณหภูมิ และไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ.....	66

4.8 การทดสอบวัดค่าความชื้นในผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบระหว่างโคมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุม อุณหภูมิ และไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ.....	69
4.9 การเปรียบเทียบค่าสี.....	73
4.10 การเปรียบเทียบค่าความหวาน	74
4.11 ปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG.....	75
4.12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอบแห้ง.....	77
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	78
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	78
5.2 ข้อเสนอแนะหรือข้อจำกัด.....	80
บรรณานุกรม.....	82
ภาคผนวก.....	84
ประวัติผู้วิจัย.....	100



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ข้อมูลทางเทคนิค	27
ตารางที่ 2 ตารางส่วนประกอบของโดมอบแห้งในแบบสามมิติ	56
ตารางที่ 3 ค่าอุณหภูมิของการทดลองโดยความเร็วรอบมอเตอร์ 700 rpm	62
ตารางที่ 4 ค่าอุณหภูมิของการทดลองโดยความเร็วรอบมอเตอร์ 800 rpm	62
ตารางที่ 5 ค่าอุณหภูมิของการทดลองโดยความเร็วรอบมอเตอร์ 900 rpm	63
ตารางที่ 6 ค่าอุณหภูมิของการทดลองโดยความเร็วรอบมอเตอร์ 1000 rpm	63
ตารางที่ 7 ค่าอุณหภูมิของการทดลองแบบควบคุมอุณหภูมิโดยความเร็วรอบมอเตอร์ 700 rpm	65
ตารางที่ 8 ค่าอุณหภูมิของการทดลองโดยความเร็วรอบมอเตอร์ 700 rpm แบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ66	
ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยความชื้นภายในโดมของการทดลองโดยใช้ความเร็วที่ 700 rpm แบบที่ใช้เครื่อง ควบคุมอุณหภูมิ.....	68
ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยความชื้นภายในโดมของการทดลองโดยใช้ความเร็วที่ 700 rpm แบบที่ไม่ใช้ เครื่องควบคุมอุณหภูมิ.....	69
ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยความชื้นของการทดลองโดยใช้ความเร็วแต่ละรอบมอเตอร์ เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง เท่ากันทุกความเร็วรอบ.....	70
ตารางที่ 12 ความชื้นของการทดลองโดยใช้ความเร็วที่ 700 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง แบบควบคุมอุณหภูมิ.....	71
ตารางที่ 13 ความชื้นของการทดลองโดยใช้ความเร็วที่ 700 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง แบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ.....	72
ตารางที่ 14 การวัดค่าสีของการทดลองโดยใช้ความเร็วที่ 700 รอบต่อนาทีแบบควบคุมอุณหภูมิ....	74
ตารางที่ 15 การวัดค่าสีของการทดลองโดยใช้ความเร็วที่ 700 รอบต่อนาทีแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ	74
ตารางที่ 16 การวัดค่าความหวานของผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบแต่ละรอบมอเตอร์	75
ตารางที่ 17 การวัดค่าการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ยในแต่ละรอบความเร็ว	76

ตารางที่ 18 การวัดค่าการใช้เชื้อเพลิงในความเร็วรอบที่ 700 rpm แบบควบคุมอุณหภูมิและแบบไม่
 ควบคุมอุณหภูมิ..... 76



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบ	5
ภาพที่ 2 เส้นกราฟอัตราเร็วในการอบในช่วงอัตราเร็วลดลง	7
ภาพที่ 3 เครื่องอบ flash dryer.....	11
ภาพที่ 4 ตู้อบ spray dryer.....	12
ภาพที่ 5 เครื่องอบ drying tumbler.....	13
ภาพที่ 6 ตู้อบ fluidized bed dryer.....	14
ภาพที่ 7 เครื่องอบ tray dryer	15
ภาพที่ 8 เครื่องอบ tunnel dryer	16
ภาพที่ 9 เครื่องอบ through-flow band dryer	16
ภาพที่ 10 ตู้อบแบบ bezel stirring dryer	17
ภาพที่ 11 เครื่องอบแบบ drum dryer.....	17
ภาพที่ 12 เครื่องอบ vacuum dryer แบบต่อเนื่อง	18
ภาพที่ 13 เครื่องอบ vacuum freeze dryer	19
ภาพที่ 14 ที่ตากแห้งโดยธรรมชาติ.....	21
ภาพที่ 15 โดมอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และมีพัดลมช่วยระบายอากาศ	22
ภาพที่ 16 โดมอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานในรูปแบบอื่น	22
ภาพที่ 17 การถ่ายเทความร้อน.....	25
ภาพที่ 18 ลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุทึบแสง.....	28
ภาพที่ 19 ลักษณะการทะลุผ่านแสงของวัตถุโปร่งแสงและโปร่งใส	28
ภาพที่ 20 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ: Hue บรรยายถึงเฉดสี และ Chroma บรรยายถึงความมันวาวหรือความเข้มของโทนสี	30

ภาพที่ 21 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE Lab ในรูป 3 มิติ.....	30
ภาพที่ 22 Spectrophotometer แบบพกพาของ Minolta รุ่น 2600d.....	31
ภาพที่ 23 แผนภูมิการดำเนินการทดลอง	36
ภาพที่ 24 แบบจำลองของโดมพาราโบลา	37
ภาพที่ 25 โดมพาราโบลา.....	39
ภาพที่ 26 แผ่นโพลีคาร์บอเนต.....	39
ภาพที่ 27 เครื่องเป่าลม.....	40
ภาพที่ 28 กล้อง Magnetic	41
ภาพที่ 29 แก๊สเชื้อเพลิง (LPG).....	42
ภาพที่ 30 เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ Wisco.....	43
ภาพที่ 31 สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K.....	43
ภาพที่ 32 เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิแบบดิจิตอล	44
ภาพที่ 33 เครื่องวัดความเร็วลม.....	44
ภาพที่ 34 มีดสไลด์กล้วย.....	45
ภาพที่ 35 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล	46
ภาพที่ 36 เครื่องวัดค่าความหวาน.....	47
ภาพที่ 37 หัวปรับแรงดัน สำหรับแก๊ส LPG	48
ภาพที่ 38 เครื่องวัดสีวัดทุติย MiniScan XE Plus.....	48
ภาพที่ 39 เครื่องอบสูญญากาศ BINDE	49
ภาพที่ 40 แบบโดมอบแห้งต้นแบบ 3 มิติ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร).....	55
ภาพที่ 41 แบบชิ้นวางและตะแกรงต้นแบบ 3 มิติ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร).....	56
ภาพที่ 42 แบบจำลองความเร็วรอบที่ 700 rpm.....	57
ภาพที่ 43 แบบจำลองความเร็วรอบที่ 800 rpm.....	58
ภาพที่ 44 แบบจำลองความเร็วรอบที่ 900 rpm.....	58

ภาพที่ 45 แบบจำลองความเร็วรอบที่ 1000 rpm	59
ภาพที่ 46 ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (หน่วยเป็นมิลลิเมตร).....	61
ภาพที่ 47 กราฟอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้จากโคมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ	64
ภาพที่ 48 กราฟอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้จากโคมอบแห้งที่ไม่ใช่เครื่องควบคุมอุณหภูมิ	65
ภาพที่ 49 กราฟแสดงค่าความชื้นเฉลี่ยที่วัดได้ต่อเวลาในโคมอบแห้งที่ใช้ เครื่องควบคุมอุณหภูมิใน ความเร็วรอบที่ 700 rpm.....	67
ภาพที่ 50 กราฟแสดงค่าความชื้นเฉลี่ยที่วัดได้ต่อเวลาในโคมอบแห้งที่ไม่ใช่ เครื่องควบคุมอุณหภูมิใน ความเร็วรอบที่ 700 rpm.....	68
ภาพที่ 51 กราฟแสดงค่าความชื้นเฉลี่ยในแต่ละรอบมอเตอร์	70
ภาพที่ 52 กราฟแสดงค่าความชื้นเฉลี่ยในความเร็วรอบที่ 700 rpm แบบใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ	71
ภาพที่ 53 กราฟแสดงค่าความชื้นเฉลี่ยในความเร็วรอบที่ 700 rpm แบบไม่ใช่เครื่องควบคุมอุณหภูมิ 72	
ภาพที่ 54 กราฟแสดงการใช้ปริมาณแก๊สสุ่งต้มทั้งแบบควบคุม อุณหภูมิและแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ	76

สารบัญญภาพภาคผนวก

	หน้า
ภาพภาคผนวกที่ 1 ตารางแสดงการคำนวณพลังงานและประสิทธิภาพ.....	81
ภาพภาคผนวกที่ 2 ตารางแสดงอุณหภูมิภายในโคมเปล่าที่ความเร็วรอบที่ 700 rpm...	81
ภาพภาคผนวกที่ 3 ตารางแสดงอุณหภูมิภายในโคมโดยมีการควบคุมอุณหภูมิที่ ความเร็วรอบที่ 700 rpm.....	83
ภาพภาคผนวกที่ 4 ตารางแสดงความชื้นภายในโคมพาราโบล่าที่ความเร็วรอบที่ 700 rpm.....	85
ภาพภาคผนวกที่ 5 ตารางแสดงความชื้นภายในโคมพาราโบล่าที่ความเร็วรอบที่ 800 rpm.....	86
ภาพภาคผนวกที่ 6 ตารางแสดงความชื้นภายในโคมพาราโบล่าความเร็วรอบที่ 900 rpm.....	86
ภาพภาคผนวกที่ 7 ความชื้นภายในโคมพาราโบล่าที่ความเร็วรอบที่ 1000 rpm.....	87
ภาพภาคผนวกที่ 8 ตารางแสดงวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบที่ 700 800 900 และ 1000 rpm.....	87
ภาพภาคผนวกที่ 9 โครงสร้างโคมพาราโบล่า.....	88
ภาพภาคผนวกที่ 10 ระบบเครื่องควบคุมอุณหภูมิ.....	89
ภาพภาคผนวกที่ 11 ชั้นวางภายในโคมพาราโบล่า.....	89
ภาพภาคผนวกที่ 12 กลัวยน้ำว่า.....	90
ภาพภาคผนวกที่ 13 กลัวยน้ำว่าปลอกเปลือก.....	90
ภาพภาคผนวกที่ 14 กลัวยน้ำว่าสไลด์.....	91
ภาพภาคผนวกที่ 15 กลัวยน้ำว่าบนชั้นวางในโคมพาราโบล่า.....	91
ภาพภาคผนวกที่ 16 กลัวยน้ำว่าอบแห้ง.....	92
ภาพภาคผนวกที่ 17 การชั่งน้ำหนักกลัวยเพื่อวัดความชื้น.....	92
ภาพภาคผนวกที่ 18 การทดสอบวัดความหวานของกลัวยน้ำว่า.....	93
ภาพภาคผนวกที่ 19 เครื่องวัดสีกลัวย.....	93
ภาพภาคผนวกที่ 20 การวัดสีของกลัวยน้ำว่า.....	94

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการทำแห้งผลิตผลเกษตรนั้นว่ามีความสำคัญมากเพราะเป็นพลังงานที่สะอาด ได้ฟรีจากธรรมชาติ ซึ่งประเทศไทยมีศักยภาพสูงในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการทำแห้งผลิตผลเกษตรเนื่องจากมีแสงอาทิตย์เกือบตลอดปีจึงนิยมทำกันโดยทั่วไปทั้งในระดับชาวบ้านและระดับอุตสาหกรรมคือการตากแห้ง เพราะง่ายและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย แต่มีปัญหา คือ ความสะอาด ไม่ถูกต้องตามสุขลักษณะ มีการปนเปื้อน จากฝุ่นละออง รวมทั้งมีแมลงรบกวน และยังมีข้อจำกัดอันเนื่องมาจากฝนตกทำให้ไม่สามารถตากแห้งได้ จึงได้มีงานวิจัย(Arekornchee 2559) ในการสร้างเครื่องอบหรือโรงอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์จำนวนมาก เช่น โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกที่ใช้หลักการสะสมความร้อนของเรือนกระจกกล่าวคือ เมื่อดังแสงอาทิตย์ส่องผ่านกระจกหรือพลาสติกใสเข้าไปภายในแล้วเปลี่ยนเป็นความร้อน และแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา แต่ไม่สามารถผ่านกระจกหรือพลาสติกออกมาข้างนอกได้ ทำให้อากาศภายในโรงอบร้อนขึ้นโดยไม่ต้องใช้แผงรับแสงอาทิตย์ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างลงได้ อุณหภูมิของอากาศภายในโรงอบแห้งตอนกลางวันที่มีแดด จะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยมากกว่า 10°C โดยโรงอบแห้งเป็นทั้งตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์และห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ในเครื่องเดียวกัน ตัวอย่างเช่น กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานและภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร (2547) ได้ทำการออกแบบโครงสร้างของตัวเครื่องให้เป็นรูปทรงพาราโบลา ใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตใสคลุมห้องอบแห้งซึ่งโรงอบแห้งแบบนี้มีประสิทธิภาพและทนทาน แต่ต้นทุนค่อนข้างสูง

จากปัญหาการตากแห้งไม่ได้ในช่วงฝนตก และกลางคืนที่มีน้ำค้างมาก จะทำให้ผลิตภัณฑ์เน่าเสีย เกิดเชื้อราที่เป็นพิษ หรือใช้เวลานานเกินปกติ คุณภาพผลิตภัณฑ์ด้อยลง ทำให้เกษตรกรหรือผู้ประกอบการต่าง ๆ ไม่สนใจจะลงทุนจัดหาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาการใช้พลังงานความร้อนเสริมจากเชื้อเพลิงอื่นร่วมด้วยในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ มีงานวิจัย (Bala and Janjai 2013) ออกแบบสร้างโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สะสมความร้อนแบบภาวะเรือนกระจก โดยออกแบบโรงอบแห้ง ขนาด 6.00 m x 6.00 m x 2.00 m (กว้าง x ยาว x สูง) คลุมด้วยพลาสติกชนิด LDPE ป้องกันรังสีอุลตราไวโอเลต(UV) มีการติดตั้งชุดความร้อนจากก๊าซหุงต้มเป็นพลังงานความร้อนร่วม จากการทดสอบใช้พลังงานความร้อนร่วมแก๊สหุงต้ม(LPG) ในช่วงเวลากลางคืน พบว่ามีอัตราการใช้แก๊สสิ้นเปลืองมากเฉลี่ย 2 kg/hr ที่อุณหภูมิภายนอกโรงอบแห้งเฉลี่ย 27°C เพื่อให้ได้อุณหภูมิภายในโรงอบแห้ง 50°C การสร้างความร้อนในโรงอบแห้งโดยตรง มีการ

สูญเสียความร้อนไปกับอากาศแวดล้อมมาก เพราะวัสดุคลุมโรงอบแห้งเป็นฉนวนที่ไม่ดีและยังพบปัญหาพลาสติกที่ใช้คลุมมีอายุการใช้งานสั้นใช้ได้ประมาณ 2 ปี และเสี่ยงต่อการถูกทำลายจากสัตว์บางชนิด

กล้วยน้ำว้าตากแห้งหรือที่เรียกกันทั่วไปว่า “กล้วยตาก” เป็นผลไม้แห้งที่คนไทยนิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวางตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ถึงแม้การผลิตกล้วยตากจะมีอยู่ทั่วประเทศ แต่แหล่งผลิตกล้วยตากที่ใหญ่ที่สุดอยู่ที่อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก จากการประเมินของนักวิจัย พบว่าปัจจุบันมีผลผลิตกล้วยตากปีละประมาณ 4,000 ตัน ผู้ผลิตกล้วยตากในอำเภอบางกระทุ่มจะอยู่กันเป็นชุมชนซึ่งประกอบด้วย ผู้ผลิตรายใหญ่และผู้ผลิตรายย่อย โดยผู้ผลิตรายใหญ่จะมีผลผลิตกล้วยตากเฉลี่ยตั้งแต่ 100 ตันต่อปีและผู้ผลิตรายย่อยมีผลผลิตต่ำกว่า 100 ตันต่อปี ผู้ผลิตกล้วยตากกล่าวผลผลิตกล้วยทั้งที่เป็นอาชีพหลักและอาชีพเสริม การผลิตกล้วยตากในอำเภอบางกระทุ่มมีประวัติศาสตร์การพัฒนามาเป็นเวลาประมาณ 100 ปี ทั้งนี้เพราะอำเภอบางกระทุ่มมีดินดีซึ่งเหมาะสมกับการปลูกกล้วยคุณภาพดีและได้รับแสงแดดดีด้วย อย่างไรก็ตามก่อนปี พ.ศ. 2550 การผลิตกล้วยตากของชุมชนกล้วยตากบางกระทุ่มยังคงใช้วิธีดั้งเดิมกล่าวคือ ใช้วิธีตากกล้วยบนแคร่ไม้ไผ่ตามธรรมชาติ และกระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์สด และการจัดการผลิตภัณฑ์แห้งยังเป็นแบบดั้งเดิมซึ่งไม่ถูกสุขลักษณะ นักวิจัยจึงได้ดำเนินการพัฒนาการผลิตกล้วยตากในชุมชนผู้ผลิตกล้วยตากในอำเภอบางกระทุ่มโดยผ่านทางโครงการต่าง ๆ หลายโครงการจนปัจจุบันเกิดการผลิตกล้วยตากแบบอุตสาหกรรมซึ่งก่อให้เกิดการจ้างงานและยกระดับคุณภาพของกล้วยตากจากผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์คุณภาพสูงสามารถจำหน่ายในตลาดของฝากรดับชาติและส่งออกไปจำหน่ายในต่างประเทศได้

จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการตากแห้งของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพลังงานความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ เช่น โรงตากแห้งที่มีการนำผลิตภัณฑ์วางไว้บนชั้นวางเพื่อตากแห้งโดยเป็นโรงเรือนแบบเปิด ห้องอบแห้งที่มีการนำผลิตภัณฑ์วางไว้บนชั้นวางและให้ความร้อนในห้องอบแห้งโดยเป็นห้องแบบปิด โรงอบแห้งที่มีการวางผลิตภัณฑ์วางไว้บนชั้นวางโดยเป็นแบบโรงเรือนแบบปิดและให้ความร้อนเข้าสู่ภายในโรงอบแห้ง และ โดมอบแห้งที่มีการออกแบบการสร้างในรูปแบบโดมที่มีการวางผลิตภัณฑ์บนชั้นวางโดยให้ความร้อนเข้าสู่ภายในโดมอบแห้ง ดังนั้น การออกแบบพาราโบลาโดมร่วมกับการติดตั้งชุดทำความร้อนที่ได้พลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม โดยการปล่อยแก๊สหุงต้มทำให้เกิดความร้อนภายในโดมอบแห้งโดยตรงมีการสูญเสียความร้อนเป็นอย่างมาก จึงนำชุดทำความร้อนเข้าไปใช้ร่วมกับโดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโดมโดยใช้ความร้อนจากแก๊สหุงต้ม ซึ่งจะช่วยให้ลดการสูญเสียของแก๊สหุงต้ม และแก้ปัญหาการใช้โดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงไม่มีแดดได้เป็นอย่างดี

1.2 วัตถุประสงค์โครงการ

1. ทดสอบระบบในโดมอบแห้ง
2. ปรับปรุงระบบในโดมอบแห้ง
3. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบในโดมอบแห้ง

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้นำการอบแห้งทั้งสองระบบมารวมกันทำให้ได้กล้วยที่มีคุณภาพในเวลาเร็วขึ้น
2. โดมพาราโบลาที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวหรือใช้ความร้อนจากแก๊สเพียงอย่างเดียว
 - 2.1 คุณภาพเพิ่มขึ้น เช่น สีสวยขึ้น ถูกสุขลักษณะมากขึ้น
 - 2.2 ประหยัดพลังงานมากขึ้น
 - 2.3 ประหยัดเวลามากขึ้น

1.4 ขอบเขตของการทำโครงการ

1. กล้วยใช้เป็นกล้วยน้ำว้าสุก
2. ทดสอบในช่วงเวลา 8.00 - 18.00 น.
3. โดมพาราโบลาขนาด $3.2 \times 4 \times 2.5$ (กว้าง \times ยาว \times สูง) คลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตใส
4. ปริมาณกล้วยที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 5 กิโลกรัม
5. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในโดมพาราโบลาแบบ 1 และ 2 เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิในโดมพาราโบลาแบบ 1 และ 2
 - นิยาม 1 คือ แบบไม่มีชุดควบคุมอุณหภูมิ
 - นิยาม 2 คือ แบบมีชุดควบคุมอุณหภูมิ

บทที่ 2

หลักการทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การอบแห้ง (DRYING)

การอบแห้งและเครื่องอบแห้งมีความสำคัญในการลดความชื้นของวัตถุดิบ ไม่ว่าจะเป็นในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่มชนิดผง ยา อุตสาหกรรมสี ย้อม อุตสาหกรรมไม้ เป็นต้น การรู้จักชนิดของเครื่องอบแห้ง และการเลือกใช้ชนิดของเครื่องอบแห้งให้ตรงกับคุณสมบัติจำเพาะของวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นเรื่องจำเป็น ขนาดของเครื่องอบและเวลาที่ใช้ในการอบ จะส่งผลต่อปริมาณไฟฟ้า หรือปริมาณไอน้ำที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการ เมื่อโรงงานนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานมาใช้ ผู้ปฏิบัติงานจึงจำเป็นต้องรู้พื้นฐานของการอบแห้งและตู้อบแห้งเสียก่อน จึงจะสามารถนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานมาใช้ให้ได้ประโยชน์สูงสุด

2.2 ความหมายของการอบแห้ง

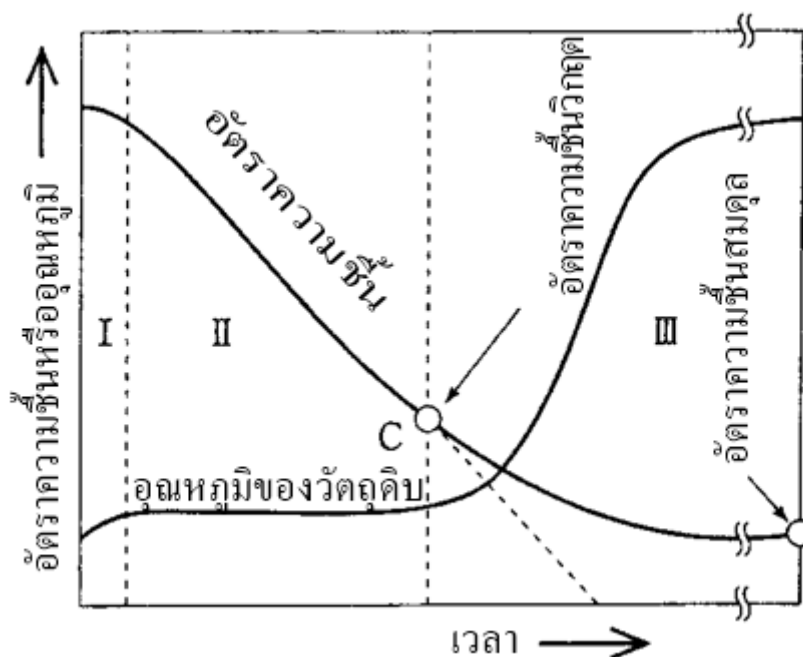
การอบแห้ง (Drying) คือ การเอาน้ำออกจากวัสดุที่ต้องการทำให้ปริมาณน้ำในวัสดุนั้นลดลง (ความชื้นลดลง) โดยส่วนใหญ่วัสดุนั้นจะอยู่ในสถานะของแข็ง น้ำที่ระเหยออกจากวัสดุนั้นอาจจะไม่ต้องระเหยที่จุดเดือดแต่ใช้อากาศพัดผ่านวัสดุนั้นเพื่อดึงน้ำออกมา วัสดุจะแห้งได้มาก-น้อยจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของมันด้วย ในการอบ เมื่อทำให้ของเหลวในวัตถุดิบระเหยเป็นไอ จะได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีสัดส่วนของของเหลวต่ำลง ซึ่งนอกจากจะมีกรณีที่วัตถุดิบมีสภาพเป็นของแข็งที่เปียกชื้นแล้ว ยังมีกรณีที่อบของเหลวข้น (slurry) หรือของเหลวใสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงอีกด้วย

เครื่องอบโดยมากมักจะเป็นส่วนสุดท้ายของกระบวนการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่อบแล้วจะกลายเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จทันที ดังนั้น การอบไม่สม่ำเสมอ เช่น ไม่แห้งหรือแห้งเกินไป และรูปร่างของผลิตภัณฑ์ เช่น วัตถุดิบเป็นก้อน รวมทั้งปริมาณผลได้ (yield) จึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสนใจ นอกจากนี้ความร้อนแฝงของการระเหยของของเหลวจะมีค่าสูง การอบจึงสิ้นเปลืองพลังงานมาก การจัดการพลังงานความร้อนจึงเป็นปัญหาที่สำคัญ

2.3 อัตราเร็วในการอบกับเส้นกราฟแสดงสมบัติการอบ

เมื่อนำวัตถุดิบที่จะอบซึ่งเปียกชื้นอย่างเพียงพอถึงผิวหน้ามาแขวนไว้ในกระแสลมร้อน แล้วติดตามตรวจวัดอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบนั้น โดยทั่วไปจะได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 1

ซึ่งกลไกการอบสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะที่มีลักษณะแตกต่างกัน กล่าวคือ (I) ช่วงอุ่นวัตถุดิบ (II) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ (III) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง



ภาพที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัสดุคืบ

ที่มา: (Energy 2004)

(I) ช่วงอุ่นวัสดุคืบ

ช่วง I เป็นช่วงที่อุณหภูมิของวัสดุคืบจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิตั้งต้น (อุณหภูมิห้อง) จนถึงอุณหภูมิสมดุลที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการอบ เรียกว่า ช่วงอุ่นวัสดุคืบ ในกรณีที่วัสดุคืบได้รับความร้อนด้วยการพาความร้อนโดยลมร้อน อุณหภูมิสมดุลนี้จะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมร้อนนั้น

(II) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่

ในช่วง II วัสดุคืบจะมีอุณหภูมิกึ่งที่ ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้รับจะถูกใช้ไปในการระเหยความชื้นเท่านั้น ชั้นของการระเหยจะเกิดที่ผิวหน้าของวัสดุคืบโดยอัตราเร็วในการอบจะมีค่าคงที่ ช่วงนี้เรียกว่า ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ ซึ่งจะดำเนินไปตราบเท่าที่มีความชื้นอิสระให้ระเหยอยู่ที่ผิวหน้าของวัสดุคืบ โดยอัตราความชื้นของวัสดุคืบจะลดลงด้วยอัตราเร็วคงที่

(III) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง

เมื่ออบไปเรื่อย ๆ จนปริมาณความชื้นที่ผิวหน้าวัสดุคืบแห้งลง และความชื้นภายในเนื้อวัสดุคืบเริ่มลดลง ความชื้นอิสระภายในตัววัสดุคืบจะซึมขึ้นมาทดแทน ให้ทันกับอัตราเร็วในการระเหยที่ผิวหน้า จึงเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ III ได้แก่ ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง ชั้นของการระเหยจะค่อยๆ เลื่อนลงลึกเข้าไปในเนื้อวัสดุคืบ อุณหภูมิของวัสดุคืบจะเริ่มเข้าใกล้อุณหภูมิของลมร้อนจากบริเวณพื้นผิว ใน

การอบความร้อนจะต้องเข้าไปถึงภายในเนื้อวัตถุดิบ นอกจากนี้ความร้อนส่วนหนึ่งยังต้องใช้ไปในการให้ความร้อนตัววัตถุดิบเองอีกด้วย อัตราเร็วในการอบจึงค่อยๆ ลดลงตามเวลาที่ผ่านไป

1. อัตราเร็วในการอบ (drying rate)

1.1 อัตราเร็วในการอบคงที่

ในช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ ปริมาณความร้อนที่ได้รับทั้งหมดจะถูกใช้ไปในการระเหยความชื้น เกิดเป็นสภาพสมดุลจลน์ขึ้น โดยวัตถุดิบจะมีอุณหภูมิคงที่ที่ T_m และความชื้นคงที่ที่ H_m และอัตราเร็วในการอบจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขภายนอกเป็นส่วนใหญ่ คืออุณหภูมิ T และความชื้น H ของลมร้อน อัตราเร็วในการอบคงที่ R_A จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$R_A = k_H (H_m - H) \quad (2.1)$$

$$R_A = (\alpha / \lambda) \times (T - T_m) \quad (2.2)$$

สัญลักษณ์ α แทนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน [$W/(m^2 \cdot K)$]

สัญลักษณ์ λ แทนความร้อนแฝงของการระเหย [J/kg -น้ำ]

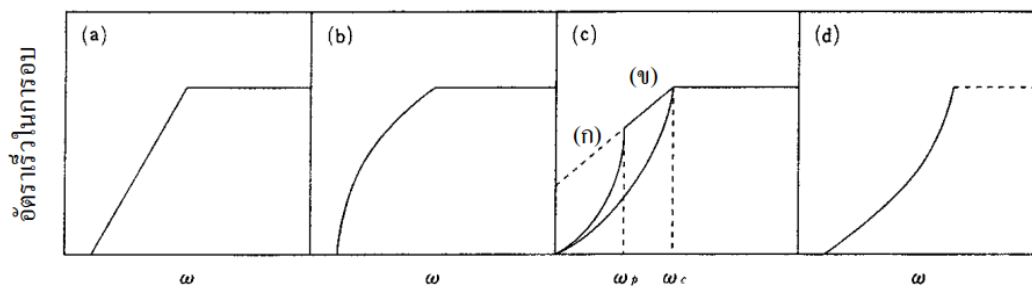
กรณีที่ได้รับความร้อนจากลมร้อนเท่านั้น T_m จะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียก T_w ของลมร้อน

$$R_A = (\alpha / \lambda) \times (T - T_w) \quad (2.3)$$

อัตราเร็วในการอบจะคำนวณได้จากสูตรข้างต้น ในที่นี้ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ λ [J/kg -น้ำ] จะใช้ค่าที่อุณหภูมิ T_w (อุณหภูมิกระเปาะเปียก)

1.2 อัตราเร็วในการอบด้วยอัตราเร็วลดลง

อัตราเร็วในการอบวัตถุดิบของแข็ง จะขึ้นอยู่กับสมบัติของวัตถุดิบและเงื่อนไขการอบ แต่รูปร่างของเส้นกราฟคุณลักษณะการอบในช่วงอัตราเร็วลดลงนี้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขภายใน ได้แก่ ลักษณะของวัตถุดิบ สมบัติของความชื้นภายในวัตถุที่มีอยู่ ฯลฯ มากกว่าเงื่อนไขการอบภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วของลมร้อน ฯลฯ เมื่อทำการวัดเส้นกราฟอัตราเร็วในช่วงอัตราเร็วลดลงของวัสดุต่าง ๆ จะแบ่งได้เป็น 4 ประเภทดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เส้นกราฟอัตราเร็วในการรอบในช่วงอัตราเร็วลดลง

ที่มา: (Energy 2004)

ในจำนวนประเภทต่าง ๆ ข้างต้น รูป (a) จะพบได้ในกรณีที่อนุภาคของวัตถุค้ำน้ำอยู่ในรูปที่ค่อนข้างเป็นอิสระ กล่าวคือ การรอบหยดของเหลว เยื่อบาง อนุภาคขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 5 mm เป็นต้น รูป (b) พบได้ในอนุภาคขนาดจิ๋วที่มีสมบัติ non-hydrophilic หรือวัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้นใยสั้นๆ เป็นต้น ทั้งรูป (a) และ (b) เป็นวัสดุที่น้ำจะเคลื่อนที่สู่ผิวหน้าด้วยแรง capillary ช่วงอัตราเร็วลดลงขั้นที่ 1 รูป (d) โดยมากจะพบในการอบสารเนื้อเดียว เช่น สบู่ กาว เจลาติน ฯลฯ ซึ่งไม่มีช่วงอบด้วยอัตราคงที่ โดยอัตราความชื้นที่ผิวจะลดลงอย่างรวดเร็วจนเท่ากับอัตราความชื้นสมดุลกับลมร้อน หลังจากนั้น การแพร่ของน้ำภายในวัตถุค้ำจะมีอิทธิพลเด่นชัดที่สุด การอบรูป (c) วัตถุค้ำมีสมบัติระหว่าง (a), (b) กับ (d) โดยช่วงอัตราการอบแห้งลดลง จะมี 2 ช่วง คือ หลังจากเกิดช่วงอัตราเร็วลดลงขั้นที่ 1 แล้วจะเข้าสู่ช่วงอัตราเร็วลดลงขั้นที่ 2 โดยกรณี (ก) จะพบในวัสดุที่มี osmotic water เช่น ดินเหนียว และกรณี (ข) เป็นรูปที่ทั่วไปที่สุด พบได้ในวัสดุหล่อ ชิ้นตะกอน เป็นต้น

ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการอบโดยคร่าวๆ สำหรับรูป (a), (b) จะแปรผันตามความหนาของวัสดุ ขณะที่รูป (d) จะแปรผันตามความหนาของวัตถุค้ำกำลังสอง ส่วนรูป (c) จะอยู่ระหว่างทั้งสองแบบข้างต้น

2.4 ความชื้น (Humidity)

โดยทั่วไปแล้วความชื้นในอากาศที่เราเรียกกันสั้นๆ ว่าความชื้นซึ่งมาจากคำเต็มๆ ว่า ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity หรือ RH) หมายถึง อัตราส่วน ระหว่าง ปริมาณความชื้น (ไอน้ำ) ที่มีอยู่จริงในอากาศ กับปริมาณความชื้น (ไอน้ำ) ที่อากาศขณะนั้นจะรองรับได้เต็มที่ ณ อุณหภูมิเดียวกัน (Matthes and Rushing, 1972) หากปริมาณความชื้น มีมากกว่าก็จะกลั่นตัว เป็นหยดน้ำ หน่วยของความชื้นสัมพัทธ์ จึงออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

- ปริมาณของไอน้ำในอากาศ
- มีอิทธิพลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้อย่างรุนแรง
- เป็นกลไกในการขับเคลื่อนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
- ความชื้นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิ

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ ต่อ ปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน หรือ อัตราส่วนของความดันไอน้ำที่มีอยู่จริง ต่อ ความดันไอน้ำอิ่มตัว ค่าความชื้นสัมพัทธ์แสดงในรูปของร้อยละ (%)

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \frac{(\text{ปริมาณไอน้ำที่อยู่ในอากาศ})}{(\text{ปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว})} \times 100\%$$

หรือ

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \frac{(\text{ความดันไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ})}{(\text{ความดันไอน้ำของอากาศอิ่มตัว})} \times 100\%$$

2.5 วิธีการหาความชื้น

ค่าความชื้นตามมาตรฐาน AOAC ตามสมการที่ (2.4)

$$M_d = ((w-d)/d) \times 100 \quad (2.4)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%_{db})

w คือ มวลของวัสดุชิ้น (kg)

d คือ มวลแห้งของวัสดุ (kg)

2.6 ประเภทของการอบแห้ง

1. การอบแห้งโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์

เป็นระบบการอบแห้งแบบ Passive คือ ระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยกระแสลมที่พัดเป็นตัวกลางพาความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

หลักการทํางาน

เครื่องตากแห้งโดยธรรมชาติ เป็นการวางวัสดุไว้ที่กลางแจ้ง อาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์ และกระแสลมในบรรยากาศในการระเหยความชื้นออกจาก วัสดุ

ตู้อบแห้งแบบได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง วัสดุที่อบจะอยู่ในเครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วยวัสดุที่โปร่งใส ความร้อนที่ใช้ออบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และอาศัยหลักการขยายตัวเอง อากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเท อากาศขึ้น

ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม เครื่องอบแห้งชนิดนี้วัสดุที่อยู่ภายในจะได้รับความร้อน 2 ทาง คือ ทางตรงจากดวงอาทิตย์และทางอ้อมจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้อากาศร้อนก่อนที่จะผ่านวัสดุอบแห้ง

2. การทำแห้งโดยใช้ลมร้อน (Hot air oven)

หลักการทํางาน

ใช้กระแส ลมร้อนสัมผัส กับวัตถุอบ เช่น ตู้อบลมร้อน (Hot air dryer) โดยจะใช้ Blower ในการเป่าลมร้อน จากแหล่งพลังงานความร้อนคือ Heater ไปยังวัตถุอบ

3. การอบแห้งด้วยการพ่นวัตถุอบที่เป็นของเหลวไปในลมร้อน

หลักการทํางาน

เครื่องอบแห้งแบบ พ่นฝอย (Spray dryer) มีกระบวนการ เริ่มจาก อากาศจะถูกดูดผ่าน filter และผ่านตัวให้ความร้อน จากนั้นจึงเข้าสู่ห้องอบแห้ง (drying chamber) ส่วนวัตถุอบที่ใช้ spray (feed) ควรมีลักษณะเหลว จากนั้นสารละลายของเหลวจะถูกดูดโดยปั๊มผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองฝอยภายในห้องอบและจุดสัมผัสกับอากาศร้อนทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียกเล็กน้อย จะได้ผงผลิตภัณฑ์ที่ตกลงสู่ด้านล่างของ drying chamber และผงบางส่วนที่หลุดมากับอากาศจะถูกแยกโดยใช้ cyclone จนได้ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายในกระบวนการอบด้วย spray dryer นั้น

4. การทำแห้งด้วยวิธีอื่น ๆ

การอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryer หรือ Roller dryer) การอบแห้งโดยให้วัตถุอบชั้นสัมผัสผิวหน้าของลูกกลิ้งร้อน เครื่องมือที่ใช้คือ

การอบแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze dryer) กำจัดความชื้นในวัตถุอบในสภาพที่ทำน้ำให้เป็นน้ำแข็งแล้วกลายเป็นไอในห้องสุญญากาศ ซึ่งเป็นการทำให้วัตถุอบแห้งแบบเยือกแข็ง

การอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟ (Microwave) หลักในการทำวัตถุอบให้แห้ง ลดความชื้นในวัตถุอบคือจะต้องไล่ไอน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ออกไป แต่จะยังมีความชื้นเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์เล็กน้อยแล้วแต่ชนิด

2.7 ประเภทของเครื่องอบกับการเลือกใช้

ขั้นตอนการเลือก

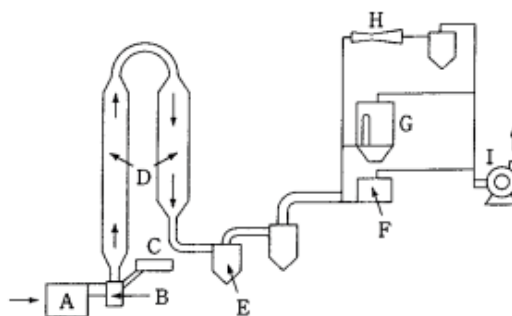
ลักษณะของวัตถุดิบที่จะนำมาอบจะมีความหลากหลาย ในการเลือกตู้อบจะยึดตามลักษณะความชื้นของวัตถุดิบเป็นหลัก หลังจากนั้นจึงพิจารณาถึงปริมาณการผลิต รูปแบบของกระบวนการ (ต่อเนื่องหรือ batch) รวมทั้งคุณลักษณะของกระบวนการและคุณลักษณะของตู้อบ เพื่อกำหนดเงื่อนไขการเดินเครื่อง พิจารณาขนาดกำลังการผลิตของตู้อบ เลือกอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ รวมทั้งเครื่องป้อน-ถ่ายวัตถุดิบออกจากตู้อบ แล้วคำนวณค่าเครื่องจักรและค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่อง เมื่อออกแบบพื้นฐานได้เป็นรูปธรรมแล้ว ยังต้องทำการทดสอบอบภายใต้เงื่อนไขที่ใกล้เคียงที่สุดกับเงื่อนไขการอบที่คาดการณ์เอาไว้อีกด้วย ในการทดสอบจะทำการตรวจสอบคุณลักษณะการอบ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ พฤติกรรมของวัตถุดิบภายในเครื่องอบ ฯลฯ ผลจากการทดสอบ อาจทำให้ต้องย้อนกลับไปพิจารณาเลือกชนิดของตู้อบใหม่เลยก็ได้ การทดสอบจะเป็นสิ่งที่สำคัญมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่ไม่สามารถคาดการณ์เกี่ยวกับคุณลักษณะของวัตถุดิบได้

การแบ่งประเภท

1. วิธีรับความร้อนด้วยลมร้อน

1.1 ตู้อบแบบแฟลช (flash dryer)

ตู้อบแบบนี้จะใช้วิธีเป่าวัตถุดิบที่เป็นผงขึ้นเข้าไปในกระแสมอุณหภูมิสูงภายในท่อตั้ง ลมจะเป่าวัตถุดิบให้ปลิวฟุ้งเพื่ออบให้แห้งอย่างรวดเร็ว ผงวัตถุดิบเมื่อแห้งแล้วจะลอยออกไปกับลมร้อน และเข้าสู่กระบวนการแยกด้วยการกรอง หรือใช้ไซโคลนอีกขั้นตอนหนึ่ง ตู้อบชนิดนี้เป็นมีโครงสร้างง่ายที่สุด แต่เนื่องจากมีระยะเวลาอบสั้นเพียงไม่กี่วินาที จึงไม่เหมาะกับการอบขั้นสุดท้าย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวัตถุดิบจะปลิวฟุ้งอยู่ในกระแสอากาศ อัตราความชื้นวิกฤตจึงมีค่าต่ำมาก นอกจากนี้ยังเดินเครื่องด้วยกระแสราบเรียบ จึงสามารถใช้ลมร้อนอุณหภูมิสูง 400-600 °C ได้ ดังนั้นจึงมีประสิทธิภาพสูง แสดงตัวอย่างของเครื่องอบแบบนี้ในภาพที่ 3



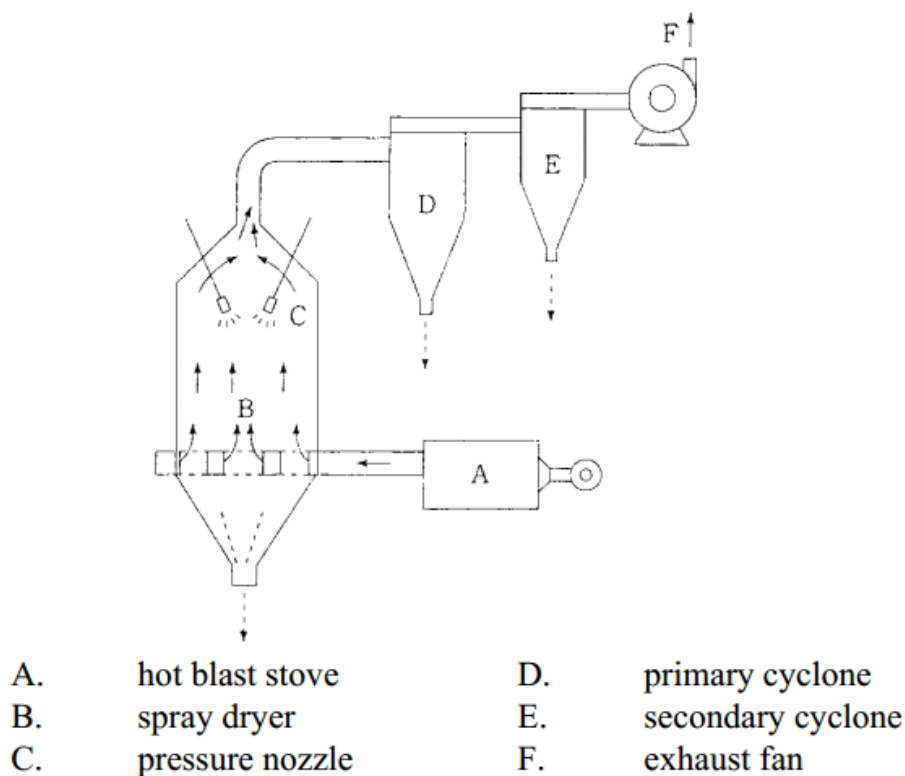
- | | | | |
|----|----------------------------------|----|-------------------------|
| A. | hot blast stove | E. | cyclone |
| B. | beater หรือ disperser | F. | Cottrell dust collector |
| C. | เครื่องป้อนวัตถุดิบ | G. | bag filter |
| D. | flash tube
(ท่อขึ้นหรือท่อลง) | H. | ventury scrubber |
| | | I. | exhaust fan |

ภาพที่ 3 เครื่องอบ flash dryer

ที่มา: (Energy 2004)

1.2 ตู้อบแบบสเปรย์ (spray dryer)

วิธีอบของเครื่องอบแบบสเปรย์ จะใช้กับสารละลาย และวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้น (slurry) และครีม ดังนั้น จึงมีวิธีการแตกต่างไปจากวิธีอบน้ำที่เกาะบนอนุภาคทั่วไป โดยนำวัตถุดิบเหล่านี้ไปพ่นเป็นละอองในกระแสน้ำร้อนให้ความร้อน เพื่อให้แห้งเป็นผงก่อนที่จะตกลงมา เนื่องจากในช่วงแรกวัตถุดิบจะมีอัตราความชื้นสูง จึงต้องใช้ปริมาณความร้อนในการระเหยต่อผลิตภัณฑ์หนึ่งหน่วยมวลที่มีค่าสูง แต่การอบจะเสร็จสิ้นในเวลารวดเร็วมาก และอนุภาคของผลิตภัณฑ์จะไม่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูง วิธีนี้จึงสามารถอบสารที่ไม่เสถียรต่อความร้อนได้ ทำให้ได้อนุภาคเป็นเม็ดกลมกลางอากาศ และยังสามารถปรับขนาดของอนุภาคได้สะดวกด้วยการปรับหัวพ่นละออง และด้วยสมบัติที่ดีเหล่านี้ จึงนำตู้อบแบบนี้มาใช้ในการอบอาหาร ผงซักฟอก เป็นต้น หลักการทำงานแสดงไว้ในภาพที่ 4



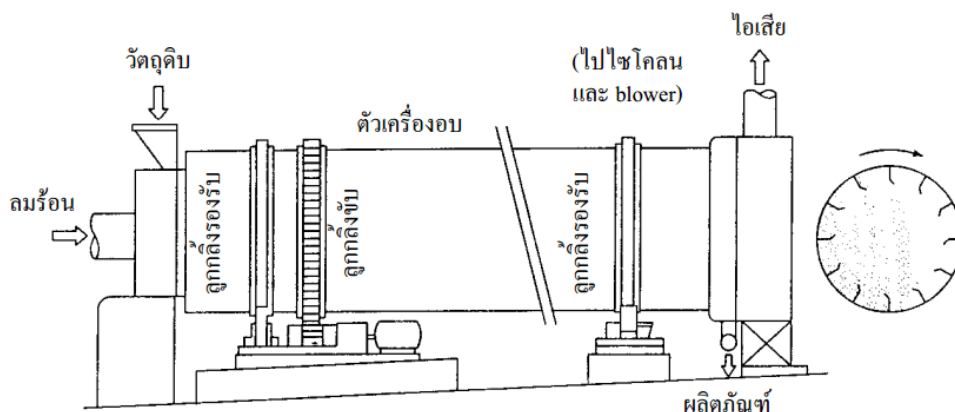
ภาพที่ 4 ตู้อบ spray dryer

ที่มา: (Energy 2004)

1.3 ตู้อบ drying tumbler

ตู้อบ drying tumbler เป็นเครื่องอบแบบต่อเนื่องที่สำคัญแบบหนึ่ง การเดินเครื่องจะมีเสถียรภาพสูง ใช้กับการอบผงวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำ (ปุ๋ย ถ่านหิน สื่อนินทรีย์ เป็นต้น) และมีปริมาณวัตถุดิบมาก

หลักการทำงานแสดงไว้ในภาพที่ 5 โดยภายในทรงกระบอกซึ่งวางเอียงจะมีครีบริบสำหรับกวนวัตถุดิบ และเพื่อให้วัตถุดิบสัมผัสกับลมร้อนที่เป่าเข้ามา ทิศทางการป้อนวัตถุดิบและลมร้อนแบ่งเป็นแบบสวนทาง (countercurrent flow) กับแบบป้อนทางเดียวกัน (concurrent flow) วัตถุดิบในตู้จะหล่นลงมาจากครีบริบกวนเพื่อสัมผัสกับลมร้อนเป็นครั้ง ๆ



ภาพที่ 5 เครื่องอบ drying tumbler

ที่มา: (Energy 2004)

ตู้อบแบบ concurrent flow วัตถุดิบจะสัมผัสกับลมร้อนอุณหภูมิสูง แต่อุณหภูมิของวัตถุดิบจะเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมร้อนนั้น ที่ส่วนท้ายของเครื่องอบซึ่งวัตถุดิบเกือบแห้งแล้ว จะมีการลดอุณหภูมิของลมร้อนลง จึงช่วยรักษาคุณภาพของวัตถุดิบได้ แต่จะทำให้ลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลงมาก ๆ ได้ยาก แต่ถ้าใช้ตู้อบแบบ countercurrent flow จะสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำได้ตามต้องการ แต่ไม่เหมาะสมจะใช้กับวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อน เพราะจะวิธีนี้จะทำให้วัตถุดิบมีอุณหภูมิสูงอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของตู้

1.4 ตู้อบแบบ fluidized bed dryer

ใช้วิธีเป่าลมร้อนเข้าไปจากด้านล่างของชั้นวัตถุดิบที่เป็นผงที่วางบนแผ่นที่มีรูพรุน เพื่อให้ผงวัตถุดิบลอยขึ้นและมีการเคลื่อนไหวเสมือนตัวมันเป็นของไหล ตัวอย่างแสดงไว้ในภาพที่ 6 ตู้อบแบบนี้จะมีจุดเด่นดังต่อไปนี้

- ผงวัตถุดิบจะสัมผัสกับก๊าซอย่างรุนแรงจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงและเนื่องจากอัตราส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรของผงวัตถุดิบมีค่ามาก จึงมีการถ่ายเทความร้อนรวมได้มาก

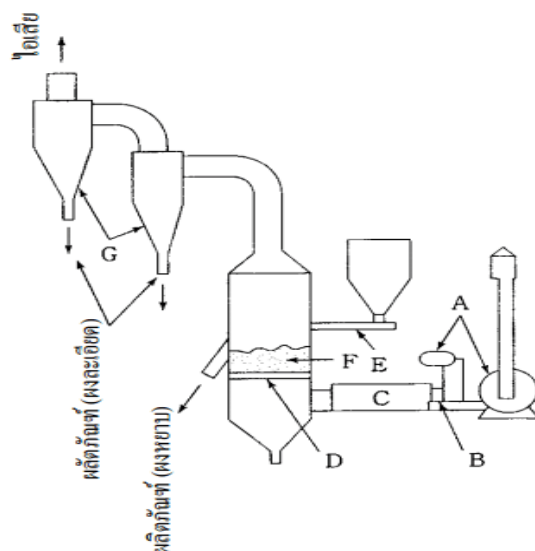
- แต่ละอนุภาคจะกระทบกันอย่างรุนแรงในขณะที่ถูกกวาดไปมา ทำให้วัตถุดิบมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ

- ระยะเวลาเฉลี่ยที่อยู่ในเครื่องอบสามารถปรับให้เป็นเท่าใดก็ได้ จึงเหมาะกับวัตถุดิบที่ต้องใช้เวลานานในการอบหรือผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราความชื้นต่ำ

ส่วนข้อเสียมีดังต่อไปนี้

- ไม่สามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงและการเกาะตัว / รวมตัวสูง เพราะจะไม่สามารถทำให้เกิดสภาพ fluidized ได้

- อนุภาคจะกระเด็นออกมาพร้อมกับก๊าซได้ง่าย
- แผ่นกระจายก๊าซและ fluidized bed ทำให้เกิดความดันสูญเสียสูงจึงต้องใช้ blower เพื่อเป่าอากาศที่มีกำลังสูง



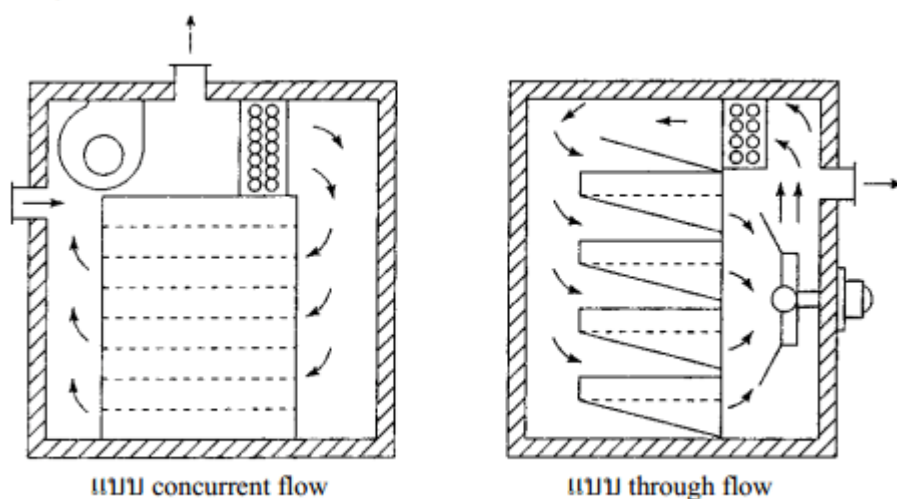
- | | |
|----------------------------|------------------------|
| A. blower | E. เครื่องป้อนวัตถุดิบ |
| B. burner | F. Fluidized bed |
| C. air heater | G. Cyclone |
| D. fluidized bed baseplate | |

ภาพที่ 6 ตู้อบ fluidized bed dryer

ที่มา: (Energy 2004)

1.5 ตู้อบแบบถาด (tray dryer)

ตู้อบแบบนี้ จะนำวัตถุดิบวางไว้ในถาด ตะแกรง หรือแผ่นที่มีรูพรุน แล้วเป่าลมร้อนขนานไปกับผิวหน้าวัตถุดิบ หรือเป่าตั้งฉากกับถาดที่ยอมให้ลมผ่านได้ ลมร้อนจะผ่านเข้าไปในชั้นวัตถุดิบ เนื่องจากจะใช้ลมร้อนที่มีความเร็วไม่สูงนัก วัตถุดิบจึงยังอยู่หนึ่ง ไม่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนหรือการกระแทกใด ๆ ไม่เกิดความเสียหายจากการแตกหัก ตู้อบแบบนี้จะทำงานแบบกะ (batch) จึงเหมาะกับวัตถุดิบที่ต้องการรอบด้วยการควบคุมภายใต้เงื่อนไขการอบเข้มงวด หรืออบวัตถุดิบหลายๆ ชนิดแต่จำนวนน้อย ๆ หรือใช้กับการควบคุมแบบโปรแกรมซึ่งค่อยๆ ปรับอุณหภูมิไปตามความเหมาะสม ภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างของ tray dryer



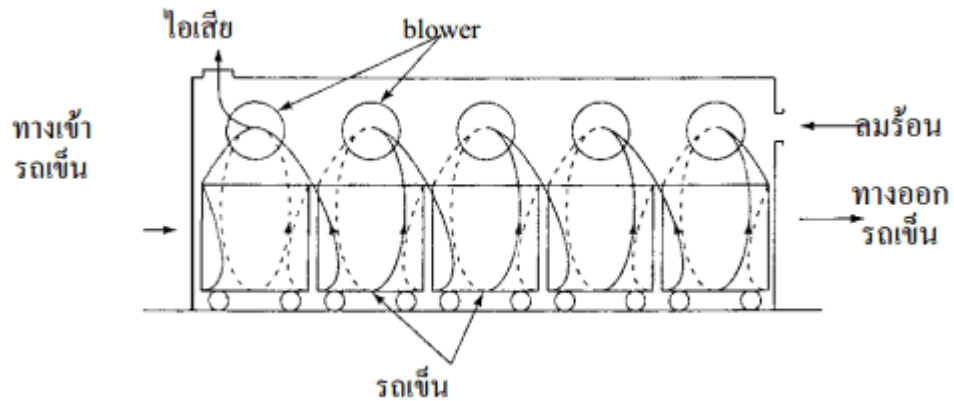
ภาพที่ 7 เครื่องอบ tray dryer

ที่มา : (Energy 2004)

1.6 ตู้อบแบบอุโมงค์ (tunnel dryer) และ แบบสายพาน (band dryer) แบบต่อเนื่อง
 ตู้อบแบบอุโมงค์ จะมีรถเข็น (ภาพที่ 8) สำหรับเข็นพาวัตถุดิบเข้าในอุโมงค์ แต่ถ้าวัตถุดิบ
 เป็นแผ่นบาง เช่น กระดาษ จะสอดวัตถุดิบผ่านลูกกลิ้งบน-ล่าง ให้ลูกกลิ้งดึงวัตถุดิบเข้าไป แล้วเป่าลม
 ร้อนให้วัตถุดิบเพื่ออบให้แห้ง

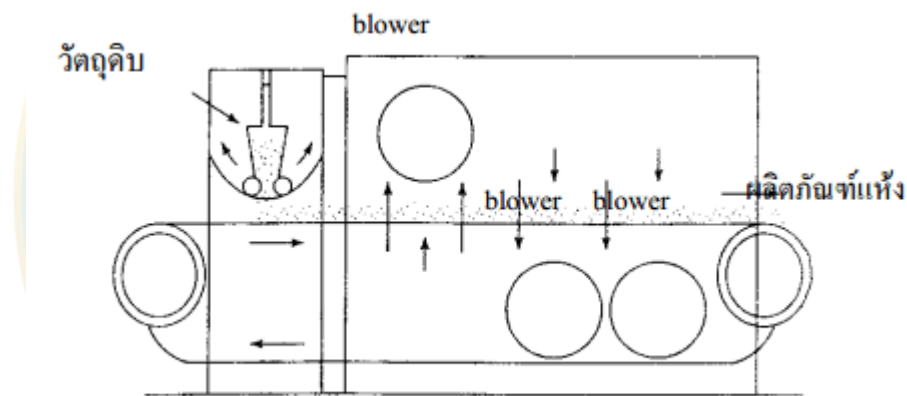
ตู้อบแบบสายพานลำเลียง จะวางวัตถุดิบไว้บนสายพานที่ทำจากแผ่นโลหะหรืออย่างที่มีรู
 พรุนซึ่งถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ผ่านมู่เลย์ เพื่อให้วัตถุดิบเคลื่อนตัวสัมผัสกับลมร้อนแล้วทำการอบ
 อย่างต่อเนื่อง ภาพที่ 9 แสดงเครื่องอบแบบสายพานลำเลียง

ในเครื่องอบแบบอุโมงค์ และ แบบสายพานลำเลียง จะมีการติดตั้ง blower ที่ส่วนต่าง ๆ
 ของเครื่องอบ แล้วใช้ blower แต่ละตัวในการดูดหรือระบายลมร้อนเพื่อเพิ่มอัตราเร็วในการอบ หรือ
 มีการพ่นลมร้อนส่วนหนึ่งแบบ concurrent flow หรือ countercurrent flow กับวัตถุดิบเพื่อ
 หมุนเวียนลมร้อนด้วย blower แต่ละตัว



ภาพที่ 8 เครื่องอบ tunnel dryer

ที่มา: (Energy 2004)



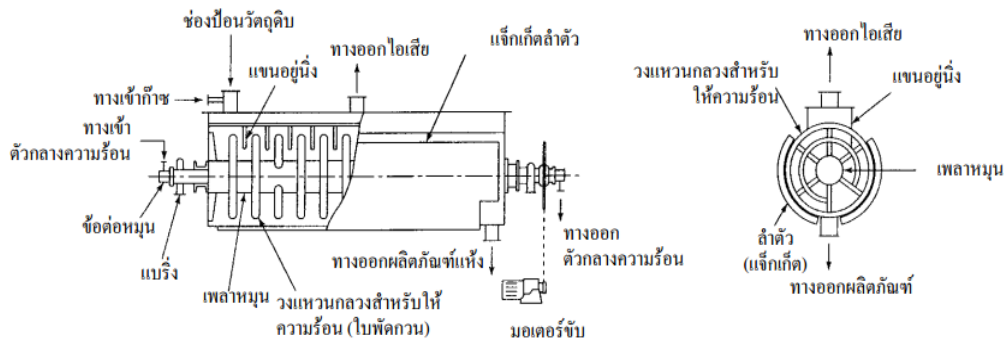
ภาพที่ 9 เครื่องอบ through-flow band dryer

ที่มา: (Energy 2004)

2. วิธีรับความร้อนด้วยการนำความร้อน

2.1 ตู้อบแบบ bezel stirring dryer

ตู้แบบนี้จะมีของเหลวซึ่งเป็นตัวกลางให้ความร้อนไหลอยู่ในใบพัดและแจ็กเก็ตซึ่งข้างใน กลวง ขณะที่ให้ความร้อนจะมีการกวน โดยตัวใบพัดกวนจะทำหน้าที่เป็นพื้นผิวถ่ายเทความร้อน พื้นที่ ถ่ายเทความร้อนต่อปริมาตรภาชนะจึงมีค่าสูง ไม่ต้องใช้ลมแรง ดังนั้นจึงสามารถระบายอากาศออกได้ ง่าย และมีประสิทธิภาพความร้อนสูง ตัวอย่างแสดงไว้ในภาพที่ 10

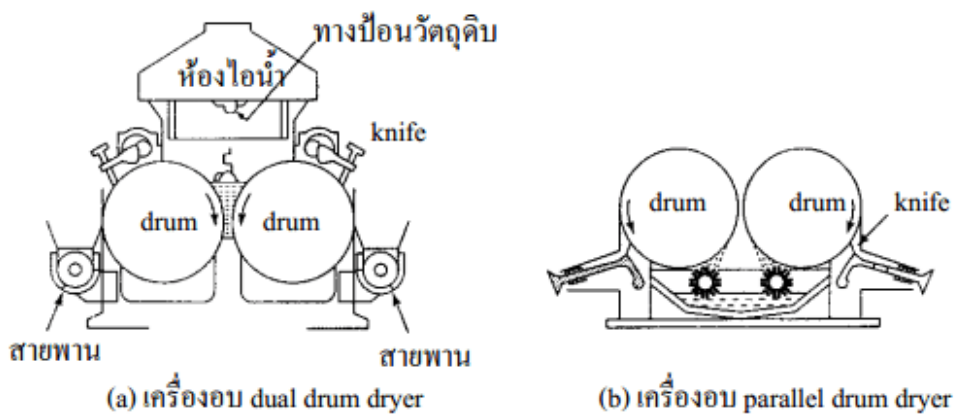


ภาพที่ 10 ตู้อบแบบ bezel stirring dryer

ที่มา: (Energy 2004)

2.2 เครื่องอบแบบถังหมุน drum dryer

เครื่องอบ drum dryer เป็นเครื่องอบที่ทำหน้าที่อบวัตถุดิบที่เป็นของเหลว เป็นครีม หรือเป็นโคลนให้แห้งจนเป็นของแข็ง โดยป้อนวัตถุดิบที่ต้องการให้ทำให้แห้งมาเคลือบเป็นชั้นบางที่ผิวหน้าของถังหมุน ขณะที่ถังกำลังหมุน จะมีการป้อนไอน้ำเข้าไปภายในถังหมุน ความร้อนจะส่งผ่านผนังถัง ส่วนวัตถุดิบที่แห้งแล้วจะถูกขูดออกโดยใช้ knife edge การออกแบบนี้จะใช้เวลาในการอบสั้น และมีอัตราเร็วในการอบสูง จึงได้เปรียบกว่าในการใช้กับวัตถุดิบที่เสื่อมสภาพจากความร้อนได้ง่าย ภาพที่ 11 แสดงเครื่องอบ drum dryer

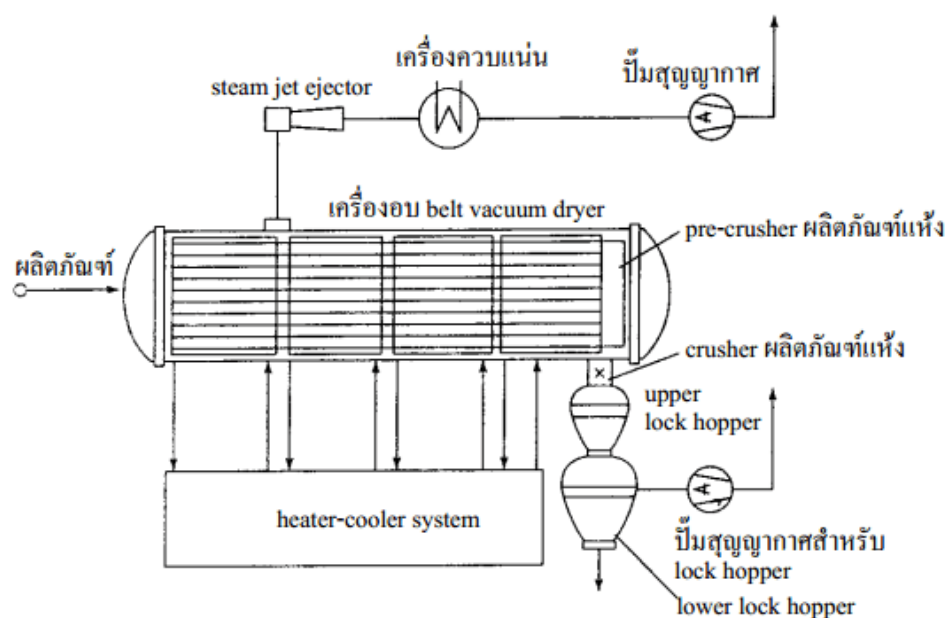


ภาพที่ 11 เครื่องอบแบบ drum dryer

ที่มา: (Energy 2004)

2.3 เครื่องอบภายใต้สุญญากาศ (vacuum dryer)

เครื่องอบ vacuum dryer จะใช้หลักการว่า เมื่อนำวัตถุดิบที่จะอบไว้ในสุญญากาศอ่อนๆ แล้วให้ความร้อน ผลต่างความดันระหว่างความดันไอของตัวทำละลายกับสุญญากาศที่ผิวหน้าตัวทำละลาย จะทำให้ตัวทำละลายในวัตถุดิบระเหยเป็นไอออกมา และเนื่องจากอุณหภูมิระเหยจะขึ้นอยู่กับระดับความเป็นสุญญากาศ ดังนั้น จึงเหมาะกับวัตถุดิบที่เสื่อมสภาพง่ายต่อความร้อน จึงใช้การอบแบบนี้ในอุตสาหกรรมเวชภัณฑ์และอาหาร โดยทั่วไปอุตสาหกรรมเวชภัณฑ์จะมีการผลิตเป็นจำนวนไม่มาก จึงมักเดินเครื่องแบบ batch และใช้การอบบนถาด ส่วนในอุตสาหกรรมอาหาร ในแง่ของมูลค่าต้นทุนจะต้องผลิตเป็นจำนวนมาก ส่วนมากจึงใช้เครื่องอบต่อเนื่องแบบลำเลียงด้วยสายพาน (ภาพที่ 12)



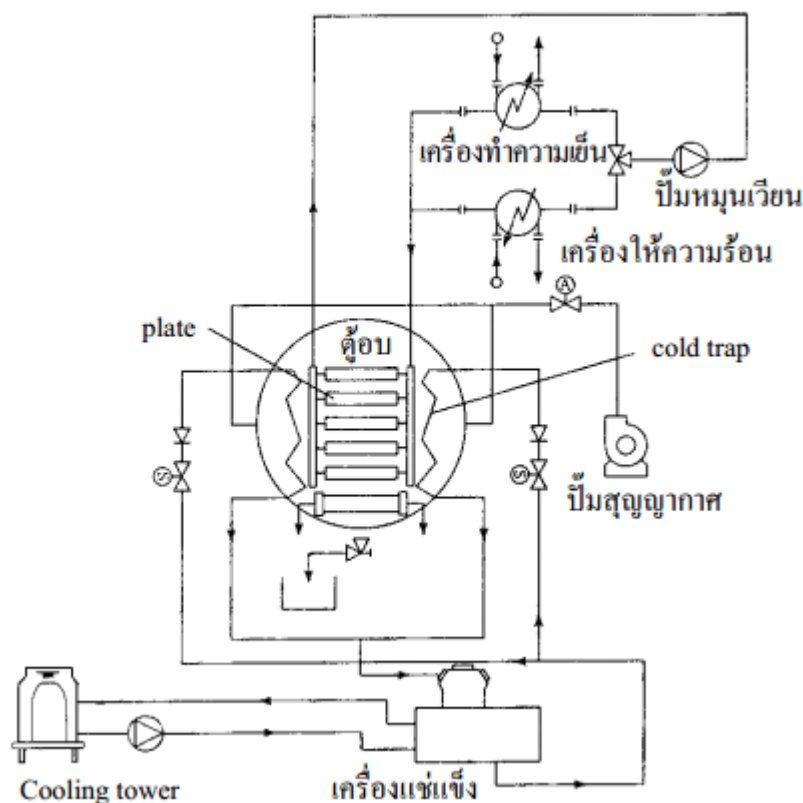
ภาพที่ 12 เครื่องอบ vacuum dryer แบบต่อเนื่อง

ที่มา : (Energy 2004)

2.4 เครื่องอบ freeze dryer

เมื่อนำวัตถุดิบที่มีน้ำอยู่ไปแช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ -30°C จนน้ำในวัตถุดิบแข็งตัวเป็นน้ำแข็ง แล้วนำไปวางไว้ในสุญญากาศอ่อนๆ แล้วให้ความร้อนเพียงเล็กน้อย ผลึกน้ำแข็งในวัตถุดิบนั้นจะระเหิดกลายเป็นไอในระยะเวลาอันสั้น เครื่องอบที่ใช้ปรากฏการณ์ระเหิดโดยไม่ผ่านสถานะของเหลวนี้เรียกว่า เครื่องอบ vacuum freeze dryer (ภาพที่ 13) โดยจะทำงานในสภาพที่วัตถุดิบแช่แข็งอยู่ ดังนั้น จึงใช้กับการอบวัตถุดิบที่เสื่อมสภาพได้ง่ายต่อความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งได้นำมาใช้กันมากในการอบเวชภัณฑ์ จุลินทรีย์ อาหารที่มีสรรพคุณเฉพาะทางซึ่งไม่ต้องการให้เปลี่ยนสภาพด้วยความร้อน

รวมทั้งการอบอาหารที่เน้นเรื่องกลิ่นหอม เช่น กาแฟสำเร็จรูป หรือการอบอาหารที่มีของแข็งรวมอยู่ด้วย เช่น แองสำเร็จรูป เป็นต้น



ภาพที่ 13 เครื่องอบ vacuum freeze dryer

ที่มา: (Energy 2004)

3. วิธีรับความร้อนด้วยรังสี

3.1 เครื่องอบอินฟราเรด เครื่องอบไมโครเวฟ

การแผ่รังสีอินฟราเรดและแผ่รังสีไมโครเวฟเป็นการปลดปล่อยพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การแผ่รังสีอินฟราเรดจะใช้ช่วงความยาวคลื่น 0.76-1000 μm ส่วนไมโครเวฟมีความยาวคลื่น 1-1000 mm (โดยทั่วไปเราจะแสดงความถี่ด้วยความยาวคลื่น ซึ่งเทียบเท่ากับความถี่ 300 MHz-300 GHz) ทั้งนี้ เนื่องจากความยาวคลื่นมีค่าแตกต่างกันถึงแสนเท่า กลไกการกำเนิดความร้อนและอุปกรณ์ต่าง ๆ จึงมีความแตกต่างกันอย่างมาก

ในการแผ่รังสี near infrared ซึ่งใช้หลอดไฟอินฟราเรด รังสีจะทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อวัตถุได้เล็กน้อย ตั้งแต่อดีตที่ผ่านมาจึงใช้ในการอบน้ำยาเคลือบ หมึกพิมพ์ หรือกา

รังสี far infrared หรือคลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อวัตถุได้มาก หากใช้ในการอบช่วงอัตราเร็วลดลงจะมีประสิทธิภาพสูง และสามารถป้องกันการให้ความร้อนมากเกินไป ในช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลงได้ จึงใช้ในการอบเวชภัณฑ์และอาหารต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบัน มีการอบอาหารด้วย far infrared กันมาก

การป้อนความร้อนแฝงในการระเหยที่ต้องใช้ในการอบในรูปพลังงานการแผ่รังสีทั้งหมด จะทำให้ต้นทุนสูง ดังนั้น จึงมักใช้ร่วมกับการอบด้วยลมร้อนหรืออบด้วยการนำความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วงระเหยน้ำจากผิวหนังซึ่งวัตถุดิบยังมีอัตราความชื้นสูงอยู่จะใช้วิธีอบด้วยลมร้อน เมื่ออัตราความชื้นลดต่ำลงและพื้นผิวระเหยเคลื่อนที่ลึกเข้าไปในเนื้อวัตถุดิบแล้ว จึงนำการอบด้วยการแผ่รังสีเหล่านี้มาใช้ร่วมด้วย จะทำให้ภายในวัตถุดิบมีอัตราความชื้นสม่ำเสมอและเพิ่มอัตราเร็วในการอบให้สูงขึ้น

2.8 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การทำให้แห้งเป็นวิธีหนึ่งของการถนอมอาหาร ซึ่งนิยมทำกันทั้งระดับชาวบ้านและอุตสาหกรรมมาช้านานแล้ว การทำให้แห้งมีหลายวิธี เช่น การตากด้วยแสงอาทิตย์ การอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งแบบเย็นเยือกแข็ง เป็นต้น วิธีตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์ จะมีความสะดวกและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่ได้มาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย การตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม เช่น การตากเนื้อ ปลา พืช ผักและผลไม้ จะมีปัญหาเรื่องฝุ่นละออง มีเชื้อจุลินทรีย์ แมลงวันตอมเป็นพาหะนำเชื้อโรค และทำให้เกิดหนอนขึ้นได้ เมื่อฝนตกหรืออากาศเย็น การตากอาจมีปัญหาเรื่องเชื้อรา เป็นเหตุให้เก็บไว้ได้ไม่นาน ทำให้ผู้บริโภคอาจเจ็บป่วยได้ ได้มีการพัฒนาการอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งจากแหล่งพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมาก ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจุบันมีการยอมรับใช้งาน 3 ลักษณะ คือ

1. การอบแห้งระบบ Passive



ภาพที่ 14 ที่ตากแห้งโดยธรรมชาติ

ที่มา: (วรวิฑูมิ บุตรเวว 2552)

การอบแห้งระบบ Passive คือระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ และกระแสลมที่พัดผ่าน ได้แก่

เครื่องตากแห้งโดยธรรมชาติ เป็นการวางวัสดุไว้ที่กลางแจ้ง อาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์ และกระแสลมในบรรยากาศในการระเหยความชื้นออกจาก วัสดุ

ตู้อบแห้งแบบได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง วัสดุที่อบจะอยู่ในเครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วยวัสดุที่โปร่งใส ความร้อนที่ใช้ออบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และอาศัยหลักการขยายตัวเอง อากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเท อากาศขึ้น

ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม เครื่องอบแห้งชนิดนี้วัสดุที่อยู่ภายในจะได้รับความร้อน 2 ทาง คือ ทางตรงจากดวงอาทิตย์และทางอ้อมจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้อากาศร้อนก่อนที่จะผ่านวัสดุอบแห้ง

2. การอบแห้งระบบ Active



ภาพที่ 15 โดมอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และมีพัดลมช่วยระบายอากาศ
ที่มา: (วรุฒิ บุตรเวา 2552)

การอบแห้งระบบ Active คือระบบอบแห้งที่มีเครื่องช่วยให้อากาศไหลเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น จะมีพัดลมติดตั้งในระบบเพื่อบังคับให้มีการไหลของอากาศผ่านระบบ พัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกให้ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ อากาศร้อนที่ไหลผ่านพัดลมและห้องอบแห้งจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นของพืชผล จึงพาความชื้นจากพืชผลออกสู่ภายนอกทำให้พืชผลที่อบไว้แห้งได้

3. การอบแห้งระบบ Hybrid



ภาพที่ 16 โดมอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานในรูปแบบอื่น

การอบแห้งระบบ Hybrid คือระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และยังต้องอาศัยพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ช่วยในเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอหรือต้องการให้ผลิตผลทางการเกษตรแห้ง เร็วขึ้น เช่น ใช้ร่วมกับพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวล พลังงานไฟฟ้า วัสดุอบแห้งจะได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ผ่านเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ และการหมุนเวียนของอากาศจะอาศัยพัดลมหรือเครื่องดูดอากาศช่วย

ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จะช่วยให้เวลาในการตากแห้งเร็วขึ้นกว่าแบบทั่ว ๆ ไป ป้องกันแมลงที่เป็นพาหะนำโรค เช่น แมลงวัน มารบกวนทำให้อาหารที่ได้จากการตากแห้ง มีความสะอาดถูกหลักอนามัย ใช้งานและดูแลรักษาง่าย นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันฝน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้วัตถุดิบไม่แห้ง และเกิดความเสียหายได้

2.9 กลไกการถ่ายเทความร้อน

พลังงานความร้อนสามารถถ่ายเทจากสสารหนึ่งไปยังอีกสสารหนึ่ง โดยมีสื่อตัวกลางหรือไม่มีก็ได้ เราแบ่งกลไกการถ่ายเทความร้อนออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่งที่อยู่ติดกันไปเรื่อย ๆ จากอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ ยกตัวอย่างเช่น หากเราจับทัพพีในหม้อหุงข้าว ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านทัพพีมายังมือของเรา ทำให้เรารู้สึกร้อน โลหะเป็นตัวนำความร้อนที่ดี โลหะและอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่เลว

ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) หรือใช้ตัวอักษรย่อว่า k ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลางที่มีความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน อัตราการนำความร้อนแบบมิติเดียวสำหรับสารตัวกลางที่มีเนื้อเดียวกัน (homogeneous isotropic) จึงมีค่าดังสมการที่ (2.5)

$$Q_{\text{conduction}} = -kA (dT / dx) \quad (2.5)$$

เมื่อ $Q_{\text{conduction}}$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน ในทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่ตามทิศทางในแนวแกน x (Watt, W)

A = พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน (m^2)

T = อุณหภูมิ (K) และ dT คือความแตกต่างของอุณหภูมิ (K)

X = ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อนคือระยะทางที่ตั้งฉากกับพื้นที่การถ่ายเทความร้อน (m) และ

dx = ระยะทางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน (m)

2. การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสสาร ซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวและแก๊ส ส่วนของแข็งมีการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนและการแผ่รังสีเท่านั้น การพาความร้อนส่วนมากมักเกิดขึ้นในบรรยากาศและมหาสมุทร รวมทั้งแมกมาและโลหะเหลวภายในโลก และแก๊สร้อนในดวงอาทิตย์

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อน โดยการพาความร้อนนั้นต้อง พิจารณาจากคุณสมบัติต่าง ๆ ของของไหล เช่น ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความหนืด ฯลฯ ความเร็วของของไหล ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิวของของแข็งและของไหล เป็นต้น โดยสมการสำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพา แสดงได้ดังสมการที่ (2.6)

$$Q = hA (T_h - T_c) \quad (2.6)$$

โดยที่

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (heat transfer coefficient) มีหน่วยเป็น W/m^2

K ในระบบ SI

A คือ พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน (m^2)

Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของของแข็งที่สัมผัส กับของไหล

T_h คือ อุณหภูมิที่ร้อนกว่า (ของของไหล หรือพื้นผิวของของแข็ง)

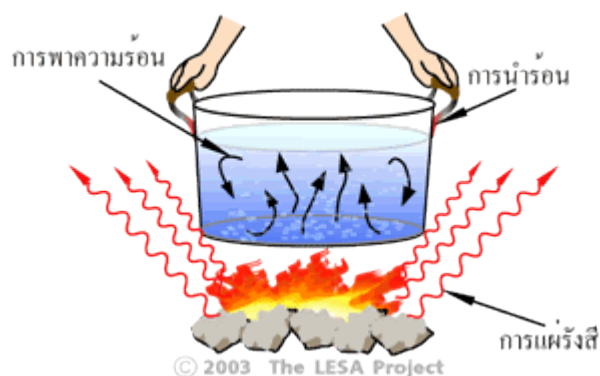
T_c คือ อุณหภูมิที่เย็นกว่า (ของของไหล หรือพื้นผิวของของแข็ง)

3. การแผ่รังสี (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงานดังเช่นการนำความร้อนและการพาความร้อน การแผ่รังสีจึงสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอวกาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า $-273^{\circ}C$ หรือ $0 K$ (เคลวิน) ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้น วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาวตามกฎของวิน การแผ่รังสีความร้อนจากวัสดุโดยทั่ว ๆ ไปที่มีอุณหภูมิ (T) และพื้นที่ (A) จะเขียนได้ดังสมการที่ (2.7)

$$q_r = \delta \varepsilon A T^4 \quad (2.7)$$

โดยที่ δ คือ ค่าคงที่สเตฟาน-โบลทซ์มันน์ (stefan-boltzmann constant) มีค่าคือ $(5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4)$

ε คือ ค่าการแผ่รังสี (emissivity) คือ คุณสมบัติทางการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุ



ภาพที่ 17 การถ่ายเทความร้อน

ที่มา: (LESA 2554)

2.10 การหาประสิทธิภาพของการอบแห้ง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เป็นดัชนีแสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้ง โดยค่าความสิ้นเปลืองพลังงานแสดงให้เห็นถึงพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำจำนวน 1 kg ออกจากกล้วยซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.8)

$$\eta = (W \times h_{fg}) / (Q_s + Q_G) \quad (2.8)$$

η	คือ ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง (%)
W	คือ ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg)
h_{fg}	คือ สัมประสิทธิ์การระเหยของน้ำ (MJ/kg)
Q_s	คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนของแสงอาทิตย์
Q_G	คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนของแก๊สหุงต้ม

2.11 วัสดุคลุมผนังโดมอบแห้ง

คุณสมบัติของโพลีคาร์บอเนต

1. คุณสมบัติของความร้อน

อุณหภูมิของการเปลี่ยนรูปความร้อน: อุณหภูมิที่ทำให้แผงโพลีคาร์บอเนตเสียรูปคือ 130 °C และอุณหภูมิสูงสุดสำหรับการใช้งานต่อเนื่องคือประมาณ 120 °C

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น: โพลีคาร์บอเนตเป็นหนึ่งในเรซินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของขับน้อยกว่า

การนำความร้อน: ไม่มีความแตกต่างอย่างมากระหว่างการนำความร้อนของโพลีคาร์บอเนต และเรซินอื่น ๆ มันคือประมาณ 1/4 ของแก้ว 1/300 ของเหล็ก 1/1000 ของอลูมิเนียม 1/12000 ของเหล็ก โพลีคาร์บอเนตเป็นวัสดุที่ดีกว่าในการรักษาความอบอุ่น

อุณหภูมิของการแตกตัว: สำหรับการเปราะบางโพลีคาร์บอเนตจะต่ำกว่าเรซินปกติ อุณหภูมิประมาณ -135°C และอุณหภูมิต่ำสุดสำหรับการใช้งานต่อเนื่องคือประมาณ -30°C

การเผาไหม้: โพลีคาร์บอเนตเป็นเรซินชนิดหนึ่งที่ไม่เผาไหม้ได้ไม่ยาก ในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนโพลีคาร์บอเนตโพลีคาร์บอเนตจะไม่ผลิตก๊าซพิษ

2. คุณสมบัติของเลนส์

ความสามารถในสภาพอากาศ: เมื่อแผ่นโพลีคาร์บอเนตปกติถูกสัมผัสกลางแจ้งเป็นเวลานาน แผ่นโพลีคาร์บอเนตปกติจะกลายเป็นสีเหลืองและมีรอยแตกบนพื้นผิว พื้นผิวแผ่นโพลีคาร์บอเนตผลิตโดย SUN ASIA เคลือบด้วยวัสดุ Anti-UV ทั้งหมด ผลที่ได้คือคุณสมบัติทางสายตาและสมบัติเชิงกล จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญแม้จะอยู่ภายใต้การสัมผัสเป็นเวลานาน

Diaphaneity: ความโปร่งแสงของแผ่นโพลีคาร์บอเนตที่มีความหนา 1 มม. สูงกว่า 85% และค่าความเป็นแสงของแผ่นโพลีคาร์บอเนตที่มีความหนา 5 มม. สูงกว่า 80% คล้ายกับแก้ว

3. คุณสมบัติทางกล

ความต้านทานแรงดึง: แผ่นโพลีคาร์บอเนตทนความร้อนได้ดีกว่า แม้จะต่ำกว่า 120°C ความต้านทานแรงดึงยังคงอยู่ที่ 350 kgf/cm^2

โมดูลัสของความต้านทานการดัด: แผ่นโพลีคาร์บอเนตมีความต้านทานการดัดที่ดีขึ้น แผ่นโพลีคาร์บอเนตจะไม่แตกแม้ว่ามุมจะอยู่ที่ $80^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ก็ตาม

4. คุณสมบัติของฉนวนกันเสียง:

เนื่องจากความหนาเท่ากันคุณสมบัติของฉนวนกันเสียงของแผ่นโพลีคาร์บอเนตจึงดีกว่ากระจกภายใต้ความถี่สูง

5. คุณสมบัติของน้ำหนัก:

ในขนาดเดียวกันน้ำหนักของแผ่นโพลีคาร์บอเนตคือครึ่งหนึ่งของแก้ว สิ่งนี้สามารถช่วยให้เราประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดส่งและลากหรือสร้างได้ง่ายขึ้น

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางเทคนิค

ลักษณะเฉพาะ	วิธีทดสอบ	ข้อมูลแผ่นโพลีคาร์บอเนตกลวง
การส่งผ่านแสง	ASTM D1003	88 %
การนำความร้อน	ASTM C177	0.2 W / m °C
อุณหภูมิบริการ	-	-40 °C ~ + 120 °C
ความแข็ง Rockwell	ASTM D785	M-77

2.12 หลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์สีของผลิตภัณฑ์ โดยเครื่องมือ Reflected-color measurement spectrophotometer (Hunter Lab mini-scan XE)

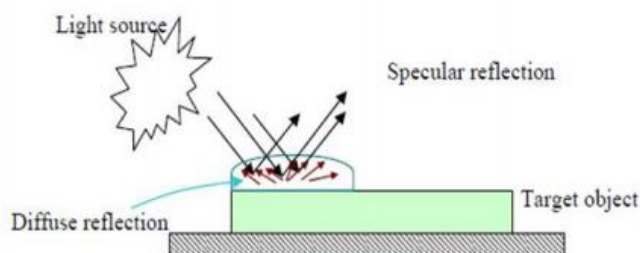
สีเป็นคุณสมบัติเชิงแสงที่สามารถใช้บรรยายคุณลักษณะของวัสดุเกษตรได้ง่ายที่สุดวิธีหนึ่งใน การอธิบายสีของวัตถุด้วยคำพูดมาตรฐานของการบรรยายลักษณะสีอาจจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ประสบการณ์ลักษณะทางกายภาพของตาของผู้บรรยายลักษณะแสงที่ตกกระทบ ฯลฯ ดังนั้น การวัด และบรรยายสีในเชิงวิชาการจึงต้องมีการจัดมาตรฐานเพื่อเป็นการลดความไม่เป็นกลาง (bias) ของ ผู้บรรยายสีของวัสดุนั้น ๆ

ปัจจัยที่ทำให้เกิดสีมีอยู่ 3 ประเภทคือ

1. แหล่งกำเนิดแสง (light source) แหล่งกำเนิดแสงมีผลอย่างมากในการบรรยายสีของวัตถุ แหล่งกำเนิดแสงถ้ามีแสงแตกต่างจากแสงขาวเมื่อตกกระทบกับวัตถุจะทำให้แสงที่สะท้อนกลับมาเกิด สีที่แตกต่างไปเช่นแสงจากหลอด incandescent จะให้แสงสีส้มในขณะที่ Fluorescent จะให้แสง ขาวเย็น

2. วัตถุที่มอง (specimen) วัตถุที่ทึบแสง (opaque) จะให้การสะท้อนของแสงเพื่อเกิดสี แตกต่างจากวัตถุที่โปร่งแสง (translucent) และโปร่งใส (transparent) ลักษณะของการตกกระทบ ของแสงบนวัตถุ เมื่อวัตถุทึบแสงได้รับแสงกระทบจากภายนอกการสะท้อนแสงจะมีอยู่ 2 ส่วนคือการ สะท้อนแสงเสมือนจริง (specular reflection) และการสะท้อนแสงกระจาย (diffuse reflection) (ภาพที่ 18) การสะท้อนแสงเสมือนจริงคือการสะท้อนแสงกลับจากวัตถุที่เหมือนและมีขนาดใกล้เคียง กับแสงตกกระทบแต่ทิศทางตรงข้ามการสะท้อนแสงเสมือนจริงจะแสดงออกมามากที่สุดเพียง 4% ของการสะท้อนแสงทั้งหมด (total reflection) ซึ่งจะเกิดในกรณีที่วัตถุมีผิวมันเงา 100% ดังนั้นการ สะท้อนแสงเสมือนจริงในวัตถุที่มีผิวมันเงาจะมากกว่าวัตถุผิวด้าน และผิวขรุขระตามลำดับส่วนการ สะท้อนแสงกระจายเป็นการสะท้อนแสงที่บริเวณผิวจากวัตถุไปทุกทิศทาง และมีขนาดเล็กกว่าแสงที่ ตกกระทบมากซึ่งการสะท้อนแสงกระจายนี้เองเป็นส่วนของการสะท้อนที่ใช้ในการวัดเฉดสี

การสะท้อนแสงทั้งหมด (total reflection) = specular reflection + diffuse reflection

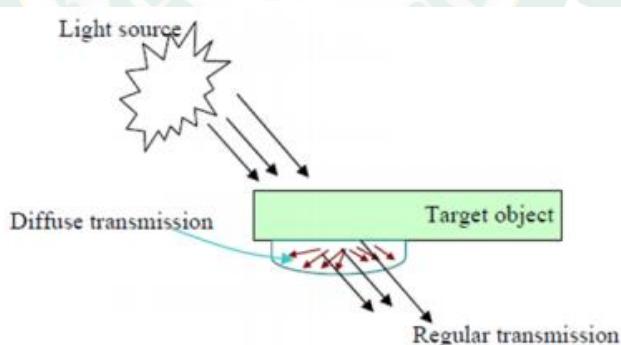


ภาพที่ 18 ลักษณะการสะท้อนแสงของวัตถุทึบแสง

ที่มา: (Kanjanaphachaoat, Kalyanavit et al. 2013)

สำหรับวัตถุโปร่งแสงและโปร่งใส ในภาพที่ 19 แสงจะทะลุผ่านวัตถุได้แตกต่างกันวัตถุโปร่งแสงจะมีความขุ่นอยู่ภายในเนื้อและจะดูดกลืนแสงบางส่วนไว้สำหรับวัตถุโปร่งใสที่แสงจะถูกดูดกลืนในเนื้อวัตถุเป็นส่วนใหญ่การทะลุผ่านแสงมี 2 รูปแบบคือการทะลุผ่านปกติ (regular transmission) และการทะลุผ่านกระจาย (diffuse transmission) ถ้าวัตถุโปร่งแสง หรือ มีความขุ่นเช่นวุ้นกะทิการทะลุผ่านปกติจะน้อยกว่าวัตถุวัตถุโปร่งใสการวัดสีของวัตถุโปร่งแสง และโปร่งใสนี้จะวัดที่ diffuse transmission ลักษณะเดียวกับการวัดสีแบบหลักการสะท้อนของแสง

การทะลุผ่านแสงทั้งหมด (total transmission) = regular transmission + diffuse transmission

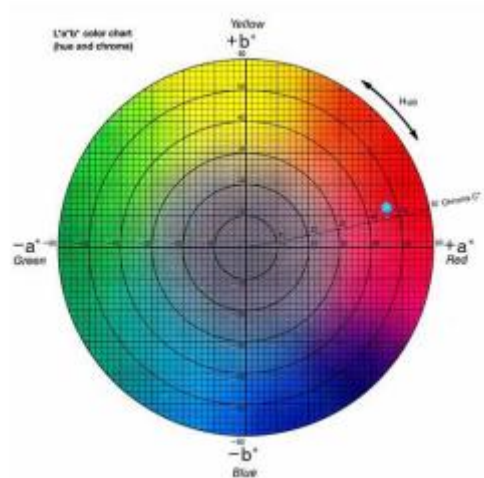


ภาพที่ 19 ลักษณะการทะลุผ่านแสงของวัตถุโปร่งแสงและโปร่งใส

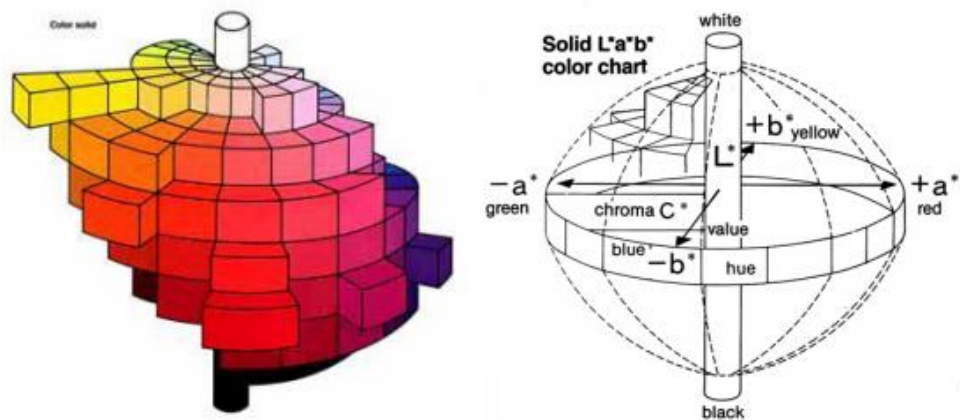
ที่มา : (Kanjanaphachaoat, Kalyanavit et al. 2013)

3. ผู้สังเกตการณ์ (observer) ผู้สังเกตการณ์นั้นมีผลอย่างยิ่งต่อการบรรยายสีที่มองเห็นผู้สังเกตการณ์ต่างคนจะ บรรยายลักษณะสีต่างกันขึ้นอยู่กับสรีระทางกายภาพของตาแต่ละคนในร่างกายนคนจะมีเซลล์อยู่ 2 ชนิด ที่เกี่ยวข้องกับการรับสีคือเซลล์รูปแท่งและเซลล์รูปโคนเซลล์รูปแท่งจะ

ตอบสนองได้ดีกับการมองเห็น ในที่เกี่ยวกับความมืดสว่าง ส่วนเซลล์รูปโคนจะตอบสนองต่อสีที่มองเห็น จากหลักการพื้นฐานเรื่องสีข้างต้นจึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อใช้วัดสีที่มีมาตรฐานและลด ความไม่แน่นอน เนื่องจากปัจจัยของแหล่งกำเนิดแสง และผู้สังเกตการณ์องค์กรที่มีบทบาทสำคัญใน การกำหนด มาตรฐานด้านสีคือ Commission International de l'Eclairage (CIE) หรือ ในชื่อ อังกฤษว่า International Commission on Illumination (<http://www.cie.co.at/cie/>) มีสำนักงานใหญ่ อยู่ใน ประเทศฝรั่งเศสองค์กรนี้ได้กำหนดมาตรฐานการวัดสีซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างในวงการวิชาการ และการวิจัยคือระบบ CIE Lab scale ในระยะเริ่มแรก CIE ได้กำหนดสเกลการวัดสีเป็น X-Y-Z ซึ่งใช้ บรรยายสีแดง (Red) เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) แต่เนื่องจากระบบสีดังกล่าวไม่สามารถบรรยาย ถึงลักษณะความมืด-สว่างของสีได้ CIE ได้พัฒนาต่อมาเป็นระบบ X-Y-L ซึ่งบรรยายถึงค่าสีแดงเขียว และ ความสว่าง (lightness) ตามลำดับอย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวก็ยังขาดส่วนที่บรรยายถึงค่าสีน้ำเงิน CIE จึงได้พัฒนาระบบสีต่อมาจนเป็นระบบที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือระบบ $L^* - a^* - b^*$ ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติโดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จาก ค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาวจนไปถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึง แดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$) ลักษณะการบรรยายสี ของ CIE แสดงได้ดังภาพที่ 20 และภาพที่ 21 นอกจากนี้บริษัท Hunter lab ในอเมริกาก็เป็นอีกองค์กรหนึ่งซึ่งทำ การวิจัยและพัฒนาระบบการวัดสีจนในที่สุดได้ระบบของ Hunter lab เองซึ่งเรียกว่าการวัดสีระบบ Hunter lab scale ซึ่งบรรยายแกนใน 3 มิติเช่นเดียวกับระบบ CIE โดยที่ Hunter lab จะใช้สเกล $L - a - b 15$ บรรยายลักษณะสีเช่นเดียวกับ $L^* - a^* - b^*$ ของ CIE ข้อแตกต่างระหว่างระบบสีของ CIE และ Hunter lab คือสูตรการคำนวณค่าสีซึ่งทั้ง $L - a - b$ และ $L^* - a^* - b^*$ ล้วนมีพื้นฐานการคำนวณมาจากค่าจาก ระบบ X-Y



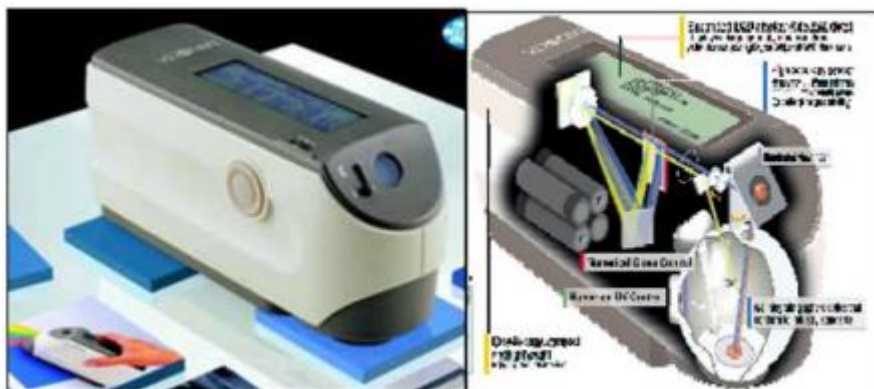
ภาพที่ 20 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ: Hue บรรยายถึงเฉดสี และ Chroma บรรยายถึงความมันวาวหรือความเข้มของโทนสี
ที่มา : (Kanjanaphachaoat, Kalyanavit et al. 2013)



ภาพที่ 21 การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE Lab ในรูป 3 มิติ
ที่มา: (Kanjanaphachaoat, Kalyanavit et al. 2013)

อุปกรณ์วัดสีที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ Spectrophotometer อุปกรณ์ดังกล่าวจะใช้แสงจากแหล่ง ประดิษฐ์ (illuminant) คือแสงที่แต่งค่าความเข้มแสง (intensity) หรืออุณหภูมิของสี (color temperature) แล้วตัวอย่างของแหล่งแสงประดิษฐ์ได้แก่ D65 – แสงเที่ยงวัน (noon daylight) A- แสงส้มจากหลอด ทั้งสแตน C – แสงกลางวันเฉลี่ย (average daylight) CWF – แสงขาวเย็นจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ (cooled white fluorescent) อุปกรณ์วัดสี Spectrophotometer ใน

ห้องตลาดมีหลายรุ่นและหลายยี่ห้อที่ 16 นิยมใช้ได้แก่ของ Hunter lab, Nikon และ Minolta (ภาพที่ 22) ซึ่ง Spectrophotometer บางรุ่นสามารถ บอกค่าสีได้หลายสเกลในเครื่องเดียวเช่น X-Y-Z, L-a-b, L*-a*-b* รวมไปถึง CMYK (Crayon Magenta-Yellow-Black) ซึ่งเป็นระบบสีนิยมใช้ในเกี่ยวกับสิ่งพิมพ์



ภาพที่ 22 Spectrophotometer แบบพกพาของ Minolta รุ่น 2600d

ที่มา: (Kanjanaphachaoat, Kalyanavit et al. 2013)

นอกจากการวัดสีโดยใช้ Spectrophotometer แล้วยังมีเทคนิคอีกอย่างหนึ่งในการวัดสีซึ่งต้นทุน ต่ำกว่าการใช้ Spectrophotometer คือการใช้สแกนเนอร์ร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเพื่อ ตรวจสอบค่าสีโปรแกรมสำเร็จรูปบางโปรแกรมเช่น Photoshop® สามารถบอกถึงค่าสีในระบบต่าง ๆ ของ ภาพที่ได้จากสแกนเนอร์ได้ด้วยตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม Photoshop® เพื่อหาค่าสีในระบบต่าง ๆ อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้จะต้องมีการสอบเทียบ (calibrate) ค่าสีที่อ่านได้ก่อนเทียบกับ อุปกรณ์วัดสีที่มีความเที่ยงตรงเนื่องจากการอ่านค่าสีโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปนั้นมีปัจจัยหลายอย่าง ที่ อาจส่งผลต่อการคำนวณสีเช่นคุณภาพของอุปกรณ์สแกนภาพ หรือ การดจอประมวลภาพใน คอมพิวเตอร์ เป็นต้น

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Arekornchee 2016) จากงานวิจัย พบว่า งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้โรงอบแห้งพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์สะสมความร้อนแบบภาวะเรือนกระจก ร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบชั้นวางโดยใช้แก๊สหุงต้มเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน สำหรับการอบแห้งพืชผักและผลไม้ โรงอบแห้งพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ ขนาด 6.00 x 6.00 x 1.8 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ตัวโรงอบคลุมด้วยโพลีคาร์บอเนตใส และใช้เครื่องอบลมร้อนแบบชั้นวางใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงความร้อน

ขนาด 1.22 x 2.44 x 1.22 เมตร (กว้าง x ยาว x สูง) มีชั้นตะแกรงสแตนเลส ขนาด 0.75 x 1.00 เมตร (กว้าง x ยาว) จำนวน 20 ถาด มีการหมุนเวียนลมร้อนกลับมาใช้ประมาณ 30-60% มีการใช้ความเร็วลมที่ 1.4 m/s การทดสอบอบแห้งใช้พริกชี้หนูพันธุ์หัวเรือและกล้วยน้ำว่าตัวอย่างละ 100 กิโลกรัม พบว่าการอบแห้งพริกชี้หนูพันธุ์หัวเรือจากความชื้นเริ่มต้น 78% เหลือ 12% โดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบชั้นวางอุณหภูมิ 60 °C นาน 8 hr และต่อด้วยโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ 2 วัน ส่วนการทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว่าจากความชื้นเริ่มต้น 65% เหลือ 22% โดยมีวิธีการคือใช้ตู้อบลมร้อนแบบชั้นวาง อุณหภูมิ 75 °C 10 hr แล้วเก็บแบบหมักไว้ 10 hr และนำไปตากด้วยโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ อีก 2 วัน ซึ่งการนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ในการทำแห้งถือว่าเป็นพลังงานสะอาดและประหยัด

(Janjai, Lamler et al. 2009) จากงานวิจัย พบว่า งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทดลองและการจำลองของเครื่องเป่าลมในโรงตากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้การระบายอากาศโดย PV สำหรับการอบแห้งลำไยปอกเปลือกและกล้วย สำหรับการอบแห้งลำไยปอกเปลือกและกล้วยทั้งหมด 10 การทดลอง ซึ่ง 5 การทดลองสำหรับการอบแห้งลำไยปอกเปลือกและอีก 5 การทดลองเป็นการทดลองสำหรับการอบแห้งกล้วย อุณหภูมิอากาศที่แตกต่างกันตั้งแต่ 31 °C ถึง 58 °C ที่การอบแห้งลำไยปอกเปลือกในขณะที่อุณหภูมิอากาศที่แตกต่างกันตั้งแต่ 30 °C ถึง 60 °C ที่การอบแห้งกล้วย เวลาการอบแห้งลำไยปอกเปลือกในเครื่องเป่าลมในโรงตากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 3 วันซึ่งในขณะที่ 5-6 วันเป็นการอบแห้งแสงแดดธรรมชาติภายใต้เงื่อนไขที่คล้ายกัน เวลาอบแห้งของกล้วยในเครื่องเป่าลมในโรงตากพลังงานแสงอาทิตย์ 4 วันในขณะที่มันต้องใช้เวลา 5-6 วันในการอบแห้งแสงแดดธรรมชาติภายใต้เงื่อนไขที่คล้ายกัน คุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในแง่ของสีและรสชาติที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการอบแห้งลำไยปอกเปลือกและกล้วยในเครื่องเป่าลมในโรงตากพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาและระบบนี้ ผลการจำลองเป็นไปตามที่สมเหตุสมผลกับข้อมูลการทดลองสำหรับการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของลำไยและกล้วยปอกเปลือก

(Condori and Saravia 1998) จากงานวิจัย พบว่า การจำลองห้องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกเข้ามามีส่วนร่วมในการอบแห้งโดยแบ่งเป็น 2 แบบ คือห้องอบแห้งแบบเรือนกระจกห้องเดียวกับห้องคู่โดยการอบแห้งได้ทำการทดลองในฤดูร้อนช่วง 3 เดือนโดยมีขนาดห้อง 50 m² สำหรับห้องเดี่ยวและห้องคู่แบ่งเป็นครึ่งหนึ่งของห้องเดี่ยว ใช้เครื่องเป่าลมรวมขนาด 0.75 hp ที่ความเร็วลมทั้งสองแบบ 0.5 kg/s ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นพริกสีแดง , ออริกาน , เมล็ดองุ่นและหญ้าทั่วไป ซึ่งห้องอบแห้งแบบห้องคู่ได้มีการออกแบบแตกต่างจากห้องเดี่ยวโดยการแบ่งเป็นห้องสะสมความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์อีกห้องแล้วส่งถ่ายความร้อนโดยเครื่องเป่าลมไปยังอีกห้องซึ่งต่างจากห้องเดี่ยวที่เครื่องเป่าลมดูดอากาศจากภายนอกเข้าและมีการรับพลังงานแสงอาทิตย์จากด้านบนโดยตรง และผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการผลิตที่สูงขึ้นอาจจะได้รับการปรับปรุงการ

ใช้ศักยภาพในการอบแห้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตของห้องคู่อร้อนระจกอบแห้งเมื่อเทียบกับประเภทห้องเดียวจะเพิ่มขึ้น 87 % สำหรับพื้นที่อบแห้งเดียวกัน

(Ivanova, Havrland et al. 2012) จากงานวิจัย พบว่า งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการอบแห้ง โดยมีกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับการอบแห้งเศษไม้และใบจากต้นเซอร์รี อัตราส่วน 70:30 และมีความชื้นที่ 35% น้ำหนักรวม 2000 kg มีความหนาต่อชั้นวัสดุประมาณ 0.5 m โรงอบแห้งใช้เป็นพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และส่งผ่าน มาในห้องที่มีพัดลมดูดอากาศร้อนเข้าห้องอบแห้งโดยประสิทธิภาพของอัตราการไหลได้ถึง 8,640 m³/h และความเร็วโดยเฉลี่ยประมาณ 5.6 m/s ได้ทำการทดลองในช่วงเวลา 8.00 a.m.- 6.00 p.m. ในที่มีแสงอาทิตย์มากที่สุดของปีในประเทศมอลโดวา สรุปได้ว่าการหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง แบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์กับเครื่องเป่าลมร้อนได้ผลดีในช่วงที่มีแสงแดดจัดแต่การที่ทำให้อัตราการไหลของอากาศและการกระจายของอุณหภูมิในห้องอบแห้งยังต้องได้รับการปรับปรุง

(จันทร์ฉาย และ มหาโยธี 2559) จากงานวิจัย พบว่า การศึกษาการพัฒนาการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องด้วยชุมชนที่ผลิตกล้วยตากโดยใช้การตากแดดแบบธรรมชาติในอำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลกซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เสียหายและได้ผลิตภัณฑ์คุณภาพต่ำโดยได้สร้างเครื่องอบแห้งแบบพาราโบลาโดมขนาดพื้นที่ฐาน 5.5 x 8.2 ตารางเมตร มาผลิตกล้วยตากแต่เนื่องด้วยความต้องการที่มีศักยภาพในการผลิต 1,000 กิโลกรัมจึงได้สร้างพาราโบลาโดมขนาดใหญ่มีพื้นที่ฐาน 7.5 x 20 ตารางเมตร จึงได้มีการปรับปรุงโดยเพิ่มพัดลมระบายอากาศเพื่อทำให้สามารถผลิตกล้วยตากได้ครั้งละ 1,000 กิโลกรัม ดังนั้นผลการทดลองในการปรับปรุงการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตกล้วยตากแบบดั้งเดิมที่มีการตากกล้วย ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสะอาดและมีคุณภาพที่ดีขึ้น

(ภูเขียว และ เดช 2558) จากงานวิจัย พบว่า การทดลองการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ พาราโบลาโดมโดยพัฒนาการให้ความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิงจากกลับมาเสริมความร้อนจากการอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโดมขนาดพื้นที่ฐาน 9 X 12 ตารางเมตร สูง 3.5 เมตร โดยใช้การ อบแห้งกล้วยปริมาณ 200 กิโลกรัมในพาราโบลาโดม และนอกโดมที่ปริมาณ 0.5 กิโลกรัมที่ความชื้น เริ่มต้น 60-70 % มาทดลองในโดม ที่มีการรักษาอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และภายนอกโดมที่ อุณหภูมิ 7- 30 องศาเซลเซียส การทดลองทำในช่วง กรกฎาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2558 ได้แบ่งการ ทดลองเป็น 4 ครั้งการทดลอง ซึ่งสรุปได้ว่า การทดลองการอบแห้งกล้วยระบบทำความร้อน ภายใน 1 ชั่วโมง สามารถทำความร้อนได้ 381.8 MJ พบว่าระบบทำอากาศร้อนที่พัฒนาขึ้นสามารถผลิตอากาศ ร้อนเพื่อน ำไปใช้ในการรักษาอุณหภูมิให้มีค่าตามที่ต้องการคือ 50 องศาเซลเซียส โดยค่าความชื้นของ กล้วยลดลงเหลือ 14-18%, w.b. จากค่าความชื้นเริ่มต้นประมาณ 60-70%, w.b. ได้ภายใน 3วัน ในช่วงเดือนกรกฎาคม - สิงหาคม (ฤดูฝน) ซึ่งเร็วกว่าการตากแดดตามธรรมชาติซึ่งใช้เวลาประมาณ 5 วัน และได้ทำการวัดค่าสีของกล้วยน้ำว่าที่ผ่านการอบแห้ง ผลการวัด

สืบพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก เครื่องอบแห้งมีคุณภาพดี นอกจากนี้ และได้หาประสิทธิภาพของระบบทำ อากาศร้อนพบว่า มีค่า เท่ากับ 80%

(Janjai, Intawee et al. 2011) จากงาน วิจัย พบว่า การสร้างเครื่องอบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโคมที่สามารถรองรับการผลิตได้มาก ถึง 1,000 กิโลกรัม ได้สร้างขนาด พื้นี่ฐาน 7.5 x 20 ตารางเมตร สูง 3.5 เมตร และใช้เครื่องพัดลม ดูดอากาศแบบใช้พลังงาน แสงอาทิตย์เป็นตัวจ่ายไฟฟ้าเข้าเครื่อง ซึ่งได้ทำการทดลองที่จำปาสักใน ประเทศลาว ได้มีการทดลอง กับวัตถุดิบ 3 ชนิดคือ กล้วย 1,000 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้น 68% ใช้ เวลา 5 วันในขณะที่ตาก แสงแดดธรรมชาติ 7 วัน พริก 300 กิโลกรัม ที่ความชื้น 75% ใช้เวลา 3 วัน จากตากแสงแดด ธรรมชาติ 5 วัน และกาแฟ 200 กิโลกรัม ที่ความชื้น 52% ใช้เวลา 2 วัน จากตาก แดดธรรมชาติ 4 วัน นอกจากนี้พาราโบลายังช่วยในการป้องกันแมลงและฝุ่นละอองทำให้ ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดี และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นตัวช่วยในการเดินเครื่องพัดลมดูดอากาศจึงช่วยประหยัด พลังงานทำให้มีระยะเวลาคืนทุนใน 2.5 ปี

(Bala and Janjai 2013) จากบทความ ได้ศึกษาเทคโนโลยีการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับการอบแห้งผักผลไม้, เครื่องเทศ, พืชสมุนไพร และบทความนี้ได้นำเสนอของการอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการ เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์การเกษตร นอกจากนี้บทความยังพูดถึง เครื่องช่วยประสาทดัดเทียมและการวิเคราะห์พลังงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์การวิจัยและ การเพิ่มประสิทธิภาพการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) การสร้างแบบจำลองต้องมีการวิจัย เพิ่มเติม เครื่องอบแห้งแบบถาดต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ที่มี คุณภาพและการเพิ่มประสิทธิภาพของการกำหนดค่าเครื่องอบแห้ง CFD การสร้างแบบจำลองของ เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์แสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการคาดการณ์ รายละเอียดของประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งเพื่อความเข้าใจที่ดีขึ้นของกระบวนการอบแห้งและจึงให้ รูปร่างเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดและขนาดสำหรับการออกแบบเครื่องอบแห้งที่ดีที่สุด

(Janjai 2012) จากงานวิจัยพบว่าในการศึกษานี้ประเภทเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบบพาราโบลาโคมขนาดเล็กอุตสาหกรรมอาหารแห่งได้รับการพัฒนาและเผยแพร่ เครื่องอบแห้ง ประกอบด้วยโครงสร้างหลังคาเป็นรูปโค้งปกคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตบนพื้นคอนกรีต ขนาด 8 x 20 ตารางเมตร ในความสูง 3.5 เมตรในที่มีความจุประมาณ 1,000 กิโลกรัมของผลไม้หรือ ผัก เพื่อให้ การดำเนินการอบแห้งอย่างต่อเนื่องใช้เตาแก๊ส 100 kW-LPG ได้รับการติดตั้งเพื่อนำอากาศร้อนเข้าไป ในโดมในช่วงวันที่มีเมฆมากหรือฝนตก และติดตั้งพัดลมระบายอากาศแบบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด DC 15-W ขับเคลื่อนโดยสามโมดูล PV 50-W ถูกนำมาใช้เพื่อระบายอากาศเครื่องอบแห้ง เครื่อง อบแห้งนี้ได้ติดตั้งสำหรับอุตสาหกรรมอาหารขนาดเล็กที่จังหวัดนครปฐมในการผลิตมะเขือเทศอบแห้ง

ในการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องได้ถูกทำให้แห้ง 3 กระบวนการของมะเขือเทศอบแห้งผลที่ได้รับจากการทดลองเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการอบแห้ง อุณหภูมิของอากาศในเครื่องต่างๆ จาก 35 °C ถึง 65 °C ในเครื่องอบแห้งนี้ นอกจากนี้เวลาอบแห้ง สำหรับผลิตภัณฑ์เหล่านี้คือ 2-3 วันสั้นกว่าตากธรรมชาติและผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีแห้งที่ได้รับ ระบบสมการเชิงอนุพันธ์อธิบายความร้อนและความชื้นการถ่ายโอนระหว่างการอบแห้งมะเขือเทศ อบแห้งยังได้รับการพัฒนาจำลองผลได้สอดคล้องกับข้อมูลการทดลองได้ดี

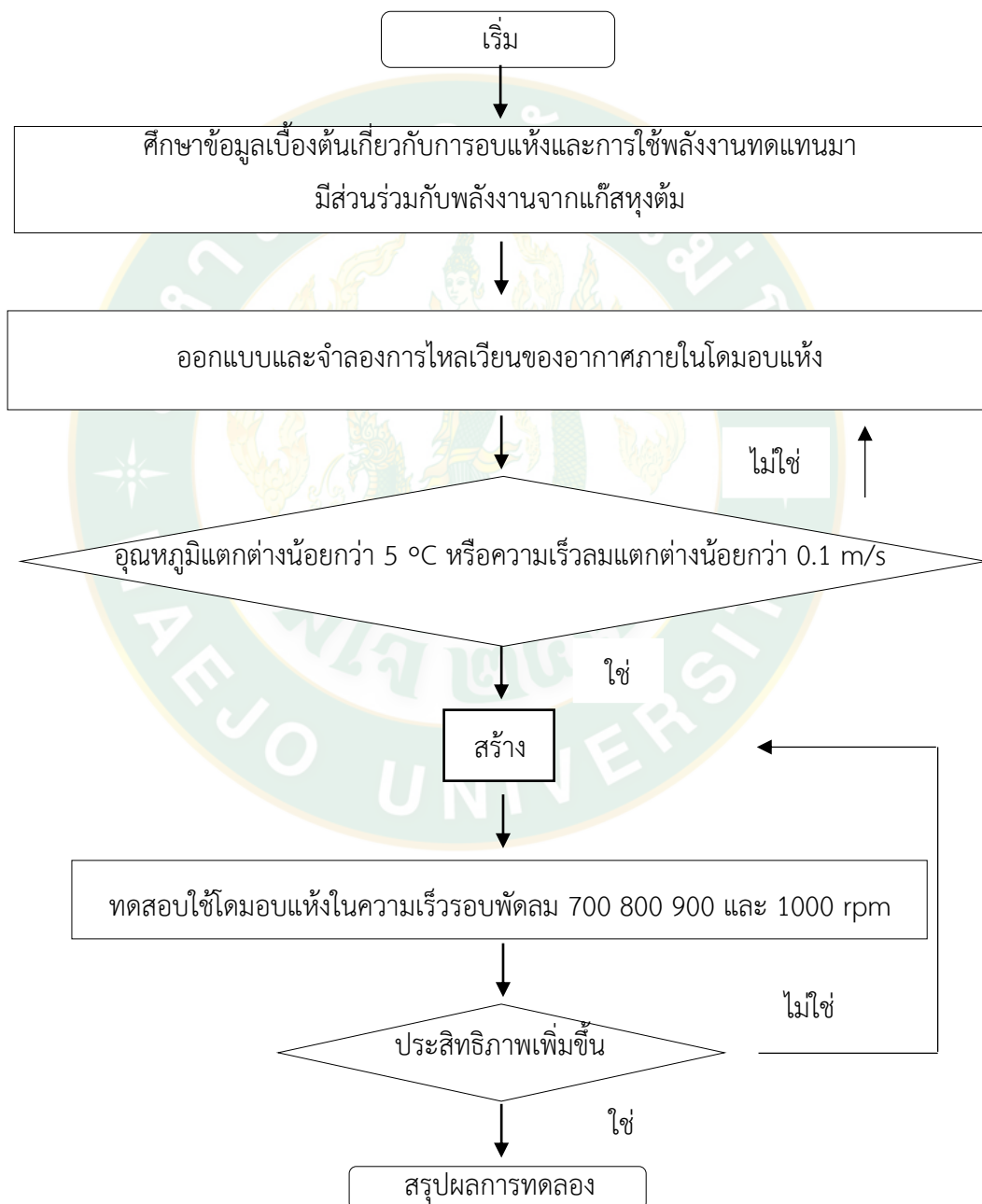
(Rathore and Panwar 2010) จากงานวิจัยพบว่าการศึกษาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ในขนาด 37.5 ตารางเมตร สูง 1.45 เมตร ความหนาแน่นของอากาศภายในโดม 1.204 kg/m³ ความเร็วลมที่เข้าภายในโดม 3 m/s อุณหภูมิในการอบแห้ง 65 °C วัสดุเปียกในการอบแห้งเป็นองุ่นไร้เมล็ดน้ำหนัก 320 kg ความชื้นก่อนอบแห้ง 85% และความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ 16% จากการทดลองสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพการทำความร้อนที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์อุณหภูมิภายในโดมอยู่ในช่วง 55 – 70 °C ภายในเวลา 7 วัน ที่ความชื้นสุดท้าย 16% ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงจากแบบอบแห้งแบบเก่า

(ใหญ่บัก 2553) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้า เพื่อต้องการพัฒนากระบวนการผลิตปลาแห้งอนามัยภายใต้สภาพภูมิอากาศทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยออกแบบเครื่องอบแห้ง ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์พลังงานหลักและพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสริม ประกอบด้วยตู้อบชนิดโปร่งแสง แผงรับรังสีอาทิตย์มีขนาด 4.08 ขดลวดไฟฟ้าสำหรับทำความร้อนขนาด 800 จำนวน 2 ชุด มีความจุของปลาที่ใส่อบได้ 50 กิโลกรัม จากการทดลองอบแห้งปลา 2 ชนิด คือ ปลาช่อนและปลาดุก โดยให้อุณหภูมิในห้องอบแห้ง 40, 50 และ 60 °C พบว่าการอบแห้งปลาช่อนแบบใช้พลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60 °C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งน้อยสุดเท่ากับ 42.57 และมีประสิทธิภาพในการอบแห้ง 5.54% ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 6 ชั่วโมง ส่วนการอบแห้งปลาดุกด้วยพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 °C มีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งน้อยที่สุดคือเท่ากับ 80.02 และมีประสิทธิภาพในการอบแห้ง 2.98% และใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 8 ชั่วโมง

จากการศึกษารอบแห้งที่ใช้พลังงานสะอาดที่ได้จากแสงอาทิตย์ในแบบโรงเรือนอบแห้ง และโดมอบแห้งแบบพาราโบลาจะใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าการอบแห้งแบบการให้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงแก๊ส ดังนั้นจึงได้มีการนำการอบแห้งทั้ง 2 แบบ คือการอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงแก๊สมาร่วมกันทำให้การอบแห้งมีการลดระยะเวลาและคุณภาพของวัตถุดิบถูกสุกสุกลักษณะ

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ

การศึกษารอบแหงกัวยภายในพาราโบลามีวัตฤประสงคั เพื่อศึกษการประเมินประสิทธิภาพระบบอบแหงกัวย ปรับปรุงประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานความร้อนของระบบอบแหงกัวย จึงได้กำหนดขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 23

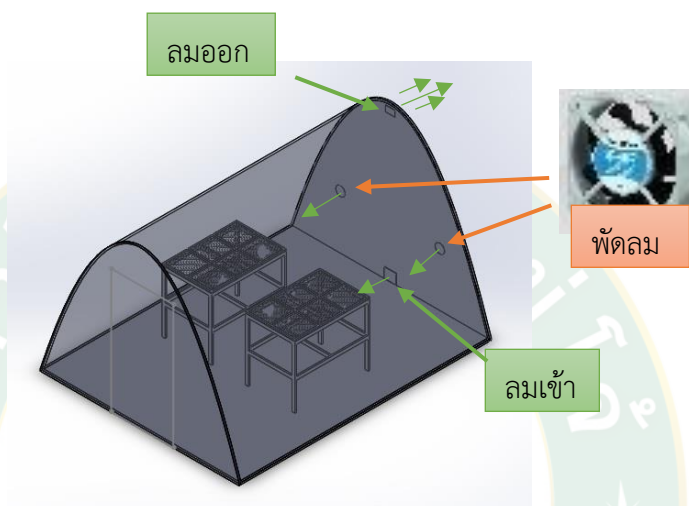


ภาพที่ 23 แผนภูมิการดำเนินการทดลอง

3.1 วิธีการดำเนินวิจัย

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบอบแห้งกล้วยแบบโคมพลังงานร่วม เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบที่จะทำการปรับปรุง

2. ออกแบบจำลองโรงอบแห้งกล้วยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยศึกษาจากต้นแบบของโรงงานจาก หจก. คำธารการลิต แอนด์ โพรเซสฟู้ดส์ และเขียนแบบโครงสร้างจากโปรแกรม Solid work และจำลอง



ภาพที่ 24 แบบจำลองของโคมพาราโบลา

การจำลองการไหลของอากาศภายในโคม

1. การศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้าสุกจากโคมพาราโบลาที่อบแห้งด้วยลมร้อนและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. ออกแบบโคมพาราโบลาในโปรแกรม Solid work

2.1 เพิ่มพัดลมในโคมพาราโบลาเพื่อดูการไหลของอากาศภายในโคมพาราโบลา

- นำพัดลมไปติดตั้งไว้ในโคมด้านหลังของโคม

2.2 ชั้นวางวัตถุภายในโคมพาราโบลาเพื่อดูทิศทางการไหลของอากาศ

- นำชั้นวางและตะแกรงไปวางในโคมพาราโบลา

3. ใช้ฟังก์ชัน Flow Simulation

3.1 สร้างโปรเจกต์ใหม่ โดยใช้คำสั่ง Wizard ในแถบ Flow Simulation แล้ว

กำหนดค่า

- Project name: 700 rpm

- Unit system: Si (m-kg-s) เปลี่ยน Temperature เป็น °C

- Analysis Type: internal

- Physical Feature: เลือก Heat condition in Solid

- Default fluid: ใน Gases เลือก Air แล้วกด Add และ ใน Flow type เลือก Laminar and Turbulent

- Default Solid: ใน Polymers เลือก Polycarbonate

- Wall condition: ช่อง Default outer wall thermal condition เลือก Wall temperature ใส่ค่าที่ 30 °C

- จากนั้นคลิก Finish

3.2 ใน Input Data กำหนดลมเข้า-ออกโดยคลิกขวาที่ Boundary conditions เลือก insert Boundary condition

- ลมเข้า

- selection: เลือกพื้นที่ตำแหน่งลมเข้า

- Type: เลือก Inlet Velocity

- Flow Parameters: เลือกที่ 10, 11.43, 12.86, 14.29 m/s

- ลมออก

- selection: เลือกพื้นที่ตำแหน่งลมออก

- Type: เลือก Environment Pressure

- Thermodynamic Parameter: อุณหภูมิ (T) เลือก 30 และ ความดัน

บรรยากาศ

3.3 ใน Input Data กำหนดขนาดของ Mesh

- คลิกขวาที่ Mesh เลือก Global Mesh

- ช่อง Type เลือก Automatic

- ช่อง setting ค่าเริ่มต้นเลือกที่ 3

3.4 ใน Results คลิกขวาที่ Flow Trajectories เลือก insert

- Starting Points: เลือกตำแหน่งของอากาศไหลเข้า Number Point 20

- Appearance: เลือก Static เป็น Arrows 0.05 m

3.5 คลิกขวาที่ 700 rpm เลือก Run

3. สร้างโรงอบแห้งจากแบบ โดยส่วนประกอบโครงสร้างของโรงอบแห้ง แสดงรายละเอียด ดังนี้



ภาพที่ 25 โดมพาราโบลา

โดมพาราโบลาที่ทำการทดลองมีขนาดเล็กกว่าโดมต้นแบบจากโรงงาน (โดมพาราโบลา สูง 2.5 เมตร, กว้าง 3.5 เมตร, ยาว 4 เมตร) มีหน้าที่ในการอบแห้งวัสดุที่ต้องใช้การลดความชื้น ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยลดต้นทุน และลดปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป สร้างมาตรฐานการผลิตสินค้าอบแห้ง สะอาดปลอดภัย สร้างความปลอดภัยให้ผลิตภัณฑ์จากสัตว์ ฝุ่นควัน หรือสภาพอากาศ สภาพแวดล้อม สร้างภาพลักษณ์ที่ดีด้านนวัตกรรมและการอนุรักษ์พลังงาน และสร้างความคุ้มค่าในระยะยาว ลดระยะเวลาการผลิต



ภาพที่ 26 แผ่นโพลีคาร์บอเนต

คุณสมบัติของแผ่นโพลีคาร์บอเนตที่ใช้เป็นวัสดุคลุมโดมพาราโบลา คือน้ำหนักเบา โปร่งแสง ป้องกันความร้อน ตัดแปลง (โค้ง) ได้ตามรูปร่างที่ต้องการ แผ่นโพลีคาร์บอเนต สามารถนำไปใช้งาน

ได้มากมาย ทั้งการนำไปใช้ในสินค้าอุปโภค บริโภค และอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ ฯลฯ จากคุณสมบัติที่มีความทนทาน และน้ำหนักเบา แผ่นโพลีคาร์บอเนต จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานต่าง ๆ เช่น ผนัง หลังคา กันสาด รวมทั้งงานตกแต่งภายใน ซึ่งทำให้เกิดการประหยัดพลังงานและมีรูปแบบที่สวยงาม มีความโปร่งแสงดีเยี่ยม ป้องกันรังสีอุลตราไวโอเลต แข็งแรง ทนทานต่อการแตกหัก (ทนทาน กว่าอะครีลิค 20 เท่า กว่ากระจก 250 เท่า) ทนทานความร้อน ความเย็นสูง (อุณหภูมิตั้งแต่ -20°C ถึง 120°C) มีการคงรูป ยืดหยุ่น สามารถดัดโค้งได้ ออกแบบงานได้ตามรูปร่างที่ต้องการ มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันไฟดูด ได้ดี ไม่ติดไฟง่าย สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ คุ่มค่าประหยัดต้นทุน



ภาพที่ 27 เครื่องเป่าลม

เครื่องเป่าลม (Blower) คือ อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศด้วยความเร็ว และทิศทางที่ต้องการ จริง ๆ แล้วพัดลม และเครื่องเป่าลมจะคล้ายคลึงกันมาก มีเพียงข้อแตกต่างเล็กน้อย ตามข้อกำหนด ของมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น หรือ JIS (Japanese Industrial Standard) ที่กำหนดไว้ว่า พัดลมที่มีแรงดันลมต่ำกว่า 1,000 มิลลิเมตรน้ำเรียกว่า พัดลม (Fan) ในขณะที่พัดลมที่มีแรงดันลม ตั้งแต่ 1,000 มิลลิเมตรน้ำแต่ไม่ถึง 10 เมตรน้ำ จะเรียกว่า เครื่องเป่าลม (Blower) โดยที่ ลักษณะ หรือ รูปทรงของอุปกรณ์ ทั้งสองชนิดอาจจะคล้ายคลึงกัน โดยมีคุณสมบัติคือให้ปริมาณลมมากขึ้น ที่อุณหภูมิปกติ ระบบป้องกันสนิม Voltage และ Frequency ตามความต้องการที่สามารถขนถ่ายอากาศปริมาณมาก ด้วยความต้านทานต่ำ, ใช้ ขนถ่ายอากาศที่ต้องการแรงดันสูง ปริมาณลมปานกลาง, ดูดควันเสียและไอน้ำ, ทำความเย็นให้แก่ อุปกรณ์ และ อบอุ่นเครื่องจักร, ระบายอากาศภายในห้อง, ใช้ดูดอากาศในปล่องควันไฟ, อัดอากาศให้กับแก๊ส,

น้ำมันและ ถ่านหิน, ใช้ในการเป่าวัสดุให้แห้ง, ใช้เป็นระบบทำความเย็นให้กับเครื่องจักร, เต็มอากาศให้กับระบบบอบแห้ง



ภาพที่ 28 กล่อง Magnetic

กล่องmagnetic เป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมระบบการทำงานของเครื่องโดยมี Magnetic contactor เป็นตัวควบคุมหลักมีหน้าที่ ตัดต่อวงจรไฟฟ้า เพื่อการเปิด-ปิดของหน้าสัมผัส (Contact) ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าช่วยในการเปิด-ปิดหน้าสัมผัส ในการตัดต่อวงจรไฟฟ้า เช่น เปิด-ปิดการทำงานของวงจรควบคุมมอเตอร์ นิยมใช้ในวงจรของระบบแอร์, ระบบควบคุมมอเตอร์ หรือใช้ในการควบคุมเครื่องจักรต่าง ๆ โดยแมกเนติกคอนแทคเตอร์นั้น จะมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญต่อการทำงาน ได้แก่ แกนเหล็ก (Core) ,ขดลวด (Coil) ,หน้าสัมผัส (Contact) และสปริง (Spring) หลักการทำงานของแมกเนติก คอนแทคเตอร์ คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังขดลวด สนามแม่เหล็กที่อยู่ขากกลางของแกนเหล็ก ขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กที่แรงสนามแม่เหล็กขณะแรงสปริงดึงให้แกนเหล็กชุดที่เคลื่อนที่ (Stationary Core) เคลื่อนที่ลงมาในสถานะนี้ (ON) คอนแทคทั้งสองชุดจะเปลี่ยนสถานะการทำงานคือ คอนแทคปกติปิดจะเปิดวงจรจุดสัมผัสออก และคอนแทคปกติเปิดจะต่อวงจรของจุดสัมผัส เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปยังขดลวด สนามแม่เหล็กคอนแทคทั้งสองชุดจะกลับไปสู่สภาวะเดิม

โดยมีขั้นตอนการทำงานของระบบ

1. กดปุ่มสตาร์ทมอเตอร์ในรอบต่าง ๆ โดยมี inverter คอยปรับรอบมอเตอร์ 700 800 900 และ 1000 rpm
2. กดปุ่มสตาร์ทตัวจุดแก๊สคือการให้พลังงานไฟฟ้าทำให้ตัวสปาร์คมีประกายไฟและเปิดวาล์วแก๊ส ทั้งนี้จะเป็นไปตามขั้นตอนโดยต้องสตาร์ทมอเตอร์ก่อนจึงจะสตาร์ทตัวจุดแก๊สได้
3. การตั้งอุณหภูมิภายในโดมจะมีตัววัดแบบดิจิตอลติดตั้งกับชุดควบคุมอุณหภูมิเพื่อตั้งค่าอุณหภูมิซึ่งติดไว้ภายในของโดมอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิเกินตามค่าที่ตั้งไว้ ระบบจะปิดวาล์วแก๊ส แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ก็จะสตาร์ทขึ้นใหม่อัตโนมัติตามขั้นตอนที่ 2



ก๊าซ LPG ใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง มีลักษณะคือ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แต่ผู้ผลิตเติมสารซึ่งมี กลิ่นฉุนแทน เพื่อใช้เตือนภัยเมื่อเกิดก๊าซรั่ว มีคุณสมบัติคือ เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด และสะดวกต่อการใช้งาน จุดติดไฟง่าย และดับได้รวดเร็ว ไม่มีเขม่า และขี้เถ้า ถึงเก็บก๊าซใช้พื้นที่น้อย ปรับปริมาณความร้อนได้ตามต้องการ อาหารสุกเร็วกว่าการใช้ฟืน ช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่า และเป็นการนำทรัพยากรธรรมชาติของประเทศมาใช้อย่างมีคุณค่า

4. อุปกรณ์การทดสอบ



ภาพที่ 30 เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ Wisco



ภาพที่ 31 สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K

เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ Wisco รุ่น Analog Input Module AI210 เป็นอุปกรณ์ที่สามารถรับสัญญาณ Analog Input ได้ 8 ช่อง, Digital Input 4 ช่อง และควบคุม Digital Output ได้ 4 ช่อง โดยผู้ใช้สามารถโปรแกรม Analog Input ให้ใช้ได้กับ Sensor และนำ Thermocouple ชนิด K ที่มีช่วงการวัดอุณหภูมิที่ $-40^{\circ}\text{C} - 1000^{\circ}\text{C}$ และความคลาดเคลื่อนที่ $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ มาติดตั้ง



ภาพที่ 32 เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิแบบดิจิทัล

เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิแบบดิจิทัล มีคุณสมบัติคือ ใช้พลังงานต่ำ แสดงผลทั้งอุณหภูมิและความชื้นได้พร้อมกัน แสดงอุณหภูมิแบบองศาเซลเซียส และแสดงข้อมูลจำเพาะ เช่น ช่วงในการวัดอุณหภูมิ: - 40 ถึง 90°C ความละเอียดอุณหภูมิ: 0.1°C ความแม่นยำอุณหภูมิ: $\pm 1^\circ\text{C}$ ช่วงในการวัดความชื้น: 10% - 95% RH ความละเอียดความชื้น: 1% RH และความแม่นยำความชื้น: $\pm 5\% \text{ RH}$



ภาพที่ 33 เครื่องวัดความเร็วลม

เครื่องวัดความเร็วลมมีหลักการทำงานคือ ใช้วัดอัตราเร็วของอากาศที่ไหลผ่าน โดยเมื่อมีอากาศไหลผ่าน จะทำให้แขนของเครื่องวัดความเร็วลม หมุนด้วยความเร็วเชิงเส้นใกล้เคียงกับความเร็วของอากาศที่ไหลผ่าน จากการคำนวณหาอัตราเร็วตามแนวเส้นสัมผัสของจุดศูนย์กลางของ

กรวยรับลมในช่วงเวลาหนึ่งๆ เราก็จะสามารถประมาณค่าความเร็วลมในช่วงเวลานั้น ๆ ได้ ซึ่งมีจอแสดงผล LCD ขนาดใหญ่ ช่วงการวัดความเร็วลม 0.4~30.0 m/s , 1.4~108 km/h 80~5910 f/min ,0.8~58.3 knots และมีความเคลื่อนที่ 2 %



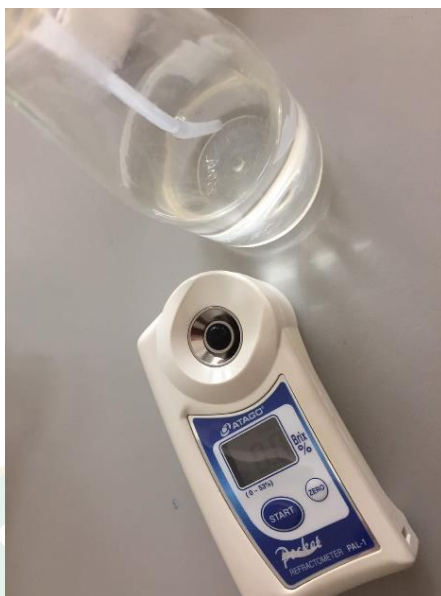
ภาพที่ 34 มีดสไลด์กล้วย

มีดสไลด์กล้วย เหมาะสำหรับสไลด์กล้วย สไลด์มัน สไลด์เผือก สไลด์ขิง สไลด์หอม สไลด์กระเทียม สามารถปรับความหนา-บางได้จากตัวปรับด้านข้าง สามารถปรับให้มีดสไลด์หนาหรือบางเท่าไรก็ได้ สำหรับมีดสไลด์กล้วยตัวนี้เหมาะสำหรับการทำในครัวเรือน หรือ การผลิตในเชิงอุตสาหกรรมในจำนวนไม่มากนัก หากต้องการเครื่องทุ่นแรงเพื่อผลิตในจำนวนมาก เราแนะนำเครื่องสไลด์ โดยเครื่องนี้สามารถทุ่นแรงคน ประหยัดค่าแรงงาน โดยเครื่องนี้ สไลด์เผือก สไลด์ขุ่นดิบ สไลด์มัน สไลด์ขิง รวมถึงผักและผลไม้ได้หลายประเภท



ภาพที่ 35 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลยี่ห้อ Sartorius Model BSA3202S-CW รายละเอียดเครื่องชั่งชั่งน้ำหนัก ชั่งได้สูงสุด 3200 กรัมแสดงผลละเอียด 0.01 กรัม มีจอแสดงผลตัวเลข Backlid and High contrast display ชั่งได้ในหน่วย ไม่น้อยกว่า 22 แบบ เช่น g, lb, oz, pc, % งานชั่งเป็นสแตนเลส ขนาด 180x180 มิลลิเมตร เป็นระบบปรับเทียบน้ำหนัก โดยใช้ลูกตุ้มภายใน ใช้หม้อแปลง AC adaptor ผลิตภัณท์จาก Sartorius ประเทศเยอรมัน



ภาพที่ 36 เครื่องวัดค่าความหวาน

เครื่องวัดค่าความหวานมีคุณลักษณะของเครื่องช่วงการวัด %Brix:0.0 - 53.0% อุณหภูมิ 9.0-99.9 °C ความละเอียด Brix 0.1% อุณหภูมิ 0.1 °C ค่าความถูกต้อง Brix \pm 0.2% ตัวเครื่องขนาดพกพา แข็งแรงและใช้งานง่าย ด้วยปุ่ม START และZERO สามารถทำงานด้วยมือเดียว Sample stage ทำมาจากโลหะทำให้ถ่ายเทอุณหภูมิไปยัง prism ได้รวดเร็วและค่าในการวัดมีความแม่นยำสูง และออกแบบให้ง่ายในการเอาตัวอย่างออกหลังจากการวัด มีระบบ ELS (External Light Interference) เพื่อแจ้งเตือนกรณีที่มีแสงรบกวนจากภายนอกและทำให้ค่าการวัดผิดพลาดได้ อุณหภูมิใช้งาน 10-100 °C มีระบบชดเชยอุณหภูมิอัตโนมัติ ATC (Automatic Temperature Compensation) อุณหภูมิใช้งาน 10-99 องศาเซลเซียส Prism ทำมาจาก optical glass ป้องกันรอยขีดข่วน หน้าจอแสดงผลขนาดใหญ่ต่อการอ่านค่าและมีการแสดงสถานะของ Battery มาตรฐานกันน้ำ IP65 สามารถล้างทำความสะอาดได้ง่าย Set Zero ได้ง่ายด้วยน้ำสะอาดแล้วกดปุ่ม ZERO



ภาพที่ 37 หัวปรับแรงดัน สำหรับแก๊ส LPG

Regulator หรือ หัวปรับแรงดัน สำหรับแก๊ส LPG ใช้สำหรับควบคุมแก๊สในถังให้ปล่อยออกมาในปริมาณที่ต้องการ เพราะแก๊สที่บรรจุในถังนั้นถูกทำให้เป็นของเหลว และอัดเก็บไว้ในถังแก๊ส หากไม่มีหัวปรับแรงดัน แก๊สที่ออกมาจะมีความดันสูงมาก จนอุปกรณ์เตาแก๊ส อาจจะเสียหายได้ และจะเป็นอันตรายอย่างยิ่ง



ภาพที่ 38 เครื่องวัดสีวัดดูติบ MiniScan XE Plus

เครื่องมือวัดสีแบบพกพา MiniScan XE Plus สามารถวัดปริมาณสีของคอนกรีตและวัสดุดูติบได้อย่างรวดเร็วและง่ายดายซึ่งหมายความว่าท่านไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการแสดงภาพแบบอัตโนมัติเพื่อกำหนดความแตกต่างของสี สามารถใช้ที่โรงงานหรือที่ไซต์งานเพื่อวัดผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป อุปกรณ์นี้จะมีจอแสดงผลคริสตัลและปุ่มกดที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่แบบชาร์จไฟได้และแสดงค่าความ

แตกต่างของสี และผู้ใช้สามารถป้อนขีดจำกัดค่าที่เหมาะสมกับงานสำหรับการแสดงผล ผ่านหรือ ล้มเหลวโดยอัตโนมัติ



ภาพที่ 39 เครื่องอบสุญญากาศ BINDE

ตู้อบลมร้อนแบบสุญญากาศ รายละเอียดตู้อบลมร้อนแบบสุญญากาศ มีความจุ 115 ลิตรทำ อุณหภูมิได้ตั้งแต่ 15 องศาเซลเซียส ถึง 200 องศาเซลเซียส มีหน้าจอแสดงผลเป็น Digital (Digital Display) ควบคุมการทำงานด้วยระบบ APT.line ปรับอุณหภูมิได้ 2 หน่วย คือ องศาเซลเซียส (C°) และ องศาฟาเรนไฮต์ (F°) สามารถตั้งเวลาทำงานของเครื่องได้ มีระบบแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่ากำหนด ภายในตู้ มีขนาด 506 (กว้าง) x 460 (ยาว) x 506 (สูง) มิลลิเมตร

5. ทดสอบระบบปรับปรุงและหาประสิทธิภาพของระบบบอบแห้ง

การทดลองในโดมพาราโบลา

1. การเตรียมวัสดุในการทดสอบ
 - 1.1 วัตถุดิบ ได้แก่ กัลวยน้ำว่าสุก
 - 1.2 ตะแกรงสแตนเลส
 - 1.3 ผ้ารอง
 - 1.4 ชั้นวาง
2. การเตรียมวัตถุดิบ
 - 2.1 ปอกเปลือกกัลวยน้ำว่าสุก
 - 2.2 หั่นกัลวยให้เป็นชิ้น หนา 3 มม.

3. ลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80-100 °C เป็นเวลา 3-5 วินาที
4. ล้างด้วยน้ำเย็นจัด
5. วัดความชื้นวัตถุดิบกล้วยก่อนเข้าโดมอบแห้ง
 - 5.1 อบกล้วยโดยใช้เครื่องอบสุญญากาศ BINDER
 - 5.2 ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล
 - 5.3 คำนวณหาค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์
6. เรียงชั้นกล้วยกระจายตัวโดยให้ซ้อนกันน้อยที่สุดลงบนฝารองและตะแกรงสแตนเลส
7. นำกล้วยมาทดสอบอบแห้งในโดมพาราโบลาทั้ง 2 แบบ คือ แบบใช้เครื่องควบคุม

อุณหภูมิและแบบไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

7.1. แบบใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

- อุณหภูมิพาราโบลาที่อุณหภูมิ 70-80 °C ก่อนนำวัสดุเข้าโดมพาราโบลา
- นำกล้วยที่วางบนตะแกรงเข้าโดมพาราโบลา
- ปรับค่าความเร็วลมในโดมพาราโบลา
- ตั้งค่าอุณหภูมิคงที่ ที่ 70-75 °C จากชุดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

7.2. แบบไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

- อุณหภูมิพาราโบลาที่อุณหภูมิ 70-80 °C ก่อนนำวัสดุเข้าโดมพาราโบลา
- นำกล้วยที่วางบนตะแกรงเข้าโดมพาราโบลา
- ปรับค่าความเร็วลมในโดมพาราโบลา

6. สรุปผลการดำเนินงานและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

1. บันทึกผลการทดสอบ
 - 1.1 ความชื้นในกล้วยหลังอบแห้ง
 - 1.2 พลังงานความร้อนในโดม
2. วิเคราะห์ผลการทดลอง
3. สรุปผลการทดลอง

3.2 วิธีการหาค่าความชื้นของวัตถุดิบ (Moisture Content)

ทำการวิเคราะห์หาค่าความชื้นด้วยการคำนวณ

1. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองที่เตรียมไว้ในแต่ละชั่วโมงของการทดลอง
2. นำกระป๋องอลูมิเนียม (Moisture can) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว มาชั่งเครื่องชั่ง
3. นำผลิตภัณฑ์ ที่เตรียมไว้ มาชั่ง โดยน้ำหนักไม่เกิน 5 กรัม

4. นำกระป๋องอลูมิเนียมที่มีผลิตภัณฑ์เข้าเครื่องอบสุญญากาศ โดยใช้เวลาในการอบ 6 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน AOAC 1995
5. ทำการคำนวณหาค่าความชื้น

3.3 การวัดค่าความหวาน (Brix)

ค่าความหวาน (Brix) ที่ได้จากการทดสอบ หน่วยที่ได้จะบ่งบอกความเข้มข้น ของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลาย เป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก โดยจะมีการสุ่มตัวอย่างจากวัตถุดิบ ปริมาณ 5 กรัม

โดยการทดสอบวัดค่าความหวานด้วยเครื่อง refractometer การทดสอบจะวัดค่าความหวานจะทดสอบจากการสุ่มตัวอย่างวัตถุดิบปริมาณ 5 กรัม ก่อนจะนำเข้าไปทำการอบแห้ง เนื่องจากการวัดค่าความหวานจะทดสอบได้เฉพาะของเหลวจึงไม่สามารถวัดค่าความหวานหลังจากการอบแห้งได้ จะทำการทดสอบจำนวน 2 ครั้ง และวัดค่าในแต่ละครั้งจำนวน 3 ซ้ำ

3.4 วิธีการวัดค่าความร้อนภายในโดมด้วยเทอร์โมคัปเปิล

1. นำเทอร์โมคัปเปิล ไปวางแต่ละตำแหน่งตามที่กำหนดไว้ทั้งหมด 7 ตำแหน่ง
 - ตำแหน่งที่ 1 อยู่ด้านท้ายของโดมทางด้านซ้ายสูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร
 - ตำแหน่งที่ 2 อยู่ด้านท้ายของโดมทางด้านบนสูงจากพื้นประมาณ 2 เมตร
 - ตำแหน่งที่ 3 อยู่ด้านท้ายของโดมทางด้านขวาสูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร
 - ตำแหน่งที่ 4 อยู่ด้านหน้าของโดมทางด้านซ้ายสูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร
 - ตำแหน่งที่ 5 อยู่ด้านหน้าของโดมทางด้านบนสูงจากพื้นประมาณ 2 เมตร
 - ตำแหน่งที่ 6 อยู่ด้านหน้าของโดมทางด้านขวาสูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร
 - ตำแหน่งที่ 7 อยู่ตรงกลางของโดมสูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร
2. นำสายเทอร์โมคัปเปิลแต่ละตำแหน่ง มาต่อเข้ากับเครื่อง Wisco และ ตั้งค่า โปรแกรม AI Utility Manual V 3.4.pdf กับ โปรแกรม OD04 Manual V2.8.pdf สำหรับอ่านค่า อุณหภูมิภายในโดม
3. เปิดโปรแกรม เพื่ออ่านค่า อุณหภูมิ แต่ละตำแหน่งตามที่กำหนดไว้ โดยจะเก็บข้อมูลทุก ๆ ชั่วโมงของการทดลอง

3.5 วิธีการวัดค่าความชื้นในอากาศด้วยเครื่องวัดความชื้น

1. นำเครื่องมาวัดค่าความชื้นอากาศของโดมอบแห้งแบบพาราโบลาทั้งหมด 7 จุด
 - ตำแหน่งที่ 1 อยู่ด้านในโดมทางด้านท้ายและทางด้านซ้าย

- ตำแหน่งที่ 2 อยู่ด้านในโดมทางด้านท้ายและทางด้านขวา
- ตำแหน่งที่ 3 อยู่ด้านในโดมทางด้านหน้าและทางด้านซ้าย
- ตำแหน่งที่ 4 อยู่ด้านในโดมทางด้านหน้าและทางด้านขวา
- ตำแหน่งที่ 5 อยู่ตรงกลางของโดม
- ตำแหน่งที่ 6 อยู่ด้านนอกของโดม
- ตำแหน่งที่ 7 อยู่ทางช่องอากาศขาออกของโดม

2. อ่านค่าที่เครื่องแสดงผลทุก ๆ 1 ชั่วโมง

3.6 วิเคราะห์ข้อมูลโดยการกำหนดตัวแปร

ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบโดยแสดงเป็นตารางและกราฟเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องใน ซึ่งมีค่าตัวแปรดังต่อไปนี้

ตัวแปรต้น ได้แก่ ความเร็วรอบของมอเตอร์, แบบการทดสอบของโดมอบแห้ง

ตัวแปรตาม ได้แก่ ความชื้นในผลิตภัณฑ์ , ระยะเวลาในการอบแห้ง , ประสิทธิภาพเชิงความร้อนภายในโดม, ปริมาณการใช้แก๊ส

ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ , ขนาดโดม , ปริมาณผลิตภัณฑ์, ความหวาน

3.7 วิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้ง

1 การคำนวณการถ่ายเทความร้อน

$$Q = \dot{m}C_p (T_h - T_c) \quad (3.1)$$

โดยที่

C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุ ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)

\dot{m} = อัตราไหลเชิงมวล (kg/s)

Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของของแข็งที่สัมผัส กับของไหล (W)

T_h คือ อุณหภูมิที่ร้อนกว่า (ของของไหล หรือพื้นผิวของของแข็ง)

T_c คือ อุณหภูมิที่เย็นกว่า (ของของไหล หรือพื้นผิวของของแข็ง)

2. การคำนวณค่าการส่งถ่ายความร้อนของแก๊สหุงต้ม

$$Q = hA (T_h - T_c) \quad (3.2)$$

โดยที่

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (heat transfer coefficient) มีหน่วยเป็น W/m^2

K ในระบบ SI

A คือ พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน (m^2)

Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของของแข็งที่สัมผัส กับของไหล

T_h คือ อุณหภูมิที่ร้อนกว่า (ของของไหล หรือพื้นผิวของของแข็ง)

T_c คือ อุณหภูมิที่เย็นกว่า (ของของไหล หรือพื้นผิวของของแข็ง)

3. การคำนวณค่าการส่งถ่ายความร้อนของแสงอาทิตย์

$$Q_r = \sigma \varepsilon A T^4 \quad (3.3)$$

โดยที่

σ คือ ค่าคงที่สเตฟาน-โบลทซ์มันน์ (stefan-boltzmann constant) มีค่าคือ $(5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4)$

ε คือ ค่าการแผ่รังสี (emissivity) คือ คุณสมบัติทางการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุ

A คือ พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน (m^2)

T คือ อุณหภูมิ

4. การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน

$$\eta = (W \times h_{fg}) / (Q_s + Q_G) \quad (3.4)$$

โดยที่

Q_G คือ พลังงานความร้อนของแก๊ส

Q_s คือ พลังงานความร้อนของแสงอาทิตย์

- η คือ ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง (%)
- W คือ ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg)
- h_{fg} คือ สัมประสิทธิ์การระเหยของน้ำ (MJ / kg)



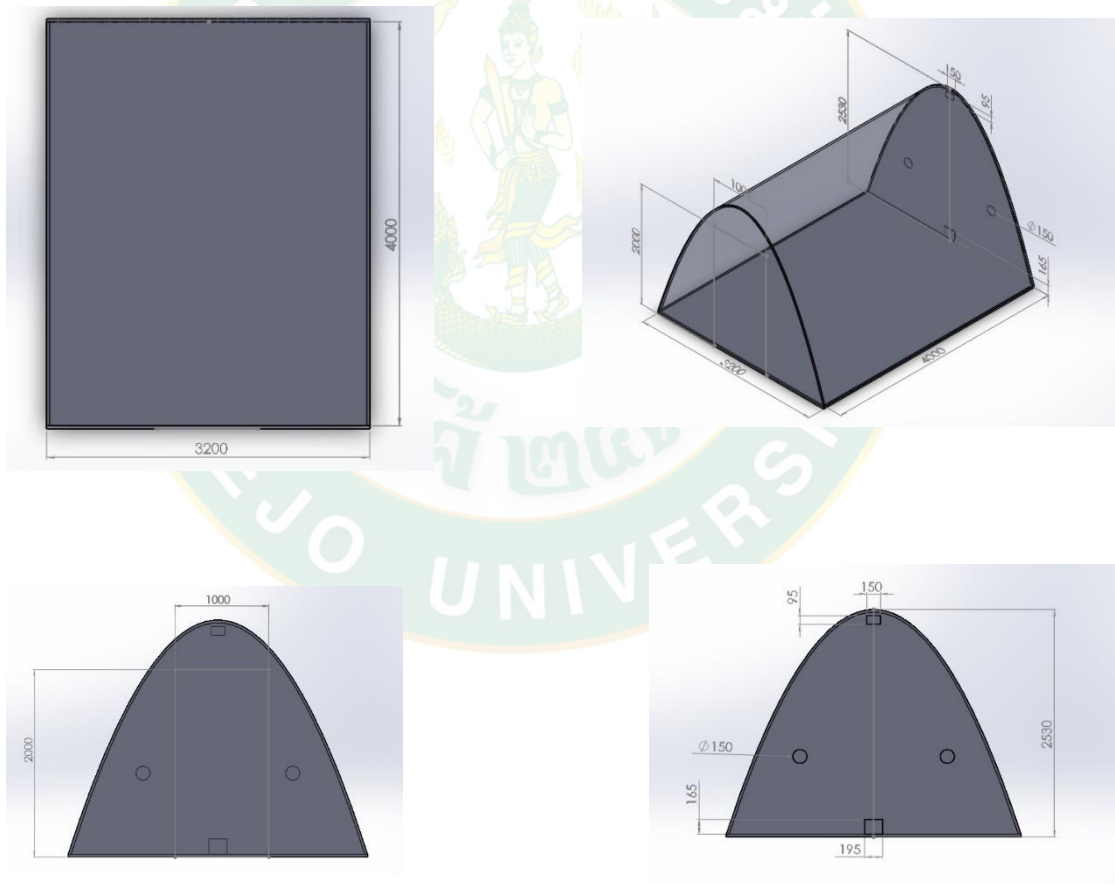
บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

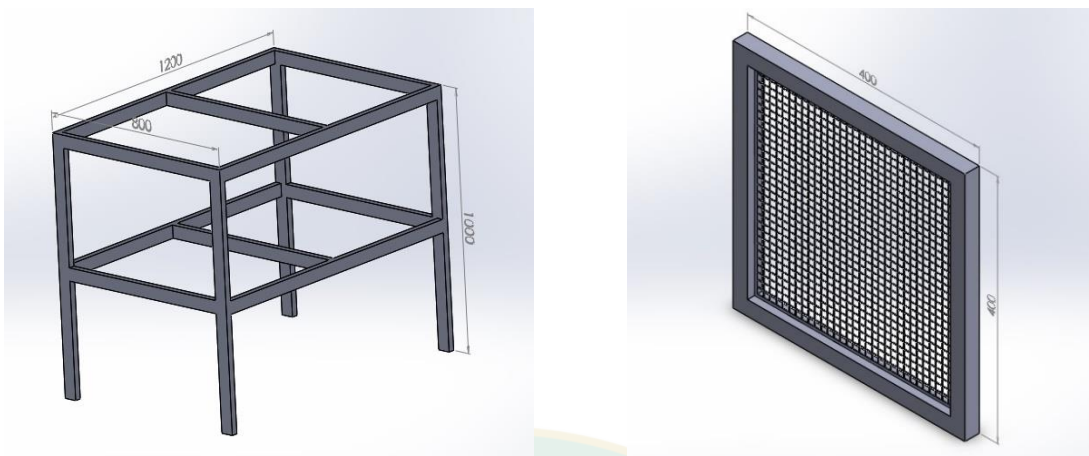
การศึกษาเรื่อง “การศึกษาการอบแห้งกล้วยภายในโดมพาราโบลา” มีวัตถุประสงค์ทดสอบและประเมินประสิทธิภาพระบบอบแห้งกล้วย ปรับปรุงประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานความร้อนระบบอบแห้งกล้วย โดยให้ผลการทดสอบมีรายงานดังต่อไปนี้

4.1 รายละเอียดการออกแบบ

โดมอบแห้งต้นแบบที่มีการออกแบบในโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะเป็นแบบ 3 มิติ ดัง แสดงในภาพที่ 40 มีส่วนประกอบหลักแสดงในตารางที่ 2



ภาพที่ 40 แบบโดมอบแห้งต้นแบบ 3 มิติ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)



ภาพที่ 41 แบบชั้นวางและตะแกรงตันแบบ 3 มิติ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

ตารางที่ 2 ตารางส่วนประกอบของโดมอบแห้งในแบบสามมิติ

ส่วนประกอบหลัก	คุณลักษณะ
1. ประตู 2 x 1 เมตร	นำวัตถุดิบเข้าและออก
2. ช่องอากาศออก 0.15 x 0.095 เมตร	เพื่อให้เกิดการถ่ายเทอากาศขึ้นภายในโดมอบแห้ง
3. ช่องอากาศเข้า 0.165 x 0.195 เมตร	ป้อนพลังงานความร้อนเข้าสู่โดมอบแห้ง
4. พัดลมสำหรับกวนอากาศ 0.15 x 0.15 เมตร	ช่วยในการไหลเวียนของอากาศภายในโดมอบแห้งดีขึ้น
5. ชั้นวางและตะแกรง 1.2 x 0.8 x 1 เมตร และ 0.4 x 0.4 เมตร ตามลำดับ	ใช้ในการวางวัตถุดิบเพื่อการอบแห้ง
6. แผ่นโพลีคาร์บอเนต	ช่วยป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ เพื่อช่วยให้สีของผลิตภัณฑ์สุดท้ายใกล้เคียงกับสีของผลิตภัณฑ์เริ่มต้น

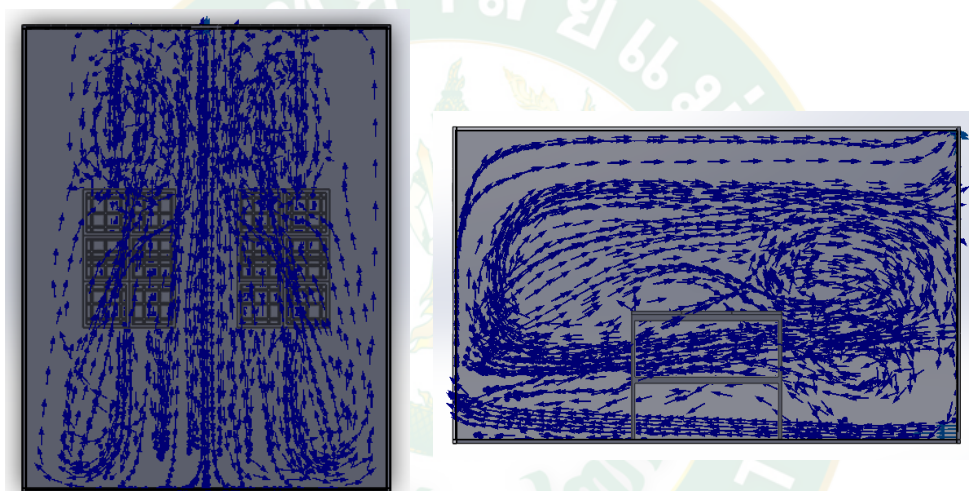
4.2 ผลการศึกษาโดมอบแห้ง

จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่าง ๆ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทั้งหมดพบว่า เมื่อทำการทดสอบการอบแห้งนั้น จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นในรูปแบบของ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน เนื่องจากการกระจายอุณหภูมิในแต่ละทิศทาง เกิดความลาดเอียงของอุณหภูมิในระบบ โดยการนำความร้อนจากผลิตภัณฑ์ และวัสดุที่อยู่ภายในโดมไม่ว่าจะเป็น เหล็กและอะลูมิเนียม เป็นต้น การพาความร้อนจาก 2 ลักษณะคือการพาความร้อนแบบบังคับให้เกิดการไหลผ่านวัสดุที่กำหนด ในที่นี้คือการที่อากาศ ไหลเข้าผ่านช่องอากาศ ซึ่งกำหนดขนาดช่องอากาศไว้ที่ 0.165 x 0.195 เมตร ส่วนอีกลักษณะคือการพาความร้อนแบบอิสระหรือแบบเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ อันเนื่องมาจากการเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิและความหนาแน่นอากาศ จากภายใน

กับภายนอกของโดมอบแห้ง จึงทำให้เกิดแรงลอยตัวขึ้นและถูกปล่อยออกไปทางช่องอากาศออกขนาด 0.15×0.095 เมตร

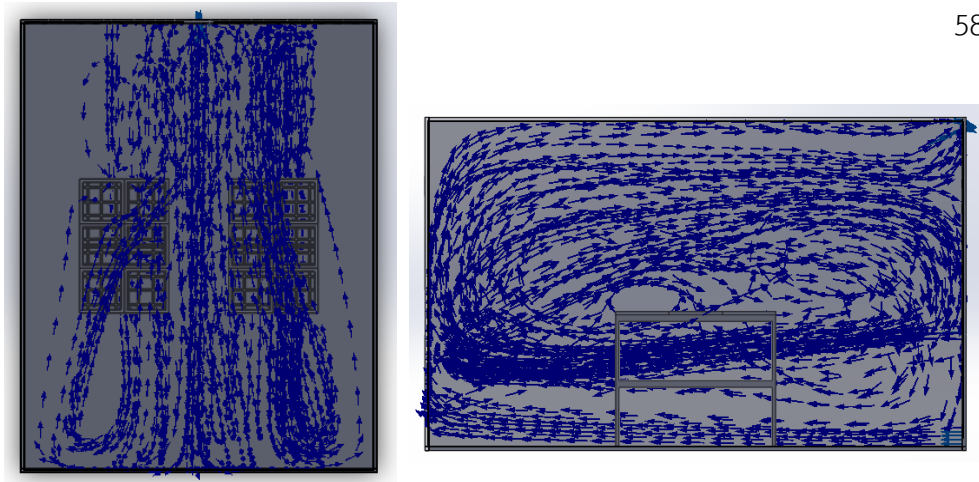
สำหรับประสิทธิภาพการอบแห้งที่ดี จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (specific humidity) ของอากาศ เป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม ในการทดสอบได้เลือกใช้ความเร็วรอบของมอเตอร์อยู่ที่ 700 rpm เนื่องจากเป็นโดมขนาดทดสอบ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าขนาดโดมต้นแบบถึง 1:3 ส่วน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับลดความเร็วรอบมอเตอร์ลง ให้เหมาะสมกับขนาดโดม

4.3 การจำลองการไหลเวียนของอากาศภายในโดมพาราโบลา



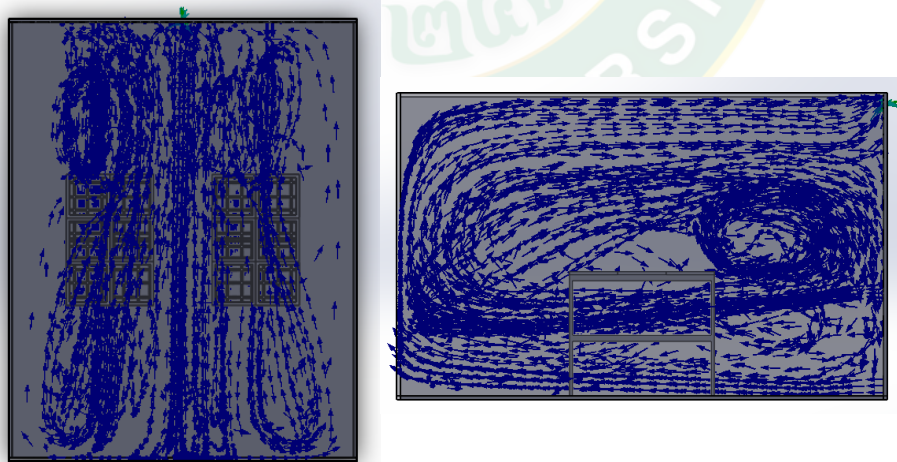
ภาพที่ 42 แบบจำลองความเร็วรอบที่ 700 rpm

จากการจำลองทิศทางการไหลเวียนของอากาศภายในโดมพาราโบลาในความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 700 rpm จะเห็นได้ว่ามองจากด้านบนของโดมพาราโบลาการไหลเวียนของอากาศจากด้านหลังถึงด้านหน้ามีการไหลเวียนของอากาศทั้งสองข้างมีความหนาแน่นเท่า ๆ กันจึงทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยเท่า ๆ กัน และการไล่ความชื้นของวัตถุดิบทั้ง 2 ด้านจะมีประสิทธิภาพที่ดีเนื่องจากการไหลเวียนของอากาศทั้ง 2 ด้านมีความหนาแน่นเท่า ๆ กัน จึงทำให้การไล่ความชื้นภายในโดมพาราโบลาที่ดี และถ้ามองจากด้านข้างภายในโดมพาราโบลาการไหลเวียนของอากาศจะวนทั่วทั้งโดมพาราโบลาจึงทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิและการไล่ความชื้นมีประสิทธิภาพที่ดีจากด้านล่างถึงด้านบนภายในโดมพาราโบลา



ภาพที่ 43 แบบจำลองความเร็วรอบที่ 800 rpm

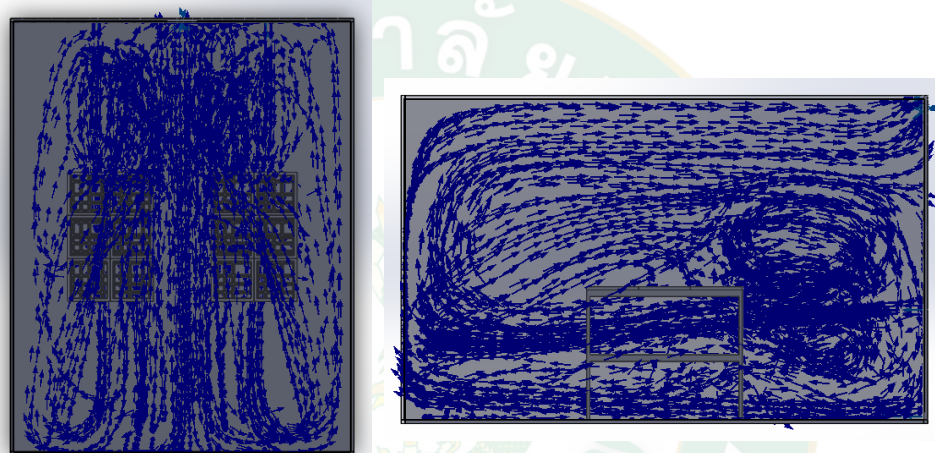
จากการจำลองทิศทางการไหลเวียนของอากาศภายในโดมพาราโบลาในความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 800 rpm จะเห็นได้ว่ามองจากด้านบนของโดมพาราโบลาการไหลเวียนของอากาศจากด้านหลังถึงด้านหน้ามีการไหลเวียนของอากาศทางด้านขวามีความหนาแน่นมากกว่าทางด้านซ้ายจึงทำให้การกระจายตัวของอนุภาคเลี้ยวทางด้านขวามีมากกว่าทางด้านซ้าย และการไล่ความชื้นของวัตถุทางด้านขวาจะมีประสิทธิภาพดีกว่าทางด้านซ้ายเนื่องจากการไหลเวียนของอากาศทางด้านขวามีความหนาแน่นที่ดีกว่าทางด้านซ้าย จึงทำให้การไล่ความชื้นภายในโดมพาราโบลาทางด้านขวาดีกว่าทางด้านซ้าย และถ้ามองจากด้านข้างภายในโดมพาราโบลาการไหลเวียนของอากาศจะวนทั่วทั้งโดมพาราโบลาจึงทำให้การกระจายตัวของอนุภาคและการไล่ความชื้นมีประสิทธิภาพที่ดีจากด้านล่างถึงด้านบนภายในโดมพาราโบลา



ภาพที่ 44 แบบจำลองความเร็วรอบที่ 900 rpm

จากการจำลองทิศทางการไหลเวียนของอากาศภายในโดมพาราโบลาในความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 900 rpm จะเห็นได้ว่ามองจากด้านบนของโดมพาราโบลาการไหลเวียนของอากาศจาก

ด้านหลังถึงด้านหน้ามีการไหลเวียนของอากาศทางด้านซ้ายมีความหนาแน่นมากกว่าทางด้านขวาจึงทำให้การกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันเลื้อยทางด้านซ้ายมีมากกว่าทางด้านขวา และการไล่ความชื้นของวัสดุคิบบทางด้านซ้ายจะมีประสิทธิภาพดีกว่าทางด้านขวาเนื่องจากการไหลเวียนของอากาศทางด้านซ้ายมีความหนาแน่นที่ดีกว่าทางด้านขวา จึงทำให้การไล่ความชื้นภายในโดมพาราโบลาทางด้านซ้ายดีกว่าทางด้านขวา และถ้ามองจากด้านข้างภายในโดมพาราโบลาการไหลเวียนของอากาศจะวนทั่วทั้งโดมพาราโบลาจึงทำให้การกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันและการไล่ความชื้นมีประสิทธิภาพที่ดีจากด้านล่างถึงด้านบนภายในโดมพาราโบลา



ภาพที่ 45 แบบจำลองความเร็วรอบที่ 1000 rpm

จากการจำลองทิศทางการไหลเวียนของอากาศภายในโดมพาราโบลาในความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 1000 rpm จะเห็นได้ว่ามองจากด้านบนของโดมพาราโบลาการไหลเวียนของอากาศทางด้านหลังถึงด้านหน้ามีการไหลเวียนของอากาศทางด้านหลังมีความหนาแน่นมากกว่าทางด้านหน้าจึงทำให้การกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันเลื้อยทางด้านหลังมีมากกว่าทางด้านหน้า และการไล่ความชื้นของวัสดุคิบบทางด้านหลังจะมีประสิทธิภาพดีกว่าทางด้านหน้าเนื่องจากการไหลเวียนของอากาศทางด้านหลังมีความหนาแน่นที่ดีกว่าทางด้านหน้า จึงทำให้การไล่ความชื้นภายในโดมพาราโบลาทางด้านหลังดีกว่าทางด้านหน้า และถ้ามองจากด้านข้างภายในโดมพาราโบลาการไหลเวียนของอากาศจะวนทั่วทั้งโดมพาราโบลาจึงทำให้การกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันและการไล่ความชื้นมีประสิทธิภาพที่ดีจากด้านล่างถึงด้านบนภายในโดมพาราโบลา

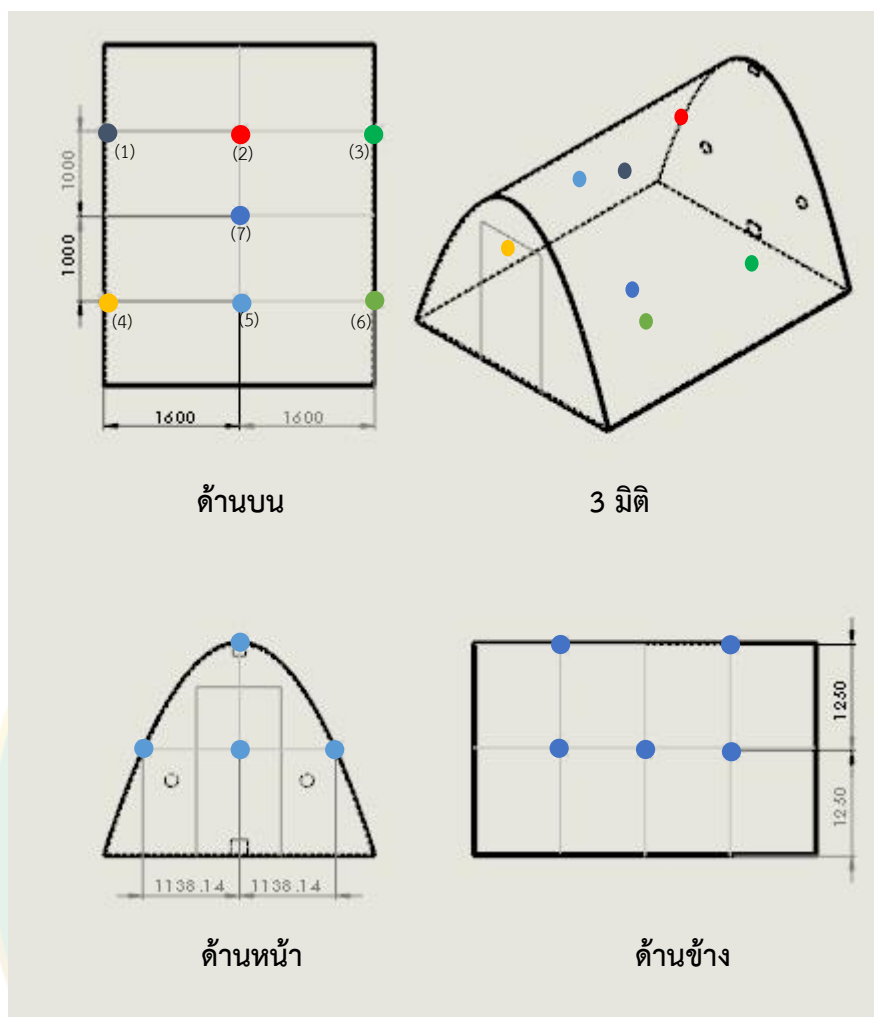
จากการวิเคราะห์สรุปผลทิศทางการไหลเวียนภายในโดมพาราโบลา โดยใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ทั้ง 4 รอบ ได้แก่ 700 800 900 และ 1000 rpm ที่ทำการทดสอบ สรุปได้ว่าความเร็วรอบที่ 700 rpm มีทิศทางการไหลเวียนของอากาศที่มีความหนาแน่นที่เท่า ๆ กัน ซึ่งการไหลเวียนของอากาศจะบ่งบอก

ถึงการกระจายของอุณหภูมิและการไล่ความชื้นภายในโดมอบแห้ง โดยการไหลเวียนของอากาศภายในโดมจะมีความแตกต่างกันจึงทำให้อุณหภูมิ ณ จุดนั้นแตกต่างกันภายในโดมพาราโบลา

4.4 ผลการทดสอบ

การทดสอบผลของความเร็รรอบมอเตอร์ที่มีผลต่อการอบแห้งจะใช้ความเร็รรอบของมอเตอร์ 4 รอบ ได้แก่ 700 800 900 และ 1000 rpm ใช้ขนาดช่องป้อนอากาศ คือ 0.165×0.195 เมตร ใช้กล้วยน้ำว้าเป็นวัสดุในการทดสอบจำนวน 5 กิโลกรัม ในแต่ละการทดลองจะใช้เครื่องอบสูญญากาศ BINDER คำนวณหาค่า ความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ และการกระจายอุณหภูมิจากโปรแกรม Wisco data logger จากนั้น จะนำผลการทดสอบที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบและจัดทำข้อมูล เพื่อใช้เลือกความเร็รรอบของมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพทางอบแห้งที่ดีที่สุดไปประยุกต์ใช้งานทางอุตสาหกรรมต่อไป

ในการทดสอบจะมีการวัดอุณหภูมิของโดมอบแห้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั้งหมด 7 จุด โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลดังภาพที่ 46 บันทึกข้อมูลค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากการทดสอบ จนกระทั่งได้ค่าอุณหภูมิตามที่กำหนด จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาจัดทำเป็นตารางแสดงค่าการเปรียบเทียบกันในแต่ละจุด



ภาพที่ 46 ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

4.5 การวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิของโดมอบแห้ง เพื่อหาความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เหมาะสม

การทดสอบการกระจายอุณหภูมิของโดมอบแห้ง โดยใช้ความเร็วรอบ 4 รอบ ได้แก่ 700 800 900 และ 1000 rpm ซึ่งจะใช้กล้วยน้ำว้าเป็นวัตถุทดสอบจำนวน 5 กิโลกรัม

หลังจากทำการทดสอบการกระจายอุณหภูมิของโดมอบแห้ง โดยใช้เครื่อง Wisco data logger พบว่ารอบที่อบแห้งได้ดีที่สุดคือ 700 rpm เนื่องจากการกระจายตัวของอุณหภูมิในความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ 700 rpm มีการกระจายตัวของอุณหภูมิที่มีค่าน้อยกว่าความเร็วรอบอื่น ๆ และมีอุณหภูมิเฉลี่ยขณะทำการอบแห้งเท่ากับ 71.4 ± 3.48 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบการอบแห้ง โดยใช้รอบมอเตอร์ทั้ง 4 รอบ คือ 700 800 900 และ 1000 rpm โดยใช้เครื่อง Wisco data logger ซึ่งรายงานผลการกระจายอุณหภูมิ ในกล้วยปริมาณ 5 กิโลกรัม แสดงดังตารางที่ 3 – 6

ตารางที่ 3 ค่าอุณหภูมิของการทดลองโดยความเร็วรอบมอเตอร์ 700 rpm

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)							AVG	SD
	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง		
	1	2	3	4	5	6	7		
0	68.20	53.05	71.15	67.45	72.10	69.40	75.50	68.12	7.17
90	74.35	69.00	72.80	74.45	74.40	73.40	73.30	73.10	1.92
180	76.10	57.10	74.05	76.15	74.70	74.30	73.55	72.28	6.77
270	72.80	76.20	74.20	72.40	73.90	74.10	72.40	73.71	1.35
360	71.85	75.70	73.35	71.30	74.20	72.90	70.50	72.83	1.79
450	69.30	64.65	68.45	68.95	69.50	67.35	70.50	68.39	1.91
AVG	72.10	65.95	72.33	71.78	73.13	71.91	72.63	71.40	
SD	2.99	9.55	2.20	3.27	2.00	2.86	1.93		3.48

ตารางที่ 4 ค่าอุณหภูมิของการทดลองโดยความเร็วรอบมอเตอร์ 800 rpm

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)							AVG	SD
	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง		
	1	2	3	4	5	6	7		
0	66.90	47.60	69.10	70.25	70.25	70.05	79.75	67.70	9.75
90	71.05	61.95	69.65	71.65	70.60	70.15	71.15	69.46	3.38
180	71.10	58.20	69.80	70.75	70.05	69.70	70.65	68.61	4.62
270	67.85	52.70	69.40	66.90	68.70	69.15	69.30	66.29	6.06
360	71.50	50.30	71.50	70.75	72.75	70.05	74.50	68.76	8.27
450	70.75	49.55	69.40	70.15	70.60	67.85	74.75	67.58	8.22
AVG	69.86	53.38	69.81	70.08	70.49	69.49	73.35	68.07	
SD	1.96	5.56	0.86	1.64	1.31	0.88	3.82		6.72

ตารางที่ 5 ค่าอุณหภูมิของการทดลองโดยความเร็วรอบมอเตอร์ 900 rpm

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)							AVG	SD
	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง		
	1	2	3	4	5	6	7		
0	60.40	45.50	59.10	62.15	62.00	34.30	68.75	56.03	11.88
90	59.35	54.25	57.95	58.70	56.65	64.90	55.55	58.19	3.45
180	62.30	48.40	60.40	60.30	58.85	59.40	55.85	57.93	4.64
270	68.50	53.50	70.50	68.45	69.80	69.60	72.55	67.56	6.35
360	70.25	52.90	69.40	69.10	70.70	68.00	72.80	67.59	6.65
450	71.70	53.40	70.45	71.40	71.10	68.75	74.70	68.79	7.01
AVG	65.42	51.33	64.63	65.02	64.85	60.83	66.70	62.68	
SD	5.37	3.54	6.07	5.28	6.47	13.52	8.74		6.66

ตารางที่ 6 ค่าอุณหภูมิของการทดลองโดยความเร็วรอบมอเตอร์ 1000 rpm

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)							AVG	SD
	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง		
	1	2	3	4	5	6	7		
0	59.75	46.15	58.40	62.10	62.25	58.50	69.75	59.56	7.07
90	73.35	57.55	72.05	73.55	72.75	71.35	76.40	71.00	6.14
180	69.40	51.80	69.05	70.25	70.00	68.10	73.80	67.49	7.15
270	70.80	53.50	72.25	70.35	71.10	71.20	71.90	68.73	6.75
360	72.30	53.75	71.75	71.80	72.45	69.75	73.05	69.26	6.92
450	71.60	52.60	70.00	71.15	70.55	68.35	73.95	68.31	7.13
AVG	69.53	52.56	68.92	69.87	69.85	67.88	73.14	67.39	
SD	4.98	3.71	5.31	3.99	3.87	4.79	2.23		6.86

จากการวิเคราะห์สรุปผลการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโดมอบแห้ง โดยใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ทั้ง 4 รอบ ได้แก่ 700 800 900 และ 1000 ที่ทำการทดสอบ สรุปได้ว่าความเร็วรอบที่ 700

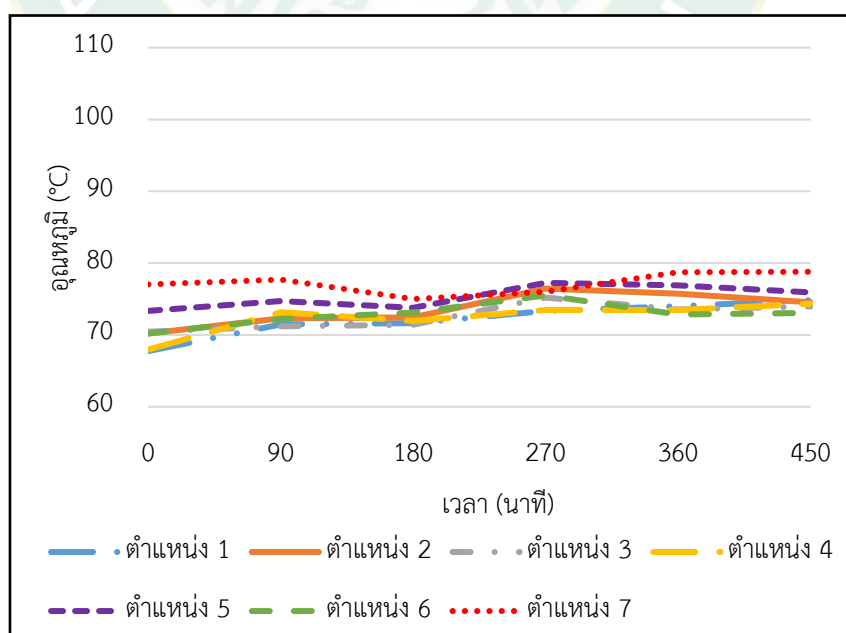
rpm มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด คือ 71.40 องศาเซลเซียส และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในรอบ 700 rpm ดีที่สุด คือ ± 3.48 ซึ่งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะบ่งบอกถึงการกระจายของอุณหภูมิภายในโดมอบแห้ง โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะแปรผันตรงกับการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโดมอบแห้ง โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยการกระจายตัวของอุณหภูมิก็น้อย

4.6 การทดสอบการกระจายอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิและไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

การทดสอบการกระจายอุณหภูมิของโดมอบแห้งและทิศทางการไหลเวียนของอากาศภายในโดมที่ตีที่สุดในการทดลองคือความเร็วรอบที่ 700 rpm จึงได้นำมาใช้ในการทดลองต่อไป โดยใช้โดมอบแห้ง 2 แบบ ได้แก่ โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจะใช้กล้วยน้ำว้าเป็นวัตถุดิบในการทดสอบจำนวน 5 กิโลกรัม

หลังจากทำการทดสอบการกระจายอุณหภูมิของโดมอบแห้ง โดยใช้เครื่อง Wisco data logger พบว่า อุณหภูมิภายในโดมอบแห้งจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่แตกต่างกันโดยที่โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 73.74 ± 2.06 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยของโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิมอยู่ที่ 83.32 ± 2.7 องศาเซลเซียส

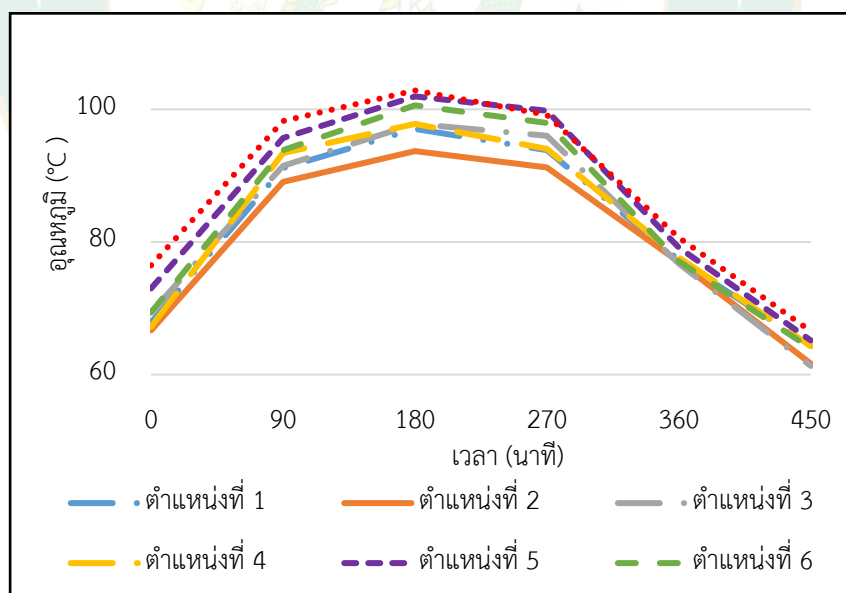
ผลการทดสอบการอบแห้ง โดยใช้โดมทั้ง 2 แบบ ได้แก่ โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้เครื่อง Wisco data logger ซึ่งรายงานผลการกระจายอุณหภูมิ ในกล้วยปริมาณ 5 กิโลกรัม แสดงผลดังภาพที่ 47 – 48 และตารางที่ 7 – 8



ภาพที่ 47 กราฟอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้จากโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

ตารางที่ 7 ค่าอุณหภูมิของการทดลองแบบควบคุมอุณหภูมิโดยความเร็วรอบมอเตอร์ 700 rpm

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)							AVG	SD
	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง		
	1	2	3	4	5	6	7		
0	67.75	70.20	70.45	67.95	73.35	70.20	77.05	70.99	3.26
90	71.45	72.30	71.20	73.15	74.70	72.20	77.70	73.24	2.29
180	71.65	72.45	71.40	71.95	73.80	73.10	75.00	72.76	1.29
270	73.35	76.45	75.20	73.45	77.25	75.50	76.00	75.31	1.47
360	74.00	75.75	73.55	73.45	76.90	72.85	78.75	75.04	2.17
450	74.85	74.55	73.95	74.35	75.90	73.05	78.80	75.06	1.86
AVG	72.18	73.62	72.63	72.38	75.32	72.82	77.22	73.74	
SD	2.54	2.38	1.87	2.31	1.62	1.71	1.52		2.06



ภาพที่ 48 กราฟอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้จากโดมอบแห้งที่ไม่ใช่เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

ตารางที่ 8 ค่าอุณหภูมิของการทดลองโดยความเร็วรอบมอเตอร์ 700 rpm แบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)							AVG	SD
	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง		
	1	2	3	4	5	6	7		
0	67.85	66.65	69.35	67.2	73	69.35	76.45	69.98	3.54
90	91.15	89.05	91.5	93.4	95.7	93.85	98.25	93.27	3.07
180	97.05	93.7	97.8	97.8	101.95	100.6	102.85	98.82	3.18
270	93.85	91.25	96	94.05	99.8	97.95	99.15	96.01	3.14
360	77.3	77	76.75	77.65	79.15	77.1	80.65	77.94	1.43
450	64.3	61.65	61.3	64.3	65.15	63.95	66.55	63.89	1.86
AVG	81.92	79.88	82.12	82.40	85.79	83.80	87.32	83.32	
SD	14.04	13.56	15.18	14.66	15.42	15.69	14.80		2.70

จากผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิในการอบแห้ง โดยใช้โดมอบแห้ง 2 แบบ ได้แก่ โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ทั้ง 2 โดมอบแห้ง จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 73.74 ± 2.06 องศาเซลเซียส และ 83.32 ± 2.70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ อยู่ที่ ± 2.06 และ ± 2.70 ตามลำดับ จะเห็นว่าโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิมิมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งที่กล่าวมาข้างต้นก่อนหน้านี้นี้ว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะแปรผันตรงกับการกระจายของอุณหภูมิภายในโดมอบแห้ง ดังนั้นการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะมีค่าที่ดีกว่า และคุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิมิมีความสว่างที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เริ่มต้นมากกว่า

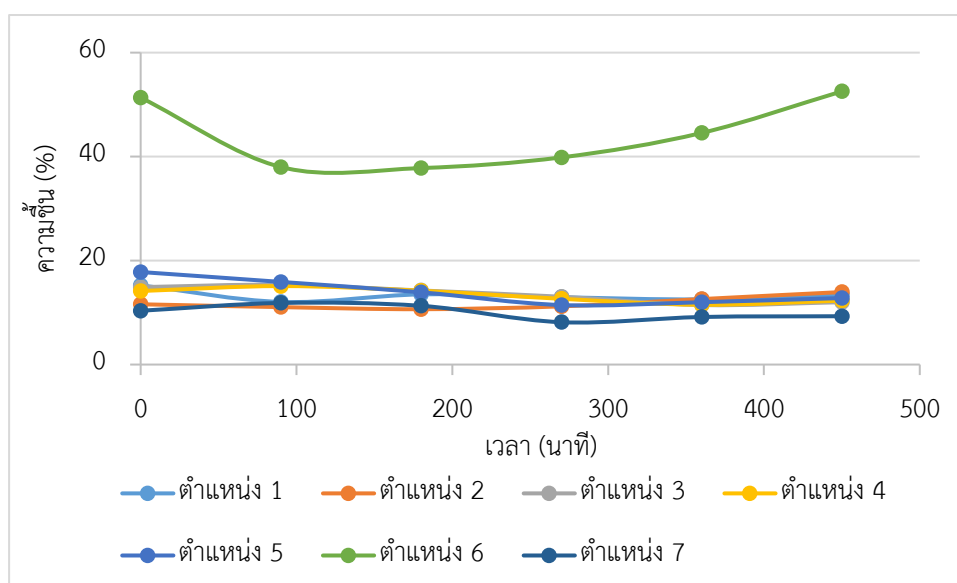
4.7 การทดสอบวัดค่าความชื้นภายในโดมเปรียบเทียบระหว่างโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

การวัดค่าความชื้นภายในโดมขณะทำการอบแห้งในความเร็วรอบที่ 700 rpm เป็นรอบที่มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายในโดมดีที่สุด โดยทดสอบวัดค่ากับโดมอบแห้งทั้ง 2 แบบ ได้แก่ โดมอบแห้ง

ที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ วัตถุประสงค์ที่ใช้ทดสอบคือกลัวน้ำว่าจำนวน 5 กิโลกรัม ซึ่งมีการกำหนดค่าความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 7 - 12 %

โดยการวัดค่าความชื้นภายในโดมทั้งหมด 5 จุด และมีจุดที่ 6 และจุดที่ 7 เป็นความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโดม และค่าความชื้นของช่องทางออกของโดม ตามลำดับ

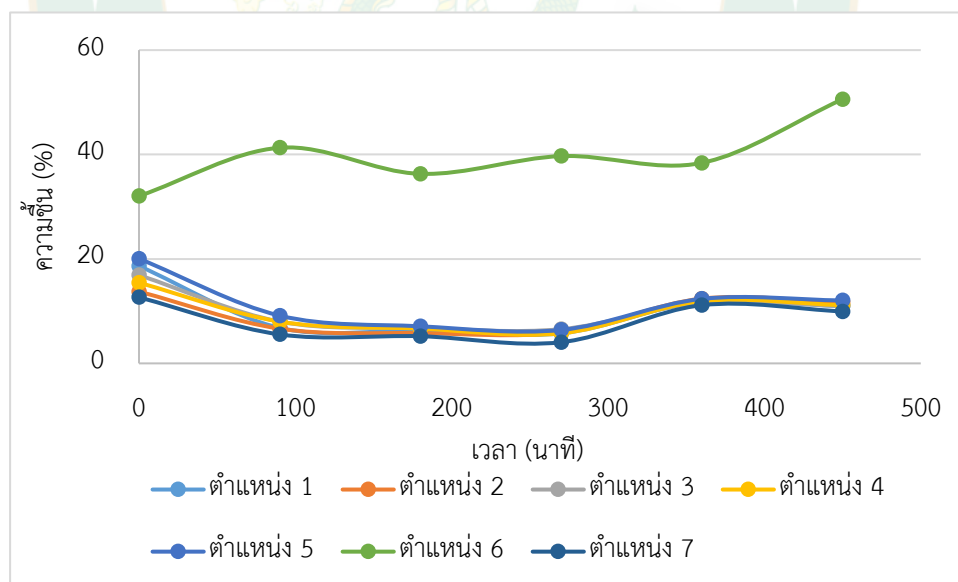
ผลการทดสอบค่าความชื้นภายในโดมด้วยเครื่องวัดค่าความชื้น และบันทึกค่า ซึ่งรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้น แสดงดังภาพที่ 49 - 50 และตารางที่ 9 - 10



ภาพที่ 49 กราฟแสดงค่าความชื้นเฉลี่ยที่วัดได้ต่อเวลาในโดมแบบที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิในความเร็วรอบที่ 700 rpm

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยความชื้นภายในโดมของการทดลองโดยใช้ความเร็วที่ 700 rpm แบบที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

เวลา (นาที)	ความชื้น (%)							AVG	SD
	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง	ตำแหน่ง		
	1	2	3	4	5	6	7		
0	15.25	11.6	14.9	14.15	17.8	51.35	10.35	14.74	2.23
90	12.05	11.05	15.35	15.1	15.9	38	11.85	13.89	2.18
180	13.5	10.65	14.25	14.2	13.9	37.8	11.3	13.30	1.51
270	12.95	11.2	13.05	12.65	11.45	39.85	8.15	12.26	0.87
360	12.55	12.6	11.45	11.5	12	44.55	9.15	12.02	0.55
450	13.45	13.95	12	12.3	12.8	52.55	9.3	12.90	0.80
AVG	13.29	11.84	13.50	13.32	13.98	44.02	10.02	13.19	
SD	1.11	1.23	1.59	1.37	2.45	6.62	1.40		1.55



ภาพที่ 50 กราฟแสดงค่าความชื้นเฉลี่ยที่วัดได้ต่อเวลาในโดมแบบที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิในความเร็วรอบที่ 700 rpm

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยความชื้นภายในโดมของการทดลองโดยใช้ความเร็วที่ 700 rpm แบบที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

เวลา (นาที)	ความชื้น (%)							AVG	SD
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5	ตำแหน่ง 6	ตำแหน่ง 7		
0	18.65	13.75	16.9	15.45	20.05	32.05	12.65	16.96	2.50
90	6.8	6.65	8	8	9.15	41.3	5.55	7.72	1.02
180	6.3	5.8	6.75	6.65	7.1	36.3	5.2	6.52	0.49
270	5.75	5.95	6.55	5.75	6.4	39.7	4.05	6.08	0.37
360	11.85	12.4	11.6	11.9	12.35	38.4	11.15	12.02	0.34
450	10.95	11.7	11	11.15	12.05	50.6	9.95	11.37	0.48
AVG	10.05	9.38	10.13	9.82	11.18	39.73	8.09	10.11	
SD	4.92	3.62	3.94	3.68	4.99	6.22	3.60		4.23

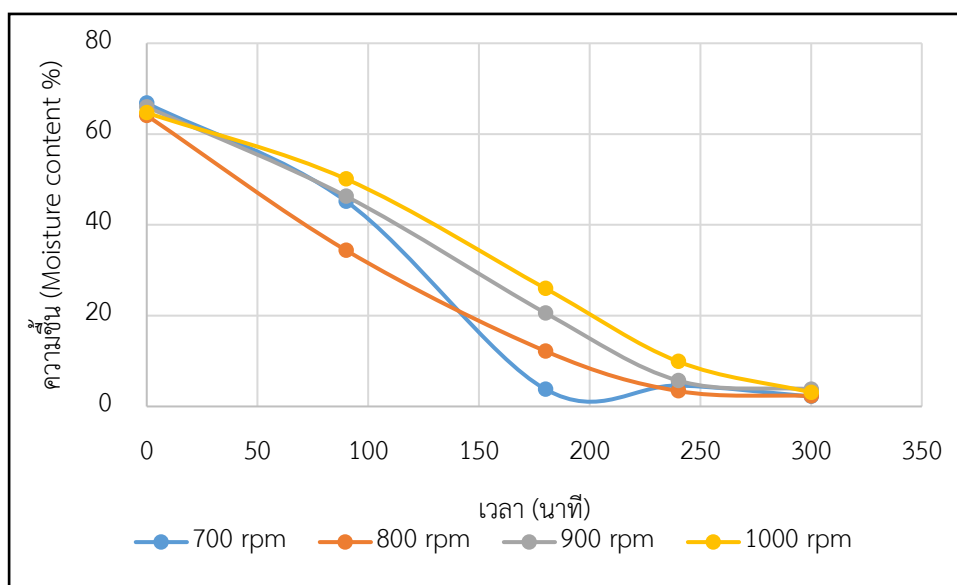
จากผลการทดสอบพบว่าความชื้นภายในโดมอบแห้ง โดยใช้โดมอบแห้ง 2 แบบ ได้แก่ โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ทั้ง 2 โดมอบแห้ง จะมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 13.19 ± 1.55 % และ 10.11 ± 4.23 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าความชื้นเฉลี่ยของแต่ละจุดภายในโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ อยู่ที่ ± 1.55 และ ± 4.23 ตามลำดับ จะเห็นว่าโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิมีสัดส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะแปรผันตรงกับความชื้นเฉลี่ยแต่ละจุดภายในโดมอบแห้ง ดังนั้น ความชื้นเฉลี่ยภายในโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจจะมีค่าที่ดีกว่า

4.8 การทดสอบวัดค่าความชื้นในผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบระหว่างโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

การหาปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์จากการอบแห้ง ทดสอบโดยโดมอบแห้งทั้ง 2 แบบ ได้แก่ โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ วัตถุประสงค์ที่ใช้ทดสอบคือ กลัวย่น้ำว่า จำนวน 5 กิโลกรัม ซึ่งมีการกำหนดค่าความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 7 – 12 %

โดยการทดสอบหาปริมาณความชื้นจากผลิตภัณฑ์อบแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ Binder และนำผลิตภัณฑ์มาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาความชื้นของผลิตภัณฑ์ กำหนดการทดสอบทุกๆ 1 ชั่วโมง 30 นาที

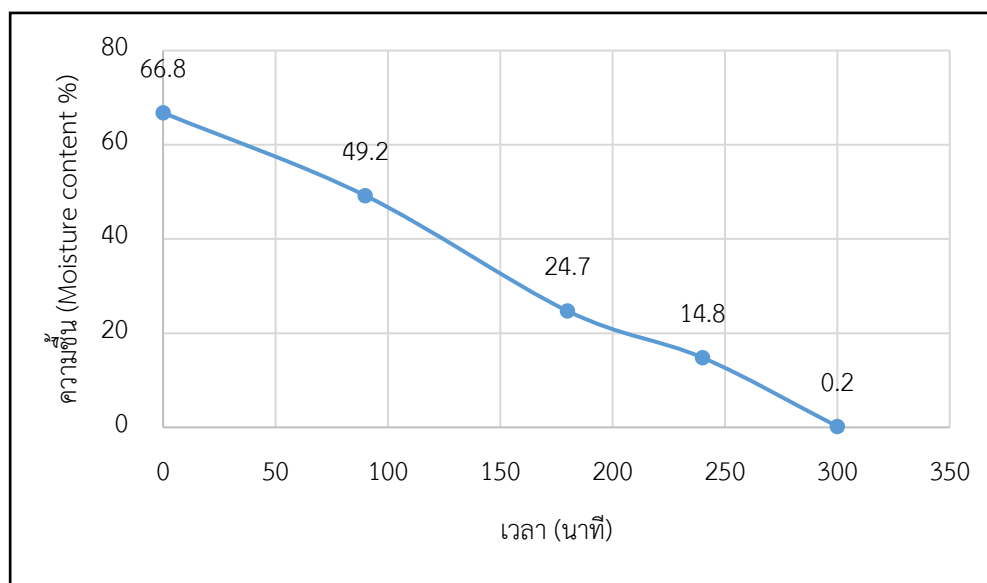
ผลการทดสอบหาปริมาณความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศ และนำมาชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์เพื่อคำนวณหาความชื้น ซึ่งรายงานผลเฉพาะเปอร์เซ็นต์ความชื้น แสดงดังภาพที่ 51 – 53 และตารางที่ 11 – 13



ภาพที่ 51 กราฟแสดงควาชื้นเฉลี่ยในแต่ละรอบมอเตอร์

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยความชื้นของการทดลองโดยใช้ความเร็วแต่ละรอบมอเตอร์ เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง เท่ากันทุกความเร็วรอบ

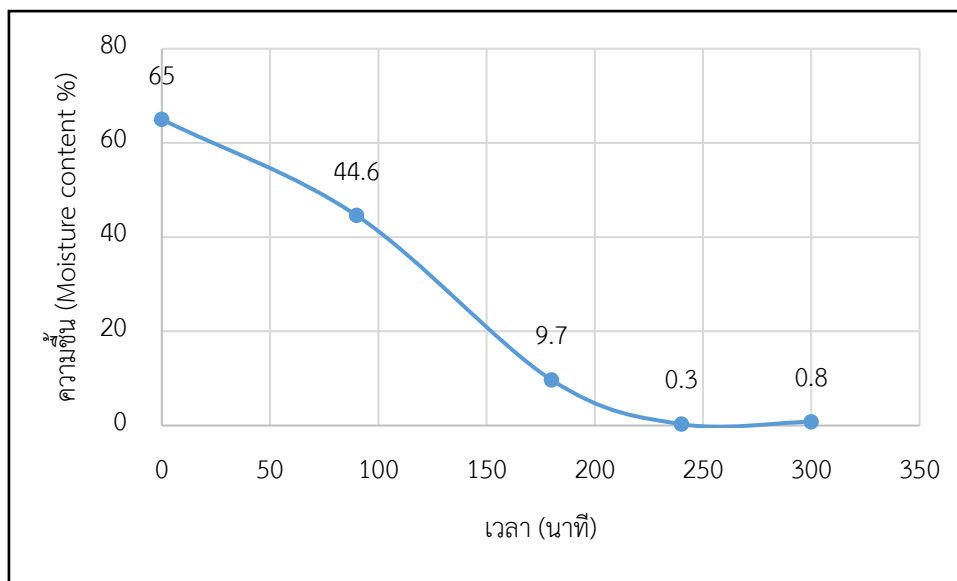
รอบมอเตอร์ (rpm)	เวลา (นาที)				
	0	90	180	240	300
700	66.8±1.13	45.2±0.57	3.8±2.83	4.6±1.98	2.2±1.70
800	64.1±2.12	34.4±5.09	12.2±0.28	3.4±1.13	2.3±1.27
900	66±0	46.3±4.10	20.6±0.28	5.7±3.25	3.8±0.57
1000	64.7±1.56	50.1±1.56	26±4.24	9.9±4.95	3.1±1.27



ภาพที่ 52 กราฟแสดงความชื้นเฉลี่ยในความเร็วรอบที่ 700 rpm แบบใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

ตารางที่ 12 ความชื้นของการทดลองโดยใช้ความเร็วที่ 700 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง แบบควบคุมอุณหภูมิ

รอบมอเตอร์(rpm)	เวลา (นาที)				
	0	90	180	240	300
700	66.8	49.2	24.7	14.8	0.2
	65.8	49.8	21.2	6.4	0.2
	67.8	48.6	28.2	23.2	0.2
AVG	66.8	49.2	24.7	14.8	0.2
SD	1.41	0.85	4.95	11.88	0.00



ภาพที่ 53 กราฟแสดงความชื้นเฉลี่ยในความเร็วรอบที่ 700 rpm แบบไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

ตารางที่ 13 ความชื้นของการทดลองโดยใช้ความเร็วที่ 700 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง แบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ

รอบมอเตอร์(rpm)	เวลา (นาที)				
	0	90	180	240	300
700	65	44.6	9.7	0.3	0.8
	64.2	43	10.4	0.2	0.8
	65.8	46.2	9	0.4	0.8
AVG	65	44.6	9.7	0.3	0.8
SD	1.13	2.26	0.99	0.14	0.00

จากผลการทดสอบพบว่าความชื้นในผลิตภัณฑ์ในโดมอบแห้ง โดยใช้โดมอบแห้ง 2 แบบ ได้แก่ โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ทั้ง 2 โดมอบแห้ง จะมีความชื้นเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์อยู่ในค่าที่ต้องการในช่วง 7 - 12 % ซึ่งความชื้นเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ในโดมอบแห้งได้ค่าความชื้นที่ต้องการในเวลาที่ต่างกันคือแบบที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และแบบไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ 300 และ 180 นาที ตามลำดับ เนื่องจากการใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะให้ความร้อนที่คงที่ตลอดเวลาแต่เครื่องที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะมีการให้ความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ในโดมที่ไม่มีเครื่องควบคุมมีความชื้นที่น้อยในระยะเวลา

ที่น้อยกว่าแบบเครื่องที่ใช้เครื่องควบคุมแต่จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานจากแก๊สหุงต้มและอาจทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีสีไม่ตรงตามความต้องการของท้องตลาด

4.9 การเปรียบเทียบค่าสี

การวัดค่าสี (color measuring)

ค่าสีที่ได้จากการทดสอบการอบแห้งของโดมอบแห้งทั้ง 2 แบบ ได้แก่โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่ส่งผลต่อคุณภาพการยอมรับและไม่ยอมรับของผู้บริโภค ถ้าสีของอาหารหรือผลิตผลทางการเกษตรผิดปกติไปซึ่งมีการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดสอบจำนวน 5 กิโลกรัม

โดยการทดสอบเปรียบเทียบค่าสีจากการทดสอบด้วยเครื่อง Color meter การทดสอบจะวัดเปรียบเทียบค่าสีหลังจากการทดสอบการอบแห้งทั้ง 2 แบบ เสร็จสิ้นแล้ว ค่าที่ได้จากโดมอบแห้งแบบใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะมีค่าสีอยู่ที่ $L^* 66.30$ $a^* 7.55$ $b^* 25.93$ และค่าสีที่ได้จากการอบแห้งแบบไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมียู่ที่ $L^* 53.59$ $a^* 12.38$ $b^* 26.76$

จากผลการทดสอบวัดค่าสีของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 แบบ จะมีค่าสีที่แตกต่างกัน พิจารณาจากกล้วยน้ำว้าที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะมีค่า L^* ที่มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าของกล้วยน้ำว้าที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง ค่า a^* น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าของกล้วยน้ำว้าที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง และค่า b^* ที่ใกล้เคียงกันกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิมีสีเหลืองมากกว่าซึ่งเหมาะกับการนำไปสู่กระบวนการผลิตต่อไป

ผลการทดสอบวัดค่าสีด้วยเครื่อง Color meter แสดงดังตารางที่ 14 - 15 ดังนี้

ตารางที่ 14 การวัดค่าสีของการทดลองโดยใช้ความเร็วที่ 700 รอบต่อนาทีแบบควบคุมอุณหภูมิ

ครั้งที่	L*	a*	b*
1	67.57	4.92	30.04
2	65.96	8.88	25.3
3	65.38	8.86	22.46
AVG	66.30	7.55	25.93
SD	1.13	2.28	3.83

ตารางที่ 15 การวัดค่าสีของการทดลองโดยใช้ความเร็วที่ 700 รอบต่อนาทีแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ

ครั้งที่	L*	a*	b*
1	43	13.43	26.54
2	55.64	13.23	27.77
3	62.13	10.49	25.97
AVG	53.59	12.38	26.76
SD	9.73	1.64	0.92

4.10 การเปรียบเทียบค่าความหวาน

ค่าความหวานที่ได้จากการทดสอบในการทดลองความเร็วรอบในแต่ละรอบ 700 800 900 และ 1000 rpm โดยใช้เครื่อง refractometer การทดสอบจะวัดค่าความหวานจะทดสอบจากการสุ่มตัวอย่างวัตถุดิบปริมาณ 5 กรัม ก่อนจะนำเข้าไปทำการอบแห้ง เนื่องจากการวัดค่าความหวานจะทดสอบได้เฉพาะของเหลวจึงไม่สามารถวัดค่าความหวานหลังจากการอบแห้งได้ จะทำการทดสอบจำนวน 2 ครั้ง และวัดค่าในแต่ละครั้งจำนวน 3 ซ้ำ โดยค่าที่ได้จากการวัดค่าความหวานครั้งที่ 1 ได้ค่า Brix อยู่ที่ 28.4 % mass sucrose และค่าความหวานครั้งที่ 2 ได้ค่า Brix อยู่ที่ 30.4 % mass sucrose

ผลจากการทดสอบวัดค่าความหวานของตัวอย่างวัตถุดิบ จะมีค่าความหวานที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

เนื่องจาก ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดสอบในแต่ละครั้งนั้นเราไม่สามารถกำหนดแหล่งที่มาจากที่เดียวกันได้ การวัดความหวานจึงเป็นการควบคุมว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในแต่ละครั้งนั้นมีคุณภาพที่ไม่แตกต่างกันมากหรือให้อยู่ในระดับเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ผลที่ได้จากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 16 การวัดค่าความหวานของผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบแต่ละรอบมอเตอร์

รอบมอเตอร์(rpm)	ความหวาน (Brix) (%)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	AVG	SD
700	6.70	5.90	7.10	6.57	0.61
	7.70	7.20	8.00	7.63	0.40
	8.80	8.60	9.00	8.80	0.20
800	9.40	9.00	9.30	9.23	0.21
	9.00	8.80	9.00	8.93	0.12
	8.60	8.60	8.70	8.63	0.06
900	9.10	8.90	9.10	9.03	0.12
	8.90	9.00	9.00	8.97	0.06
	8.80	9.10	9.00	8.97	0.15
1000	8.70	9.40	9.50	9.20	0.44
	8.70	9.30	9.40	9.13	0.38
	8.80	9.30	9.40	9.17	0.32

4.11 ปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG

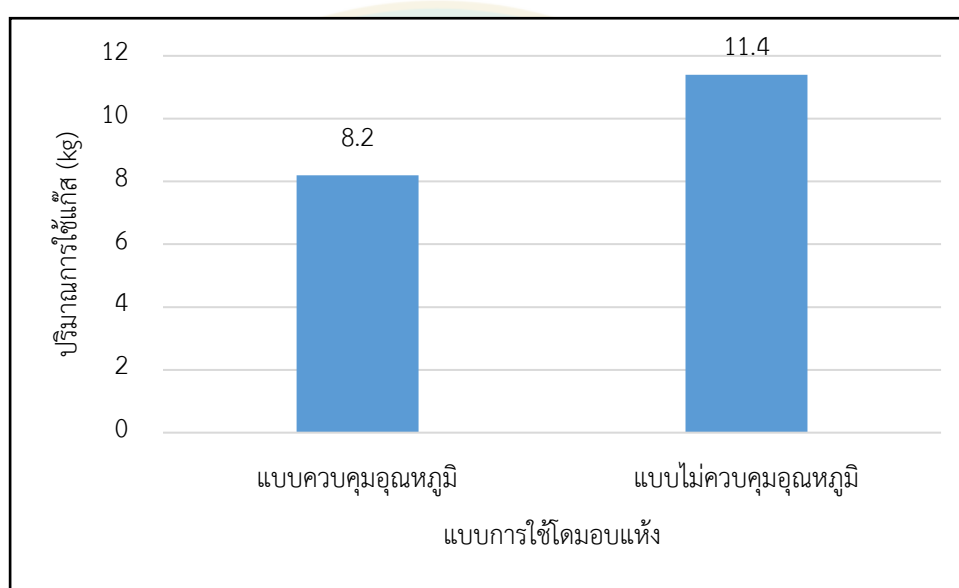
การหาปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG จากการอบแห้งโดยใช้โดมอบแห้ง 2 แบบ ได้แก่ โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้วัตถุเปียกในการทดสอบคือกล้วยน้ำว้า จำนวน 5 กิโลกรัม ในแต่ละโดมอบแห้ง โดยการทดสอบหาปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักมาตรฐาน เก็บค่าเมื่อสิ้นสุดการอบแห้ง

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ได้จากการทดสอบจะมีค่าที่แตกต่างกัน โดยโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ จะมีค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG อยู่ที่ 8.2 กิโลกรัม ในระยะเวลา 5 ชั่วโมง และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจึงมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.4 กิโลกรัม ในระยะเวลา 5 ชั่วโมง เนื่องจากโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจึงมีการปล่อยพลังงานเชื้อเพลิง (LPG) ตลอดเวลาส่งผลให้ปริมาณการใช้แก๊สมีค่าที่สูงกว่าโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

ผลการทดสอบหาปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักมาตรฐานซึ่งรายงานผลออกมาเป็นน้ำหนัก (กิโลกรัม) แสดงดังภาพที่ 54 ดังนี้

ตารางที่ 17 การวัดค่าการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ยในแต่ละรอบความเร็ว

ความเร็วรอบ	ปริมาณการใช้แก๊ส (kg)
700	6.3
800	7.2
900	8.1
1000	9



ภาพที่ 54 กราฟแสดงการใช้ปริมาณแก๊สหุงต้มทั้งแบบควบคุมอุณหภูมิและแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ

ตารางที่ 18 การวัดค่าการใช้เชื้อเพลิงในความเร็วรอบที่ 700 rpm แบบควบคุมอุณหภูมิและแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ

ความเร็วรอบที่ 700 rpm	ปริมาณการใช้แก๊ส (kg)
แบบควบคุมอุณหภูมิ	8.2
แบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ	11.4

4.12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอบแห้ง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอบแห้ง เปรียบเทียบระหว่างโดมทั้ง 2 แบบ ได้แก่ โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้สมการคำนวณพลังงานของระบบผลที่ได้จากการคำนวณพบว่า โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน 199.87 MJ/KgH₂O และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิที่มีค่า 206.25 MJ/KgH₂O และประสิทธิภาพการอบแห้งของระบบ โดมที่มีการใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิมิมีประสิทธิภาพที่ 1.136 เปอร์เซ็นต์ และโดมที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิมิมีประสิทธิภาพที่ 1.1 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาพบว่าโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิมิมีประสิทธิภาพในกาอบแห้งที่ดีกว่าโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิล็กน้อยเนื่องจากตำแหน่งการติดตั้งของโดมอบแห้งที่ไม่ได้รับแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่จึงทำให้มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิภายในโดมและภายนอกโดมมากเกินไปในช่วงเวลาและมีความเร็วรอบที่ไม่เหมาะสมกับขนาดของโดมจึงทำให้มีประสิทธิภาพที่ไม่เป็นไปตามคาดการณ์ไว้ ดังนั้นควรมีการวางตำแหน่งของโดมอบแห้งที่เหมาะสมและความเร็วรอบที่ทำให้การไหลของอากาศดียิ่งขึ้น

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. ผลจากการทดสอบและปรับปรุงระบบในโดมอบแห้ง

พบว่าโดมอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือแก๊สเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพหากมีการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและความชื้น ซึ่งโดมพาราโบลาใช้ในการทดสอบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งได้ดีขึ้น เพราะสามารถควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (specific humidity) ของอากาศได้

2. การศึกษาด้านทิศทางการไหลในโดมอบแห้ง

จากการวิเคราะห์สรุปผลทิศทางการไหลในโดมอบแห้ง โดยใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ทั้ง 4 รอบ ได้แก่ 700 800 900 และ 1000 rpm ที่ทำการทดสอบ สรุปได้ว่าความเร็วรอบที่ 700 rpm มีทิศทางการไหลเวียนของอากาศที่มีความหนาแน่นที่เท่า ๆ กัน ซึ่งการไหลเวียนของอากาศจะบ่งบอกถึงการกระจายของอุณหภูมิและการไล่ความชื้นภายในโดมอบแห้ง โดยการไหลเวียนของอากาศภายในโดมของแต่ละความเร็วรอบจะมีความแตกต่างกันจึงทำให้อุณหภูมิ ณ จุดนั้นแตกต่างกันภายในโดมพาราโบลา

3. การศึกษาด้านการกระจายตัวของอุณหภูมิ

จากการวิเคราะห์สรุปผลการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโดมอบแห้ง โดยใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ทั้ง 4 รอบ ได้แก่ 700 800 900 และ 1000 rpm ที่ทำการทดสอบ สรุปได้ว่าความเร็วรอบที่ 700 rpm มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด คือ 71.40 องศาเซลเซียส และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในรอบ 700 rpm ดีที่สุด คือ ± 3.48 ซึ่งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะบ่งบอกถึงการกระจายของอุณหภูมิภายในโดมอบแห้ง โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะแปรผันตรงกับการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโดมอบแห้ง โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยการกระจายตัวของอุณหภูมิก็น้อย

4. การศึกษาการเปรียบเทียบเครื่องควบคุมอุณหภูมิของโดมอบแห้ง

จากการวิเคราะห์สรุปผลการทดสอบการอบแห้งโดมพาราโบลาพบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งโดยใช้โดมอบแห้ง 2 แบบ ได้แก่ โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ทั้ง 2 โดมอบแห้ง จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 73.74 ± 2.06 องศาเซลเซียส และ 83.32 ± 2.70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ อยู่ที่ ± 2.06 และ ± 2.70 ตามลำดับ จะเห็นว่าโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิมิค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้น การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะมีค่าที่ดีกว่า

5. การศึกษาความชื้นภายในโดมอบแห้ง

จากการวิเคราะห์สรุปผลการทดสอบความชื้นภายในโดมอบแห้งพาราโบลาพบว่าความชื้นภายในโดมอบแห้ง โดยใช้โดมอบแห้ง 2 แบบ ได้แก่ โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ทั้ง 2 โดมอบแห้ง จะมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 13.19 ± 1.55 % และ 10.11 ± 4.23 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ความชื้นเฉลี่ยของแต่ละจุดภายในโดมอบแห้งที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ อยู่ที่ ± 1.55 และ ± 4.23 ตามลำดับ โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจึงมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะแปรผันตรงกับความชื้นเฉลี่ยแต่ละจุดภายในโดมอบแห้ง ดังนั้น ความชื้นเฉลี่ยภายในโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะมีค่าที่ดีกว่า

6. การศึกษาความชื้นของกล้วยน้ำว้าในโดมอบแห้ง

จากการวิเคราะห์สรุปผลการทดสอบความชื้นของกล้วยน้ำว้าพบว่าความชื้นของกล้วยน้ำว้าในโดมอบแห้ง โดยใช้โดมอบแห้ง 2 แบบ ได้แก่ โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ทั้ง 2 โดมอบแห้ง จะมีความชื้นเฉลี่ยของกล้วยน้ำว้าอยู่ในค่าที่ต้องการในช่วง 7 – 12 % ซึ่งความชื้นเฉลี่ยของกล้วยน้ำว้าในโดมอบแห้งได้ค่าความชื้นที่ต้องการในเวลาที่แตกต่างกันคือแบบที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิและแบบไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ 300 และ 180 วินาที ตามลำดับ เนื่องจากการใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะให้ความร้อนที่คงที่ตลอดเวลาแต่เครื่องที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะมีการให้ความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นจึงทำให้กล้วยน้ำว้าในโดมอบแห้งที่ไม่มีเครื่องควบคุมมีความชื้นที่น้อยในระยะเวลาที่น้อยกว่าแบบเครื่องที่ใช้เครื่องควบคุม

7. การศึกษาการทดสอบสีของกล้วยน้ำว้า

จากการวิเคราะห์สรุปผลการทดสอบวัดค่าสีของตัวอย่างกล้วยน้ำว้าในโดมอบแห้งทั้ง 2 แบบ จะมีค่าสีที่แตกต่างกัน พิจารณาจากกล้วยน้ำว้าที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง โดยกล้วยน้ำว้าที่ได้จากโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะมีค่า L^* ที่มากกว่ากล้วยน้ำว้าที่ได้จากการอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าของกล้วยน้ำว้าที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง ค่า a^* น้อยกว่ากล้วยน้ำว้าที่ได้จากการอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าของกล้วยน้ำว้าที่ยังไม่ผ่านการอบแห้ง และค่า b^* ที่มากกว่ากล้วยน้ำว้าที่ได้จากการอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิมีสีเหลืองมากกว่าซึ่งเหมาะกับการนำไปสู่กระบวนการผลิตต่อไป

8. การศึกษาค่าความหวานของกล้วยน้ำว่าในการอบแห้ง

จากการวิเคราะห์สรุปผลการศึกษาค่าความหวานของกล้วยน้ำว่าพบว่าค่าปริมาณความหวานของกล้วยน้ำว่า ที่ได้จากการทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์ในแต่ละความเร็วรอบ จะมีค่าความหวานที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากกล้วยน้ำว่าที่ใช้ในการทดสอบวัดค่าความหวานของในแต่ละความเร็วรอบมาจากแหล่งเดียวกัน จึงมีค่าความหวานไม่ต่างกันมาก

9. การศึกษาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG

จากการวิเคราะห์สรุปผลการศึกษากการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงพบว่าปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ได้จากการทดสอบจะมีค่าที่แตกต่างกัน โดยโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ จะมีค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG อยู่ที่ 8.2 กิโลกรัม ในระยะเวลา 5 ชั่วโมง และโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจึงมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.4 กิโลกรัม ในระยะเวลา 5 ชั่วโมง เนื่องจากโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิมีการปล่อยพลังงานเชื้อเพลิง (LPG) ตลอดเวลาส่งผลให้ปริมาณการใช้แก๊สมีค่าที่สูงกว่าโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ แต่เมื่อนำค่าความชื้นสุดท้ายของกล้วยมาเป็นตัวควบคุมโดยไม่ได้นำเวลามาเกี่ยวข้อง จะได้ปริมาณการใช้แก๊สของแบบโดมที่ไม่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิน้อยกว่า

10. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการอบแห้งของโดมอบแห้งทั้ง 2 แบบ

จากการวิเคราะห์สรุปผลพบว่าโดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิจึงมีประสิทธิภาพในการอบแห้งที่ดีกว่าโดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิล็กน้อยเนื่องจากตำแหน่งการติดตั้งของโดมอบแห้งที่ไม่ได้รับแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่จึงทำให้มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิภายในโดมและภายนอกโดมมากเกินไปในบางช่วงเวลาและมีความเร็วรอบที่ไม่เหมาะสมกับขนาดของโดมจึงทำให้มีประสิทธิภาพที่ไม่เป็นไปตามคาดการณ์ไว้ ดังนั้นควรมีการวางตำแหน่งของโดมอบแห้งที่เหมาะสมและความเร็วรอบที่ทำให้การไหลของอากาศดียิ่งขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะหรือข้อจำกัด

จากผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะเห็นได้ว่า โดมอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือใช้พลังงานแก๊สเพียงอย่างเดียวยังมีประเด็นสำคัญบางส่วนที่น่าสนใจควรแก่การศึกษาวิจัยเพิ่มเติม เพื่อให้ความรู้ในเรื่องนี้สมบูรณ์ที่สุดและมีประโยชน์ในทางปฏิบัติมากที่สุด ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมควรทำในที่โล่งกลางแจ้ง เพื่อการพัฒนาในเรื่องของการเพิ่มประสิทธิภาพของโดมในการอบแห้งให้มีส่วนสัมพันธ์กับ

1. การปรับลดความเร็วรอบมอเตอร์ลง ให้เหมาะสมกับขนาดโดมเนื่องจากเป็นโดมเป็นขนาดทดสอบ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าขนาดโดมต้นแบบ ถึง 1:3 ส่วน

2. การวางตำแหน่งพัดลมในโดมอบแห้งเพื่อทำให้ทิศทางลมในโดมอบแห้งทั่วถึงทั้งโดม

3. การวางตำแหน่งของโคมเพื่อให้ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน
4. การระบายความชื้นออกจากโคมอบแห้งควรมีขนาดหรือเปิดเปิดเพื่อสอดคล้องกับขนาดของโคมและผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้งในโคม การควบคุมอุณหภูมิให้ตรงกับการอบแห้งของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งได้ตามที่ต้องการ
5. การประหยัดแก๊สในงานวิจัยจึงเป็นข้อจำกัดที่ต้องใช้เวลา 5 ชั่วโมง เท่ากันเพื่อดูการนำเอาระบบการปรับปรุงเรื่องการใช้พลังงานแก๊สแบบควบคุมอุณหภูมิและแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิมาใช้ในงานวิจัย ซึ่งในงานวิจัยมีการใช้แก๊สที่มีค่าที่แตกต่างกันในเวลาเท่ากันแต่การที่มีความชื้นสุดท้ายของกล้วยมาเกี่ยวข้องจึงทำให้การใช้แก๊สแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิน้อยกว่าการใช้แก๊สแบบควบคุมอุณหภูมิในเวลาที่ไม่เท่ากัน และเมื่อนำไปใช้กับงานจริงได้มีการใช้แก๊สตลอดเวลากับการอบแห้งจึงทำให้ระบบการปรับปรุงเรื่องการใช้พลังงานแก๊สแบบควบคุมอุณหภูมิประหยัดกว่าการไม่ได้ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ



บรรณานุกรม

- Arekornchee, W. 2559. Study on Using Solar Greenhouse Combined with Tray Dryer for Vegetable and Fruit Drying. **Thai Society of Agricultural Engineering Journal**, 22(1).
- Bala, B. and S. Janjai. 2013. Solar drying of agricultural products. **Stewart Postharvest Review**, 9(2), 1-8.
- Condorí, M. and L. Saravia. 1998. The performance of forced convection greenhouse driers. **Renewable Energy**, 13(4), 453-469.
- Energy, D. O. A. E. D. A. E. C. M. O. 2004. **Textbooks, training senior personnel responsible for energy Heat**. Part 4, Chapter 4 Energy conservation in other systems.
- Ivanova, T. et al. 2012. Drying of cherry tree chips in the experimental biomass dryer with solar collector. **Research in Agricultural Engineering**, 58(1) 16-23.
- Janjai, S. 2012. A greenhouse type solar dryer for small-scale dried food industries: development and dissemination. **International journal of energy and environment**, 3(3), 383-398.
- Janjai, S. et al. 2011. A large-scale solar greenhouse dryer using polycarbonate cover: Modeling and testing in a tropical environment of Lao People's Democratic Republic. **Renewable Energy**, 36(3), 1053-1062.
- Janjai, S., et al. 2009. Experimental and simulated performance of a PV-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana. **Solar Energy**, 83(9), 1550-1565.
- Kanjanaphachaoat, C., et al. 2013. **Quality Improvement of Mah-Khwuaen (Zanthoxylum limonella Alston) Using Different Drying Methods and an Optimal Mathematical Model**. II Southeast Asia Symposium on Quality Management in Postharvest Systems 1088.
- LESA. 2554. **กลไกการถ่ายเทความร้อน**.
- Rathore, N. and N. Panwar. 2010. Experimental studies on hemi cylindrical walk-in type solar tunnel dryer for grape drying. **Applied Energy**, 87(8), 2764-2767.

ภูเขียว, ท. และ ท. เดช. การพัฒนาระบบทำอากาศร้อนที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงสำหรับให้ความร้อนเสริมกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโดม. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร.

วรวิมล บุตรแวว, ศ. ช. และ ศักดิ์นรินทร์ ตรีสุนย์. 2552. การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://heat-heating.blogspot.com/2009/12/blog-post_7065.html.





ภาคผนวก

การคำนวณปริมาณแก๊ส

1. โดมอบแห้งที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ
 ปริมาณแก๊สที่ใช้ = ปริมาณแก๊สเต็มถัง - ปริมาณแก๊สที่เหลือ
 ปริมาณแก๊สที่ใช้ = 31.2 - 23
 ปริมาณแก๊สที่ใช้ = 8.2 กิโลกรัม
2. โดมอบแห้งที่ไม่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ
 ปริมาณแก๊สที่ใช้ = ปริมาณแก๊สเต็มถัง - ปริมาณแก๊สที่เหลือ
 ปริมาณแก๊สที่ใช้ = 31.2 - 19.8
 ปริมาณแก๊สที่ใช้ 11.4 กิโลกรัม
3. วิธีการคำนวณ
 11.4 กิโลกรัม : 100%
 8.2 กิโลกรัม : ?
 $(8.2 \times 100) / 11.4 = 71.93 \%$
 * ดังนั้นการประหยัดแก๊ส = 100 - 71.93 = 28.07 %

คำนวณค่าพลังงานจำเพาะโดยใช้สูตร

$$E = [(Q_S + Q_G) / M] \quad (1)$$

- E คือ พลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง (MJ)
 E คือ $Q_S + Q_G$
 Q_S คือ พลังงานของแสงอาทิตย์ (MJ)
 Q_G คือ พลังงานของแก๊ส LPG (MJ)
 M คือ มวลทั้งหมดที่ลดลง (kg)

การคำนวณประสิทธิภาพของระบบอบแห้งโดยใช้สูตร

$$\eta = [(w \times h_{fg}) / (Q_S + Q_G)] \times 100 \quad (2)$$

- η คือ ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง (%)
 W คือ ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg)
 h_{fg} คือ สัมประสิทธิ์การระเหยของน้ำ (MJ / kg)

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

Scenario	Energy Type	Value	Unit	Conversion Factor	Result	Unit
contro	energy LPG	1	kg	26.62	20.678	MJ/m ² -day
	use gas	4.8	MJ	7.3	13.2	MJ/m ² -hr
	Q gas	236.6222	MJ	249.06651	485.6887	MJ
					199.8719	MJ/M H2O
	energy LPG	1	kg	26.62	20.678	MJ/m ² -day
	use gas	6.6	MJ	6	13.2	MJ/m ² -hr
	Q gas	325.3556	MJ	204.7122	530.0678	MJ
				206.252	MJ/M H2O	
contro	ประสิทธิภาพ	1.135727				
not contro	ประสิทธิภาพ	1.10055148				

ภาพภาคผนวกที่ 1 ตารางแสดงการคำนวณพลังงานและประสิทธิภาพ

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

Date	Time	AI1(c)	AI2(c)	AI3(c)	AI4(c)	AI5(c)	AI6(c)	AI7(c)
24/9/2019	8:11:03	30.6	28.3	28.8	28.3	26.5	27.3	26.7
24/9/2019	8:12:03	30.9	28.5	29	28.4	26.6	27.4	26.9
24/9/2019	8:13:03	31	28.6	29.1	28.4	26.6	26.5	26.9
24/9/2019	8:14:03	31.3	28.7	29.2	28.5	26.7	28	27
24/9/2019	8:15:03	31.3	28.6	29.2	28.5	26.7	27.8	27
24/9/2019	8:16:03	31.6	28.6	29.4	28.6	26.9	27.9	27.2
24/9/2019	8:17:03	31.7	28.8	29.4	28.7	27	26.2	27.2
24/9/2019	8:18:03	31.9	28.8	29.5	28.8	27.2	28	27.3
24/9/2019	8:19:03	32.1	29	29.7	29	27.3	28.1	27.4
24/9/2019	8:20:03	32.2	29.1	29.7	29.1	27.3	28.1	27.4
24/9/2019	8:21:03	32.4	29.4	29.9	29.6	27.5	28.3	27.6
24/9/2019	8:22:03	32.7	29.6	30.2	29.9	27.6	28.2	27.7
24/9/2019	8:23:03	32.9	29.7	30.4	30.2	27.8	28.4	28
24/9/2019	8:24:03	33	29.6	30.4	30.5	27.8	28.5	28.1
24/9/2019	8:25:03	33.2	30	30.6	30.8	28	28.8	28.4
24/9/2019	8:26:03	33.4	29.9	30.7	31	28	29	28.5
24/9/2019	8:27:03	33.5	29.8	30.8	31.3	28.1	29.4	28.5
24/9/2019	8:28:03	33.7	30	31	31.5	28.2	29.7	28.7

ภาพภาคผนวกที่ 2 ตารางแสดงอุณหภูมิภายในโดมเปล่าที่ความเร็วรอบที่ 700 rpm

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
135	24/9/2019	10:19:03	54.3	53.4	54.2	53.6	51.6	53	50.9												
136	24/9/2019	10:20:03	54.4	53.4	54.3	53.8	51.7	53.1	51.1												
137	24/9/2019	10:21:03	54.7	53.6	54.5	54.1	51.8	53.4	51.3												
138	24/9/2019	10:22:03	54.9	53.8	54.8	54.3	52	53.6	51.4												
139	24/9/2019	10:23:03	54.8	53.9	54.9	54.3	52	53.6	51.3												
140	24/9/2019	10:24:03	55	54	54.9	54.3	52.1	53.6	51.3												
141	24/9/2019	10:25:03	55.1	53.8	54.8	54.3	52	53.6	51.2												
142	24/9/2019	10:26:03	55.6	54.1	55	54.6	52.2	53.8	51.3												
143	24/9/2019	10:27:03	55.9	54.2	55.2	54.8	52.3	54	51.5												
144	24/9/2019	10:28:03	55.8	54.4	55.3	54.8	52.4	54.1	51.6												
145	24/9/2019	10:29:03	55.7	54.3	55.1	54.5	52.3	53.9	51.4												
146	24/9/2019	10:30:03	55.4	53.8	54.6	54.1	51.9	53.3	50.9												
147	24/9/2019	10:31:03	55.8	54.1	55	54.5	52.2	53.6	51.2												
148	24/9/2019	10:32:03	55.9	54.1	55	54.6	52.2	53.7	51.3												
149	24/9/2019	10:33:03	55.9	54.1	55	54.5	52.2	53.7	51.2												
150	24/9/2019	10:34:03	55.8	53.8	54.7	54.3	52.1	53.5	50.9												
151	24/9/2019	10:35:03	55.4	53.4	54.2	53.9	51.8	53.1	50.4												
152	24/9/2019	10:36:03	55	53.1	53.9	53.5	51.5	52.7	50												
153	24/9/2019	10:37:03	54.8	52.8	53.5	53.2	51.2	52.3	49.6												
154	24/9/2019	10:38:03	54.8	53	53.6	53.2	51.3	52.4	49.7												
155	24/9/2019	10:39:03	54.8	53.1	53.7	53.1	51.3	52.4	49.7												
156	24/9/2019	10:40:03	54.5	53	53.4	52.7	51.1	52.1	49.4												
157	24/9/2019	10:41:03	54.2	52.8	53.2	52.4	50.9	51.8	49												
158	24/9/2019	10:42:03	54	52.7	53	52.2	50.7	51.5	48.7												

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
340	24/9/2019	13:44:03	48.2	52.1	53.1	46	49	51.1	44.2												
341	24/9/2019	13:45:03	48.2	52.4	53.2	46	49.2	51.3	44.2												
342	24/9/2019	13:46:03	48.2	52.6	53.4	46	49.4	51.3	44.2												
343	24/9/2019	13:47:03	48.2	52.8	53.5	46	49.6	51.6	44.2												
344	24/9/2019	13:48:03	48.3	53.1	53.6	46.1	49.8	51.8	44.2												
345	24/9/2019	13:49:03	48.2	53	53.3	46.1	49.8	51.8	44.1												
346	24/9/2019	13:50:03	48.1	53.1	53.1	46	49.9	51.7	44												
347	24/9/2019	13:51:03	48.2	53.3	52.9	46.1	50.1	51.7	44												
348	24/9/2019	13:52:03	48.3	53.5	52.8	46.2	50.4	51.7	44.1												
349	24/9/2019	13:53:03	48.3	53.6	52.5	46.1	50.5	51.5	44.1												
350	24/9/2019	13:54:03	48.3	53.8	52.5	46.2	50.7	51.4	44.2												
351	24/9/2019	13:55:03	48.4	54	52.4	46.3	50.9	51.4	44.3												
352	24/9/2019	13:56:03	48.4	54.1	52.4	46.3	51	51.4	44.3												
353	24/9/2019	13:57:03	48.5	54.2	52.6	46.4	51.2	51.6	44.3												
354	24/9/2019	13:58:03	48.5	54.1	52.6	46.3	51.1	51.6	44.2												
355	24/9/2019	13:59:03	48.5	54.1	52.6	46.4	51.2	51.8	44.2												
356	24/9/2019	14:00:03	48.7	54.2	52.9	46.5	51.4	52	44.3												
357	24/9/2019	14:01:03	48.7	54.5	53.2	46.5	51.5	52.2	44.3												
358	24/9/2019	14:02:03	48.7	54.6	53.5	46.5	51.6	52.4	44.3												
359	24/9/2019	14:03:03	48.7	54.5	53.5	46.4	51.6	52.5	44.2												
360	24/9/2019	14:04:03	48.6	54.4	53.5	46.4	51.6	52.5	44.1												
361	24/9/2019	14:05:03	48.7	54.4	53.6	46.4	51.6	52.7	44.1												
362	24/9/2019	14:06:03	48.8	54.4	53.8	46.4	51.8	52.9	44.3												
363	24/9/2019	14:07:03	48.8	54.4	53.9	46.4	51.8	53.1	44.3												

ภาพภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
584	24/9/2019	17:58:03	36.2	35.2	34.7	33.8	33.3	33.7	33.3												
585	24/9/2019	17:59:03	36.1	35.1	34.7	33.9	33.3	33.7	33.3												
586	24/9/2019	18:00:03	36.1	35.1	34.6	33.8	33.2	33.6	33.2												
587	24/9/2019	18:01:03	36.1	34.9	34.5	33.7	33.1	33.5	33.2												
588	24/9/2019	18:02:03	36	34.9	34.4	33.6	33	33.5	33.1												
589	24/9/2019	18:03:03	35.8	34.7	34.2	33.4	32.8	33.2	32.9												
590	24/9/2019	18:04:03	35.7	34.4	33.9	33.2	32.6	33	32.7												
591	24/9/2019	18:05:03	35.7	34.5	34.1	33.4	32.7	33	32.9												
592	24/9/2019	18:06:03	35.5	34.2	33.7	33	32.4	32.9	32.5												
593	24/9/2019	18:07:03	35.4	33.9	33.4	32.8	32.1	32.5	32.3												
594	24/9/2019	18:08:03	35.4	33.9	33.6	33	32.3	32.6	32.4												
595	24/9/2019	18:09:03	35.5	34.2	33.8	33.1	32.4	32.8	32.5												
596	24/9/2019	18:10:03	35.5	34.2	33.8	33.1	32.4	32.8	32.5												
597	24/9/2019	18:11:03	35.5	34.4	33.9	33.2	32.5	32.9	32.6												
598																					
599		Max Value At Time			Min Value At Time																
600	A11(c)	57.5 24/9/2019	12:12:03		30.6 24/9/2019	8:11:03															
601	A12(c)	57.2 24/9/2019	12:54:03		28.3 24/9/2019	8:11:03															
602	A13(c)	56.9 24/9/2019	12:48:03		28.8 24/9/2019	8:11:03															
603	A14(c)	56.4 24/9/2019	12:13:03		28.3 24/9/2019	8:11:03															
604	A15(c)	53.2 24/9/2019	12:54:03		26.5 24/9/2019	8:11:03															
605	A16(c)	56.5 24/9/2019	12:48:03		26.2 24/9/2019	8:17:03															
606	A17(c)	53 24/9/2019	12:48:03		26.7 24/9/2019	8:11:03															
607																					
608																					

ภาพภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1	Wisco Datalogger																					
2	w-18-12-62																					
3	Store Time	0:01:00																				
4	Start Time	18/12/2562	07:38:03																			
5	Record Co	595																				
6	Date	Time	AI1(c)	AI2(c)	AI3(c)	AI4(c)	AI5(c)	AI6(c)	AI7(c)													
7	18/12/201	7:38:04	21.6	21.3	21.8	22.4	22.3	22.3	21.8													
8	18/12/201	7:39:04	21.7	21.2	21.9	22.5	22.4	22.4	21.9													
9	18/12/201	7:40:04	21.9	21.3	22	22.7	22.5	22.4	21.9													
10	18/12/201	7:41:04	22	21.3	22.2	22.7	22.5	22.5	21.9													
11	18/12/201	7:42:04	22.1	21.4	22.2	22.7	22.5	22.3	21.7													
12	18/12/201	7:43:04	22.1	21.4	22.2	22.7	22.5	21.5	21.7													
13	18/12/201	7:44:04	22.1	21.4	22.2	22.6	22.4	22.2	21.7													
14	18/12/201	7:45:04	22.2	21.5	22.3	22.6	22.4	22.3	21.7													
15	18/12/201	7:46:04	22.3	21.5	22.3	22.7	22.5	22.4	21.7													
16	18/12/201	7:47:04	22.4	21.5	22.3	22.7	22.6	22.4	21.8													
17	18/12/201	7:48:04	22.4	21.5	22.4	22.8	22.6	22.4	21.9													
18	18/12/201	7:49:04	22.5	21.6	22.4	22.8	22.7	22.5	21.9													
19	18/12/201	7:50:04	22.6	21.7	22.5	22.9	22.8	22.6	22													
20	18/12/201	7:51:04	22.8	21.8	22.5	23	23	22.6	22.1													
21	18/12/201	7:52:04	22.9	21.8	22.6	23.1	23.2	22.7	22.2													
22	18/12/201	7:53:04	23.2	21.9	22.7	23.2	23.3	22.9	22.3													
23	18/12/201	7:54:04	23.6	22	22.8	23.4	23.4	23	22.4													
24	18/12/201	7:55:04	23.9	22.1	22.9	23.6	23.6	23.1	22.5													

ภาพภาคผนวกที่ 3 ตารางแสดงอุณหภูมิภายในโดมโดยมี
การควบคุมอุณหภูมิที่ความเร็วรอบที่ 700 rpm

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
187	18/12/201 10:38:04	72.8	58.7	72.6	74.4	75.6	72.8	76.4												
188	18/12/201 10:39:04	71.8	58.2	71.2	73.5	74.5	72	76.7												
189	18/12/201 10:40:04	72.7	58.7	72.4	74.5	75.7	73	78												
190	18/12/201 10:41:04	73.5	58.4	73.2	74.8	76.3	73.6	78.9												
191	18/12/201 10:42:04	72.4	57.4	71.4	73.7	74.5	72	75.3												
192	18/12/201 10:43:04	72.9	58.3	72.4	74.5	76	73.2	79.9												
193	18/12/201 10:44:04	73	58.4	72.4	74.3	75.3	72.5	75.1												
194	18/12/201 10:45:04	72.7	58.5	72.1	74.6	75.7	72.9	79												
195	18/12/201 10:46:04	73.1	58.9	72.6	74.7	75.7	72.8	76												
196	18/12/201 10:47:04	72	58.4	71.1	73.7	74.4	72	76.6												
197	18/12/201 10:48:04	73.4	59.2	73	74.8	75.9	73.4	78.6												
198	18/12/201 10:49:04	72.2	58.6	71.5	73.6	74.4	72	75.8												
199	18/12/201 10:50:04	73	58.8	72.7	74.6	75.8	73.4	80												
200	18/12/201 10:51:04	72.6	58.8	72.2	73.9	75	72.2	75.1												
201	18/12/201 10:52:04	72.7	57.9	72.1	74.4	75.4	72.7	79.3												
202	18/12/201 10:53:04	73.7	57.6	73.2	75	76.1	73.3	77.3												
203	18/12/201 10:54:04	72.6	56.9	71.7	74	75	72.6	77.2												
204	18/12/201 10:55:04	74	56.6	73.5	75.3	76.7	73.8	79.4												
205	18/12/201 10:56:04	74.5	55.3	73.9	75.6	76.7	74	78.4												
206	18/12/201 10:57:04	74.8	56.8	74.4	76.3	77.7	75.3	81.8												
207	18/12/201 10:58:04	75.4	55.6	74.9	76.7	78	75.5	81.3												
208	18/12/201 10:59:04	76	59.7	75.4	77.1	78.5	75.6	79.6												
209	18/12/201 11:00:04	74.4	55.1	73	75.8	76.6	74.1	78.8												
210	18/12/201 11:01:04	75.4	54.3	74.5	77	78.3	75.8	82.4												

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
547	18/12/201 16:38:04	74.5	51.9	73.2	74.2	75.6	72.6	80.4												
548	18/12/201 16:39:04	75.5	52.6	74.9	75.3	77.6	74.1	82.5												
549	18/12/201 16:40:04	75	52.2	74.2	74.6	76.4	73.1	79.2												
550	18/12/201 16:41:04	74.9	52.3	74.3	74.9	77.1	73.7	83.2												
551	18/12/201 16:42:04	75.1	52.4	74.7	74.9	76.6	73.3	79.1												
552	18/12/201 16:43:04	74.5	52.1	74	74.7	76.6	73.1	82.2												
553	18/12/201 16:44:04	75	52.3	74.7	75.3	77.3	73.7	82.8												
554	18/12/201 16:45:04	75.2	52.3	75.1	75.4	77	73.9	80.1												
555	18/12/201 16:46:04	73.7	51.4	72.6	73.8	75	72.1	79.6												
556	18/12/201 16:47:04	74.7	52.1	74.4	75.2	77.4	74.1	84.4												
557	18/12/201 16:48:04	75.2	52.1	74.9	75.2	76.9	73.7	79.9												
558	18/12/201 16:49:04	73.5	51.3	72.3	73.6	74.9	72	78.3												
559	18/12/201 16:50:04	74.6	52	74.1	74.9	77.4	74.1	83.8												
560	18/12/201 16:51:04	74.6	51.8	74	74.4	76.1	73	78.5												
561	18/12/201 16:52:04	74	51.7	73.3	74.2	76	72.9	81.8												
562	18/12/201 16:53:04	75	52.1	74.9	75.2	77	73.9	81.1												
563	18/12/201 16:54:04	73.9	51.5	73.1	73.8	75.4	72.4	79.9												
564	18/12/201 16:55:04	74.4	51.8	73.9	74.4	76.2	73.1	81.5												
565	18/12/201 16:56:04	74.9	52	74.7	74.9	76.9	73.3	81												
566	18/12/201 16:57:04	73.5	51.2	72.9	73.6	75.2	72.2	80.5												
567	18/12/201 16:58:04	74.2	51.5	74	74.2	76.5	73	82.6												
568	18/12/201 16:59:04	73.7	51.1	73.2	73.5	75.2	72	78.7												
569	18/12/201 17:00:04	74.1	51.4	73.6	74.2	76.4	73	82.1												
570	18/12/201 17:01:04	74.7	51.7	74.4	74.4	76.6	73.2	80.3												

ภาพภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

Time	A	B	C	D	E	F	G	H	I
588 18/12/201 17:19:04	49.8	39.9	47.5	46.5	46.6	48	53.4		
589 18/12/201 17:20:04	49.2	39.5	46.8	45.8	45.6	47.1	52.2		
590 18/12/201 17:21:04	48.7	39.2	46.3	45.1	44.8	46.2	51.2		
591 18/12/201 17:22:04	48.2	38.9	45.6	44.3	44	45.4	50.2		
592 18/12/201 17:23:04	47.6	38.6	45.1	43.7	43.2	44.7	49.3		
593 18/12/201 17:24:04	47.2	38.3	44.6	43.1	42.7	44.1	48.5		
594 18/12/201 17:25:04	46.5	38	44	42.6	42.1	43.5	47.6		
595 18/12/201 17:26:04	46.1	37.8	43.7	42.3	41.7	43	47		
596 18/12/201 17:27:04	45.6	37.6	43.4	41.9	41.3	42.6	46.4		
597 18/12/201 17:28:04	45.2	37.4	43	41.6	40.9	42.2	45.8		
598 18/12/201 17:29:04	44.9	37.3	42.8	41.4	40.6	41.9	45.3		
599 18/12/201 17:30:04	44.5	37.2	42.6	41.1	40.4	41.5	44.7		
600 18/12/201 17:31:04	44.3	37.1	42.3	40.8	40.1	41.2	44.3		
601 18/12/201 17:32:04	44	37	42	40.6	39.8	40.9	43.9		
602									
603									
604 AI1(c)	78.3	18/12/201	9:12:04	21.6	18/12/201	7:38:04			
605 AI2(c)	59.7	18/12/201	10:59:04	21.2	18/12/201	7:39:04			
606 AI3(c)	80.1	18/12/201	9:09:04	21.8	18/12/201	7:38:04			
607 AI4(c)	78.7	18/12/201	9:09:04	22.4	18/12/201	7:38:04			
608 AI5(c)	84	18/12/201	9:09:04	22.3	18/12/201	7:38:04			
609 AI6(c)	79.9	18/12/201	9:09:04	21.5	18/12/201	7:43:04			
610 AI7(c)	86.4	18/12/201	9:23:04	21.7	18/12/201	7:42:04			
611									

ภาพภาคผนวกที่ 3 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (Moisture content) (%)						
	สาย 1	สาย 2	สาย 3	สาย 4	สาย 5	สาย 6	สาย 7
0	29.35	22.95	29.75	26.25	31.4	45.85	33.45
90	16.7	15.5	17.65	17.35	17.55	25.2	16.05
180	16.55	15.3	16.4	16.5	17.2	27	15.95
270	17.95	15.55	17.3	17.9	15.4	41.25	14.25
360	18.35	18.3	18.05	18.8	18.95	47.05	15.75
450	22.65	23.15	21.2	23.05	23.9	53.85	22.15
AVG	20.26	18.46	20.06	19.98	20.73	40.03	19.60

ภาพภาคผนวกที่ 4 ตารางแสดงความชื้นภายในโดมพาราโบลา
ที่ความเร็วรอบที่ 700 rpm

เวลา(นาที)	ความชื้น (Moisture content) (%)						
	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ตัวอย่าง 4	ตัวอย่าง 5	ตัวอย่าง 6	ตัวอย่าง 7
0	15.5	15.4	13.65	14.15	16.4	53.75	11.55
90	11.85	11.5	13.55	14.9	15.6	24.3	13.05
180	14.2	11	13.5	15.3	13.1	41.8	13
270	14.25	12.9	13.6	14.65	12.75	37	11
360	13.9	14.3	12.85	13.85	14.3	42.7	10.35
450	14.9	15.1	13.9	14.85	15.25	57.25	11.5
AVG	14.10	13.37	13.51	14.62	14.57	42.80	11.74

ภาพภาคผนวกที่ 5 ตารางแสดงค่าความชื้นภายในโดมพาราโบลา
ที่ความเร็วรอบที่ 800 rpm

เวลา(นาที)	ความชื้น (Moisture content) (%)						
	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3	ตัวอย่าง 4	ตัวอย่าง 5	ตัวอย่าง 6	ตัวอย่าง 7
0	15.1	15	14.1	15.55	16.6	51.35	15.55
90	11.6	11.85	11.95	13.95	14.5	43.25	13.5
180	12.95	11	12.35	14.25	13.4	38.7	12.8
270	13.7	13.4	13.75	14.95	14.15	35.9	11.4
360	13.5	14.25	13	14.85	15.8	39.6	11.6
450	18	18.65	19.45	20.55	20.3	50.45	19.6
AVG	14.14	14.03	14.10	15.68	15.79	43.21	14.08

ภาพภาคผนวกที่ 6 ตารางแสดงค่าความชื้นภายในโดมพาราโบลา
ที่ความเร็วรอบที่ 900 rpm

HM1000 - Excel

เวลา(นาที)	ความชื้น (Moisture content) (%)						
	สัปดาห์ 1	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 3	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 5	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 7
0	16.65	14.65	14.65	15.75	21.35	52.95	13.35
90	10.9	10.25	11.65	14.55	14.6	37.7	12.15
180	14.15	11.05	14.2	16.4	15.2	42	13.1
270	12.7	11.85	13.1	14.35	12.6	40.45	11.05
360	10.8	11.6	10.45	12.3	13.25	41.9	10.25
450	13.4	14.3	12.85	15.45	17.05	53.85	13.85
AVG	13.10	12.28	12.82	14.80	15.68	44.81	12.29

ภาพภาคผนวกที่ 7 ความชื้นภายในโดมพาราโบลาที่ความเร็วรอบที่ 1000 rpm

Color - Excel

ครั้งที่	สีของถั่วความเร็วยรอบที่ 700 rpm		
	L*	a*	b*
1	53.82	9.14	22.19
2	55.28	8.25	24.64
3	60.73	5.96	23.53
AVG	56.61	7.78	23.45

ครั้งที่	สีของถั่วความเร็วยรอบที่ 800 rpm		
	L*	a*	b*
1	64.18	8.27	24.87
2	56.81	8.55	23.67
3	57.26	9.22	20.79
AVG	59.42	8.68	23.11

ครั้งที่	สีของถั่วความเร็วยรอบที่ 900 rpm		
	L*	a*	b*

ภาพภาคผนวกที่ 8 ตารางแสดงวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบที่ 700 800 900 และ 1000 rpm

Color - Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
14			3	57.26	9.22	20.79											
15			AVG	59.42	8.68	23.11											
16																	
17			ครั้งที่	สีของถ้วยความเร็วรอบที่ 900 rpm													
18				L*	a*	b*											
19			1	68.19	3.56	22.5											
20			2	67.51	6.87	22.34											
21			3	64.64	7.38	23.53											
22			AVG	66.78	5.94	22.79											
23																	
24			ครั้งที่	สีของถ้วยความเร็วรอบที่ 1000 rpm													
25				L*	a*	b*											
26			1	61.95	6.74	22.69											
27			2	67.09	6.91	23.02											
28			3	65.97	5.79	21.5											
29			AVG	65.00	6.48	22.40											
30																	

colormimeter

ภาพภาคผนวกที่ 8 (ต่อ)



ภาพภาคผนวกที่ 9 โครงสร้างโดมพาราโบล่า



ภาพภาคผนวกที่ 10 ระบบเครื่องควบคุมอุณหภูมิ



ภาพภาคผนวกที่ 11 ชั้นวางภายในโดมพาราโบลา



ภาพภาคผนวกที่ 12 กล้วยน้ำว่า



ภาพภาคผนวกที่ 13 กล้วยน้ำว่าปลอกเปลือก



ภาพภาคผนวกที่ 14 กล้วยน้ำว่าสไลด์



ภาพภาคผนวกที่ 15 กล้วยน้ำว่าบนชั้นวางในโดมพาราโบลา



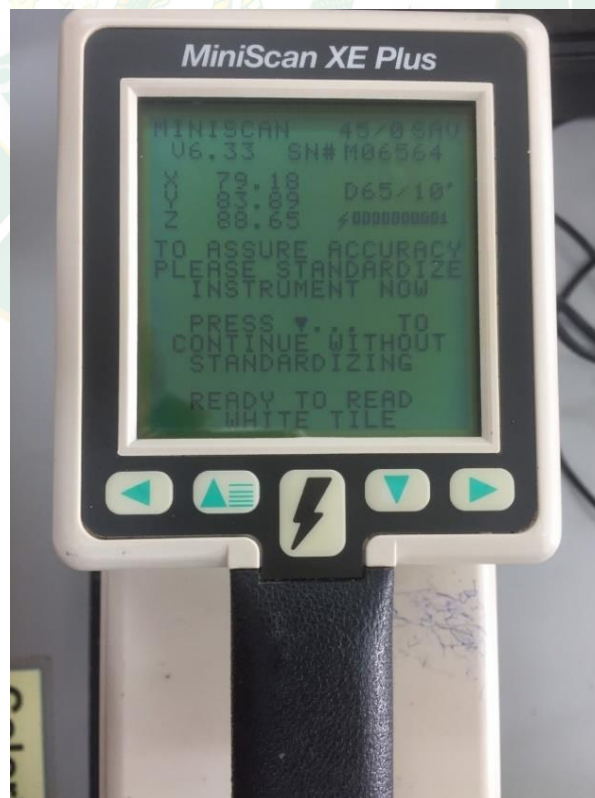
ภาพภาคผนวกที่ 16 กลัวยน้ำว้าอบแห้ง



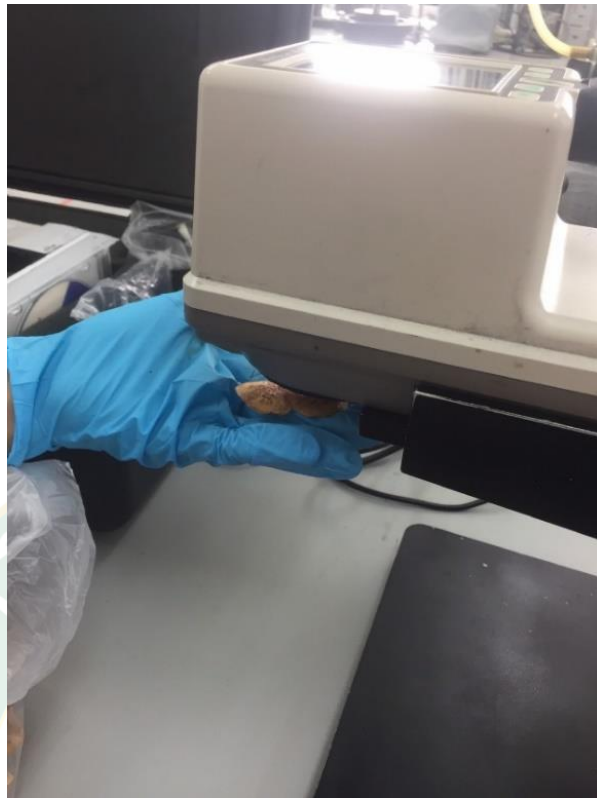
ภาพภาคผนวกที่ 17 การชั่งน้ำหนักกลัวยเพื่อวัดความชื้น



ภาพภาคผนวกที่ 18 การทดสอบวัดความหวานของกล้วยน้ำว้า



ภาพภาคผนวกที่ 19 เครื่องวัดสีกล้วย



ภาพภาคผนวกที่ 20 การวัดสีของกล้วยน้ำว้า



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ณฤทธิ์ วรหาญ
เกิดเมื่อ	2 พฤษภาคม 2533
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนต้นจาก โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติฯ พะเยา มัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนนาริรัตน์จังหวัดแพร่ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจาก มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	บริษัทเอเชียกราฟิเคเปเปอร์ จำกัด หจก. สามประสิทธิ์ บริษัท วังสิงห์คำ ฟู้ดส์ จำกัด

