

การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ปริญญานิพนธ์

ของ

สุดธิดา อินทผล

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

ตุลาคม 2551

การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ปริญญานิพนธ์

ของ

สุดธิดา อินทผล

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

ตุลาคม 2551

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

บทคัดย่อ

ของ

สุดธิดา อินทผล

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

ตุลาคม 2551

สุดธิดา อินทผล. (2551). *การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์*.

ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล ,
อาจารย์ โสภาส สุขหวาน.

การวิจัยนี้มีความมุ่งหมาย เพื่อการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แล้วทำการประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งได้ออกแบบและสร้างขึ้นเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของแผงรับแสงอาทิตย์โดยการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน และอีกส่วนหนึ่งคือตู้อบแห้งสำหรับวางผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในการอบแห้ง โดยทำการติดตั้งชุดพัดลมพาอากาศร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์มายังตู้อบแห้งเพื่อใช้สำหรับลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ทำการอบแห้ง โดยออกแบบให้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถอบพริกได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม โดยมีอัตราการระเหยของน้ำภายในเครื่องอบแห้งเฉลี่ยจากการคำนวณได้เท่ากับ 4.1 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

การหาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำการทดลองอบพริกปริมาณ 10 กิโลกรัม มีความชื้น 85%(wb) ให้มีปริมาณความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 15% (wb) โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถอบพริกสดขนาด 10 กิโลกรัมให้แห้งได้โดยใช้ระยะเวลา 2 วัน , 1.5 วัน และ 1 วัน ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศของสภาวะแวดล้อมในวันที่ทำการอบแห้ง ซึ่งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถเพิ่มอุณหภูมิของอากาศภายในตู้อบแห้งได้ 20 – 30°C โดยมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 70°C ในวันที่สภาพอากาศแจ่มใสตลอดทั้งวัน ซึ่งสามารถอบพริกให้แห้งได้ภายใน 1 วัน โดยมีอัตราการระเหยของน้ำภายในเครื่องอบแห้งเฉลี่ยจากผลการทดลองจริงได้เท่ากับ 4.1 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน การประเมินสมรรถนะทางกายภาพโดยให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 4 ท่านเป็นผู้ประเมิน แบ่งการประเมินออกเป็น 3 ด้าน คือ ด้านการออกแบบและการใช้งานอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.35$,SD = 0.19) ด้านความปลอดภัยในการใช้งานอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.25$, SD = 0.60) และด้านความสวยงามอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.00$, SD = 0.63) ผลรวมของการประเมินสมรรถนะทางกายภาพอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.24$, SD = 0.35) ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการเปรียบเทียบกับ การตากพริกแห้งโดยวิธีธรรมชาติ สรุปได้ว่าระยะเวลาคืนทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 3.97 – 4.26 ปี ขึ้นอยู่กับราคาของพริกสด 16 – 18 บาทต่อกิโลกรัม และราคาขายของพริกแห้ง 110 – 120 บาทต่อกิโลกรัม

THE DEVELOPMENT OF SOLAR CROP DRYER

AN ABSTRACT

BY

SUDTHIDA INTAPON

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Education Degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot University

October 2008

Sudthida Intapon. (2008). *The Development of Solar Crop Dryer*.

Master thesis, M.Ed. (Industrial Education). Bangkok: Graduate School,
Srinakharinwirot University. Advisor Committee. Dr. Upawit Suwakantagul ,
Mr. Ophat Sukwan.

The objective of this thesis were to Develop the Solar Crop Dryer and then evaluated the efficiency and physical of solar crop dryer. The fundamental of solar crop dryer consists to 2 parts : (1) Solar collector is change solar energy to heat. (2) Dryer cabinet for put crop which have electrical fan for hot air flow from solar collector to cabinet dryer for reduce moisture of crop. Designing solar dryer can be load fresh chilli 10 kilograms per time and ratio to reduce water average $4.1 \text{ kilograms} / \text{m}^2\text{-day}$.

For efficiency of solar dryer by trial to reduce moisture fresh chilli 10 kilograms from moisture content 85%(wb) to 15%(wb). After trial with chilli 10 kilograms used drying time 2 days , 1.5 days and 1 day which effect from astmosphere on during trial day. Solar crop dryer could be increase temperature in cabinet $20 - 30^{\circ}\text{C}$ maximum was 70°C on very clear day that could be dry chilli within 1 day and ratio to reduce water in actuality average $4.1 \text{ kilograms} / \text{m}^2\text{-day}$. For evaluation of physical aspect of solar crop dryer in 3 areas evaluated by 4 experts. The result of evaluation were : the aspect of design is good condition ($\bar{X} = 4.35$,SD = 0.19) , the aspect of safety is good condition ($\bar{X} = 4.25$, SD = 0.60) , the aspect of feature is good condition ($\bar{X} = 4.00$, SD = 0.63) and as a whole were good condition ($\bar{X} = 4.24$, SD = 0.35). In term of economic analysis of solar crop dryer base on cost of fresh chilli and price of dry chilli on season. Calcualtion to payback period by compare profit with natural drying have payback period 3.97 – 4.26 years which relate with cost of fresh chill 16 – 18 bahts / kilogram and price of dry chill 110 – 120 bahts / kilogram.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ของ
สุดธิดา อินทผล

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่..... เดือน..... พ.ศ. 2551

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

..... ประธาน
(อาจารย์ ดร. อุปวิทย์ สุวคันธกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ โสภาส สุขหวาน)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน
(อาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. อุปวิทย์ สุวคันธกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ โสภาส สุขหวาน)

..... กรรมการ
(อาจารย์ อัมพร กุญชรรัตน์)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย

จาก

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาของ อาจารย์ ดร.อุวิทย์ สุวคันธกุล ประธานควบคุมปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ โอบาส สุขหวาน กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการศึกษาค้นคว้า แนะนำแหล่งการศึกษาค้นคว้า ตลอดจนการปรับปรุงแก้ไข ข้อความ และรูปแบบของปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร อาจารย์ ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา อาจารย์ ผศ. สุวัฒน์ อัจฉริยนนท์ คณะกรรมการสอบเค้าโครงปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการทำปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ อัมพร ภูษธรรัตน์ คณะกรรมการสอบปากเปล่า ที่ได้ให้ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงและจัดทำเอกสารปริญญานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณอัศนัย ปทุมมิน คุณจิรภัทร ธนโชติเกียรติ คุณธีรฤทธิ์ กลางกัลยา และ คุณณัฐพล เพชรนิล ที่กรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ท้ายสุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และเพื่อน ๆ ทุกคน ที่ให้การสนับสนุน เป็นกำลังใจที่ดีตลอดระยะเวลาในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

สุดธิดา อินทผล

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	4
ความสำคัญของการวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ตัวแปรที่ศึกษา.....	5
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	8
สมมติฐานในการวิจัย.....	9
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
การอบแห้ง.....	10
พลังงานแสงอาทิตย์.....	29
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	33
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	51
3 วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า.....	63
ขั้นการออกแบบ.....	65
ขั้นการสร้าง.....	74
ขั้นการหาประสิทธิภาพ.....	75
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	83
การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	83
ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	84
ผลการประเมินสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	99
การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	104

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ.....	108
สรุปผลการวิจัย.....	108
การอภิปรายผล.....	111
ข้อเสนอแนะ.....	115
ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป.....	115
บรรณานุกรม.....	116
ภาคผนวก.....	119
ภาคผนวก ก. รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ.....	120
ภาคผนวก ข. จดหมายเชิญผู้เชี่ยวชาญ.....	122
ภาคผนวก ค. แบบประเมินสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์.....	127
ภาคผนวก ง. คู่มือการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	134
ภาคผนวก จ. แบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	146
ภาคผนวก ฉ. ผลการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	160
ภาคผนวก ช. การทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	191
ภาคผนวก ซ. เกียรติบัตรการนำเสนอผลงานวิจัย.....	201
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	204

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ลักษณะของเครื่องอบแห้งชนิดต่างๆ.....	28
2 รายละเอียดของตัวรับรังสี.....	69
3 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	74
4 เกณฑ์ในการแปรข้อมูลความหมายข้อมูลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยต่างๆ.....	80
5 แสดงระยะเวลาในการของการอบแห้งจนพริกชี้ฟ้าสด มีความชื้นเท่ากับ 15 เปอร์เซนต์.....	85
6 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง โดยใช้ระยะเวลาอบแห้งทั้งหมด 2 วัน.....	86
7 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของการอบแห้งระยะเวลา 2 วัน (วันที่1)	86
8 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของการอบแห้งระยะเวลา 2 วัน (วันที่2)	87
9 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของการอบแห้งระยะเวลา 2 วัน (วันที่1).....	87
10 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของการอบแห้งระยะเวลา 2 วัน (วันที่2).....	87
11 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา ของการอบแห้งระยะเวลา 2 วัน.....	88
12 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง โดยใช้ระยะเวลาอบแห้งทั้งหมด 1.5 วัน.....	90
13 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของการอบแห้งระยะเวลา 1.5 วัน (วันที่1)	90
14 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของการอบแห้งระยะเวลา 1.5 วัน (วันที่2)	91
15 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของการอบแห้งระยะเวลา 1.5 วัน (วันที่1).....	91

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
16	แสดงความขึ้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของการอบแห้งระยะเวลา 1.5 วัน (วันที่2).....	91
17	แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา ของการอบแห้งระยะเวลา 1.5 วัน.....	92
18	แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง โดยใช้ระยะเวลาอบแห้งทั้งหมด 1 วัน.....	94
19	แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งระยะเวลา 1 วัน	95
20	แสดงความขึ้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของการอบแห้งระยะเวลา 1 วัน.....	95
21	แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา ของการอบแห้งระยะเวลา 1 วัน.....	95
22	แสดงอุณหภูมิโดยเฉลี่ยต่อวันของการตากพริกโดยวิธีธรรมชาติ.....	98
23	แสดงน้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่างต่อวันของการตากพริกโดยวิธีธรรมชาติ.....	98
24	แสดงค่าความชื้นสุดท้ายของตัวอย่างต่อวันของการตากพริกโดยวิธีธรรมชาติ.....	98
25	แสดงผลประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	100
26	แสดงผลการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน.....	101
27	แสดงผลการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้านความสวยงาม.....	102
28	แสดงผลการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับ สมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	103
29	รายการราคาต้นทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	105
30	แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 20 มีนาคม 2551 (วันที่1).....	161

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
31 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 21 มีนาคม 2551 (วันที่2).....	161
32 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 20 มีนาคม 2551 (วันที่1).....	162
33 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 21 มีนาคม 2551 (วันที่2).....	162
34 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 20 มีนาคม 2551 (วันที่1).....	162
35 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 21 มีนาคม 2551 (วันที่2).....	163
36 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 20-21 มีนาคม 2551	163
37 แสดงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 20 -21 มีนาคม 2551	163
38 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 20 -21 มีนาคม 2551	164
39 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 30 มีนาคม 2551 (วันที่1).....	165
40 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 31 มีนาคม 2551 (วันที่2).....	165
41 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 30 มีนาคม 2551 (วันที่1).....	166
42 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 31 มีนาคม 2551 (วันที่2).....	166
43 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 30 มีนาคม 2551 (วันที่1).....	166

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
44 แสดงความขึ้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 31 มีนาคม 2551 (วันที่2).....	167
45 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 30-31 มีนาคม 2551	167
46 แสดงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 30 -31 มีนาคม 2551	167
47 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 30 -31 มีนาคม 2551	168
48 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 5 เมษายน 2551 (วันที่1).....	169
49 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 6 เมษายน 2551 (วันที่2).....	169
50 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 5 เมษายน 2551 (วันที่1).....	170
51 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 6 เมษายน 2551 (วันที่2).....	170
52 แสดงความขึ้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 5 เมษายน 2551 (วันที่1).....	170
53 แสดงความขึ้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 6 เมษายน 2551 (วันที่2).....	171
54 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 5-6 เมษายน 2551	171
55 แสดงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 5-6 เมษายน 2551	171
56 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 5-6 เมษายน 2551	172

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
57 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 13 เมษายน 2551 (วันที่1).....	173
58 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 14 เมษายน 2551 (วันที่2).....	173
59 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 13 เมษายน 2551 (วันที่1).....	174
60 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 14 เมษายน 2551 (วันที่2).....	174
61 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 13 เมษายน 2551 (วันที่1).....	174
62 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 14 เมษายน 2551 (วันที่2).....	175
63 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 13-14 เมษายน 2551	175
64 แสดงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 13-14 เมษายน 2551	175
65 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 13-14 เมษายน 2551	176
66 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 15 เมษายน 2551	177
67 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 15 เมษายน 2551	177
68 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 15 เมษายน 2551.....	178
69 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 15 เมษายน 2551	178

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
70 แสดงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 15 เมษายน 2551	178
71 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 15 เมษายน 2551	178
72 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 9 พฤษภาคม 2551 (วันที่1).....	179
73 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 10 พฤษภาคม 2551 (วันที่2).....	179
74 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 9 พฤษภาคม2551 (วันที่1).....	180
75 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 10 พฤษภาคม2551 (วันที่2).....	180
76 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 9 พฤษภาคม 2551 (วันที่1).....	180
77 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 10 พฤษภาคม 2551 (วันที่2).....	181
78 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 9-10 พฤษภาคม 2551	181
79 แสดงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 9-10 พฤษภาคม 2551	181
80 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 9-10 พฤษภาคม 2551	182
81 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 17 พฤษภาคม 2551	183
82 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 17 พฤษภาคม 2551	183

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
83 แสดงความขึ้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลา ของวันที่ 17 พฤษภาคม 2551.....	184
84 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 17 พฤษภาคม 2551.....	184
85 แสดงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 17 พฤษภาคม 2551.....	184
86 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 17 พฤษภาคม 2551.....	184
87 คุณหมุมิในสภาวะที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 21 มีนาคม 2551 (วันที่1).....	185
88 คุณหมุมิในสภาวะที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 22 มีนาคม 2551 (วันที่2).....	185
89 คุณหมุมิในสภาวะที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 23 มีนาคม 2551 (วันที่3).....	185
90 คุณหมุมิในสภาวะที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 24 มีนาคม 2551 (วันที่4).....	185
91 คุณหมุมิในสภาวะที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 25 มีนาคม 2551 (วันที่5).....	186
92 คุณหมุมิในสภาวะที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 26 มีนาคม 2551 (วันที่6).....	186
93 น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 21 มีนาคม 2551 (วันที่1).....	187
94 น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 22 มีนาคม 2551 (วันที่2).....	187
95 น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 23 มีนาคม 2551 (วันที่3).....	187

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
96 น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 24 มีนาคม 2551 (วันที่4).....	187
97 น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 25 มีนาคม 2551 (วันที่5).....	187
98 น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 26 มีนาคม 2551 (วันที่6).....	188
99 แสดงความชื้นของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 21 มีนาคม 2551 (วันที่1).....	189
100 แสดงความชื้นของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 22 มีนาคม 2551 (วันที่2).....	189
101 แสดงความชื้นของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 23 มีนาคม 2551 (วันที่3).....	189
102 แสดงความชื้นของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 24 มีนาคม 2551 (วันที่4).....	189
103 แสดงความชื้นของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 25 มีนาคม 2551 (วันที่5).....	190
104 แสดงความชื้นของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 26 มีนาคม 2551 (วันที่6).....	190

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	8
2 กราฟไซโครเมทริกส์ของ ASHRAE No.1.....	11
3 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง.....	12
4 กราฟการทำแห้งด้วยการพาความร้อน.....	14
5 การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาดทั่วไป.....	16
6 การไหลของอากาศแบบผสมระหว่าง co-current และ counter-current.....	18
7 การอบแห้งขนมขบเคี้ยวแบบ 2 ขั้นตอน โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสายพาน.....	18
8 เครื่องอบแห้งแบบ Torbed dryer.....	19
9 เครื่องอบแห้งแบบเตาเผา.....	20
10 การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอยทั่วไป.....	22
11 เปรียบเทียบการไหลของอากาศแบบ co-current และ counter-current	24
12 การไหลของอากาศแบบผสมในเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์.....	24
13 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยวและลูกกลิ้งคู่.....	26
14 ความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์.....	29
15 ปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งตารางเมตร.....	30
16 การกระจายของพลังงานแสงอาทิตย์ที่แอร์เมสต่างๆ.....	31
17 สมดุลพลังงานแสงอาทิตย์.....	32
18 เครื่องอบแห้งแบบรับแสงอาทิตย์โดยตรง.....	34
19 เครื่องอบแห้งแบบรับแสงอาทิตย์ทางอ้อม.....	35
20 เครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงและใช้พัดลม.....	35
21 เครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อมและใช้พัดลมดูดอากาศ.....	36
22 การถ่ายเทความร้อนในพื้นที่รับแสงอาทิตย์.....	37
23 ลักษณะต่างๆ ของแผงรับแสงอาทิตย์ที่มีตัวดูดแสงมีลักษณะเป็นแผ่นราบ.....	39
24 ลักษณะต่างๆ ของตัวดูดรังสีแบบรูปท่อน.....	40
25 แผนภูมิแสดงต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน.....	48
26 แผนภูมิแสดงรายรับ.....	48
27 แผนภูมิของจุดคุ้มทุน.....	49

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
28 แผนภูมิแสดงส่วนผลให้.....	50
29 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาโดย วิบูลสวัสด์ (Wibulswas) และคณะ.....	51
30 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาโดย ทองประเสริฐ และคณะ.....	52
31 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับอุตสาหกรรมที่พัฒนาโดยเจนชัย.....	53
32 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย ณัฐวุฒิ ดุษฎี.....	53
33 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย Exell และ Kornnsakoo.....	56
34 แผงโซลาร์เซลล์และพัดลมที่ติดตั้งเข้ากับเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลม.....	57
35 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมที่พัฒนาขึ้นโดย Lutz.....	57
36 ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	64
37 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องอบแห้ง.....	66
38 ผลการทดสอบตัวรับรังสีทำอากาศร้อนแบบต่างๆ ของ Soponronnarit; et al.....	69
39 แสดงลักษณะของแผงรับแสงอาทิตย์.....	70
40 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ.....	77
41 แสดงทิศทางการไหลของกระแสลมร้อนภายในตู้อบแห้ง.....	78
42 แสดงแผนภูมิของจุดคุ้มทุน.....	81
43 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	84
44 กราฟแสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในการอบแห้ง โดยใช้ระยะเวลา 2 วัน.....	88
45 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้า(วัตต์) ที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้.....	88
46 กราฟแสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในการอบแห้งโดยใช้ระยะเวลา 1.5 วัน.....	92
47 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ภายในระยะเวลา 1.5 วัน.....	93
48 กราฟแสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในการอบแห้งโดยใช้ระยะเวลา 1 วัน.....	96
49 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ภายในระยะเวลา 1 วัน.....	96
50 กราฟความชื้นของตัวอย่างพริกในการอบแห้งโดยวิธีการตากแห้ง แบบธรรมชาติ.....	98
51 ปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งตารางเมตร.....	104

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

อุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบันมีต้นกำเนิดมาจากครั้งก่อนประวัติศาสตร์ซึ่งมีการแปรรูปอาหารเป็นครั้งแรกเพื่อถนอมรักษาหรือปรับปรุงคุณภาพการบริโภคของอาหาร การตากแห้งเมล็ดพืชเป็นตัวอย่งการยืดอายุเพื่อการเก็บรักษา หรือการย่างเนื้อเพื่อปรับปรุงกลิ่นรส ต่อมาจึงมีการพัฒนาเครื่องจักรกลและเครื่องมือต่างๆ มาใช้ในกระบวนการแปรรูปเพื่อลดเวลาและแรงงาน เช่นการใช้แรงน้ำแรงลม หรือแรงงานสัตว์ในการสีข้าว กระบวนการแปรรูปทางชีวเคมีเกิดขึ้นเป็นครั้งแรกในการหมักอาหารในประเทศอียิปต์ เช่น การผลิตเนยแข็งและไวน์ แต่การแปรรูปและถนอมรักษาอาหารดังกล่าวนั้นทำขึ้นเพื่อรองรับความต้องการบริโภคในครัวเรือนเท่านั้น เมื่อสังคมพัฒนาขึ้นจึงทำให้เกิดความชำนาญเฉพาะทางและเริ่มมีธุรกิจการค้าด้านอุตสาหกรรมอาหารเกิดขึ้น เช่นการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ การผลิตอาหารอบ ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร (วิลโลว์ รัสซาดทอง. 2545 : 1) อุตสาหกรรมการผลิตอาหารได้พัฒนาไปอย่างก้าวหน้า ได้มีการคิดค้นกรรมวิธีในการถนอมรักษาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและการผลิตอาหารมากมาย โดยหลักการของถนอมอาหารด้วยวิธีการต่างๆ คือ การป้องกันหรือยืดเวลาการย่อยสลายอาหารที่เกิดจากการกระทำของจุลินทรีย์ , การป้องกันหรือยืดเวลาการสลายตัวที่เกิดขึ้นเองของอาหารโดยทำลายหรือหยุดชะงักการทำงานของเอนไซม์ในอาหาร และการป้องกันความเสียหายของอาหารจากแมลง ซึ่งจากกรรมวิธีดังกล่าวนี้จึงทำให้เกิดวิธีการในการถนอมรักษาอาหารได้แก่ การขจัดจุลินทรีย์ออกไป , การใช้ความร้อน , การทำแห้งหรือการอบแห้ง , การจำกัดความร้อน , การใช้สารเคมี , การฉายรังสี , การใช้วิธีทางกายภาพในการทำลายจุลินทรีย์ และการกำจัดออกซิเจนหรือการควบคุมบรรยากาศ (วิลโลว์ รัสซาดทอง. 2545 : 51-55)

จากกรรมวิธีการถนอมอาหารดังที่กล่าวมานั้น วิธีหนึ่งที่ยังคงได้รับความนิยมและถือได้ว่าเป็นหลักการพื้นฐานส่วนหนึ่งในกรรมวิธีการผลิตอาหารและการเก็บรักษาให้อาหารอยู่ได้นานนั้นก็คือการอบแห้ง หรือการทำแห้ง คือ การลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ คือ มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity , a_w) ต่ำกว่า 0.70 ทำให้เก็บอาหารไว้ได้นาน อาหารแห้งแต่ละชนิดจะมีความชื้นในระดับที่ปลอดภัยไม่เท่ากัน เช่น ผลไม้แช่อิ่มเก็บได้ที่ความชื้น 15 – 20% แต่ถ้าเป็นเมล็ดธัญพืชเก็บที่ความชื้นนี้จะเกิดราได้ ในการทำแห้งเป็นวิธีถนอมอาหารที่มนุษย์คุ้นเคยมาแต่โบราณ เช่น ตากหญ้า ฟางข้าว เป็นอาหารสำหรับวัวควาย ตากเมล็ดพืชพันธุ์สำหรับฤดูกาลหน้า ตากเนื้อสัตว์ผักผลไม้และธัญพืชที่เหลือกินไว้เป็นอาหาร เช่น การตากแห้งซึ่งประโยชน์ของการอบแห้งหรือการทำแห้ง คือ ป้องกันการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกริยาเคมีและ

เอนไซม์ , ทำให้มีผลผลิตไว้ใช้ในยามขาดแคลน นอกฤดูปลูก และเก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องใช้ตู้เย็นให้เปลืองค่าใช้จ่าย , ลดน้ำหนักอาหาร ทำให้สะดวกในการบรรจุเก็บรักษาและขนส่ง , ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น ลูกเกด จากการทำแห้งองุ่น และให้ความสะดวกในการใช้ประโยชน์ เช่น กาแฟผงสำเร็จรูป

ในการทำแห้งหรือการอบแห้งจะต้องมีการให้พลังงานความร้อนแก่อาหารหรือผลผลิต ทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอล้วนเคลื่อนย้ายออกจากอาหาร โดยการถ่ายเทความร้อน การใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า ก๊าซ หรือไอน้ำในเครื่องอบแห้ง และมวลสารระหว่างการอบแห้งทำได้หลายวิธีคือ การให้กระแสน้ำร้อนเคลื่อนผ่านอาหาร กระแสน้ำร้อนทำหน้าที่ให้ความร้อนและเคลื่อนย้ายไอน้ำ โดยการถ่ายเทความร้อนแบบนี้เป็นการพาความร้อน (convection) , การแผ่อาหารเป็นชั้นบางๆ บนพื้นผิวที่ให้ความร้อน อาหารได้รับความร้อนแบบการนำความร้อน (conduction) ทำให้ไอน้ำกระจายตัวออกไปสู่บรรยากาศเหนืออาหาร อาหารที่ร้อนจัดทำให้ไอน้ำกระจายตัวได้ดี อาหารจึงแห้งในเวลาสั้นๆ , การให้ความร้อนแก่อาหารในเครื่องอบด้วยการนำความร้อนหรือการแผ่รังสีร่วมกับการดูดอากาศที่มีไอน้ำออกไปควบแน่นข้างนอก และการปรับสภาพความดันและอุณหภูมิให้น้ำในอาหารเป็นของแข็งระดับต่ำกว่าจุดรวมสถานะ แล้วให้พลังงานความร้อนหรือลดความดันลงอีกทำให้เกิดการระเหิด น้ำเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นไอลโดยตรง วิธีการนี้เรียกว่าการทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง เครื่องอบแห้งแต่ละแบบจะมีปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง ซึ่งมีผลต่อการเคลื่อนย้ายน้ำออกจากอาหาร ได้แก่ ธรรมชาติของอาหาร หรือผลผลิตที่ทำการอบ , ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก , ตำแหน่งของอาหารในตู้อบ โดยน้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า , ปริมาณอาหารต่อถาด ถ้ามีปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไปอาหารส่วนล่างไม่ได้รับความร้อนก็จะส่งผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง , ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน , อุณหภูมิของอากาศร้อน และความเร็วของลมร้อน (คณาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . 2546 : 187-190)

เครื่องอบแห้งในปัจจุบันมีมากมายหลายแบบหลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดจะมีการใช้งานหรือขั้นตอนในการทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้งนั้นระเหยออกไปได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องอบแห้ง สำหรับการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรตั้งแต่ในอดีตที่ผ่านมาการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งเพื่อการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น หรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อบแห้งนั้นถือได้ว่าได้รับความนิยม ซึ่งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ก็เพียงพอที่จะทำให้ผลิตผลทางการเกษตรมีความชื้นหลังการอบแห้งพอเหมาะในการเก็บรักษาอยู่แล้ว ลักษณะภูมิประเทศของประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนซึ่งได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงตลอดทั้งปี การใช้เครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์จึงนับเป็นการแก้ไขปัญหาการอบแห้งที่มีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูง ดังนั้นในช่วงเวลา

20 ปีที่ผ่านมา จึงได้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้บริโภคเองในครัวเรือน และสำหรับระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลาง ซึ่งยังไม่ได้รับการพัฒนาเท่าที่ควร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน . 2547 : 1 - 2)

ในกรรมวิธีส่วนใหญ่ในการใช้ความร้อนในเครื่องอบแห้งนั้น ยังมีข้อบกพร่องในเรื่องของการกระจายตัวของความร้อนที่ใช้ไม่ทั่วถึง เนื่องจากการวางผลผลิตในเครื่องอบเป็นแบบซ้อนกันเป็นชั้น ทำให้ผลผลิตที่อยู่ใกล้กับแหล่งความร้อนกับผลผลิตที่อยู่ไกลจากแหล่งความร้อนได้รับความร้อนไม่เท่าเทียมกัน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานต้องคอยตรวจสอบและทำการปรับตำแหน่งการวางของผลผลิตในเครื่องอบแห้ง เพื่อให้ผลผลิตได้รับความร้อนทั่วถึงกัน ซึ่งเป็นเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นและผลผลิตที่ได้มีคุณภาพที่ไม่เท่าเทียมกัน รวมทั้งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่อาหารหรือผลผลิตเพื่อให้ไอน้ำเคลื่อนออกจากอาหารอีกทางหนึ่งด้วย จากที่กล่าวมาแสดงว่าเครื่องอบแห้งยังจำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนที่ค่อนข้างสูง เพื่อให้อาหารเกิดความร้อนเพื่อให้ไอน้ำในอาหารถูกขับออกมา และก็เพื่อถนอมรักษาอาหารให้ยังคงอยู่ได้นานขึ้นอีก โดยในปัจจุบันได้มีการคิดค้นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้น โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาเป็นเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นใช้พลังงานสิ้นเปลืองน้อยลง และได้คุณภาพของผลผลิตที่ดีขึ้น พลังงานแสงอาทิตย์นั้นเป็นพลังงานทดแทนอย่างหนึ่งที่ได้รับจากธรรมชาติ โดยมีหลายหน่วยงานกำลังดำเนินการพัฒนาพลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งถือได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษใดๆ และเป็นพลังงานที่ยังสามารถใช้งานหมุนเวียนได้อีกมากมาย โดยถ้ามีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาพัฒนาเครื่องอบแห้งมากขึ้นก็ถือได้ว่าคุ้มค่าต่อค่าใช้จ่ายต้นทุนการทำงานในอนาคตอีกมากมายทีเดียว

ดังนั้นผู้วิจัย จึงได้ค้นหาวิธีการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานหมุนเวียนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งใช้แผงรับแสงอาทิตย์สำหรับแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนในการอบแห้ง และเซลล์แสงอาทิตย์ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับชุดพัดลมสำหรับการพาความร้อนที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์สู่ผลผลิตที่ต้องการอบแห้ง โดยคำนึงถึงผลผลิตที่ได้คุณภาพ และการทำงานที่ง่ายขึ้นของผู้ใช้งาน ซึ่งใช้ข้อมูลและหลักการที่ส่งผลจากการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากอาหาร ได้แก่ ธรรมชาติของอาหาร หรือผลผลิตที่ต้องการอบ , ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก , ปริมาณอาหารต่อถาด , ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน , อุณหภูมิของอากาศร้อน และความเร็วของลมร้อน เป็นตัวแปรที่ส่งผลให้ได้ผลผลิตจากเครื่องอบแห้งที่มีคุณภาพและเป็นการประหยัดทั้งการใช้ทรัพยากรไฟฟ้าที่ลดลง และยังส่งผลดีต่อผลผลิตที่ได้มีคุณภาพที่เท่าเทียมกัน เพื่อช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานได้อย่างสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะใช้ตัวอย่างผลผลิตทางการเกษตรคือพริกชี้ฟ้าสดที่มีความชื้น 85%(wb) และเมื่อผ่านการอบแห้งแล้วจะมีความชื้น

สุดท้าย 15%(wb) ครั้งละ 10 กิโลกรัม โดยใช้ระยะเวลา 1 วัน ตั้งแต่เวลา 8:00 น. ถึง 17:00 น. ในการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อวัดผลประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง

ความมุ่งหมายของการวิจัย

พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสามารถอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม โดยประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนที่มีอัตราการระเหยของน้ำภายในเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 4.1 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

ความสำคัญของการวิจัย

1. ได้เครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถนำไปใช้งานในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร
2. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีต้นทุนที่ลดลงและสามารถนำไปใช้งานได้สะดวก
3. ช่วยให้การอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรโดยพลังงานแสงอาทิตย์ใช้ระยะเวลาน้อยลง
4. เพื่อเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมในระดับครัวเรือน และสามารถพัฒนากรรมวิธีในการผลิตของสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP)

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษานี้ ผู้วิจัยจะออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้ง โดยมีขอบเขตการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งโดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
2. ใช้แผงรับแสงอาทิตย์ในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร โดยใช้พริกเป็นผลิตผลทางการเกษตรในการวิจัย
3. ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่รับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ และเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับชุดพัดลมในการพาความร้อนสู่ผลิตผลภายในเครื่องอบแห้ง
4. ทำการทดลองและเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องอบแห้ง โดยใช้สถานที่ทดลองในเขตกรุงเทพมหานคร

ตัวแปรที่ศึกษา

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานในการอบแห้ง
 - 1.1 ปริมาณของผลผลิตในการอบแห้ง
 - 1.2 พลังงานความร้อน
 - 1.3 อัตราการระเหยของน้ำภายในเครื่องอบแห้ง
2. สมรรถนะทางกายภาพ
 - 2.1 การออกแบบและการใช้งาน
 - 2.2 ความปลอดภัยในการใช้งาน
 - 2.3 ความสวยงาม
3. จุดคุ้มทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์** หมายถึง เครื่องที่ใช้ในการอบแห้ง โดยให้ความร้อนแก่ผลผลิตที่ได้มาจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อให้ผลผลิตมีความชื้นลดลงถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้ง

2. **ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง** หมายถึง สมรรถนะด้านความสามารถของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นหัวข้อด้านต่างๆ ดังนี้

2.1 ปริมาณของผลผลิตในการอบแห้ง หมายถึง ปริมาณการบรรจุผลผลิตสูงสุดในการอบแห้งต่อครั้ง ซึ่งตู้อบแห้งในการวิจัยครั้งนี้จะสามารถบรรจุพริกชี้ฟ้าได้ในปริมาณ 10 กิโลกรัม

2.2 พลังงานความร้อน หมายถึง พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งผลผลิตภายในตู้อบแห้ง ซึ่งการวิจัยครั้งนี้เป็นพลังงานความร้อนที่ได้รับจากการแปลงพลังงานจากความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้อุปกรณ์แผงรับแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ในการเปลี่ยนพลังงาน ซึ่งหน่วยของพลังงานความร้อนที่ใช้ในการวิจัยได้กำหนดค่าความร้อนแฝงของการทำให้น้ำ 1 กิโลกรัมกลายเป็นไอน้ำเท่ากับ 2.8 MJ/Kg และความร้อนที่เกิดขึ้นจะใช้หน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C) ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดให้อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 10-40 องศาเซลเซียส ในการวิจัยครั้งนี้ทางผู้วิจัยจะใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิเทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งจะวัดอุณหภูมิที่แผงรับแสงอาทิตย์ , ภายในตู้อบแห้งและบริเวณภายนอกของตู้อบแห้งในช่วงเวลาตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น. โดยจะทำการวัดทุกๆ 1 ชั่วโมงขณะทำการทดลอง

2.3 อัตราการระเหยของน้ำภายในเครื่องอบแห้ง หมายถึง ปริมาณของน้ำที่ถูกระเหยออกจากผลผลิตทางการเกษตรขณะทำการอบแห้งต่อหน่วยเวลา โดยขนาดของตู้อบแห้งและประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนจะส่งผลต่ออัตราการระเหยของน้ำของผลผลิตที่ต้องการทำการอบแห้ง

3. สมรรถนะทางกายภาพ หมายถึง ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทางด้านกายภาพ ในการวิจัยครั้งนี้จะให้ผู้เชี่ยวชาญ 4 ท่าน เป็นผู้ประเมินโดยมีหัวข้อดังนี้

3.1 การออกแบบและการใช้งาน หมายถึง การออกแบบโครงสร้างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์รวมทั้งส่วนประกอบต่าง ๆ และการใช้งานของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อความสะดวกเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งการพิจารณาจะพิจารณาจากรูปแบบความเหมาะสมของเครื่องอบแห้งในด้านโครงสร้างการจัดวางของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องอบแห้งรวมทั้งความสะดวกในการใช้งานและการเคลื่อนย้ายไปในที่ต่างๆ โดยการให้คะแนนจะแบ่งเป็น 5 ระดับตั้งแต่ระดับน้อยที่สุด จนถึง ระดับดีมาก โดยใช้วิธีการให้คะแนนจากผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมิน

3.2 ความปลอดภัยในการใช้งาน หมายถึง ความปลอดภัยของการใช้งานตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จัดทำขึ้น โดยคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งานของผู้ใช้งาน ซึ่งพิจารณาจากวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ , การจัดวางอุปกรณ์ในตำแหน่งที่อาจก่อให้เกิดอันตรายในขณะใช้งาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขณะใช้งานที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ โดยการให้คะแนนจะแบ่งเป็น 5 ระดับตั้งแต่ระดับน้อยที่สุด จนถึง ระดับดีมาก โดยใช้วิธีการให้คะแนนจากผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมิน

3.3 ความสวยงาม หมายถึง ความสวยงามของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการพิจารณาในด้านของความเหมาะสมของเครื่องอบแห้ง ซึ่งจะพิจารณาจากองค์ประกอบชิ้นส่วนที่ใช้ในการจัดทำ , การตกแต่ง และความเป็นระเบียบเรียบร้อยของเครื่อง โดยการให้คะแนนจะแบ่งเป็น 5 ระดับตั้งแต่ระดับน้อยที่สุด จนถึง ระดับดีมาก โดยใช้วิธีการให้คะแนนจากผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมิน

4. จุดคุ้มทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์ หมายถึง จุดซึ่งรายได้จากการลงทุนคุ้มกับค่าการลงทุน หรือจุดที่แสดงค่าใช้จ่ายกับรายรับเท่ากัน โดยการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุน , รายได้ และผลกำไร ซึ่งผันแปรไปตามความเปลี่ยนแปลงของปริมาณการผลิต

5. ต้นทุนการผลิต หมายถึง ต้นทุนทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการผลิตโดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบ่งเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน โดยต้นทุนคงที่คือต้นทุนที่ใช้ในการเริ่มสร้างเครื่องอบแห้งขึ้นเป็นค่าวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องอบแห้งขึ้น และต้นทุนผันแปรเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นแปรผันตามยอดการผลิตในการผลิตแต่ละครั้ง เช่น ต้นทุนการเตรียมผลผลิตก่อนการอบแห้ง เป็นต้น

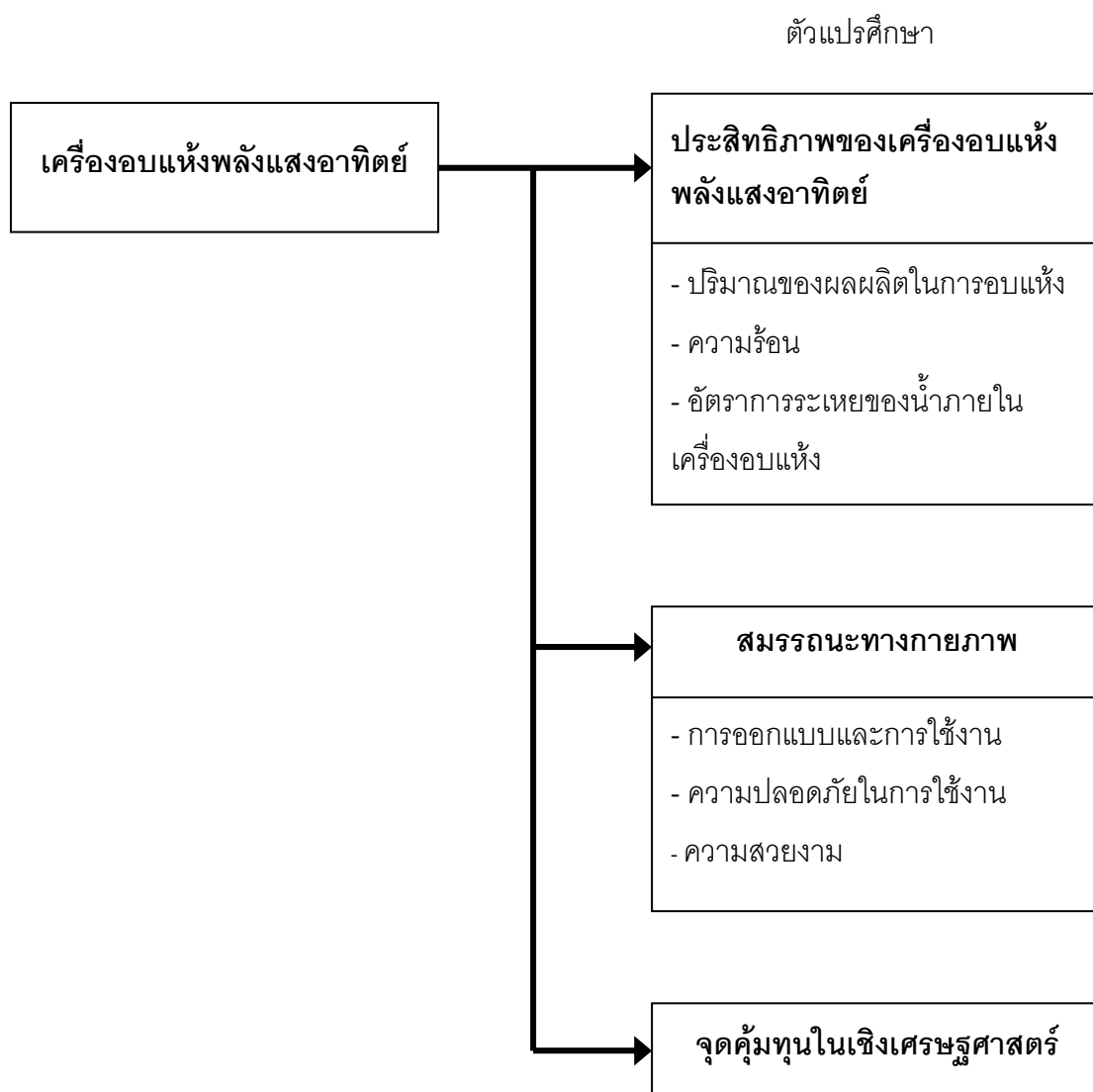
6. ระยะเวลาในการคืนทุน หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้เครื่องอบแห้งพลังงาน จนผลกำไรที่ได้รับตอบแทนจากผลิตผลมีมูลค่าเท่ากับเงินที่ลงทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการคำนวณผลกำไรจะทำการเปรียบเทียบผลกำไรที่ได้เปรียบเทียบกับการตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติ

7. ความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ หมายถึง พลังงานที่ดวงอาทิตย์ส่งมายังบรรยากาศของโลกโดยเฉลี่ยแล้วความเข้มของแสงอาทิตย์ที่เป็นค่าเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 18.2 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ($\text{MJ/M}^2\text{-day}$)

8. กระแสไฟฟ้า หมายถึง อัตราการไหลของประจุไฟฟ้าในตัวนำโลหะ ประจุที่ไหลเป็นอิเล็กตรอนมีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A) ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้โซลาร์เซลล์เป็นอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้กับชุดพัฒนาคาความร้อนเข้าสู่ตู้อบแห้ง ซึ่งใช้อุปกรณ์แอมมิเตอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าที่โซลาร์เซลล์ผลิตออกมา

9. กำลังไฟฟ้า หมายถึง ค่ากำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตและจ่ายให้กับชุดพัฒนาคาความร้อนเพื่อใช้ในการพาคาความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์มายังตู้อบแห้ง โดยหน่วยของกำลังไฟฟ้าเป็นวัตต์ (W)

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

สมมติฐานในการวิจัย

1. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน โดยมีอัตราการระเหยของน้ำภายในเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 4.1 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน
2. สมรรถนะทางด้านกายภาพอยู่ในเกณฑ์ดี
3. จุดคุ้มทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์ใช้ระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 5 ปี

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในเรื่องนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

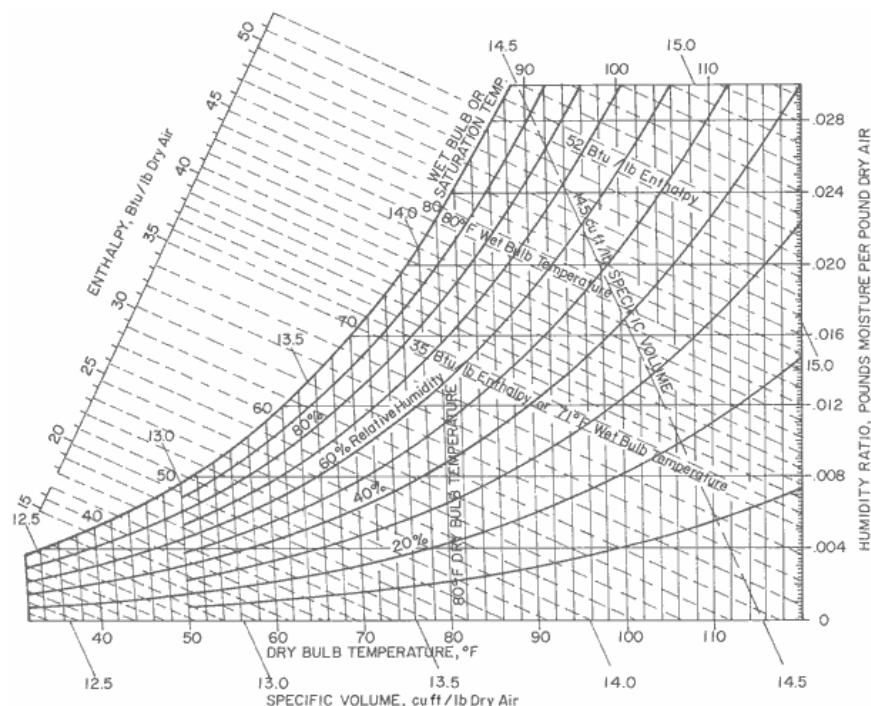
1. การอบแห้ง
2. พลังงานแสงอาทิตย์
3. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การอบแห้ง

การอบแห้งหรือการทำแห้ง (drying) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้ภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าออกซิเดชันและอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนี้การลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและการขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค (วิไล รังสาดทอง. 2545: 257-261)

1.1 การทำให้แห้งโดยใช้อากาศหรือลมร้อน

ไซโครเมตริกส์ (Psychrometric) หมายถึง ความสามารถของอากาศที่จะกำจัดความชื้นออกจากอาหารขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ปริมาณของไอน้ำที่อยู่ในอากาศแสดงได้ด้วยค่าความชื้นสัมบูรณ์ (absolute humidity) ซึ่งเป็นมวลของไอน้ำต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง (kg/kg) หรือเรียกว่า ปริมาณความชื้น หรือแสดงในรูปมวลความชื้นสัมพัทธ์ (RH) มีค่าเป็น % ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความดันย่อย (partial pressure) ของไอน้ำในอากาศต่อความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกันแล้วคูณด้วย 100 ไซโครเมตริกส์เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ในแผนภูมิไซโครเมตริกส์นี้จะแสดงค่าเหล่านี้ไว้อย่างชัดเจนและดูง่ายดังภาพประกอบ 2

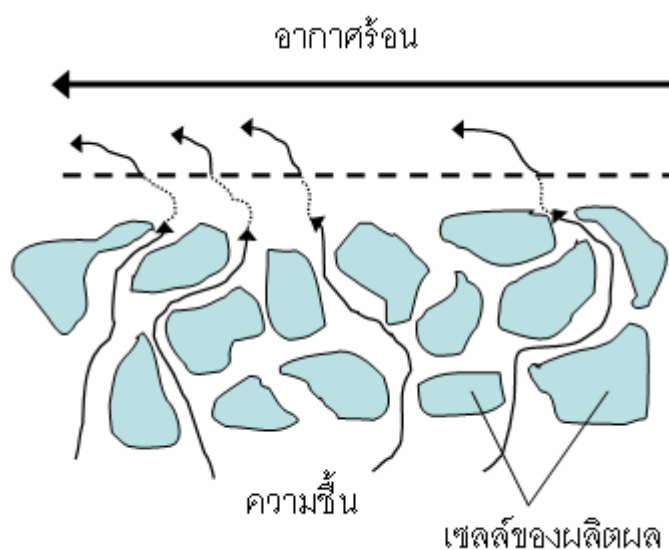


ภาพประกอบ 2 กราฟไซโครเมตริกส์ของ ASHRAE No.1 สำหรับอุณหภูมิช่วงปกติ
ที่มา: Psychrometric Chart Use. (2008). (Online).

อุณหภูมิที่วัดโดยกระเปาะเทอร์มิโมเตอร์ว่า อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature) และถ้าเอาผ้าเปียกหุ้มกระเปาะเอาไว้ ความร้อนจะถูกกำจัดออกจากผ้าโดยการระเหยของน้ำและอุณหภูมิจะลดต่ำกว่าอุณหภูมิของกระเปาะแห้ง เรียกอุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้ว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียก(wet bulb temperature) เราสามารถใช้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองนี้ในการหาความชื้นสัมพัทธ์บนกราฟไซโครเมตริกส์ได้ การเพิ่มอุณหภูมิหรือลด RH ทำให้น้ำระเหยจากผิวที่เปียกเร็วขึ้นและทำให้อุณหภูมิลดลงมาก อุณหภูมิจุดน้ำค้าง(dew point) เป็นอุณหภูมิที่อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ(100% RH) และการทำให้อากาศเย็นกว่าจุดน้ำค้างจะทำให้เกิดการควบแน่นในอากาศ ส่วนเส้นกราฟทำให้เย็นแบบอะเดียบาติก (adiabatic cooling line) เป็นเส้นกราฟที่เอียงขนานกันและตัดกับกราฟและแสดงให้เห็นว่าความชื้นสัมบูรณ์ในอากาศลดลงในขณะที่อุณหภูมิของอากาศนั้นสูงขึ้น

1.2 กลไกการทำความแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหนังหรืออาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง
ที่มา: วิไล รังสาดทอง. (2545). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. หน้า 260.

สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำขึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอน้ำสูงและค่อยๆลดต่ำลง เมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร น้ำเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังต่อไปนี้

1.2.1 การเคลื่อนที่ของของไหลด้วยแรงแคปิลารี

1.2.2 การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่างๆ

1.2.3 การแพร่ของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร

1.2.4 การแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหารซึ่งเกิดจากความแตกต่างความดัน

อาหารแบ่งออกเป็นไฮโกรสโคปิก (hygroscopic) และนอนไฮโกรสโคปิก (non-hygroscopic) โดยอาหารประเภทไฮโกรสโคปิกเป็นอาหารที่มีค่าความดันไอดังที่แม้ว่าจะมีความชื้นแตกต่างกัน เมื่อนำอาหารมาใส่ในเครื่องทำแห้ง ช่วงเวลาสั้นๆตอนเริ่มการอบแห้งจะเป็นเวลาที่ใช้ในการทำให้ผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก แล้วจึงเริ่มการทำให้แห้ง โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในของอาหารออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้า ผิวหน้าจึงยังเปียกอยู่ เรียกว่าช่วงนี้ว่าเป็นช่วงอัตราเร็วคงที่ (constant rate period) และช่วงต่อเนื่องไปจนถึงความชื้นวิกฤต (critical moisture content) แต่ในทางปฏิบัติ ผิวหน้าของอาหารจะค่อยๆ แห้งด้วยอัตราเร็วต่างกัน และอัตราการทำให้แห้งโดยรวมจะค่อยๆ ลดลงในช่วงของอัตราเร็วคงที่ดังนั้น

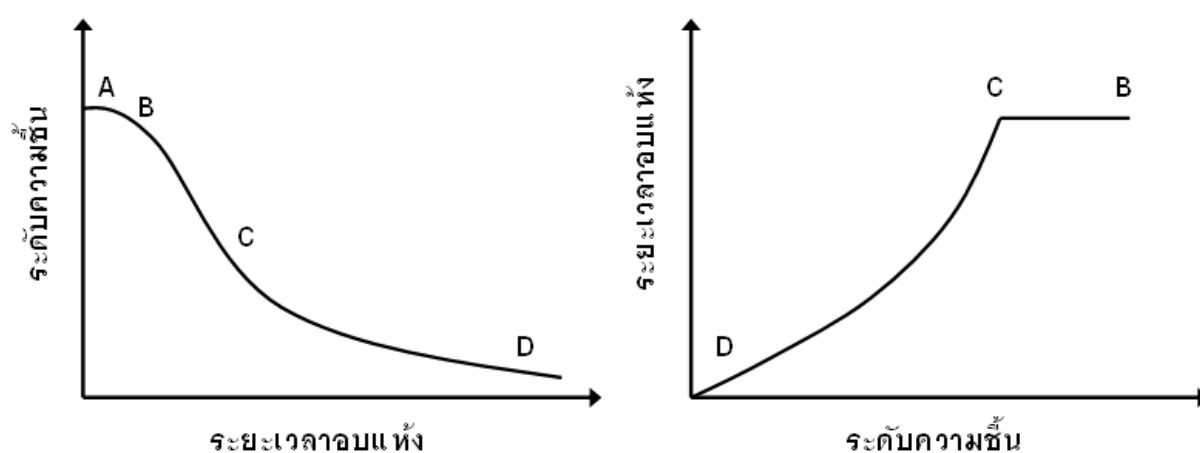
ความชื้นวิกฤตของอาหารแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของอาหารในเครื่องทำแห้งและ อัตราการทำแห้ง ลักษณะที่สำคัญของอากาศแห้งที่ใช้ในการทำแห้งในช่วงอัตราเร็วคงที่ได้แก่

1. ต้องมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูง
2. มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ
3. มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง

ฟิล์มอากาศที่อยู่รอบอาหารจะกีดขวางการถ่ายเทความร้อนและไอน้ำระหว่างการทำแห้ง ความเร็วของอากาศหรือลมจะเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์ม ถ้าความเร็วลมต่ำเกินไป ไอน้ำเคลื่อนที่จากผิวหน้าของอาหารและยังคงอยู่รอบๆ อาหารทำให้มีความแตกต่างระหว่างความดันไอและ อัตราการทำแห้งไม่สูงนัก ถ้าอุณหภูมิของอากาศแห้งต่ำหรือมีความชื้นสูงจะทำให้อัตราเร็วในการระเหยและการทำแห้งลดลง

เมื่อความชื้นของอาหารลดต่ำกว่าความชื้นวิกฤติ อัตราการทำแห้งก็จะลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ที่ความชื้นสมดุล หรือที่เรียกว่าเป็นช่วงอัตราลดลง(falling-rate period) อาหารแบบนอนไฮโดรสโคปิก จะมีช่วงอัตราลดลงเพียงช่วงเดียว ในขณะที่อาหารแบบไฮโกรสโคปิกมี 2 ช่วง โดยช่วงแรก ระยะเวลาของการระเหยจะเคลื่อนที่เข้ามาในอาหารและน้ำจะแพร่ผ่านอาหารแข็งเข้าไปยังอากาศแห้ง และจะลดลงเมื่อระยะเวลาของการระเหยเข้ามาถึงจุดศูนย์กลางของอาหารและความดันย่อยของน้ำลดต่ำกว่าความดันไออิ่มตัว ช่วงที่ 2 จะเกิดขึ้นเมื่อความดันย่อยของน้ำลดต่ำกว่าความดันไออิ่มตัว และเกิดการทำให้แห้งโดยการทำให้แห้ง(desorption)

ในช่วงอัตราลดลง อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในอาหารมายังผิวหน้าจะต่ำกว่า อัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบ ผิวหน้าจึงแห้ง ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่นานที่สุดของ กระบวนการทำให้แห้งในอาหารบางชนิด เช่น การทำให้แห้งเมล็ดธัญพืช ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นต่ำกว่า ความชื้นวิกฤติ ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการทำแห้งจะเปลี่ยนไปในช่วงอัตราลดลง ปัจจัยที่สำคัญในช่วงแรกจะคล้ายคลึงกับในช่วงอัตราเร็วคงที่แต่อัตราการถ่ายเทมวลจะค่อยๆ กลายเป็นปัจจัยควบคุม การทำให้แห้งที่สำคัญมากยิ่งขึ้น



ภาพประกอบ 4 กราฟการทำแห้งด้วยการพาความร้อน

ที่มา: วิไล รังสาดทอง. (2545). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. หน้า 260.

1.3 การทำพริกแห้ง

การทำพริกแห้งที่นิยมมี 3 วิธี คือ การตากแดด การย่าง และการใช้เตาอบ

(งานส่งเสริมการผลิตจังหวัดเชียงใหม่. 2540)

1.3.1 การตากแดด มีขั้นตอนวิธีการทำ คือ เมื่อเก็บพริกสีแดงมาแล้ว ควรคัดเลือกพริกที่มีลักษณะของสีแดงไม่ตลอดผลมาบ่มในภาชนะที่สะอาด 1-2 คืน เนื่องจากพริกที่เก็บมามีผลที่ไม่สุกแดงปะปนมาบ้าง หากนำพริกมาไปทำการตากแดดเป็นพริกแห้งทันที จะทำให้พริกแห้งมีสีขาวดำดำ การตากแดดนิยมทำ 2 วิธี คือ การตากแดดโดยใช้วัสดุรอง และการตากบนหลังคา

1.3.1.1 การตากแดดโดยใช้วัสดุรอง ได้แก่ การใช้ผ้าเตนท์ ไม้ขัดแตะ เสื่อหรือบนลานซีเมนต์นำพริกออกมาตากแดด เมื่อถึงตอนเย็นก็เก็บมาสุ่มรวมกัน รุ่งเช้าก็นำออกตาก ใช้เวลาประมาณ 5 วัน เมื่อเห็นว่าพริกแห้งสนิทดีแล้ว ก็นำออกจำหน่าย หรือเก็บมาบรรจุไว้ในถุงพลาสติกโดยปิดปากถุงให้สนิท

1.3.1.2 การตากบนหลังคาโกดัง หรือหลังคาบ้านมุงด้วยสังกะสี นำพริกตากบนหลังคาโดยไม่มีการเก็บ ปล่อยทิ้งไว้ทั้งกลางวันและกลางคืน จนกว่าพริกจะแห้ง ใช้เวลาประมาณ 7-8 วัน การทำพริกแห้ง โดยการตากจะนิยมเฉพาะ พริกขี้หนูใหญ่ พริกขี้หนูเล็ก สำหรับพริกใหญ่ไม่ค่อยนิยมวิธีตากแดด เพราะมีน้ำในผลพริกสดมากทำให้แห้งช้า

1.3.2 การทำพริกแห้งโดยวิธีการย่าง ก่อนทำต้องนำพริกมาปม 1-2 คืบเช่นกัน การทำเตาย่าง กระทำโดยการขุดดินลึกประมาณ 0.5 เมตร กว้างประมาณ 1 เมตร หรือแล้วแต่ความเหมาะสมของพื้นที่ ทำเสาปัก หัวท้าย กลาง จำนวน 6 ต้น สูงประมาณ 0.5 เมตร แคร่ไม้ขัดแตะสำหรับวางพริก มีขนาดความกว้าง 1.20 เมตร ยาวตามขนาดของเตา ความยาวที่นิยมใช้ประมาณ 2-4 เมตร เมื่อจัดทำเตาแล้ว ก่อนย่างพริก ให้ก่อไฟโดยใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง เมื่อไฟติดดีแล้วให้ใช้แกลบข้าวกลบไฟให้แน่นจนไม่เกิดเปลวไฟ จะเกิดแต่ควันกับความร้อน ให้เติมแกลบอย่าให้เกิดเปลวไฟด้านข้างของเตาย่างทั้ง 2 ด้าน ใช้แผ่นกระเบื้องใยหินหรือสังกะสีปิดข้างไว้เพื่อกันลม และให้เกิดความร้อนระอุ จากนั้นนำไม้ขัดแตะขึ้นวางบนแคร่ไม้บนเตาย่าง นำพริกที่สุกแดงวางบนไม้ขัดแตะหนาประมาณ 4-5 นิ้ว พลิกกลับวันละ 1-2 ครั้ง เช้า เย็น พริกใหญ่ใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน พริกขี้หนูใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน

1.3.3 การอบพริกโดยใช้เตาอบลำไย ข้อดีของการอบโดยวิธีนี้ คือ อบได้ครั้งละปริมาณมาก และสามารถอบพริกแห้งได้ทุกชนิด ใช้เวลาและพื้นที่น้อยไม่ต้องคำนึงถึงฤดูกาลและแสงแดด สามารถทำเป็นกิจการใหญ่ๆ ได้ เพราะกำหนดระยะเวลาการผลิตและวางแผนการตลาดได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากลักษณะของเตาอบลำไย มีการกระจายลมร้อน เข้าสู่ทางด้านล่างของผลิตภัณฑ์เพียงทางเดียว ทำให้เกษตรกรต้องพลิกผลิตภัณฑ์กลับบนล่างในระหว่างการอบ และมีปัญหาในเรื่องของความไม่สม่ำเสมอของความชื้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นลักษณะของเตาอบแบบ Batch type

1.4 เครื่องอบแห้ง

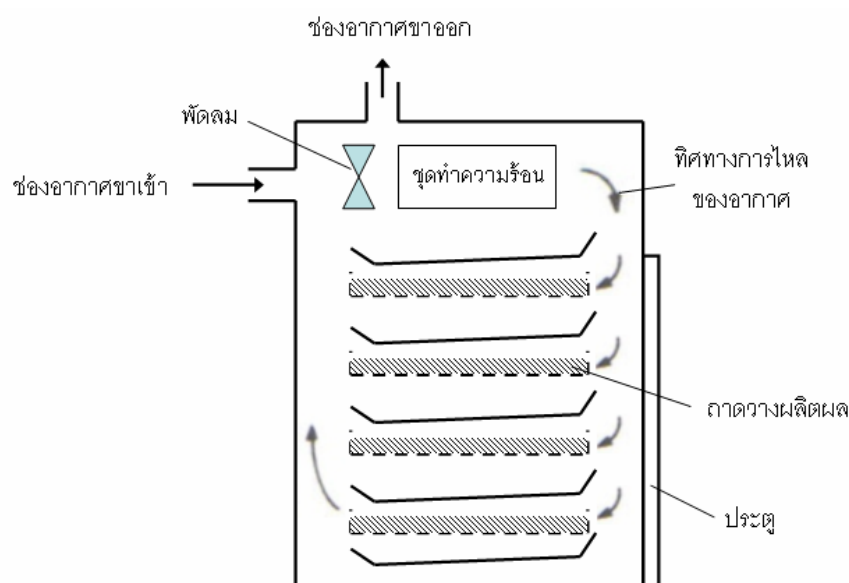
เครื่องอบแห้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะมีการบุฉนวนไว้เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนและทำให้สามารถนำอากาศมาหมุนเวียนใช้ใหม่เพื่อประหยัดพลังงาน มีการออกแบบเครื่องมือที่สามารถประหยัดพลังงานหลายแบบเพื่อนำความร้อนจากอากาศที่ใช้แล้วมาใช้ใหม่หรือมีการควบคุมความชื้นของอากาศโดยอัตโนมัติ การควบคุมเครื่องอบแห้งโดยคอมพิวเตอร์ทำให้สามารถทำงานได้ซับซ้อนยิ่งขึ้นส่งผลให้ประหยัดพลังงานได้มากขึ้น โดยตารางที่ 1 แสดงชนิดและการประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งชนิดต่างๆ ได้เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการอบแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นเงินดอลลาร์สหรัฐ (วิลโลว์ รัสซาดทอง .2545 :262-276)

1.4.1 เครื่องทำแห้งโดยลมร้อน(Hot-air dryers)

1.4.1.1 เครื่องอบแห้งแบบถัง (Bin dryers หรือ deep-bed dryers) เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีรูปร่างกลมหรือทรงสี่เหลี่ยม ด้านล่างจะมีช่องตาข่ายให้อากาศร้อนพัดผ่านชั้นอาหารด้วยความเร็วค่อนข้างต่ำ เช่น 0.5 เมตร / 3 วินาที ต่อพื้นที่ผิว(เมตร²) ของเครื่อง เครื่องทำแห้งชนิดนี้มีความสามารถในการทำงานสูง ใช้เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องต่ำ นิยมใช้การอบแห้งขั้นสุดท้ายหลังการทำแห้งขั้นต้นด้วยเครื่องมืออื่นๆ มาแล้ว เพื่อให้อาหารมีค่าความชื้น 3-6% เครื่องอบแห้งแบบถังช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานของเครื่องทำแห้งตอนต้นด้วยการใช้กับอาหารที่ทำ

แห้งอยู่ในช่วงอัตราลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่ใช้เวลานานที่สุดโดยที่อาหารจะถูกกองทับกันสูงจึงทำให้เกิดความชื้นภายในแตกต่างกันจึงต้องนำมาทำแห้งต่อเพื่อให้อาหารมีความชื้นเท่ากัน บางครั้งเครื่องยังทำหน้าที่เหมือนภาชนะเก็บอาหารระหว่างขั้นตอนการทำให้แห้ง การบรรจุอาหารในเครื่องนี้อาจสูงหลายเมตร ดังนั้นอาหารที่อยู่ด้านล่างจะต้องทนต่อแรงอัดที่เกิดขึ้นได้และต้องมีช่องเปิดด้านล่างเพื่อให้อากาศหรือลมร้อนผ่านเข้ามาในกองอาหารได้ด้วย

1.4.1.2 เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryers) เครื่องอบแห้งแบบถาดประกอบด้วยถาดเตี้ยๆ ที่มีช่องตาข่ายอยู่ด้านล่างและบนเครื่องด้วยฉนวนในแต่ละถาดจะบรรจุอาหารขึ้นบางๆ ขนาด 2 – 6 เซนติเมตร อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้ที่ความเร็วลม 0.5-5 เมตร/วินาที/เมตร² ของพื้นที่ผิวของถาด มีระบบท่อหรือแปฟเฟิล เพื่อนำลมร้อนขึ้นไปด้วยด้านบนผ่านแต่ละถาดเพื่อให้ลมร้อนกระจายสม่ำเสมอ อาจมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อนเพื่อด้านบนหรือด้านข้างของถาดเพื่อเพิ่มอัตราการทำให้แห้ง นิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดในการผลิตอาหารในปริมาณต่ำ(1-20 ตัน/วัน) หรือสำหรับใช้ในโรงงานต้นแบบ เครื่องอบชนิดนี้ใช้เงินลงทุนและค่าดูแลรักษาต่ำแต่ควบคุมดูแลยาก และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ

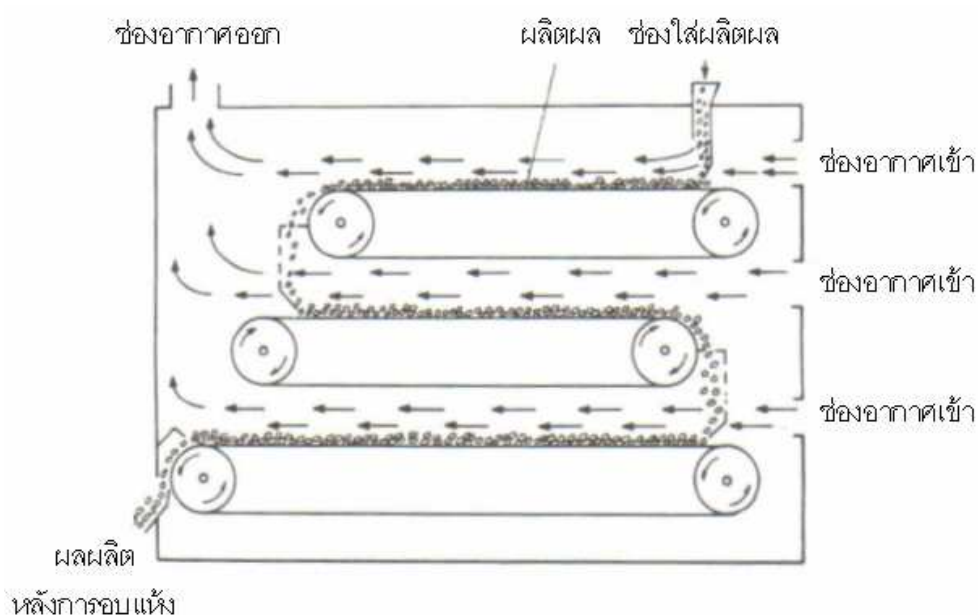


ภาพประกอบ 5 การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาดทั่วไป

ที่มา: วิไล รังสาดทอง. (2545). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. หน้า 264. (อ้างอิงจาก Karel. (1975))

1.4.1.3 เครื่องอบแห้งแบบสายพาน (Conveyer dryers หรือ belt dryers) เครื่องอบแห้งชนิดนี้ใช้สายพานแบบต่อเนื่อง ซึ่งอาจยาวถึง 20 เมตร และกว้าง 3 เมตร อาหารซึ่งกองอยู่หนาประมาณ 5-15 เซนติเมตร จะถูกทำให้แห้งบนสายพานที่มีรูเล็กๆอยู่ด้านล่าง อากาศจะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนผ่านกองอาหารและเคลื่อนที่กลับลงมาเพื่อป้องกันไม่ให้อาหารปลิวไปจากสายพาน เครื่องอบแห้งแบบ 2 ตอน หรือ 3 ตอนจะผสมและกองอาหารที่ทำแห้งแล้วเป็นบางส่วนให้ไปกองสูงขึ้น(ถึง 15-25 เซนติเมตร ในเครื่องทำแห้งแบบ 2 ตอน หรือ 250-900 เซนติเมตร ในเครื่องทำแห้งแบบ 3 ตอน) วิธีนี้จะทำแห้งได้อย่างสม่ำเสมอขึ้นและประหยัดพื้นที่ด้วย อาหารจะถูกทำให้แห้งจนมีความชื้น 10-15% และถูกย้ายไปยังเครื่องอบแห้งแบบถัดเพื่อการทำแห้งขั้นสุดท้าย เครื่องอบแห้งแบบสายพานมีอัตราการผลิตสูงและสามารถควบคุมการทำงานได้ดี ใช้ในการทำแห้งอาหารในปริมาณสูง เช่น ใช้เวลา 2-3.5 ชั่วโมง ในการทำแห้งผักและผลไม้ได้ถึง 5.5 ตัน/ชั่วโมง มีการควบคุมการทำแห้งในแต่ละส่วนของเครื่องอย่างอิสระรวมทั้งสามารถวาง และยกอาหารลง ได้อย่างอัตโนมัติ นับเป็นการช่วยลดแรงงานได้ เครื่องนี้จึงเริ่มได้รับความนิยมแทนที่เครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์ (tunnel dryer) ภาพประกอบที่ 6 แสดงการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบสายพานโดยการไหลของลมร้อนแบบผสม ส่วนภาพประกอบที่ 7 เป็นการอบแห้งขนมขบเคี้ยวแบบ 2 ขั้นตอนโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสายพาน

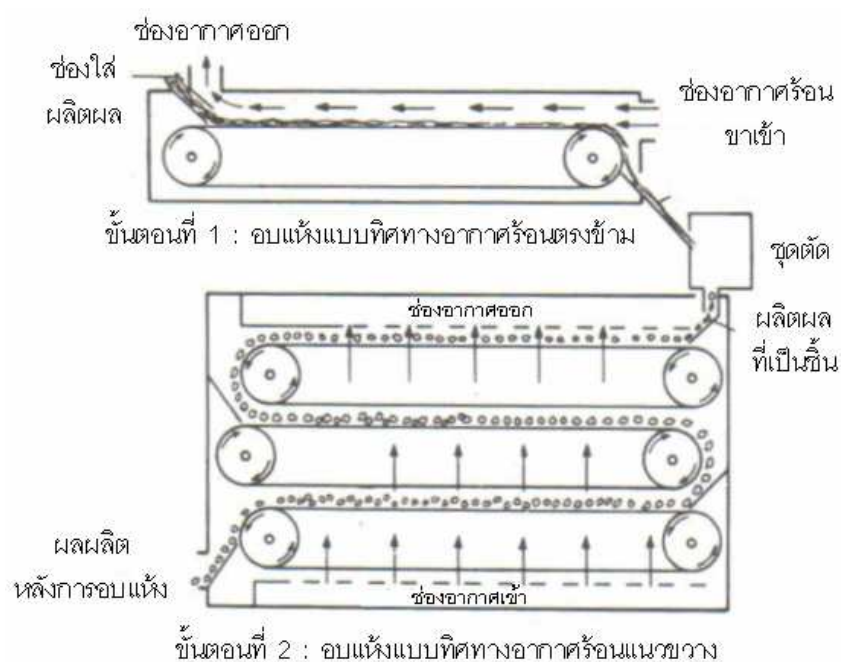
การประยุกต์ใช้เครื่องทำแห้งแบบสายพานอีกชนิดคือเครื่องทำแห้งแบบโฟม(foam mat drying) ซึ่งอาหารเหลว เช่น น้ำผลไม้จะเปลี่ยนไปเป็นฟองที่มีความคงตัวด้วยการเติมสารเพิ่มความคงตัว และเติมก๊าซไนโตรเจนหรืออากาศ ฟองนี้จะแผ่อยู่บนสายพานที่มีรูเล็กๆ อยู่ด้านล่างโดยมีความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร และถูกทำให้แห้งโดยเร็วใน 2 ขั้นตอน โดยอากาศที่ไหลขนานและสวนทางกัน วิธีการทำแห้งโฟมอาหารนี้จะเร็วกว่าวิธีทำแห้งอาหารเหลวที่มีความหนาใกล้เคียงกันถึง 3 เท่า อาหารแห้งที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆและมีรูพรุนอยู่จะถูกลบเป็นแป้นซึ่งมีคุณสมบัติดูดคืนน้ำได้ดี การทำแห้งแบบรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำนี้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อเสียคือต้องใช้พื้นที่ผิวมากเพื่อให้ได้อัตราการผลิตสูงทำให้ต้องใช้เงินลงทุนสูงตามไปด้วย



ภาพประกอบ 6 การไหลของอากาศแบบผสมระหว่าง co-current และ counter-current

ที่มา: วิไล รังสาดทอง. (2545). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. หน้า 265. (อ้างอิงจาก Karel.

(1975).)



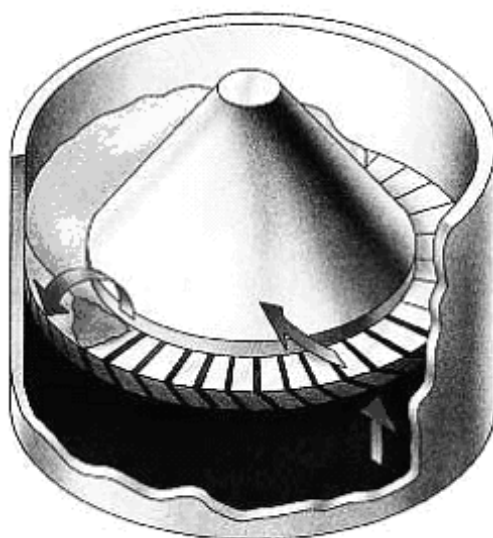
ภาพประกอบ 7 การอบแห้งขนมขบเคี้ยวแบบ 2 ขั้นตอน โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสายพาน

ที่มา: วิไล รังสาดทอง. (2545). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. หน้า 265. (อ้างอิงจาก Karel.

(1975).)

1.4.1.4 เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ (Fluidized bed dryers) เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ประกอบด้วยถาดโลหะซึ่งมีรูตาข่ายอยู่ด้านล่างและบรรจุของอาหารชิ้นเล็กๆ สูงประมาณ 15 เซนติเมตร อากาศร้อนจะพัดขึ้นจากด้านล่างของเครื่องและทำให้อาหารเกิดการผสมและกวนอย่างรุนแรง (fluidized) อากาศจึงทำหน้าที่เป็นตัวกลางทำแห้งและทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์ด้วย วิธีนี้เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของอาหารให้มากที่สุดทำให้การทำแห้งง่ายขึ้น เครื่องนี้อาจทำงานแบบกะหรือแบบต่อเนื่องก็ได้ ซึ่งแบบหลังมักจะมีฐานสั่นสะเทือนเพื่อช่วยให้อาหารมีการสั่น ในระบบต่อเนื่องอาหารจะเคลื่อนที่จากถาดหนึ่งไปยังอีกถาดหนึ่งซึ่งอาจมีทั้งหมดถึง 6 ถาดด้วยแรงโน้มถ่วงโลกเพื่อให้อัตราการผลิตที่สูง

เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์มีขนาดกะทัดรัด สามารถควบคุมสภาวะการทำแห้งได้ดี ให้ประสิทธิภาพด้านความร้อนและอัตราการทำแห้งสูง อาหารจะถูกผสมโดยการฟลูอิดไดซ์ในกระบวนการแบบกะทำให้ได้อาหารที่แห้งสม่ำเสมอ สำหรับการทำแห้งแบบต่อเนื่องช่วงความชื้นของผลิตภัณฑ์จะค่อนข้างกว้าง จึงต้องมีการใช้เครื่องอบแห้งแบบถังสำหรับการอบแห้งขั้นสุดท้าย การใช้งานเครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์จะใช้ได้กับอาหารชิ้นเล็กซึ่งสามารถทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์ได้โดยไม่เกิดความเสียหายเช่นเดียวกับการแช่เยือกแข็งแบบฟลูอิดไดซ์ เช่น ถั่ว ผักแห้งเป็นแว่นหรือเป็นชิ้น เมล็ดธัญพืช อาหารที่เป็นแป้งหรืออาหารที่ขึ้นรูปด้วยเกลียวอัด

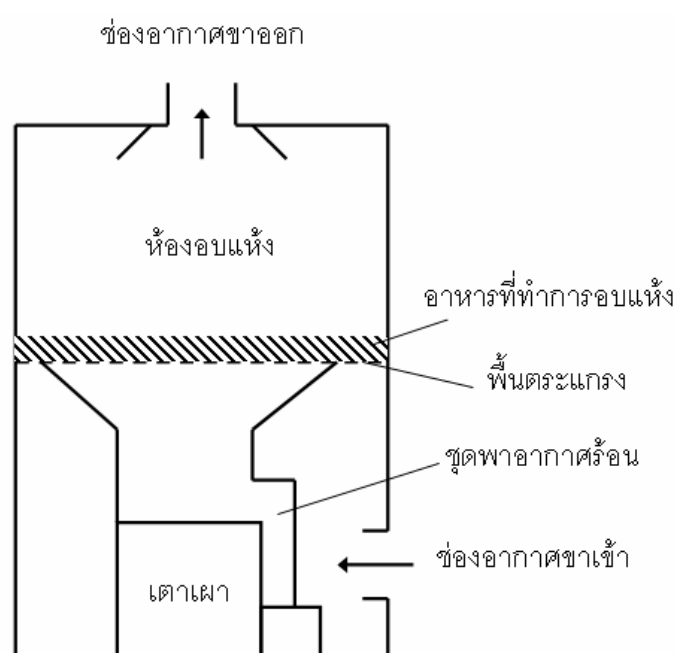


ภาพประกอบ 8 เครื่องอบแห้งแบบ Torbed dryer

ที่มา: Food processing. (2008). (Online).

Torbed dryer เป็นการพัฒนาเครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ขึ้นมาใหม่ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำแห้งอาหารที่ขึ้นๆได้ การฟลูอิดไดซ์ขึ้นอาหารเหล่านี้ทำได้โดยการหมุนรอบถึงรูป torus โดยอากาศร้อนที่เป่าโดยตรงจากเครื่องเผา เครื่องทำแห้งนี้จะได้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสูงมาก จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้งได้มาก ผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ชินผัก จะต้องการช่วงเวลาที่ทำให้เกิดการสมดุลเพื่อให้เกิดการกระจายความชื้นอย่างสม่ำเสมอ ก่อนการทำแห้งครั้งสุดท้าย เครื่องนี้จะทำงานกึ่งต่อเนื่องและควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ เหมาะสำหรับการทำผงอาหารเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนหลวมๆและการทำแห้งด้วยการพuff(puff drying) การย่าง การทำให้สุก และการเคลือบผิว

1.4.1.5 เครื่องอบแห้งแบบเตาเผา(Kiln dryers) เครื่องอบแห้งแบบเตาเผา มีลักษณะเป็นโครงสร้าง 2 ชั้น โดยมีห้องอบแห้งที่มีพื้นที่เป็นช่องๆ อยู่เหนือเตาเผา อากาศร้อนและสารที่ได้จากการเผาจะพัดผ่านกองอาหารที่หนาถึง 20 เซนติเมตรมีการใช้เครื่องนี้มาตั้งแต่ดั้งเดิมสำหรับการอบแห้ง แอปเปิ้ลแผ่นในสหรัฐอเมริกา ฮอปและข้าวมอลต์ในยุโรปการควบคุมสภาวะการทำแห้งค่อนข้างยาก และใช้เวลาในการอบแห้งนาน ใช้แรงงานสูงเนื่องจากต้องคอยกลับผลิตภัณฑ์ ต้องใส่และยกอาหาร ออกเอง อย่างไรก็ตามเครื่องอบแห้งนี้มีความจุสูง สร้างง่ายและใช้ค่าดูแลต่ำ



ภาพประกอบ 9 เครื่องอบแห้งแบบเตาเผา

ที่มา: วิไล รัชสาดทอง. (2545). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. หน้า 268. (อ้างอิงจาก Karel. (1975).)

1.4.1.6 เครื่องอบแห้งแบบนิวเมติกส์ (Pneumatic dryers) อาหารที่เป็นชิ้นหรือผงจะถูกอบแห้งอย่างต่อเนื่องในท่อโลหะแนวนอนหรือแนวตั้งในเครื่องอบแห้งแบบนิวเมติกส์ และใช้ไซโคลนเพื่อแยกผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วออกมา ชิ้นอาหารซึ่งโดยทั่วไปจะมีความชื้นน้อยกว่า 40% จะถูกส่งเข้าไปในท่อและแขวนลอยอยู่ในอากาศร้อน มีการปรับความเร็วลมในเครื่องอบแห้งแบบตั้งเพื่อให้ชิ้นอาหารอยู่แยกกัน อาหารที่เบากว่าหรือเล็กกว่าจะแห้งเร็วกว่าและเคลื่อนที่ไปยังไซโคลนเร็วกว่าชิ้นอาหารที่หนักกว่า ชิ้นอาหารที่ชื้นกว่าจะยังคงแขวนลอยอยู่จนกว่าจะมีความชื้นน้อยลง ท่อนี้มีลักษณะเป็นวงต่อเนื่องสำหรับอาหารที่ต้องการให้อยู่ในเวลานานขึ้น และอาหารจะวนเวียนอยู่ในท่อจนกว่าจะแห้งพอสมควร มีการใช้เครื่องอบแห้งเป็นท่อบางที่อุณหภูมิสูง เวลาสั้น เพื่อขยายโครงสร้างของเซลล์แป้งในมันฝรั่งหรือแครอทเพื่อให้ได้โครงสร้างที่แข็งและมีรูปทรง นับเป็นการพัฒนาปรับปรุงอัตราการทำให้แห้งและการกำจัดน้ำวิธีเก่าให้ดียิ่งขึ้น

เครื่องอบแห้งแบบนิวเมติกส์ใช้เงินลงทุนต่ำแต่ให้อัตราการทำให้แห้งและประสิทธิภาพของความร้อนสูง ควบคุมสภาวะการอบแห้งได้ดี นิยมใช้วิธีนี้หลังการอบแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อผลิตอาหารที่มีความชื้นต่ำกว่าปกติ เช่น นมแบบพิเศษ ไข่ผงหรือมันฝรั่งเม็ด มีการประยุกต์การอบแห้งดังกล่าวเป็นการขนส่งอาหารไปในตัวจึงนับเป็นวิธีที่มีประโยชน์ในแง่การจัดการวัตถุดิบ

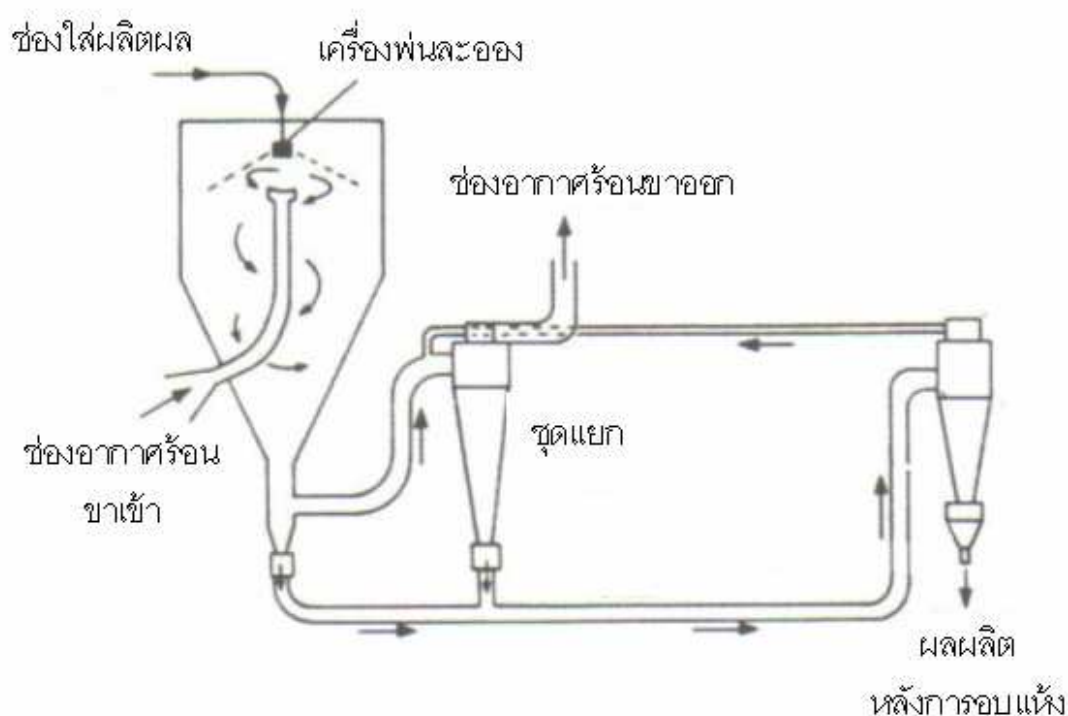
1.4.1.7 เครื่องอบแห้งแบบโรตารี (Rotary dryers) เครื่องอบนี้ประกอบด้วยภาชนะโลหะทรงกระบอกหมุน ที่เอียงเป็นมุมเล็กน้อยอยู่ภายใน และมีซี่โลหะเพื่อทำให้อาหารเคลื่อนที่ผ่านไอน้ำหรือลมร้อนขณะที่เคลื่อนที่อยู่ในเครื่องอบ อากาศอาจเคลื่อนที่แบบขนานหรือแบบสวนทางกันก็ได้ การและเพิ่มพื้นที่ผิวของอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนจะช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งและทำให้อบแห้งอาหารได้อย่างสม่ำเสมอ วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีแนวโน้มที่จะจับตัวหรือเกาะกันในเครื่องอบแห้งแบบสายพานหรือถาด อย่างไรก็ตามความเสียหายเนื่องจากการขีดข่วนหรือการกระทบกันในเครื่องทำให้เครื่องนี้ใช้ได้กับอาหารไม่กี่ชนิด เช่น ผลึกน้ำตาล หรือเมล็ดโกโก้

1.4.1.8 เครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอย (Spray dryers) อาหารที่ผ่านการทำให้ข้นมาแล้วจะถูกทำให้กระจายและกลายเป็นอนุภาคหรือหยดน้ำเล็กๆซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-200 ไมโครเมตร และถูกพ่นเข้าไปในกระแสน้ำของลมร้อนที่อุณหภูมิ 150-300 องศาเซลเซียส ในถังอบขนาดใหญ่ มีการควบคุมอัตราการส่งวัตถุดิบเพื่อให้อุณหภูมิของอากาศที่จุดทางออกเท่ากับ 90-100 องศาเซลเซียส ซึ่งเทียบได้กับอุณหภูมิกระเปาะเปี๊ยก เท่ากับ 40-50 องศาเซลเซียส อะตอมไมซ์ หรือการพ่น (atomization) ที่สมบูรณ์แบบและสม่ำเสมอสำคัญมากสำหรับการอบแห้งที่ดี

เครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอยมีหลายขนาดตั้งแต่ขนาดโรงงานต้นแบบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้อยแต่มูลค่าสูง เช่น เอนไซม์และกลีเซอรีน จนถึงขนาดอุตสาหกรรมซึ่งสามารถผลิตนมผงได้ถึง 80,000 กิโลกรัมต่อวัน ข้อดีที่สำคัญของเครื่องนี้คือ ใช้เวลาสั้น สามารถผลิตอาหาร

แบบต่อเนื่องในปริมาณมากได้ ใช้แรงงานต่ำ การใช้และดูแลรักษาง่ายแต่ข้อจำกัดคือ ใช้เงินลงทุนสูง และอาหารที่จะส่งเข้ามาต้องมีความชื้นสูง เพื่อให้มั่นใจว่าสามารถที่จะบีบเข้ามาในเครื่องอะตอมไมเซอร์ได้ ทำให้ต้องใช้พลังงานเพื่อกำจัดความชื้นและเกิดการสูญเสียสารหอมระเหยสูง ปัจจุบันมีการนำเครื่องอบแห้งแบบสายพาน และเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ มาใช้แทนเครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอย เนื่องจากมีความกะทัดรัดและประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่า

ความหนาแน่นก่อนอัด(bulk density) ของผงอาหารขึ้นอยู่กับขนาดของผงที่แห้งแล้วและขึ้นอยู่กับว่าผงดังกล่าวเป็นของแข็งแน่นหรือกลวง ลักษณะของอาหารและสภาวะการอบแห้งจะเป็นตัวกำหนดความหนาแน่นก่อนอัด เช่นความสม่ำเสมอของขนาดหยาบ อุณหภูมิ ปริมาณของแข็งและการให้อากาศแก่ของเหลวที่ถูกส่งเข้ามา มีการใช้เครื่องทำให้เกาะกันเป็นก้อน (agglomerator) และอบแห้งอีกครั้ง

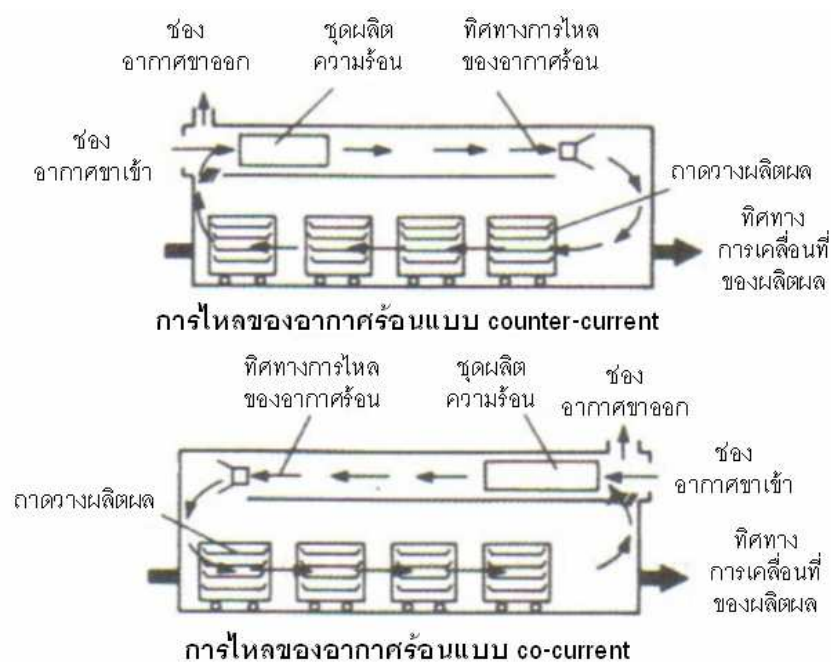


ภาพประกอบ 10 การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอยทั่วไป
ที่มา: วิไล รังสาดทอง. (2545). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. หน้า 271.

1.4.1.9 เครื่องอบแห้งแบบสายพานแขวน (Trough dryers หรือ belt-trough dryers)

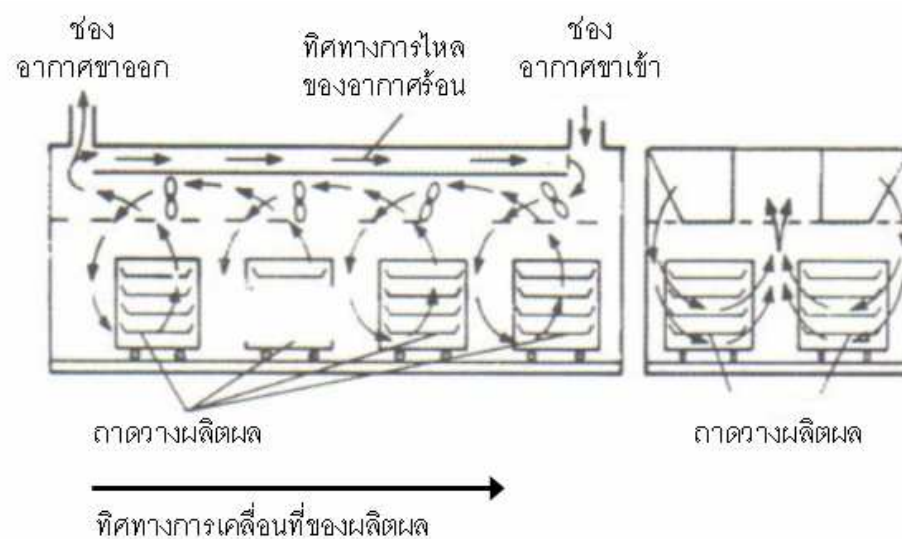
เครื่องนี้ใช้ในการอบแห้งอาหารชนิดเล็กๆ ที่มีขนาดสม่ำเสมอ เช่น ถั่วหรือผักหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมบนสายพานที่มีรูเล็กๆอยู่ด้านล่าง โดยสายพานนี้จะแขวนหลวมๆ ระหว่างลูกกลิ้ง มีการเป่าลมร้อนผ่านกองอาหาร การเคลื่อนที่ของสายพานจะทำให้เกิดการผสมและกลับอาหารให้เกิดผิวน้ำใหม่สัมผัสกับลมร้อนเสมอ การผสมจะช่วยให้ความชื้นเคลื่อนที่จากด้านในอาหารออกมายังผิวน้ำและระเหยไปอย่างรวดเร็วเมื่ออาหารสัมผัสกับลมร้อน เครื่องอบแห้งนี้ทำงานแบบ 2 ขั้นตอน คือ อบอาหารจนได้ความชื้น 50-60% และ 15-20 % มีการใช้เครื่องอบแห้งแบบถังในขั้นตอนการทำแห้งตอนสุดท้าย เครื่องอบแห้งนี้ให้อัตราการอบแห้งสูง คือใช้เวลา 55 นาที สำหรับผัก เทียบกับ 5 ชั่วโมงถ้าใช้เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง ควบคุมได้ดี และผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความเสียหายจากความร้อนน้อยมาก อย่างไรก็ตามเครื่องนี้ไม่เหมาะกับอาหารที่มีความหนืดสูง

1.4.1.10 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (Tunnel dryers) อาหารชิ้นบางๆ จะถูกอบบนถาดซึ่งซ้อนอยู่บนรถบรรทุกที่จัดให้เคลื่อนที่กึ่งอัตโนมัติผ่านอุโมงค์ที่บุฉนวนไว้ และใช้เครื่องอบแห้งแบบถังในการทำแห้งอาหารขั้นสุดท้าย โดยทั่วไปอุโมงค์ขนาด 20 เมตร จะใช้รถบรรทุก 12-15 คัน ที่มีน้ำหนักทั้งหมด 5,000 กิโลกรัม ความสามารถในการอบแห้งอาหารในปริมาณมากในเวลาสั้นๆ (5-16 ชั่วโมง) ทำให้เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกา ในปัจจุบันวิธีนี้ได้รับความนิยมมากกว่าการอบแห้งแบบใช้สายพาน และเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ เนื่องจากมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่าวิธีอื่น ใช้ค่าแรงต่ำและให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่า



ภาพประกอบ 11 เปรียบเทียบการไหลของอากาศแบบ co-current และ counter-current

ที่มา: วิไล รังสาดทอง. (2545). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. หน้า 273. (อ้างอิงจาก Karel. (1975).)



ภาพประกอบ 12 การไหลของอากาศแบบผสมในเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์

ที่มา: วิไล รังสาดทอง. (2545). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. หน้า 273. (อ้างอิงจาก Karel. (1975).)

1.4.1.11 การอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์หรือพลังงานแสงอาทิตย์ (Sun and solar drying) การอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ซึ่งไม่ต้องใช้เครื่องมืออบแห้งใดๆ เป็นวิธีที่แพร่หลายที่สุดในการแปรรูปอาหารในโลกนี้ มีผลไม้หรือมีเมล็ดพืชมากกว่า 250,000,000 ตันต่อปี ที่ใช้วิธีอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ในบางประเทศผู้ผลิตจะวางอาหารบนหลังคาหรือพื้นเรียบอื่นๆ และมีการกลับอาหารไปมาจนกว่าอาหารจะแห้ง วิธีที่ซับซ้อนกว่าเป็นการอบแห้งโดยพลังงานแสงอาทิตย์(solar drying) ซึ่งเก็บพลังงานแสงอาทิตย์มาให้ความร้อนแก่อากาศและนำอากาศร้อนมาใช้ในการอบแห้งอาหาร สามารถแบ่งเครื่องอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้ดังต่อไปนี้

1.4.1.11.1 เครื่องอบแห้งแบบใช้การหมุนเวียนตามธรรมชาติโดยตรง เป็นการใช้เครื่องเก็บ กับตู้อบแห้งร่วมกัน

1.4.1.11.2 เครื่องอบแห้งโดยตรงโดยใช้เครื่องเก็บแยกต่างหาก

1.4.1.11.3 เครื่องอบแห้งแบบใช้การพาบังคับโดยทางอ้อมเป็นการใช้เครื่องเก็บและตู้อบแห้งแยกกัน

เครื่องอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ไม่ต้องการพลังงานอื่นหรือความเชี่ยวชาญของแรงงานแต่มีข้อเสียที่สำคัญคือ ควบคุมสภาวะการอบแห้งยาก ให้อัตราการตากแห้งต่ำกว่าเครื่องอื่นๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำและมีความแตกต่างกันสูง นอกจากนั้นการตากแห้งยังขึ้นอยู่กับฤดูกาล ใช้เวลานานและใช้แรงงานสูงกว่าวิธีอื่นๆ

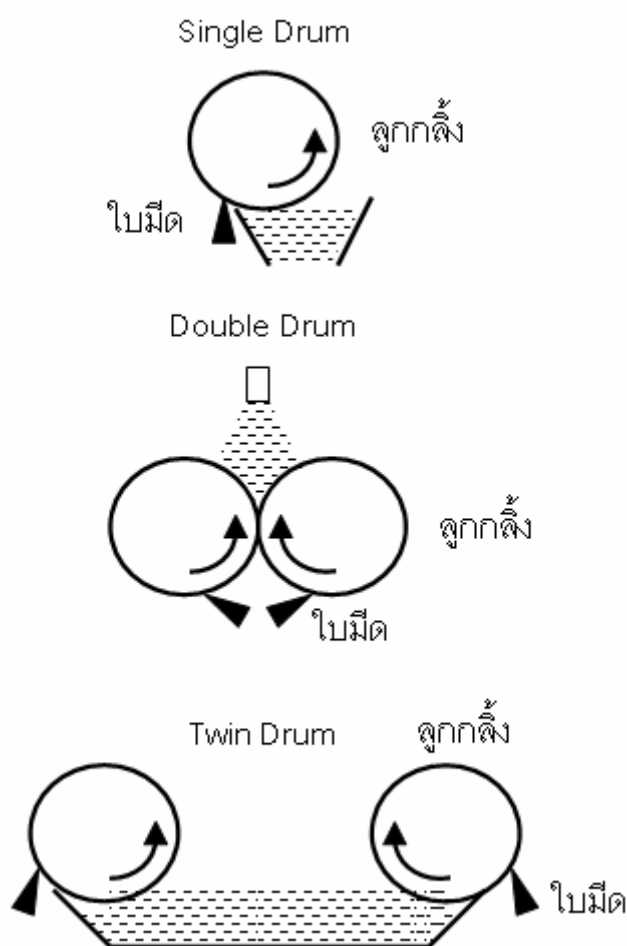
1.4.2 เครื่องอบแห้งแบบใช้ผิวร้อน(Heated – surface dryer)

เป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้การนำความร้อนทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น ข้อดีที่สำคัญเทียบกับการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนคือ

- ไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่อากาศปริมาณมากก่อนเริ่มการอบแห้ง และมีประสิทธิภาพการใช้ความร้อนสูง
- อาจทำการอบแห้งโดยไม่ต้องมีก๊าซออกซิเจนเกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นการป้องกันอาหารที่เกิดการออกซิไดซ์ได้ง่าย

การใช้พลังงานทั่วไปจะเท่ากับ 2,000 -3,000 กิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหยไป เทียบกับ 4,000-10,000 กิโลจูลต่อน้ำที่ระเหยไป 1 กิโลกรัมสำหรับเครื่องอบแห้งลมร้อน อย่างไรก็ตามค่าการนำความร้อนต่ำและต่ำลงอีกเมื่ออาหารแห้งขึ้น ดังนั้นจึงควรใช้ชั้นอาหารบางๆ เพื่อให้สามารถนำความร้อนได้รวดเร็วโดยไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อน อาหารอาจจะหดตัวระหว่างการอบแห้งและกระดกออกจากผิวร้อนทำให้เกิดอุปสรรคต่อการถ่ายเทความร้อน จึงต้องมีการควบคุมอย่างระมัดระวังโดยคำนึงถึงคุณสมบัติการไหลของอาหารเหลว เพื่อลดการหดตัวให้มากที่สุดและเพื่อกำหนดความหนาของชั้นอาหารที่ส่งเข้ามาด้วย

1.4.2.1 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง(Drum dryers หรือ roller dryers) มีการให้ความร้อนลูกกลิ้งที่ทำจากโลหะเหล็กทรงกระบอกกลวงซึ่งหมุนอย่างช้าๆ โดยใช้ไอน้ำความดันสูงที่อุณหภูมิ 120-170 องศาเซลเซียส อาหารจะแผ่เป็นชั้นบางๆ อย่างสม่ำเสมอบนผิวของลูกกลิ้งโดยการจุ่มการฉีดพ่น หรือการแผ่บางๆ อาหารแห้งนี้จะถูกขูดออกโดยใบมีดซึ่งจะสัมผัสกับผิวของลูกกลิ้งอย่างสม่ำเสมอ ก่อนที่ลูกกลิ้งจะหมุนครบ 1 รอบ (ภายใน 20 วินาที ถึง 30 วินาที) เครื่องอบแห้งนี้อาจประกอบด้วยลูกกลิ้ง 1 หรือ 2 ลูก ก็ได้ นิยมใช้ลูกกลิ้งเดี่ยวมากกว่าเพราะมีความยืดหยุ่นในการใช้มากกว่าแบบ 2 ลูกเนื่องจากมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของลูกกลิ้งที่ใช้ในการอบแห้งสูงกว่า ดูแลรักษาง่ายไม่มีความเสียหายเนื่องจากวัตถุโลหะหล่นลงมาระหว่างลูกกลิ้ง



ภาพประกอบ 13 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยวและลูกกลิ้งคู่
ที่มา: วิไล รังสาดทอง. (2545). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. หน้า 275.

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งให้อัตราการอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง เหมาะกับอาหารเหลวที่มีขนาดอนุภาคใหญ่เกินกว่าใช้เครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอย อย่างไรก็ตามต้องใช้เงินลงทุนสูงและอาหารที่ไวต่อความร้อนอาจเกิดความเสียหายได้ จึงทำให้มีผู้หันไปใช้เครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอย มีการใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งในการอบแห้งอาหารชนิดต่างๆ ได้แก่ อาหารแห้งหลายชนิด มันฝรั่งแผ่น ผลิตภัณฑ์ที่ทำให้สุกแล้ว ธัญพืช กากน้ำตาล ชุปแห้งและเนื้อผลไม้บางชนิด โปรตีนทางนม

มีการพัฒนาการออกแบบลูกกลิ้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการรวมทั้งการใช้ลูกกลิ้งเสริมเพื่อแยกและเติมอาหารใหม่ระหว่างการอบแห้ง หรือการใช้ความเร็วลมสูงเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้งหรือการใช้อากาศเย็นเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลง มีการใช้ลูกกลิ้งในระบบสุญญากาศเพื่ออบแห้งอาหารที่อุณหภูมิต่ำลง แต่ทั้งนี้จะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงและกำจัดการใช้ระบบดังกล่าวกับอาหารที่ไวต่อความร้อนที่มีคุณค่าสูงเท่านี้

1.4.2.2 เครื่องอบแห้งสุญญากาศ(Vacuum band และ vacumm shelf dryers)

อาหารเหลวจะถูกแผ่หรือฉีดพ่นลงบนสายพานโลหะซึ่งเคลื่อนที่ผ่านลูกกลิ้งกลวง 2 ลูก ในถังสุญญากาศที่ความดัน 1-70 ทอร์ อาหารจะถูกอบแห้งก่อนด้วยลูกกลิ้งและขดลวดที่ทำให้ร้อนด้วยไอน้ำหรือเครื่องทำความร้อนด้วยความร้อนซึ่งติดตั้งไว้เหนือสายพาน ลูกกลิ้งที่ทำให้เย็นด้วยน้ำเย็นลง และอาหารจะถูกขูดด้วยใบมีด ตู้อบแห้งสุญญากาศจะประกอบด้วยชั้นกลวงในตู้สุญญากาศ ขึ้นอาหารบางๆบรรจุอยู่บนถาดโลหะราบซึ่งจะสัมผัสกับอาหารได้ดี ความดันไอย่อยในตู้จะเท่ากับ 1-70 ทอร์ ใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำไหลผ่านชั้นเพื่อทำให้อาหารแห้ง

วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่ไวต่อความร้อนเนื่องจากสามารถอบแห้งได้อย่างรวดเร็ว เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนน้อย อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องระมัดระวังไม่ให้อาหารแห้งไหม้ติดถาดในตู้สุญญากาศ และการหดตัวจะลดการสัมผัสระหว่างอาหารกับผิวร้อนของเครื่องมือทั้ง 2 ชนิด เครื่องทั้งสองต้องใช้เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการค่อนข้างสูง แต่ให้อัตราการผลิตต่ำ

มีการใช้สายพานสุญญากาศและตู้อบแห้งสุญญากาศ เพื่อผลิตอาหารแห้งด้วยวิธีทำให้พอง Explosion puff drying เป็นวิธีอบแห้งอาหารบางส่วนให้อาหารมีความขึ้นปานกลางและปิดผนึกในตู้ความดัน มีการเพิ่มอุณหภูมิและความร้อนด้านในตู้ และลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว

ตาราง 1 ลักษณะของเครื่องอบแห้งชนิดต่าง ๆ

ชนิดของเครื่องอบแห้ง	ของ แห้ง		ของ เหลว	ปริมาณความชื้น				ขนาดชิ้นอาหาร			อัตราทำแห้งที่			ปริมาณความชื้น	
				เริ่มต้น	ความไว	ต่อความ	ร้อน	เล็ก	กลาง	ถึงใหญ่	ปาน	กลางถึง	ช้า	กลาง	ช้า
	แรง			สูง	ต่ำ						เร็ว				
Bin	○			○					○	○		○	○		○
Cabinet	○			○					○			○	○	○	
Conveyor	○			○					○			○	○	○	
Drum		○										○			○
Foam mat		○					○					○			○
Fluidized bed	○			○				○				○		○	
Kiln	○			○					○				○	○	
Pneumatic	○				○			○				○			○
Rotary	○			○				○				○			○
Spray		○					○					○		○	○
Trough	○			○			○	○				○		○	
Tunnel	○			○						○		○	○	○	○
Vacuum band		○					○					○		○	○
Vacuum shelf	○	○		○			○	○				○	○	○	○
Radiant	○							○				○			○
Microwave or dielectric	○				○			○				○			○

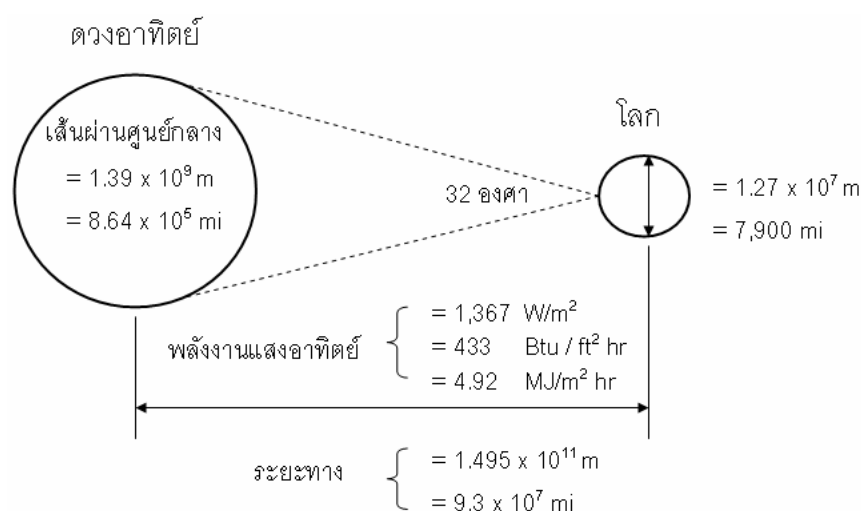
ที่มา : วิไล รัตนาทอง. (2545). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. หน้า 263.

2. พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) หมายถึง พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากการแผ่รังสีที่เกิดขึ้นภายในดวงอาทิตย์ ซึ่งได้จากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์หลายแบบและนำไปสู่การเปลี่ยนไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม โดยมวลที่สลายไปในปฏิกิริยาถูกเปลี่ยนเป็นพลังงาน ทำให้มวลของดวงอาทิตย์ลดลงพร้อมกับมีการปล่อยพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ต่าง ๆ ภายในดวงอาทิตย์จะเกิดปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์หลายแบบ ซึ่งอะตอมของไฮโดรเจนที่อยู่ในแกนกลางของดวงอาทิตย์จะทำปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นอะตอมของฮีเลียม เรียกกระบวนการดังกล่าวว่าปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชั่น (Nuclear Fusion) และปลดปล่อยพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาสู่อวกาศที่เรียกว่าการแผ่รังสีอาทิตย์

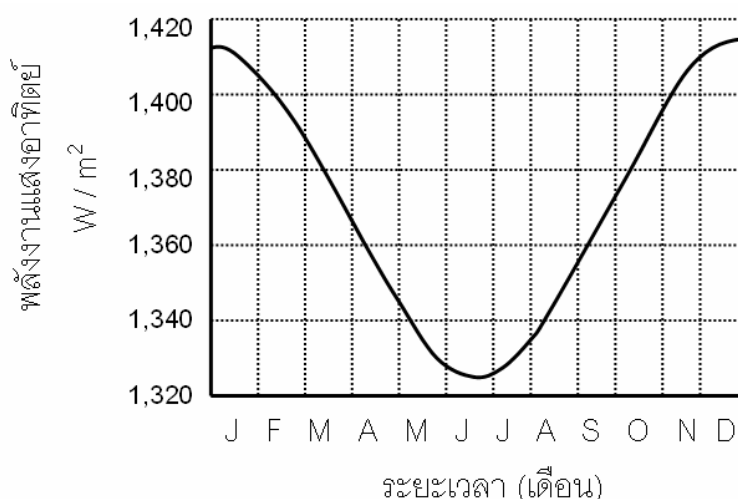
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์มีรัศมี 0.7×10^9 เมตรและโลกมีรัศมี 0.64×10^7 เมตร ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างดวงอาทิตย์และโลกเท่ากับ 1.5×10^{11} เมตร ความแตกต่างระยะห่างไกลสุดและใกล้ที่สุดมีค่าร้อยละ 1.7 จากค่าเฉลี่ย เมื่อมองจากโลก ดวงอาทิตย์จะรองรับมุมเท่ากับ 32 ลิปดา พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลก เป็นปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลกต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากของแสงอาทิตย์ที่ระยะห่างของโลกและดวงอาทิตย์เฉลี่ยซึ่งระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไปตลอดปีเนื่องจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี จึงทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลกมีค่าแตกต่างกันทุกวัน (อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์. 2543 : 101)



ภาพประกอบ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

ที่มา: อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์. (2543). *พลังงานเบื้องต้น*. หน้า 102. (อ้างอิงจาก Duffie; & Beckman. (1991).)



ภาพประกอบ 15 ปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งตารางเมตร
ที่มา: อุซาวดี ตันติวรานุรักษ์. (2543). *พลังงานเบื้องต้น*. หน้า 102. (อ้างอิงจาก Duffie; & Beckman. (1991).)

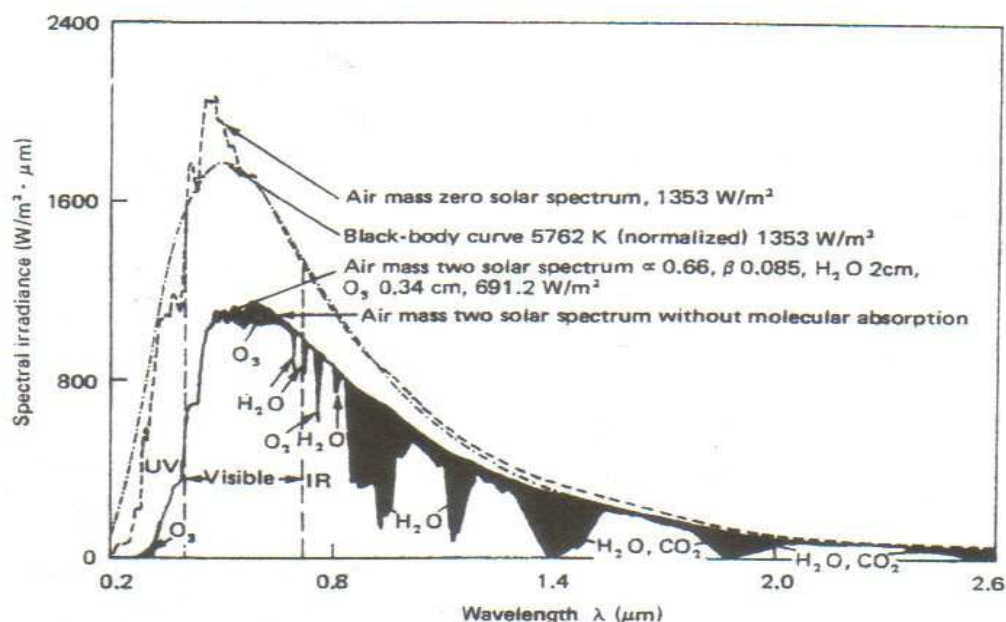
2.2 พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลก

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่แกนกลางของดวงอาทิตย์ดังกล่าวจะใช้เวลาหลายล้านปีที่จะเกิดการถ่ายเทพลังงานมาสู่พื้นผิวของดวงอาทิตย์ และใช้เวลา 8 นาทีที่พลังงานดังกล่าวจะแผ่รังสีผ่านอวกาศด้วยระยะทางประมาณ 149.5 ล้านกิโลเมตรมายังโลก การแผ่รังสีอาทิตย์ดังกล่าวใช้ความเร็วในการแผ่รังสี 3×10^8 เมตรต่อวินาที ซึ่งเรียกความเร็วดังกล่าวว่าความเร็วแสง

พลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วยรังสี 2 ประเภท คือ รังสีตรง และรังสีกระจาย พลังงานแสงอาทิตย์ประเภทรังสีตรงเป็นรังสีที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์โดยตรงเป็นรังสีขนาน นำมารวมกันเพื่อให้ความเข้มสูงได้ เช่นโดยใช้แว่นขยาย พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจายเป็นรังสีที่ออกจากตัวกลางอื่นที่ดวงอาทิตย์ส่งรังสีไปให้ เช่นท้องฟ้า รังสีประเภทนี้มีทิศทางแบบกระจาย ไม่อาจนำมารวมกันเพื่อเพิ่มความเข้มเหมือนอย่างพลังงานแสงอาทิตย์ ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส แสงอาทิตย์จะประกอบด้วยรังสีตรงเป็นส่วนใหญ่เช่นกว่า 80% เป็นแบบรังสีตรงที่เหลือเป็นรังสีแบบกระจาย ส่วนในวันที่ท้องฟ้าไม่แจ่มใสมีเมฆมากแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยรังสีกระจายเป็นส่วนใหญ่

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จะแปรอยู่ในช่วง 1.5×10^8 กิโลเมตร พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับนอกบรรยากาศที่ระยะห่างดังกล่าวจะมีค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งในชั้นบรรยากาศของโลกประกอบด้วยก๊าซ ชนิดต่างๆ ฝุ่นละออง และไอน้ำที่จะดูดซับรังสีที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์ และประกอบกับทิศทางของแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาของวัน (ค่าพารามิเตอร์ Air Mass) ก็จะมีผลต่อปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะได้รับ

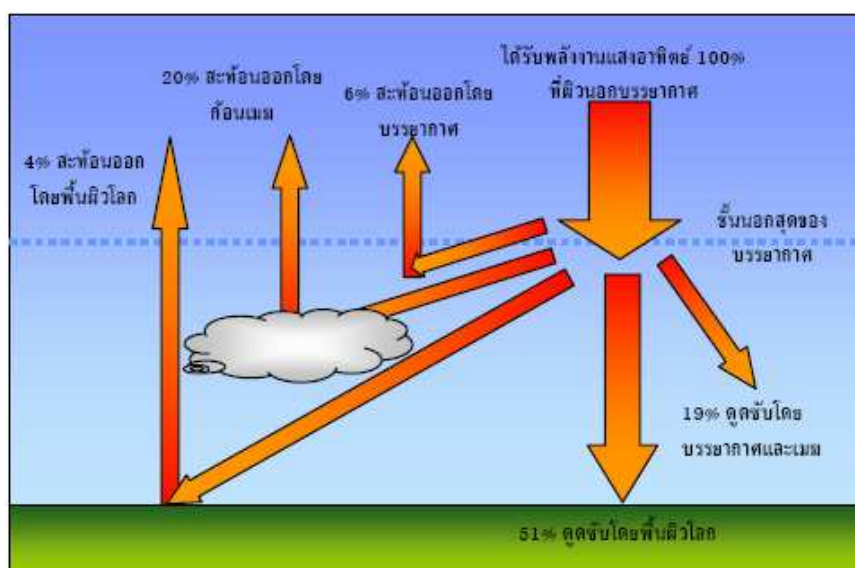
ที่พื้นผิวโลกด้วย โดยการกระจายของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ Air Mass ต่างๆ ได้แสดงไว้ดังนี้ (จรรยา บุญยุบล. 2539: 224-227)



ภาพประกอบ 16 การกระจายของพลังงานแสงอาทิตย์ที่แอร์แมสต่างๆ

ที่มา: อุซาวดี ตันติวรานุรักษ์. (2543). *พลังงานเบื้องต้น*. หน้า 107. (อ้างอิงจาก Duffie; & Beckman. (1991).)

ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลกนี้ ประมาณ 30 ส่วน สะท้อนกลับออกไปสู่นอกอวกาศโดยก้อนเมฆ โมเลกุลของก๊าซและฝุ่น และการสะท้อนจากพื้นผิวโลก พลังงานอีก 19% ส่วนถูกดูดซับไว้โดยโอโซนและก๊าซต่าง ๆ ในบรรยากาศ พลังงานที่เหลือประมาณ 51% ส่วนตกกระทบผิวโลก พลังงานที่ตกกระทบนี้ส่วนหนึ่งก่อให้เกิดกระแสลม กระแสน้ำในมหาสมุทร ทำให้พืชเจริญเติบโตและถูกเก็บสะสมไว้ในรูปของชีวมวลและเมื่อเกิดการทับถมของซากพืชซากสัตว์ที่ตายแล้ว โดยปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น แผ่นดินไหวซากพืชซากสัตว์ที่ถูกทับถมนี้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากแรงกดดันและความร้อนทำให้เปลี่ยนสภาพเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติ



ภาพประกอบ 17 สมดุลพลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา: โอภาส สุขหวาน. (2549). พลังงานแสงอาทิตย์. สารานุกรมศึกษาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 37: หน้า 40.

2.3 การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์

มีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์มานานหลายร้อยปีแล้ว เมื่อประมาณ 700 ปีก่อนคริสตศตวรรษมนุษย์รู้จักใช้เลนส์รวมแสงอาทิตย์เพื่อใช้จุดไฟกับไม้ ประมาณ 100 ปีที่ผ่านมาในประเทศฝรั่งเศสนักวิทยาศาสตร์ใช้แสงอาทิตย์จากแผ่นรับแสงอาทิตย์ (Solar Collector) ผลิตไอน้ำเพื่อใช้เป็นต้นกำลังในเครื่องจักรไอน้ำ และเมื่อต้นศตวรรษที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรเริ่มค้นหาวีธีที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้กันอย่างจริงจัง การพัฒนาที่สำคัญอันหนึ่งคือหม้อไอน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นในปี ค.ศ. 1936 โดยชาวอเมริกันชื่อ ชาร์ล กรีลีย์ แอบบอทท์ (Charles Greeley Abbott)

เครื่องทำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมอย่างมากในฟลอริดา รัฐแคลิฟอร์เนียและทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา ในภาคอุตสาหกรรมเริ่มมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงต้น ค.ศ. 1920s และหันมาใช้กันอย่างจริงจังก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ขยายตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนกระทั่งในช่วงปี ค.ศ. 1950s (ค.ศ. 1950-1959) เมื่อก๊าซธรรมชาติที่มีราคาต่ำได้กลายมาเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตความร้อนให้กับที่อยู่อาศัย ประชาชนโดยทั่วไปและรัฐบาลของประเทศต่าง ๆ ยังคงไม่เห็นความสำคัญของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์จนเกิดวิกฤติการณ์ขาดแคลนพลังงานในช่วงปี ค.ศ. 1970s (ค.ศ. 1970-1979) ในปัจจุบันมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างกว้างขวางในการใช้ความร้อนกับที่อยู่อาศัย น้ำ และเพื่อการผลิต

พลังงานไฟฟ้า ตัวอย่างของการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น แผงรับแสงอาทิตย์ การทำความร้อนให้กับอาคารและน้ำ การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และการใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้า

3. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

3.1 การเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน

เมื่อนำวัตถุมาวางรับแสงอาทิตย์ ผิวหน้าของวัตถุซึ่งมีค่าการดูดแสงอาทิตย์ใช้สัญลักษณ์เป็น α จะดูดแสงอาทิตย์และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนเก็บไว้ในเนื้อวัตถุสูงขึ้น กระบวนการนี้คือการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน เมื่ออุณหภูมิของวัตถุสูงกว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมจะมีการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุไปยังสิ่งแวดล้อมอัตราการถ่ายเทความร้อนดังกล่าวแปรผันไปตามผลต่างของอุณหภูมิของวัตถุกับสิ่งแวดล้อม เมื่ออุณหภูมิของวัตถุสูงขึ้นถึงระดับหนึ่งอัตราพลังงานความร้อนซึ่งถ่ายเทจากวัตถุไปยังสิ่งแวดล้อมจะเท่ากับอัตราพลังงานที่วัตถุได้รับจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิของวัตถุจะไม่เพิ่มต่อไป เรียกอุณหภูมิที่สภาวะนี้ว่า “อุณหภูมิที่สภาวะอุณหภูมิคงตัว” ถ่ายเทความร้อนออกจากวัตถุ ก่อนที่อุณหภูมิของวัตถุสูงกว่าอุณหภูมิที่สภาวะอุณหภูมิคงตัวที่จะได้รับความร้อนส่วนหนึ่งซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ได้ (จรรยา บุญยุบล.2529:235)

3.2 ระบบอบแห้ง

ผลิตผลทางเกษตรเช่น ข้าว ข้าวโพด ถ้าภายหลังการเก็บเกี่ยวยังมีความชื้นสูงจะต้องทำให้แห้งก่อนจึงจะเก็บไว้ได้ เพื่อนำออกขายในช่วงเวลาที่ได้ราคาดี การตากพืชผลดังกล่าวที่ชาวนาและชาวไร่ใช้อยู่คือการตากลาน การตากลานต้องใช้พื้นที่มากและถ้าอยู่ในช่วงฤดูฝนก็จะทำได้ยาก การนำระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นวิธีหนึ่งทำให้พืชผลแห้งได้

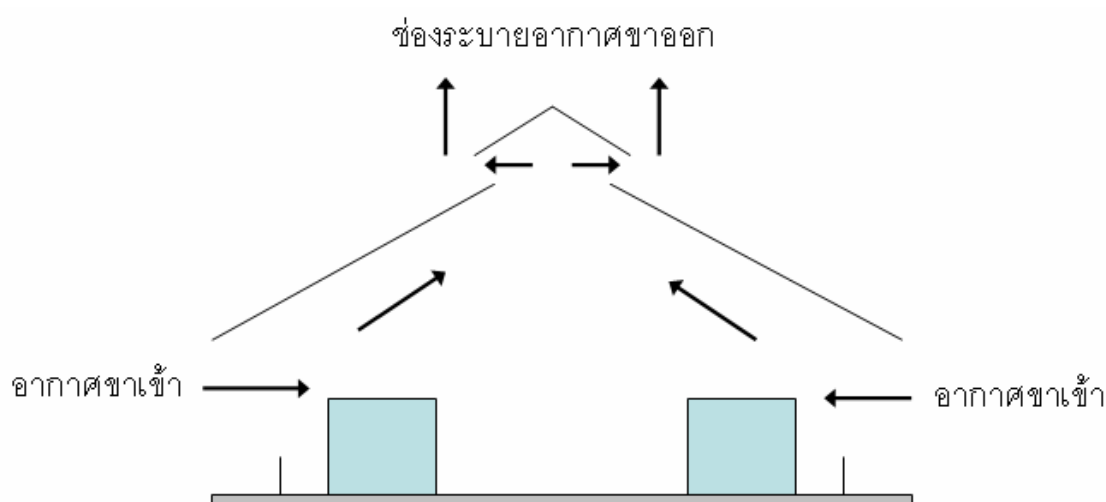
ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งเป็นสองประเภทคือ ประเภทพาสซีฟหรือแบบพาความร้อนตามธรรมชาติและประเภทแอทีฟหรือแบบพาความร้อนโดยบังคับอากาศ

ระบบอบแห้งประเภทแอทีฟจะให้สมรรถนะสูงกว่าระบบประเภทพาสซีฟทำให้ระบบอบพืชผลทางเกษตรได้ในอัตราที่สูงกว่า อีกทั้งในวันที่มีปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำเช่นมีเมฆหนาที่บอากาศภายในระบบพาสซีฟจะมีอุณหภูมิสูงไม่พอ อากาศจะไม่ไหลผ่านระบบ ระบบอบแห้งประเภทพาสซีฟจึงใช้งานไม่ได้ แต่ระบบประเภทแอทีฟยังคงทำงานได้ (จรรยา บุญยุบล.2529:247-248)

3.2.1 เครื่องอบแห้งระบบพาสซีฟหรือแบบพาความร้อนตามธรรมชาติ

เครื่องอบแห้งแบบนี้ยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

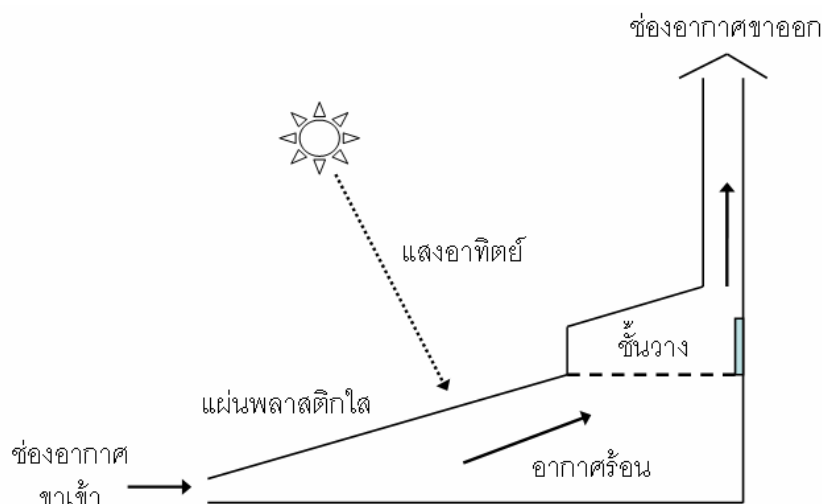
3.2.1.1 แบบรับแสงอาทิตย์โดยตรง (direct mode) เครื่องอบแห้งแบบนี้ แสงอาทิตย์จะตกลงบนผลผลิตที่ต้องการอบแห้งโดยตรง ความชื้นจากผลผลิตจะถูกพาขึ้นไปด้านบนโดยการไหลของอากาศที่เกิดจากการพาความร้อนตามธรรมชาติ แสงอาทิตย์จะส่งผ่านวัสดุโปร่งแสง ซึ่งอาจเป็นพลาสติกหรือกระจกก็ได้ แผ่นโปร่งแสงดังกล่าวทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ทั้งยังป้องกันฝุ่นละออง ฝน และแมลงกวนต่าง ๆ ด้วย



ภาพประกอบ 18 เครื่องอบแห้งแบบรับแสงอาทิตย์โดยตรง

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2547). เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. หน้า 12. (อ้างอิงจาก Sodha; et al. (1987).)

3.2.1.2 แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (indirect mode) เครื่องอบแห้งแบบนี้ จะมีแผงรับแสงอาทิตย์ ซึ่งทำหน้าที่โดยอาศัยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (nature convection) อากาศร้อนที่ได้จะลอยตัวและไหลผ่านผลผลิตที่ต้องการอบแห้ง

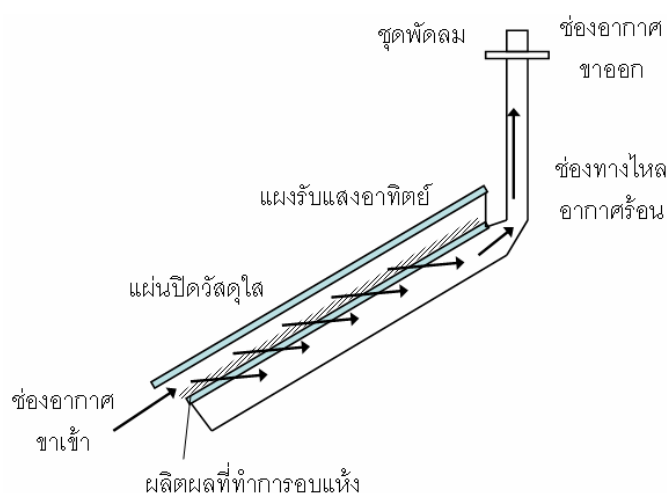


ภาพประกอบ 19 เครื่องอบแห้งแบบรับแสงอาทิตย์ทางอ้อม

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2547). *เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์*. หน้า 13. (อ้างอิงจาก Bala. (1998).)

3.2.2 เครื่องอบแห้งระบบแอกทีฟหรือแบบพาความร้อนโดยบังคับอากาศ (forced-convection solar dryer)

3.2.2.1 แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง เครื่องอบแห้งแบบนี้ ผลผลิตที่ต้องการอบแห้งจะรับแสงอาทิตย์โดยตรงอากาศร้อนจะถูกดูดผ่านผลิผลโดยอาศัยพัดลมดังตัวอย่างในภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 เครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงและใช้พัดลม

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2547). *เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์*. หน้า 13. (อ้างอิงจาก Sodha; et al. (1987).)

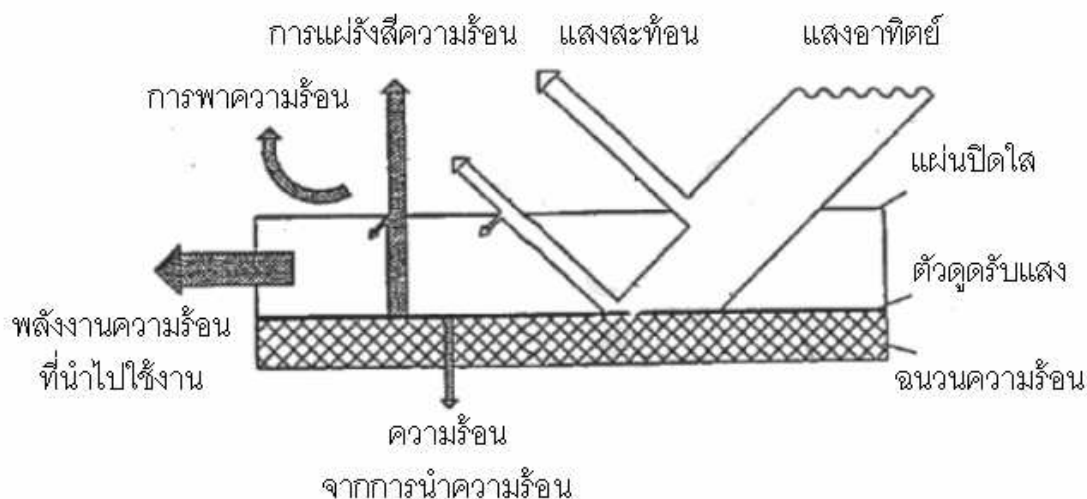
3.2.2.2 แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม เครื่องอบแห้งแบบนี้จะมีแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบซึ่งทำหน้าที่ผลิตอากาศร้อนแล้วเป่าหรือดูดผ่านส่วนที่บรรจุผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่แยกส่วนจากแผงรับแสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.2547:12-14)



ภาพประกอบ 21 เครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อมและใช้พัดลมดูดอากาศ
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2547). เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. หน้า 14.

3.3 แผงรับแสงอาทิตย์และการประยุกต์ใช้ในเครื่องอบแห้ง

การอบแห้งมีหลักการคือ จะทำอย่างไรให้อากาศมีความร้อน แล้วผ่านอากาศร้อนเข้าไปยังผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจะอบแห้งนั้นเพื่อที่จะพาความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ออกไป การทำให้อากาศร้อนโดยพลังงานแสงอาทิตย์นั้น เราจะใช้แผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งประกอบขึ้นอย่างง่าย ๆ และพื้นของแผงรับแสงอาทิตย์อาจทำด้วยวัสดุที่เป็นฉนวน อาทิ ไม้อัดซึ่งมีท่ออยู่ด้านบนทาสีดำ เพื่อที่จะดูดความร้อนส่วนฟาดแผงรับแสงอาทิตย์จะใช้วัสดุโปร่งแสง ซึ่งจะเป็นกระจกหรือพลาสติกก็ได้ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะคล้ายกับกล่องรูปสี่เหลี่ยม โดยให้อากาศร้อนไหลจากแผงรับแสงอาทิตย์เข้าสู่เครื่องอบแห้ง



ภาพประกอบ 22 การถ่ายเทความร้อนในพื้นที่รับแสงอาทิตย์

ที่มา: รัฐวิทย์ ปางวัชรกร. (2545). *การพัฒนาเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์*.

หน้า 29.

ส่วนประกอบหลักทั้ง 3 ส่วนควรมีคุณสมบัติดังนี้

แผ่นปิดใส (Transparent cover) ควรมีคุณสมบัติทนทานต่อสภาพอากาศและลดการสูญเสียความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสูง ดังนั้นวัสดุที่นำมาใช้ในส่วนนี้จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. ยอมให้แสงอาทิตย์ผ่านได้สูง
2. ควรดูดซับรังสีอินฟราเรตได้สูงและยอมให้รังสีอินฟราเรตผ่านได้ต่ำ
3. ทนทานต่อสภาพอากาศต่างๆ ได้ดีเช่น ฝน ลม อุณหภูมิอากาศ
4. ติดตั้งและทำความสะอาดง่าย
5. น้ำหนักเบา

ฉนวนความร้อน (Insulation) ทำหน้าที่ลดการสูญเสียความร้อนจากตัวดูดซับรังสี ดังนั้นในส่วนประกอบนี้คุณสมบัติหลักคือไม่ยอมให้ความร้อนไหลผ่านออกไปนั่นเอง ฉนวนความร้อนจึงต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีค่านำความร้อนที่ต่ำ
2. ทนทานต่ออุณหภูมิสูง
3. ดูดซับน้ำได้ต่ำ
4. ป้องกันจากการกัดแทะจากหนูและแมลง
5. ยากต่อการไหม้ไฟ
6. การยืดและหดตัวต่ำ

ตัวดูดซับรังสี (Absorber) ทำหน้าที่ดูดซับรังสีจากแสงอาทิตย์และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนโดยถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศเหนือผิวตัวดูดซับรังสี ดังนั้นตัวดูดซับรังสีจึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากจึงจำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติดังนี้

1. มีค่าการดูดซับสูง
2. ค่าการปลดปล่อยต่ำ
3. ทนความร้อนสูง
4. มีค่านำความร้อนสูง
5. ไม่ขยายหรือหดตัวเมื่อถูกความร้อน
6. ไม่เกิดสนิมได้ง่าย
7. ฝุ่นเกาะติดได้ยาก
8. มีอายุการใช้งานได้นาน

ในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของตู้อบแห้งนั้น จะใช้หลักการที่จะทำให้อากาศที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์นั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยที่แผงรับแสงอาทิตย์มีขนาดเท่าเดิม ตามปกติแผงรับแสงอาทิตย์จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการใช้งานดังนี้ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อนุตร จำลองกุล.2545:57-59)

3.3.1 แผงรับแสงอาทิตย์ที่มีตัวดูดแสงมีลักษณะเป็นแผ่นราบ แบ่งออกเป็นหลายชนิดดังภาพประกอบ ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นแบบของแผงรับแสงอาทิตย์ที่จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานมีค่าสูงขึ้น เนื่องจาก

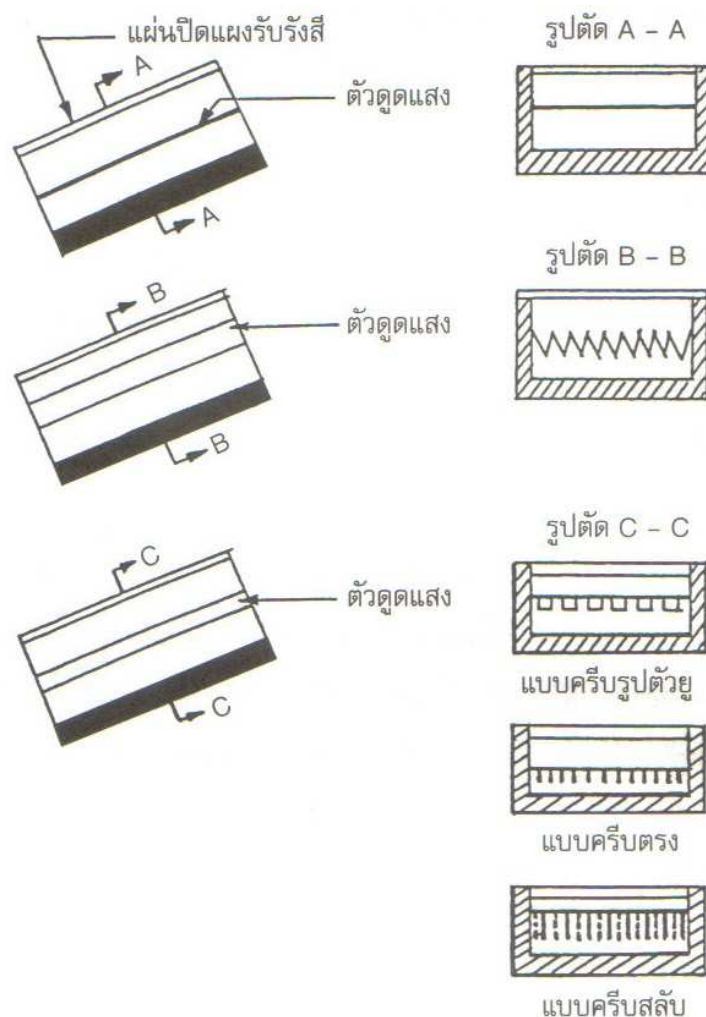
3.3.1.1 การที่พื้นแผ่นดูดแสงอาทิตย์ด้านหลังมีความหยาบ หรือขรุขระ จะเป็นการเพิ่มลักษณะการไหลของอากาศแบบปั่นป่วนและเป็นการเพิ่มการพาความร้อน

3.3.1.2 การใส่ครีปจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนและการไหลแบบปั่นป่วน ทำให้เกิดการพาความร้อนมากขึ้น

3.3.2 แผงรับแสงอาทิตย์ที่มีตัวดูดแสงมีลักษณะเป็นรูปทูน ในกรณีแผงรับแสงอาทิตย์มีตัวดูดแสงมีลักษณะเป็นแผ่นราบนั้น ถ้าเราไม่ทาสีดำหรือเคลือบพื้นผิวที่มีความสามารถในการดูดแสงไว้ จะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนมากเมื่อแสงอาทิตย์ส่องมากระทบ และยังเกิดการลดลงของความดันอากาศในตัวรับแสงกับฉนวนด้านล่าง เพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้นำแผงรับแสงอาทิตย์ที่มีตัวดูดแสงมีลักษณะเป็นรูปทูนมาใช้ ซึ่งมีข้อได้เปรียบดังต่อไปนี้

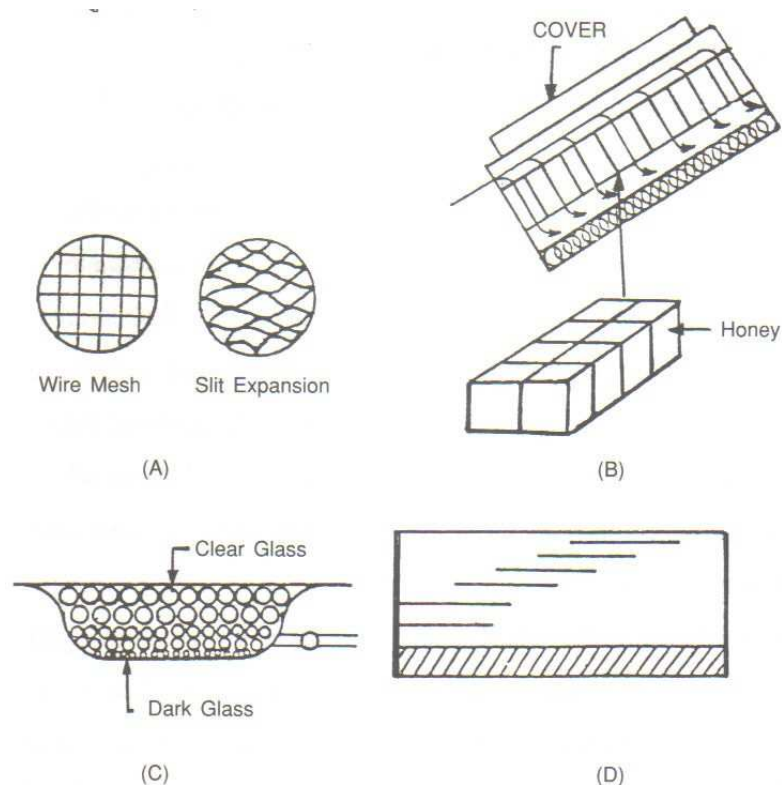
3.3.2.1 แสงอาทิตย์ส่องผ่านเข้าไปยังตัวดูดแสงมากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัสดุทูน อากาศเย็นที่เข้าสู่แผงรับแสงอาทิตย์จะอยู่บริเวณเหนือตัวดูดแสงและจะได้

ความร้อนจากตัวดูดแสงนี้โดยที่บริเวณชั้นบนจะเย็นกว่าชั้นล่าง ดังนั้นอากาศที่ผ่านตัวดูดแสงแบบรูปพรุนจะได้รับการถ่ายเทความร้อนไปมากกว่าตัวดูดแสงแบบแผ่นราบ



ภาพประกอบ 23 ลักษณะต่างๆ ของแผงรับแสงอาทิตย์ที่มีตัวดูดแสงเป็นแผ่นราบ
ที่มา: อนุตร จำลองกุล. (2545). พลังงานหมุนเวียน. หน้า 58.

3.3.2.2 แรงเสียดทานของอากาศที่ไหลผ่านตัวดูดแสงแบบรูปพรุน จะมีค่าน้อยกว่าแบบแผ่นราบ ตัวดูดแสงแบบรูปพรุน ได้แก่ ชั้นเศษแก้ว โดยที่ชั้นบนจะเป็นแก้วใสส่วนชั้นล่างจะเป็นแก้วสีดำ นอกจากนี้แผ่นกระจกที่วางซ้อนเหลื่อมกันก็คือ ตัวดูดแสงแบบรูปพรุนเช่นกัน



ภาพประกอบ 24 ลักษณะต่างๆ ของตัวดูดรังสีแบบบุพรุน
ที่มา: อนุตร จำลองกุล. (2545). พลังงานหมุนเวียน. หน้า 59.

3.3.3 การสมดุลพลังงานสำหรับการอบแห้ง

การคำนวณสมดุลพลังงานเนื่องจากการอบแห้งได้จากสมการ

$$M_w L = M_a C_p (T_i - T_f) \quad (2-1)$$

- เมื่อ M_w คือ น้ำหนักของน้ำที่หายไปหลังการอบแห้ง
 M_a คือ น้ำหนักของอากาศที่ใช้ออบแห้ง
 L คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ
 C_p คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่ เท่ากับ $1.1 + 0.0488M$
 T_i คือ อุณหภูมิของอากาศที่อบแห้ง
 T_f คือ อุณหภูมิของอากาศที่อบแห้งหลังจากผ่านวัสดุอบแห้ง
 M คือ ความชื้นของผลผลิต

ปัญหาในการอบแห้งเครื่องอบแห้งก็คือ การคำนวณหาอุณหภูมิของอากาศที่จะใช้ในการอบแห้งและปริมาณของอากาศร้อนที่จะใช้ เราสามารถหาค่า M_w ได้จากสมการ

$$M_w = \frac{m_i (M_i - M_f)}{100 - M_f} \quad (2-2)$$

เมื่อ M_w คือ มวลของน้ำที่ต้องการระเหย (kg)

m_i คือ มวลของผลิตภัณฑ์แห้งก่อนทำการอบแห้ง (kg)

M_i คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนทำการอบแห้ง (% w.b.)

M_f คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นภายหลังจากทำการอบแห้ง (% w.b.)

ตามปกติแล้วค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ที่อุณหภูมิ 30 °C จะเท่ากับ 2.4 MJ/kg ซึ่งเป็นค่าน้ำอิสระ (free water) แต่ถ้าเป็นการระเหยของไอน้ำในเมล็ดพืชแล้ว ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอจะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นภายในเมล็ดโดยที่ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิและความชื้นเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามจะเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 20 % ดังนั้นการอบแห้งเมล็ดพืชจะกำหนดให้ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอเท่ากับ 2.8 MJ/kg

จากนั้นคำนวณปริมาตรความร้อนที่จำเป็นต้องใช้จากสมการดังต่อไปนี้

จากสมการ

$$Q_{dry} = M_w L \quad (2-3)$$

เมื่อ Q_{dry} คือ ปริมาณความร้อนที่จำเป็นต้องใช้ (MJ)

M_w คือ มวลของน้ำที่ต้องการระเหย (kg)

L คือ ความร้อนที่ต้องใช้ระเหยน้ำ 1 kg (MJ/kg)

3.3.4 การคำนวณหาพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ การอบแห้งจะต้องมีการทำให้ความร้อนของอากาศที่ผ่านวัสดุอบแห้งมีอุณหภูมิสูงขึ้น เราสามารถคำนวณหาพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ได้จาก

$$A_T = \frac{Q_{dry}}{\eta H_T N_d} \quad (2-4)$$

เมื่อ A_T คือ พื้นที่รับแสงอาทิตย์ (m^2)

H_T คือ ความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์บนพื้นที่ราบ ($MJ / m^2 \cdot day$)

N_d คือ จำนวนวันที่ใช้ในการอบแห้งแต่ละครั้ง (day)

η คือ ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งในฐานะที่เป็นแผงรับแสงอาทิตย์ (decimal)

โดยความเข้มของแสงจากดวงอาทิตย์ที่เป็นค่าเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน.2547)

พื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์จะต้องมีขนาดเพียงพอ ที่จะดูดความร้อนให้ได้ปริมาณที่พอเหมาะ และส่งผ่านอากาศร้อนไปยังชั้นวัสดุอบแห้งต่อไป ตัวดูดความร้อนอาจทำได้โดยใช้โครงเหล็กและไม้อัดทาสีดำ หรือเป็นซีเมนต์เคลือบสีดำ ด้านบนปิดด้วยฝาครอบที่เป็นกระจกหรือพลาสติกใส ในการคำนวณหาขนาดพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ จะต้องทราบค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ด้วย ในทางปฏิบัติอาจจะประมาณอย่างคร่าวๆ ได้ว่าพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์จะมีขนาดเป็น 3 เท่าของพื้นที่รองรับวัสดุอบแห้ง

3.3.5 อัตราการไหลของอากาศ

อัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสม จะทำให้การอบแห้งวัสดุทางการเกษตรได้ ปริมาณความชื้นสุดท้ายตามที่ต้องการ เราสามารถคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งได้จากสมการสมดุลพลังงาน และโดยการใช้แผนภูมิอากาศชื้น (Psychrometric Chart)

เพื่อหาอุณหภูมิของอากาศบริเวณทางออกของเครื่องอบแห้ง ด้วยการตั้งสมมุติฐานว่าเกิดการสมดุลทางความร้อนและความชื้นระหว่างอากาศ และเมล็ดพืชที่ปริมาณความชื้นเฉลี่ยระหว่างปริมาณความชื้นเริ่มต้นและหลังจากการอบแห้ง

อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านชั้นต่างๆ ของเครื่องอบแห้งขึ้นอยู่กับ Air Pressure Gradient (dp/dx) สำหรับในการที่ค่า Air Pressure Gradient น้อยกว่าอัตราการไหลของอากาศในระบบ จะเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับ Air Pressure Gradient การไหลของอากาศเกิดขึ้นได้เนื่องจาก Natural Convection แต่ในกรณีที่ dp/dx น้อยกว่า 50 Pa/m เราสามารถคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศได้จากสมการ

$$V = C \frac{dp}{dx} \quad (2-5)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านชั้นวัสดุอบแห้ง , m/min-m

dp คือ ผลต่างของความดันบริเวณทางเข้าและออกของชั้นวัสดุอบแห้ง , pa

dx คือ ผลต่างของระยะพื้นล่างกับพื้นผิวบนวัสดุอบแห้ง , m

C คือ ค่าคงที่ของ Air Pressure Gradient จะมีค่าประมาณ 0.03 m/Pa-min

สำหรับเมล็ดพืชที่แห้งและสะอาดมีการจัดเรียงตัวกันอย่างหลวมๆ ค่า C จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความชื้นของผลผลิตเพิ่มขึ้น และจะลดลงเมื่อชั้นของวัสดุอบแห้งมีความหนาแน่นมาก ในกรณีที่ Air Pressure Gradient มีค่ามากกว่า 50 Pa /m ค่า C จะลดลง การไหลของอากาศจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ดังนั้นสมการที่ (2-5) จึงใช้ไม่ได้

ชั้นสำหรับวางวัสดุอบแห้งนั้นควรจะมีพื้นที่ของรูเจาะอย่างน้อยที่สุด 10% ของพื้นที่ทั้งหมด

3.3.6 ความแตกต่างความดันของอากาศ เนื่องจากความหนาของวัสดุอบแห้งที่บริเวณทางเข้า-ทางออกของชั้นวัสดุอบแห้ง

เพื่อที่จะทำให้อากาศร้อนที่จะใช้ในการอบแห้งวัสดุอบแห้ง ซึ่งมีความหนาแตกต่างกันสามารถไหลผ่านชั้นวัสดุอบแห้งได้ จะต้องออกแบบให้เกิดความแตกต่างความดันอากาศบริเวณทางเข้าและบริเวณทางออกของชั้นวัสดุอบแห้ง ให้เพียงพอที่จะทำให้อากาศร้อนสามารถไหลผ่านเอาชนะความต้านทานของแผ่นรองชั้นของวัสดุอบแห้งได้

3.3.7 ความหนาของชั้นวัสดุอบแห้ง

วัสดุอบแห้งที่มีความหนา จะต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของอากาศ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการอบแห้ง วัสดุอบแห้งที่มีความหนาจะต้านทานต่อการไหลของอากาศมากขึ้นด้วย ดังนั้นการออกแบบเครื่องอบแห้งให้ได้อัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสม และมีผลต่างของความดันอากาศที่บริเวณทางเข้าและทางออกของชั้นวัสดุอบแห้งที่เพียงพอ ที่จะทำให้การไหลของอากาศร้อนสามารถไหลผ่านชั้นวัสดุอบแห้งและดึงเอาความชื้นออกไปได้ตามที่ต้องการ

3.4 ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง

ในการหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งนั้นจะเป็นการคิดคำนวณอัตราการแห้งของผลผลิตกับพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งต่อหน่วยเวลา ซึ่งในที่นี้ก็หมายถึงอัตราการแห้งของผลผลิต โดยทั่วไปอัตราการแห้งของผลผลิตทางการเกษตรจะแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (constant-rate regime) ซึ่งเป็นช่วงแรกของการแห้ง และช่วงอัตราการแห้งลดลง (falling-rate regime) ซึ่งต่อจากช่วงแรก ในช่วงอัตราการแห้งคงที่การระเหยของน้ำจะเกิดที่ผิวของผลผลิต ลักษณะการระเหยจะคล้ายกับการระเหยของน้ำจากภาชนะ เราสามารถเขียนเป็นอัตราการแห้งในช่วงเวลานี้เป็นรูปสมการได้ดังนี้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. 2547: 9-10)

$$\frac{dM}{dt} = \frac{h_c A}{L} (T_a - T_{sur}) \quad (2-6)$$

เมื่อ	$\frac{dM}{dt}$	คือ อัตราการแห้ง (kg / s)
	h_c	คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฟิล์มอากาศที่อยู่เหนือผิวผลผลิต
	A	คือ พื้นที่ผิวของผลผลิต (m^2)
	L	คือ ความร้อนแฝงของน้ำในผลผลิต (J/kg)
	T_a	คือ อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง (K)
	T_{sur}	คือ อุณหภูมิที่ผิวของผลผลิต (K)

สำหรับช่วงที่อัตราการแห้งลดลง (falling-rate regime) โดยทั่วไปเราสามารถเขียนอัตราการแห้งในรูปสมการได้ดังนี้

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \quad (2-7)$$

เมื่อ	M_e	คือ ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ของผลผลิต (%db)
	M	คือ ความชื้นของผลผลิต (%db)
	k	คือ ค่าคงที่การอบแห้ง (drying constant) (S^{-1})

ในการให้ความร้อนกับผลผลิตทางการเกษตรที่ใช้ในการทำให้น้ำระเหยออกจากผลผลิตเพื่อทำการอบแห้งนั้น ความร้อนที่ได้มาจากแหล่งผลิตความร้อนต่างๆ ซึ่งสามารถคำนวณออกมาเป็นหน่วยของพลังงานจูล (J) โดยใช้หน่วยของพลังงานความร้อนนี้ในการเปรียบเทียบกับอัตราการแห้งของผลผลิตที่ทำการอบแห้งได้ออกมาเป็นอัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งได้

ความชื้นของผลผลิต ณ ช่วงเวลาใด ๆ สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของตัวผลผลิตเองโดยสมการ คือ

$$M_f = 100 - \left[\frac{W_i \times (100 - M_i)}{W_f} \right] \quad (2-8)$$

เมื่อ	M_f	คือ ความชื้นที่ระยะเวลาใดๆ
	M_i	คือ ความชื้นเริ่มต้นก่อนอบ
	W_f	คือ น้ำหนักพริกที่ระยะเวลาใดๆ
	W_i	คือ น้ำหนักเริ่มต้น

3.4.1 การหาประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้
(รัฐธิปไตย ปางวัชรกร. 2545: 30-31; อ้างอิงจาก Rozis, 1997)

$$\eta_c = \frac{\text{Useful thermal power per square meter of collector}}{\text{Incident solar power per square meter on the collector plane}}$$

$$\eta_c = \frac{M_a C_p (T_{fo} - T_{fi})}{A_c G_T} \times 100$$

$$\eta_c = \frac{\text{พลังงานความร้อนที่นำไปใช้ได้}}{\text{ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อพื้นที่รับแสง}}$$

เมื่อ	η_c	คือ ประสิทธิภาพของตัวรับแสง , %
	G_T	คือ รังสีดวงอาทิตย์ , kW / m ²
	A_c	คือ พื้นที่รับแสง , m ²
	M_a	คือ มวลของอากาศที่ไหลเข้าตัวรับแสงอาทิตย์ , kg / s
	C_p	คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ , kJ / kg°C
	T_f	คือ อุณหภูมิอากาศที่ทางออกของตัวรับแสงอาทิตย์ , °C
	T_{fi}	คือ อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าของตัวรับแสงอาทิตย์ , °C

3.4.2 การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้ง

การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้งมีค่า เท่ากับปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อพลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ ดังสมการ

$$\eta = \frac{M_w h_{fg}}{\eta_c A_c G_T} \times 100 \quad (2-9)$$

เมื่อ	η	คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้ง , %
	η_c	คือ ประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์ , %
	G_T	คือ รังสีดวงอาทิตย์ , kW / m ²
	A_c	คือ พื้นที่รับแสงอาทิตย์ , m ²
	M_w	คือ มวลของน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ , kg
	h_{fg}	คือ ความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ , kJ / kg

3.4.3 ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการอบแห้ง ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการลดลงของความชื้นของวัตถุได้แก่

3.4.3.1 อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าสูง อัตราการแห้ง (drying rate) จะมีค่าสูงกว่ากรณีของอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ

3.4.3.2 ความชื้นสัมพัทธ์ อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะสามารถรับความชื้นที่ถ่ายเทจากวัตถุขึ้นได้มากกว่ากรณีที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง

3.4.3.3 ความเร็วอากาศที่ไหลผ่านวัตถุขึ้น ถ้าความเร็วอากาศมีค่าสูงความชื้นจากวัตถุจะถ่ายเทออกมาสู่อากาศได้ดีกว่ากรณีอากาศที่อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ แต่ผลดังกล่าวจะมีค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับผลจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. 2547: 10)

3.5 สมรรถนะทางกายภาพ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้มุ่งเน้นสมรรถนะทางกายภาพ 3 ด้านคือ ด้านการออกแบบและการใช้งาน , ความปลอดภัยในการใช้งาน และความสวยงาม ซึ่งเป็นรูปแบบของการประเมินผลวิธีการทางสถิติ โดยหลักของทางสถิติ คือการนำค่าคะแนนหรือการประเมินที่เป็นข้อมูลมาทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ย และหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาพิจารณาเป็นเกณฑ์ค่าเฉลี่ยต่างๆ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.5.1 การนำคะแนนที่ได้มาคำนวณ

3.5.1.1 หาค่าเฉลี่ยคณิต ค่าเฉลี่ย (Mean) โดยใช้สูตร

(ชูศรี วงศ์รัตนะ. 2546 : 35)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (2-10)$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3.5.1.2 หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) โดยใช้สูตร (ชูศรี วงศ์รัตนะ. 2546 : 65)

$$S = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}} \quad (2-11)$$

เมื่อ S คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum X$ คือ ค่าผลรวมของคะแนนแต่ละข้อ

N คือ จำนวนทั้งหมดของผู้ตอบแบบสอบถาม

3.5.2 กำหนดเกณฑ์ระดับคะแนน

กำหนดเกณฑ์ในการแปลงข้อมูลความหมายข้อมูลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยต่างๆ ดังต่อไปนี้
ค่าคะแนนเฉลี่ย

4.51-5.00	หมายถึง	ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก
3.51-4.50	หมายถึง	ผลการประเมินอยู่ในระดับดี
2.51-3.50	หมายถึง	ผลการประเมินอยู่ในระดับพอใช้
1.51-2.50	หมายถึง	ผลการประเมินอยู่ในระดับต้องปรับปรุง
1.00-1.50	หมายถึง	ผลการประเมินอยู่ในระดับใช้ไม่ได้

3.6 จุดคุ้มทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์

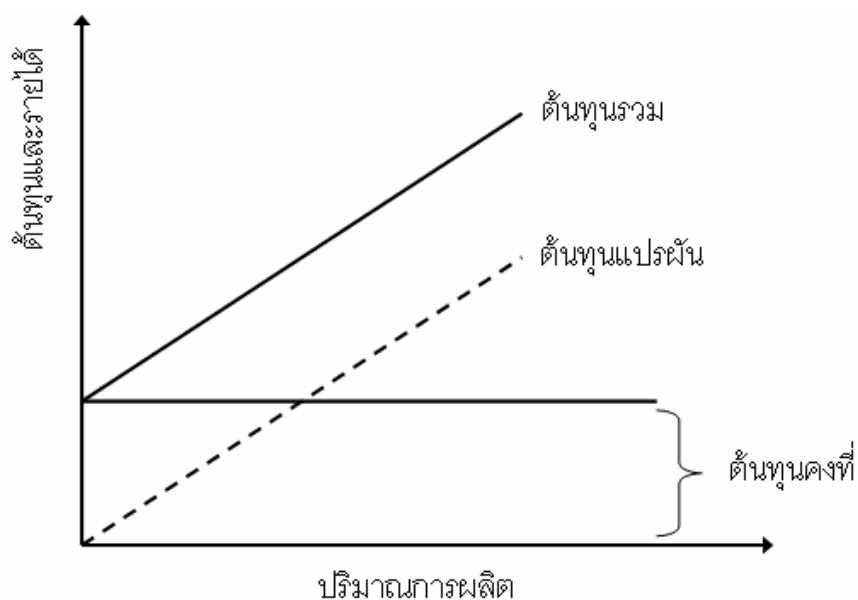
การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุน รายได้ และผลกำไร ซึ่งผันแปรไปตามความเปลี่ยนแปลงของปริมาณการผลิต บางเราก็เรียกว่าการวิเคราะห์ต้นทุน-ปริมาณผลิต-ผลกำไร การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางเศรษฐศาสตร์ของสถานะต่างๆ ในระยะสั้นและข้อมูลจะต้องค่อนข้างแน่นอนเพื่อการตัดสินใจที่ถูกต้อง ผลของการวิเคราะห์จะใช้ได้เมื่อเงื่อนไขและสภาพการณ์ต่างๆ ยังไม่เปลี่ยนแปลง การสร้างแผนภูมิ สำหรับการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน จะสามารถทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของกำไรและปริมาณการผลิตอย่างชัดเจน และเป็นประโยชน์สำหรับการกำหนดนโยบายการผลิตและการควบคุมค่าใช้จ่าย (วันชัย วิจิรวณิช และชอุ่ม พลอยมีค่า. 2547: 45)

3.6.1 ต้นทุนการผลิต และจุดคุ้มทุน

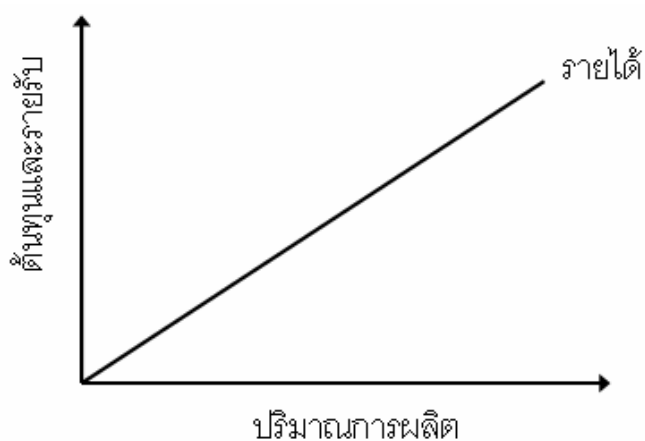
ในการคำนวณหาจุดคุ้มทุนจะคำนวณจากต้นทุนของการผลิตซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น ต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผัน โดยทำการเปรียบเทียบกับรายรับที่ได้จากการขาย ซึ่งมีความหมายว่าเป็นจุดซึ่งมีกำไรเป็นศูนย์นั่นเอง

3.6.1.1 การเขียนแผนภูมิของจุดคุ้มทุน จะใช้ระนาบที่ประกอบด้วยแกนในแนวนอน แทนปริมาณการผลิต และแกนในแนวตั้งแทนค่าใช้จ่ายและรายได้ จำนวนที่เป็นค่าใช้จ่ายสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนคงที่กับส่วนที่เป็นต้นทุนแปรผัน ตัวอย่างของส่วนที่เป็นต้นทุนคงที่ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร ค่าดอกเบี้ยของการลงทุน ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ในโรงงาน ฯลฯ ซึ่งจะเป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่แปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการผลิต หมายความว่า จะเป็นค่าใช้จ่ายซึ่งยังคงมีอยู่ไม่ว่าจะผลิตมากน้อยเพียงใด โดยมากจะเขียนเป็นเส้นตรงในแนวนอนหรือแกนแนวนอนขึ้นมาตามจำนวนเงินต้นทุนคงที่ ส่วนค่าใช้จ่ายแปรผันได้แก่พวกค่าแรงงานโดยตรงและค่าวัสดุโดยตรง ซึ่งจะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงตามปริมาณการผลิตและจะเขียนเส้นตรงมีแนวสูงขึ้นตามปริมาณที่มากขึ้นในแนวนอน (วันชัย วิจิรวณิช และชอุ่ม พลอยมีค่า. 2547: 48-50)

ส่วนรายได้จะแปรผันตามสัดส่วนกับปริมาณการขาย โดยจะเขียนเป็นเส้นตรงมีแนวสูงขึ้นตามปริมาณการผลิตที่มากขึ้น

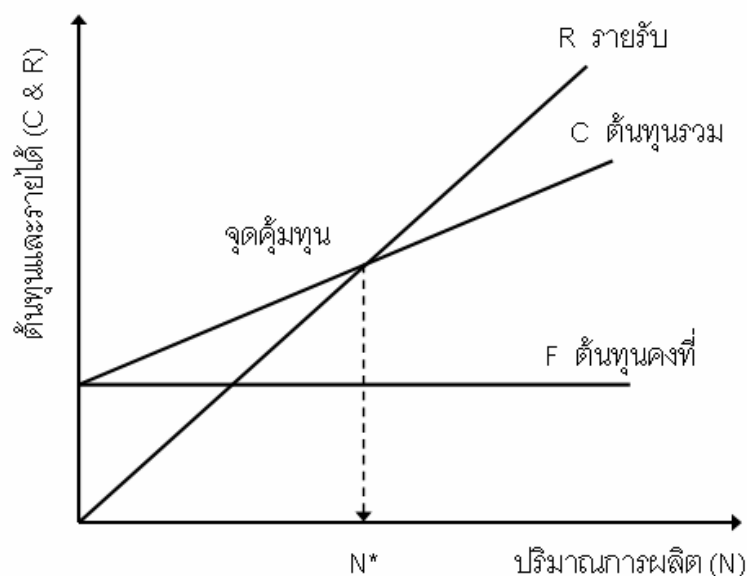


ภาพประกอบ 25 แผนภูมิแสดงต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน
ที่มา: วันชัย วิจิรนิช; และชอุ่ม พลอยมีค่า. (2547). *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม*. หน้า 48.



ภาพประกอบ 26 แผนภูมิแสดงรายได้
ที่มา: วันชัย วิจิรนิช; และชอุ่ม พลอยมีค่า. (2547). *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม*. หน้า 49.

เมื่อจัดเส้นทั้งสองชนิดเข้าในแผนภูมิเดียวกันจะเกิดจุดคุ้มทุนตรง จุดตัดระหว่างเส้นตรงของรายได้และเส้นตรงของค่าใช้จ่ายรวม



ภาพประกอบ 27 แผนภูมิของจุดคุ้มทุน

ที่มา: วันชัย วิจิรนิช; และชอุ่ม พลอยมีค่า. (2547). *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม*. หน้า 49.

แผนภูมิของจุดคุ้มทุนแสดงจุดตัดของรายได้และต้นทุนซึ่งสามารถอ่านค่า N^* เป็นปริมาณการผลิตที่จุดคุ้มทุนโดยมีสมการค่าใช้จ่ายและรายรับดังนี้

$$C = F + N^* \cdot V \quad (2-12)$$

เมื่อ F คือ ต้นทุนคงที่

V คือ ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

$$\text{จาก } R = N^* \cdot p \quad (2-13)$$

$$\text{ณ จุดคุ้มทุน } R = C$$

$$\text{แทนค่า } N^* \cdot p = F + N^* \cdot V$$

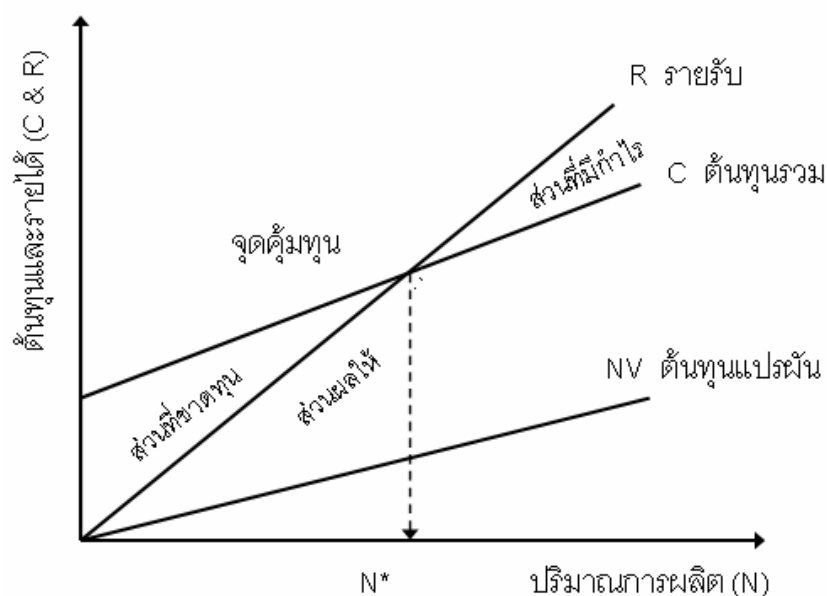
$$N^* = \frac{F}{p - V} \quad (2-14)$$

ปริมาณ N^* แสดงระดับปริมาณ ณ จุดคุ้มทุนซึ่งแทนความหมายได้ดังนี้

1. จำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตหรือขาย
2. ปริมาณการขายที่คิดเป็นจำนวนเงิน
3. ปริมาณเป็นอัตราร้อยละของการผลิตเต็มตามสมรรถภาพ

3.6.1.2 ผลต่างของราคาผลิตภัณฑ์และต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

จากแผนภูมิจุดคุ้มทุน ค่า $p - V$ เรียกว่า ส่วนผลให้ต่อหน่วย (Marginal Contribution) ซึ่งเป็นผลต่างของราคาผลิตภัณฑ์และต้นทุนแปรผันต่อหน่วย ส่วนปริมาณการผลิตที่มากกว่าค่า N^* จะแสดงในแผนภูมิซึ่งมีค่า $R > C$ แสดงว่าเป็นส่วนซึ่งกำไร และส่วนปริมาณการผลิตที่น้อยกว่า N^* จะแสดงการขาดทุนเพราะ $R < C$ โดยแสดงเป็นแผนภูมิส่วนผลให้ (Contribution) = $(p - V) N$ คือ พื้นที่ใต้เส้นรายได้ $(p \cdot N)$ ลบด้วยพื้นที่ใต้เส้นต้นทุนแปรผัน $(N \cdot V)$ ซึ่งมีค่ามากขึ้น เมื่อปริมาณการผลิตสูงขึ้น



ภาพประกอบ 28 แผนภูมิแสดงส่วนผลให้

ที่มา: วันชัย วิจารณ์ช; และชอุ่ม พลอยมีค่า. (2547). เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. หน้า 50.

3.6.1.3 ระยะเวลาในการคืนทุน

เมื่อทราบปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุนแล้วจึงนำปริมาณที่ได้มาคำนวณระยะเวลาในการผลิตซึ่งใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{ระยะเวลาในการคืนทุน} = \frac{\text{ปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุน}}{\text{ปริมาณการผลิตต่อระยะเวลา}}$$

ในอีกทางหนึ่งสามารถทำการคำนวณระยะเวลาคืนทุนจากการปรับปรุงโครงการได้โดยใช้ค่าผลต่างของกำไรมาคิดคำนวณกับค่าต้นทุนคงที่ที่ได้ลงทุนเพื่อพัฒนาปรับปรุง โดยใช้สมการดังนี้

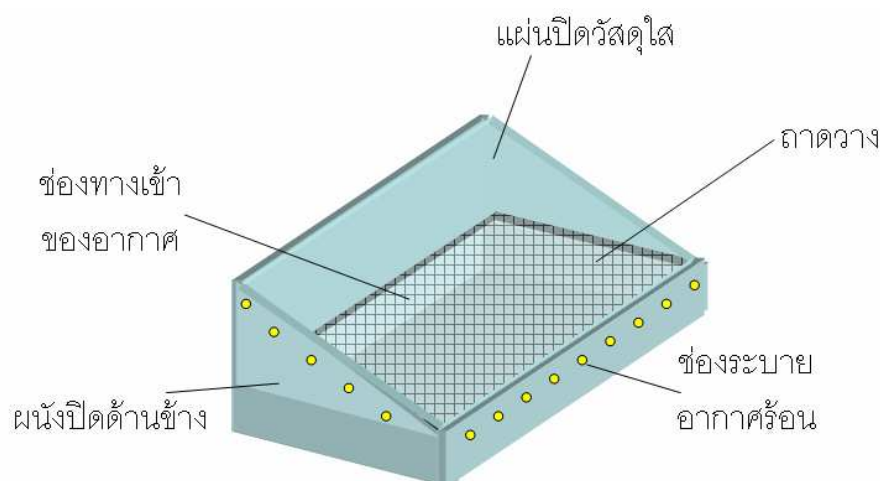
$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาในการคืนทุน} &= \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{ผลต่างของกำไรก่อนและหลังปรับปรุง}} \quad (2-15) \\ &= \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{ผลกำไรก่อนการปรับปรุงต่อปี} - \text{ผลกำไรหลังจากการปรับปรุงต่อปี}} \end{aligned}$$

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้ง ซึ่งใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนมีการวิจัยหลายแบบซึ่งสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

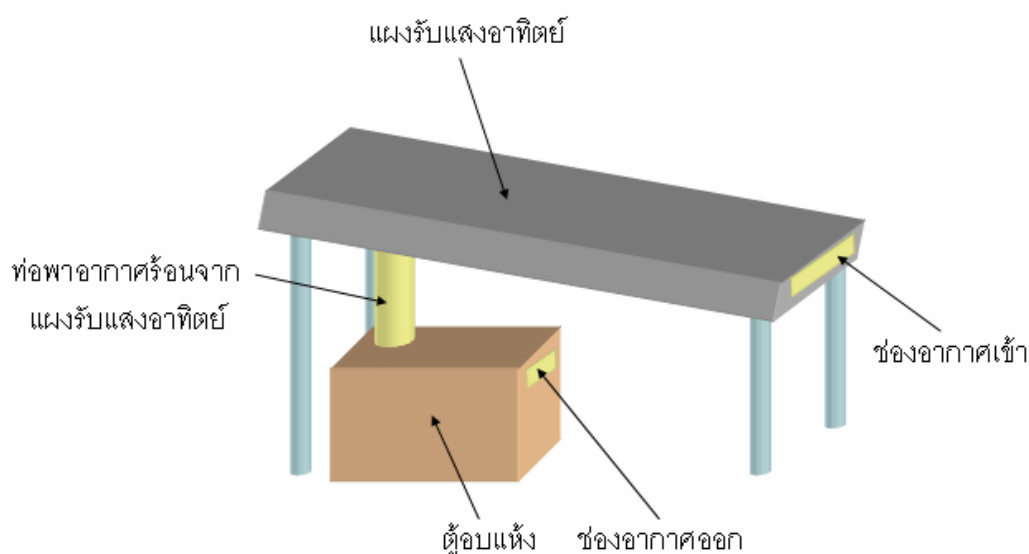
4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องภายในประเทศ

วิบูลสวัสดิ์ และคณะ (2520) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งที่มีลักษณะเป็นตู้ โดยมีพื้นที่รับแสง 0.23 ตารางเมตร ปิดด้วยกระจกใสทำมุมเอียง 18 องศา กับแนวระดับ จากการทดลองอบผ้าชุบน้ำพบว่า มีอัตราการแห้งประมาณ $4.2 \text{ kg/m}^2 - \text{day}$ ลักษณะของเครื่องอบแห้งดังกล่าวแสดงไว้ภาพประกอบ



ภาพประกอบ 29 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาโดย วิบูลสวัสดิ์ (Wibulswas) และคณะ

ทองประเสริฐ และคณะ (2528) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนโดยบังคับ (force convection drying) ซึ่งประกอบด้วยแผงรับแสงอาทิตย์ 3.74×4.48 เมตร มีพัดลมดูดอากาศผ่านชั้นของข้าวเข้าไปในยุง ลักษณะของเครื่องอบแห้งแสดงไว้ดังภาพประกอบ จากการนำเครื่องอบแห้งไปทดสอบอบข้าว 1 ตัน จากความชื้น 17-21 % (wb) ให้ลดลงเหลือ 14% (wb) จะใช้เวลาในการอบ 1-4 วัน ต่อการอบ 1 งวด จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจพบว่า เครื่องอบนี้จะคุ้มค่าต่อการลงทุน เมื่อพิจารณาการสูญเสียของเมล็ดข้าว เทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ



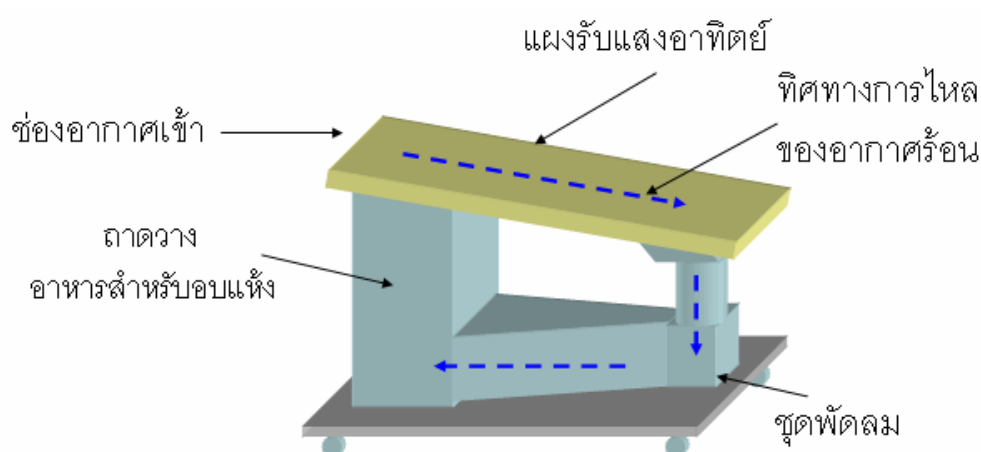
ภาพประกอบ 30 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาโดย ทองประเสริฐ และคณะ

เจนจัย (2543) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งระดับอุตสาหกรรมสำหรับอบกล้วย ซึ่งรับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ขนาด 24 ตารางเมตร และมีแหล่งพลังงานเสริมจากก๊าซหุงต้ม เครื่องอบดังกล่าวสามารถอบกล้วยที่ความชื้น 75% (wb) จำนวน 200 กิโลกรัม ให้เหลือความชื้นที่ 25% (wb) โดยใช้เวลา 3 วัน เครื่องอบแห้งดังกล่าวติดตั้งใช้งานที่โครงการสวนพระองค์สวนจิตรลดา



ภาพประกอบ 31 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับอุตสาหกรรมที่พัฒนาโดย เจนชัย
 ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. (2547). เครื่อง
 อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. หน้า 19. (อ้างอิงจาก เจนชัย. (2543).)

ณัฐวุฒิ ดุษฎี (2534) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งผลไม้ โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็น
 พลังงานเสริม ซึ่งประกอบด้วยแผงรับแสงอาทิตย์ขนาด 2.5 ตารางเมตร ห้องอบมีขนาด $0.6 \times 1.0 \times$
 1.0 เมตร ลวดต้านทานความร้อน ขนาด 830 วัตต์ จำนวน 3 ตัว เครื่องเป่าอากาศที่ขับเคลื่อนด้วย
 มอเตอร์ขนาด 0.76 กิโลวัตต์ และระบบการไหลเวียนของอากาศที่นำอากาศกลับมาใช้ใหม่ จากการ
 ทดสอบบอกล้มเหลวพบว่า สามารถช่วยประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับการอบด้วยไฟฟ้า 33% และมี
 ระยะเวลาคุ้มทุน 4.8 ปี ลักษณะของเครื่องอบแห้งดังกล่าวแสดงดังภาพประกอบ แต่เครื่องอบแห้ง
 ดังกล่าวเป็นระบบค่อนข้างเล็ก และใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่อบได้



ภาพประกอบ 32 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย ณัฐวุฒิ ดุษฎี

รัฐิบัติย์ ปางวัชรกร (2545) ได้ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ พื้นที่รับแสงและพื้นที่อบแห้งซึ่งวางต่อกันเป็นแนวยาว โดยทั้ง2ส่วนคลุมด้วยแผ่นพลาสติกใสและใช้พัดลมช่วยในการเคลื่อนที่ของอากาศร้อน จากการศึกษาพบว่า การปิดส่วนต้นทางของพื้นที่รับแสงเพื่อให้อากาศไหลผ่านน้อยที่สุด โดยติดตั้งพัดลม 3 ตัว บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นที่รับแสงกับพื้นที่อบแห้งซึ่งมีอัตราการไหลของอากาศ 0.29-1.18 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และใช้อัตราส่วนพื้นที่รับแสงต่อพื้นที่อบแห้งเป็น 3:2 จะสามารถเพิ่มอุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้งได้เฉลี่ยประมาณ 35 องศาเซลเซียสในวันที่มีอากาศแจ่มใส นั่นคือเพิ่มจาก 30 องศาเซลเซียสเป็น 65 องศาเซลเซียสซึ่งเพียงพอสำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรโดยทั่วไป เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองนี้มีพื้นที่อบแห้งขนาด 1.2x2.5 เมตร สามารถอบพริกชี้ฟ้าสดครั้งละ 20 กิโลกรัม โดยสามารถลดความชื้นของพริกจาก 72-73 เปอร์เซ็นต์ เป็น 7-8 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ภายใน 2 วัน เมื่อความชื้นของแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.752 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อตารางเมตรโดยเครื่องอบแห้งมีประสิทธิภาพเท่ากับ 34.69 เปอร์เซ็นต์

วรวิทย์ รุ่งจิราวัชร (2538) ทำการศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อประเมินสมรรถนะของตัวรับแสงอาทิตย์ทำอากาศร้อนแบบต่างๆ และประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และใช้พลังงานเสริม LPG ขนาดอุตสาหกรรม ตลอดจนความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการทดลองตัวรับรังสร์ระหว่างเวลา 9.00-16.00 น. แบบแผ่นเรียบที่มีฉนวนเป็นโพลีเอเทรนโฟมโดยมีพื้นที่ตัวรับแสงอาทิตย์ 23.1 m^2 ($2.87 \text{ m} \times 8.06 \text{ m}$) แสงอาทิตย์รวมมีค่าเฉลี่ย 836.8 W/m^2 อัตราการไหลของอากาศมีค่า 0.26 kg/s จะมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 32.1% แบบแผ่นเรียบที่มีฉนวนเป็นเทอร์แม็กซ์มีพื้นที่ตัวรับแสงอาทิตย์ 23.1 m^2 ($2.87 \text{ m} \times 8.06 \text{ m}$) แสงอาทิตย์รวมเฉลี่ย 735.7 W/m^2 อัตราการไหลของอากาศมีค่า 0.26 kg/s จะมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 31.6% แบบแผ่นเรียบนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าทฤษฎีแบบลอน (ลูกฟูก) ที่มีฉนวนเป็นเทอร์แม็กซ์โดยมีพื้นที่ตัวรับแสง 23.1 m^2 ($2.87 \text{ m} \times 8.06 \text{ m}$) แสงอาทิตย์รวมมีค่าเฉลี่ย 767.1 W/m^2 อัตราการไหลของอากาศมีค่า 0.28 kg/s จะมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 38.0% แบบมีครีปที่มีฉนวนเป็นเทอร์แม็กซ์ โดยมีพื้นที่ตัวรับแสง 23.2 m^2 ($2.87 \text{ m} \times 8.10 \text{ m}$) แสงอาทิตย์รวมมีค่าเฉลี่ย 834.9 W/m^2 อัตราการไหลของอากาศมีค่า 0.26 kg/s จะมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 37.4 % เมื่อทดสอบการอบแห้งกล้วยน้ำว้าพบว่า การอบแห้งแบบหมุนเวียน ใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ยชุดละ 5 วัน เป็นเวลา 44 ชั่วโมง จะสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดเท่ากับ $14.93 \text{ MJ/kg water evaporated}$ (พลังงานปฐมภูมิ) และมีประสิทธิภาพกฎข้อที่หนึ่งของระบบอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ และ LPG เฉลี่ยเท่ากับ 15.79% สำหรับการประเมินความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า การอบแห้งแบบหมุนเวียนสามารถให้ผลผลิตกล้วยอบแห้งได้ประมาณปีละ 56,012 kg มีรายได้เฉลี่ยปีละ 1,876,426 บาท ซึ่งมีต้นทุนการ

สร้างโรงงานอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และ LPG ประมาณ 1,994,731 บาท ซึ่งมีต้นทุนการสร้างโรงงาน และมีต้นทุนเฉลี่ยปีละ 1,255,495 บาท ถ้าคิดอัตราส่วนลด (Discount rate) 15% จะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 1,195,140.85 บาท, อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน (BCR) 1.60, อัตราผลตอบแทน (IRR) 29.08%, ระยะเวลาการคืนทุน (PBP) 3.2 ปี และระยะเวลาการคืนทุนแบบส่วนลด (DPBP) 4.71 ปี

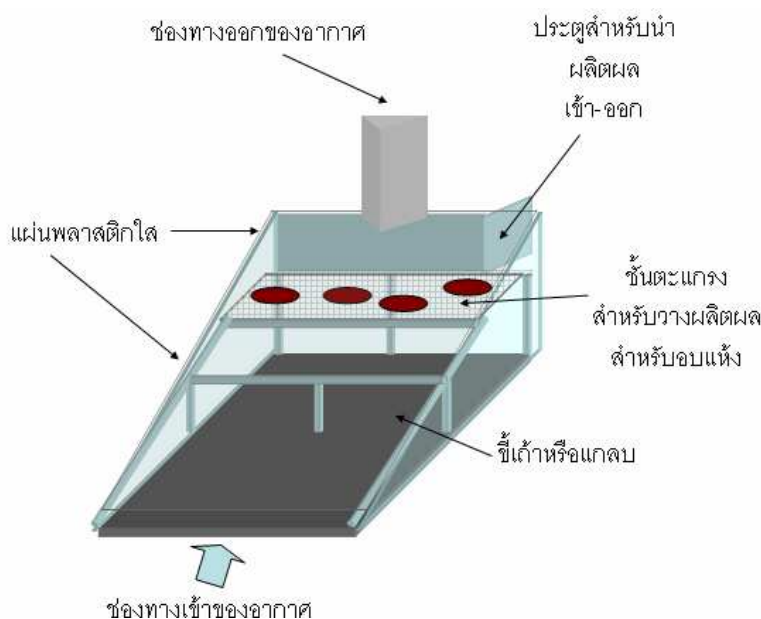
วิชัย จันทรักษา (2542) ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งตะไคร้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยเครื่องอบแห้งดังกล่าวประกอบด้วยแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบ คลุมด้วยพลาสติกมีขนาดพื้นที่รับแสง 19 ตารางเมตร และตู้อบตะไคร้ขนาดความจุ 400 กิโลกรัม อากาศร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์จะถูกเป่าเข้าไปในตู้อบแห้งโดยอาศัยพัดลมดูดอากาศ ผู้วิจัยได้ทดสอบสมรรถนะที่พัฒนาขึ้นโดยใช้เครื่องอบแห้งดังกล่าวทำการอบแห้งตะไคร้จำนวน 4 ครั้ง ๆ ละ 200 กิโลกรัม ผลที่ได้พบว่าในช่วงที่ห้องฟ้าแจ่มใสเครื่องอบแห้งสามารถอบตะไคร้ให้แห้งได้ในเวลา 3 วัน ตะไคร้ที่อบแห้งไม่ถูกรบกวนโดยแมลง ฝุ่นละออง และฝน ผู้วิจัยได้นำตะไคร้ที่ได้จากการอบมาทำวิเคราะห์คุณภาพ จากผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณน้ำมันในตะไคร้และสีของตะไคร้ที่ได้จากการอบแห้งมีค่าสอดคล้องกับคุณภาพของตะไคร้ซึ่งใช้อุตสาหกรรม จากการวิเคราะห์ในทางเศรษฐศาสตร์พบว่าเครื่องอบแห้งดังกล่าวมีเวลาคู่มือทุนเท่ากับ 1 ปี 5 เดือน นอกจากนี้ผู้วิจัยยังให้ทำการหาคุณสมบัติทางความร้อนของตะไคร้ โดยได้พัฒนาอุปกรณ์สำหรับศึกษาการอบแห้งชั้นบางของตะไคร้ และทำการหาค่าความร้อนจำเพาะและ sorption isotherm ของตะไคร้ด้วย

สมาน วันชูเพลา และวิรัช คารวะพิทยากุล (2529) ทำการวิจัยการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์โดยใช้อุปกรณ์รวมแสง ซึ่งเครื่องอบแห้งที่ทำการวิจัยจะมีแผงรับแสงอาทิตย์ที่มีอุปกรณ์รวมแสงเข้ามาช่วย โดยตัวรวมแสงมีมุมยอมรับประมาณ 180 องศา ซึ่งมีผลกับแสงอาทิตย์ไม่ว่าแสงอาทิตย์จะตกเป็นมุมเท่าใดก็ตาม ก็สามารถสะท้อนแสงไปยังตัวดูดกลืนความร้อนได้ และเนื่องจากตัวดูดกลืนแสงความร้อนมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก จึงมีผิวหน้ารับแสงเป็นมุม 360 องศา จึงทำให้ตัวดูดกลืนสามารถรับรังสีที่กระจาย และรังสีทางตรงได้ทั้ง 2 ทางพร้อมๆ กัน พื้นที่รับแสงของตัวรวมแสงมีค่าประมาณ 1.24 ตารางเมตร ทำจากแผ่นอลูมิเนียมซึ่งมีสัมประสิทธิ์ในการสะท้อนแสงประมาณ 0.70 ส่วนตู้อบมี 6 ชั้น แต่ละชั้นมีเนื้อที่ประมาณ 0.36 ตารางเมตร ผลของการอบแห้งตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ปลาจวด ทำการอบแห้ง 3 วัน ก่อนอบแห้งมีน้ำหนัก 6,210 กรัม น้ำหนักสุดท้ายหลังอบแห้ง 2,510 กรัม โดยคำนวณเป็นอัตราการลดความชื้นต่อวัน เท่ากับ 10.3 , ปลาหมึก ทำการอบแห้ง 3 วัน ก่อนอบแห้งมีน้ำหนัก 5,900 กรัม น้ำหนักสุดท้ายหลังอบแห้ง 1,260 กรัม โดยคำนวณเป็นอัตราการลดความชื้นต่อวัน เท่ากับ 21 และ กุ้ง ทำการอบแห้ง 4 วัน ก่อน

อบแห้งมีน้ำหนัก 14,920 กรัม น้ำหนักสุดท้ายหลังอบแห้ง 7,845 กรัม โดยคำนวณเป็นอัตราการลดความชื้นต่อวัน เท่ากับ 7.5

4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของต่างประเทศ

Exell และ Kornsakoo (1976) ได้ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งที่มีโครงสร้างเป็นแบบไม้ไผ่ ประกอบด้วยส่วนที่เป็นส่วนผลิตอากาศทำด้วยพลาสติก และส่วนที่เก็บข้าวเปลือก ทำด้วยไม้ไผ่ยกพื้นให้อากาศร้อนไหลผ่านจากด้านล่าง เกิดการพาความร้อนโดยธรรมชาติ สามารถอบข้าวเปลือกได้ครั้งละ 1 ตัน ใช้เวลาประมาณ 1 วัน ในวันที่แสงแดดดี และ 2-3 วันในช่วงฤดูฝน



ภาพประกอบ 33 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย Exell และ Kornnsakoo

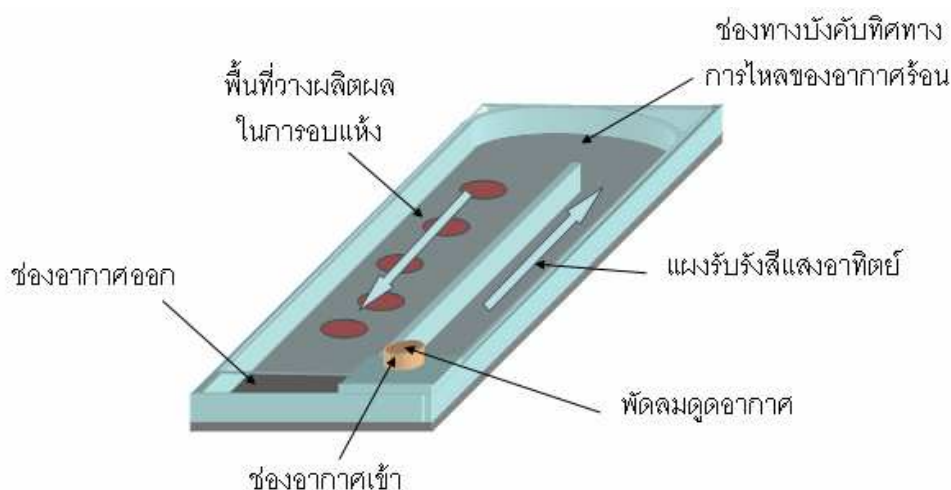
Exell (1980) ได้เสนอวิธีออกแบบและคำนวณขนาดของส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งที่พัฒนาจากข้างต้นและได้นำไปทดลองใช้ แต่ไม่ได้รับความนิยมเพราะประโยชน์เชิงเศรษฐกิจที่ได้ค่อนข้างน้อยและยังเกิดปัญหากับพลาสติกที่คลุมส่วนต่างๆ มักฉีกขาดง่าย เนื่องจากลมและการรบกวนจากสัตว์ต่างๆ ด้วย

Esper (1994) ได้ศึกษาการใช้แผงโซลาร์เซลล์เป็นตัวขับเคลื่อนพัดลมไปควบคุมอัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม โดยได้ทำการศึกษาลักษณะที่เหมาะสมสำหรับระบบดังกล่าวจากลักษณะ I-V ของทั้งแผงโซลาร์เซลล์และพัดลม จากผลการศึกษาดังกล่าวทำให้ทราบขนาดกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมในการทำงานซึ่งทำให้สามารถเลือกขนาดแผงโซลาร์เซลล์ให้พอเหมาะกับการใช้งานได้



ภาพประกอบ 34 แผงโซลาร์เซลล์และพัดลมที่ติดตั้งเข้ากับเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลม
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. (2547). *เครื่อง
อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์*. หน้า 23. (อ้างอิงจาก Esper. (1994).)

วิศวกรรมเกษตรเขตร้อน มหาวิทยาลัยโฮเฮนไฮม์ (Hohenheim University) ประเทศ
สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน ในช่วงต้นทศวรรษ 1980 (Lutz et al., 1987) โดยเครื่องอบแห้งดังกล่าว
รุ่นแรกจะประกอบด้วยแผงรับแสงอาทิตย์วางขนานกับส่วนที่ใช้วางผลิตภัณฑ์ ด้านบนของทั้งสองส่วน
ปิดด้วยพลาสติกใส และมีพัดลมดูดอากาศจากภายนอกให้ผ่านส่วนแผงรับแสงอาทิตย์เข้าไปยังส่วน
อบแห้งดังภาพประกอบ



ภาพประกอบ 35 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมที่พัฒนาขึ้นโดย Lutz

5. สรุปจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและข้อมูลการค้นคว้าที่ได้เคยมีผู้วิจัยไว้ก่อนหน้านี้ และนำมาอ้างอิงถือได้ว่าเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในด้านการวิจัยเป็นอย่างมาก เพราะผู้ทำการวิจัยสามารถอ้างอิงผลหรือวิธีการทำงานของเครื่องอบแห้งที่ได้มีผู้วิจัยไว้แล้ว โดยไม่ต้องทำการทดลองซ้ำอีก และอีกทางหนึ่งเพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบวิเคราะห์ผลการวิจัย สำหรับแนวทางในการพัฒนาให้เครื่องอบแห้งมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นไปด้วย โดยผู้วิจัยสามารถนำข้อมูลจากเอกสารการวิจัยต่างๆ มาใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และการออกแบบเครื่องอบแห้ง รวมทั้งใช้เป็นข้อมูลในการพยากรณ์ผลที่คาดว่าจะได้รับและประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งอีกด้วย

จากข้อมูลทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนั้น เป็นพื้นฐานข้อมูลที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยกล่าวถึงความหมายรายละเอียดที่มาของกรรมวิธีการอบแห้ง การพัฒนาของเครื่องอบแห้งชนิดต่างๆ ในการประยุกต์พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งในแต่ละทฤษฎีที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นสามารถสรุปเนื้อหาสาระสำคัญที่ใช้ในการวิจัยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดังต่อไปนี้

5.1 การอบแห้ง

การอบแห้งหรือการทำแห้ง (drying) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้ภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ออกในอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตีซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนี้การลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและการขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค (วิไล รังสาดทอง.2545:257-261)

โดยการอบแห้งที่ผู้วิจัยได้นำมาใช้ในการวิจัยก็คือ การทำให้แห้งโดยใช้อากาศหรือลมร้อน ซึ่งการคำนวณหามวลของน้ำที่ต้องการระเหยโดยใช้อากาศร้อนจะต้องคำนวณจากสมการ (2-2) เพื่อหามวลของน้ำที่ผลิตผลต้องระเหยออกมา จากนั้นจะคำนวณหาปริมาณความร้อนที่จำเป็นต้องใช้ในการทำให้น้ำระเหยออกมาตามปริมาณที่ต้องการ

$$M_w = m_i \frac{(M_i - M_f)}{100 - M_f}$$

ชนิดของเครื่องอบแห้งในปัจจุบันได้มีการผลิตออกมามากมายหลายรูปแบบ ซึ่งเครื่องอบแห้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะมีการบุฉนวนไว้เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนและทำให้สามารถนำอากาศมาหมุนเวียนใช้ใหม่เพื่อประหยัดพลังงาน มีการออกแบบเครื่องมือที่สามารถประหยัดพลังงานหลายแบบเพื่อนำความร้อนจากอากาศที่ใช้แล้วมาใช้ใหม่หรือมีการควบคุมความชื้นของอากาศโดยอัตโนมัติ การควบคุมเครื่องอบแห้งโดยคอมพิวเตอร์ทำให้สามารถทำงานได้ซับซ้อนยิ่งขึ้นส่งผลให้ประหยัดพลังงานได้มากขึ้น (วิไล รังสาดทอง .2545 :262-276) จากกรรมวิธีที่สามารถ

ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถทำการระเหยน้ำออกจากตัวผลิตภัณฑ์นั้น สามารถจะแบ่งเป็นประเภทของเครื่องอบแห้งได้ 2 ประเภท คือ เครื่องทำแห้งโดยลมร้อน (Hot-air dryers) และเครื่องอบแห้งแบบใช้ผิวร้อน (Heated – surface dryer)

ในการวิจัยครั้งนี้ทางผู้วิจัยได้นำวิธีการอบแห้งแบบอากาศร้อนหรือลมร้อนมาเป็นตัวทำให้น้ำในตัวผลิตภัณฑ์ระเหย และได้นำกรรมวิธีของเครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryers) มาเป็นรูปแบบในการออกแบบตู้อบแห้ง โดยใช้เงินลงทุนน้อยและกรรมวิธีไม่ยุ่งยากรวมทั้งการดูแลรักษาก็ง่ายและสะดวก แต่ยังคงมีปัญหาด้านการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะต้องมีการพัฒนาให้มีคุณภาพที่สม่ำเสมอทั้งภายในตู้อบแห้ง

5.2 พลังงานแสงอาทิตย์กับการอบแห้ง

ในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับการอบแห้งก็คือการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนพลังงานความร้อน โดยเมื่อนำวัตถุมาวางรับแสงอาทิตย์ ผิวหน้าของวัตถุซึ่งมีค่าการดูดแสงอาทิตย์ใช้สัญลักษณ์ เป็น α จะดูดแสงอาทิตย์และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนเก็บไว้ในเนื้อวัตถุสูงขึ้น กระบวนการนี้คือการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน เมื่ออุณหภูมิของวัตถุสูงกว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมจะมีการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุไปยังสิ่งแวดล้อม อัตราการถ่ายเทความร้อนดังกล่าวแปรผันไปตามผลต่างของอุณหภูมิของวัตถุกับสิ่งแวดล้อม เมื่ออุณหภูมิของวัตถุสูงขึ้นถึงระดับหนึ่งอัตราพลังงานความร้อนซึ่งถ่ายเทจากวัตถุไปยังสิ่งแวดล้อมจะเท่ากับอัตราพลังงานที่วัตถุได้รับจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิของวัตถุจะไม่เพิ่มต่อไป เรียกอุณหภูมิที่สภาวะนี้ว่า “อุณหภูมิที่สภาวะอุณหภูมิคงตัว” ถ่ายเทความร้อนออกจากวัตถุ ก่อนที่อุณหภูมิของวัตถุสูงกว่าอุณหภูมิที่สภาวะอุณหภูมิคงตัวก็ก็จะได้รับความร้อนส่วนหนึ่งซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ได้ (จรรยา บุญยุบล.2529:235)

ระบบของการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งเป็นสองประเภทคือ ประเภทพาสซีฟหรือแบบพาความร้อนตามธรรมชาติและประเภทแอกทีฟหรือแบบพาความร้อนโดยบังคับอากาศ ระบบอบแห้งประเภทแอกทีฟจะให้สมรรถนะสูงกว่าระบบประเภทพาสซีฟทำให้ระบบอบแห้งผลทางเกษตรได้ในอัตราที่สูงกว่า อีกทั้งในวันที่มีปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำเช่นมีเมฆหนาที่บ อากาศภายในระบบพาสซีฟจะมีอุณหภูมิสูงไม่พอ อากาศจะไม่ไหลผ่านระบบ ระบบอบแห้งประเภทพาสซีฟจึงใช้งานไม่ได้ แต่ระบบประเภทแอกทีฟยังคงทำงานได้ (จรรยา บุญยุบล.2529:247-248)

ผู้วิจัยได้นำวิธีการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบแอกทีฟในการอบแห้งเพราะมีสมรรถนะสูงกว่าประเภทพาสซีฟ โดยใช้ชุดพัดลมพาความร้อนที่ใช้โซล่าเซลล์เป็นชุดพาอากาศร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์เข้าสู่ตู้อบแห้ง

5.3 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้แผงรับแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน แล้วผ่านอากาศร้อนเข้าไปยังผลิตผลทางการเกษตรที่ต้องการจะอบแห้งนั้นเพื่อที่จะพาความชื้นภายในผลิตผลออกไป พื้นของแผงรับแสงอาทิตย์อาจทำด้วยวัสดุที่เป็นฉนวน อาทิ ไม้อัดซึ่งมีท่ออยู่ด้านบนทาสีดำ เพื่อที่จะดูดความร้อนส่วนฝาปิดแผงรับแสงอาทิตย์จะใช้วัสดุโปร่งแสง ซึ่งจะเป็นกระจกหรือพลาสติกก็ได้ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะคล้ายกับกล่องรูปสี่เหลี่ยม โดยให้อากาศร้อนไหลจากแผงรับแสงอาทิตย์เข้าสู่เครื่องอบแห้ง ในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของตู้อบแห้งนั้น จะใช้หลักการที่ว่า จะให้อากาศที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์นั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยที่แผงรับแสงอาทิตย์มีขนาดเท่าเดิม ตามปกติแผงรับแสงอาทิตย์จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการใช้งานคือ แผงรับแสงอาทิตย์ที่มีตัวดูดแสงมีลักษณะเป็นแผ่นราบ และแผงรับแสงอาทิตย์ที่มีตัวดูดแสงมีลักษณะเป็นรูปท่อน (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อนุตร จำลองกุล.2545:57-59)

จากทฤษฎีของการอบแห้งทางผู้วิจัยสามารถคำนวณหาปริมาณของมวลน้ำที่จะต้องระเหยออกจากตัวผลิตผลในการอบแห้ง จากนั้นจึงสามารถนำค่าที่คำนวณได้มาดำเนินการกำหนดขนาดและองค์ประกอบต่างๆ ของแผงรับแสงอาทิตย์ เมื่อได้ความร้อนที่ต้องการก็จะเป็นการคำนวณเพื่อหาขนาดของพื้นที่ในการรับแสงของแผงรับแสงอาทิตย์โดยสมการที่เกี่ยวข้องที่นำมาใช้ก็คือ

$$\text{จากสมการ (2-3)} \quad Q_{\text{dry}} = M_w L \quad (\text{ใช้คำนวณปริมาณความร้อนที่ต้องใช้})$$

$$\text{และจากสมการ (2-4)} \quad A_T = \frac{Q_{\text{dry}}}{\eta H_T N_d} \quad (\text{ใช้คำนวณหาพื้นที่ในการรับแสงอาทิตย์})$$

จากนั้นก็ทำการคำนวณเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศร้อนที่เหมาะสมแก่การระบายอากาศร้อนที่ทำให้ผลิตผลแห้งตามที่ต้องการ โดยการใช้สมการ

$$\text{จากสมการ (2-1)} \quad M_w L = M_a C_p (T_i - T_f) \quad (\text{ใช้ในการคำนวณหามวลอากาศที่ต้องระบาย})$$

เมื่อได้มวลอากาศที่จำเป็นต้องระบายออกแล้วก็จะสามารถหาปริมาตรของอากาศที่ต้องระบายออกและสามารถกำหนดเป็นอัตราการไหลของอากาศได้โดยเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง โดยกำหนดหน่วยเป็น ปริมาตรต่อชั่วโมง (m^3/hr) เพื่อเป็นตัวกำหนดความเร็วของชุดพัดลมพาความร้อนไปสู่ตู้อบแห้งต่อไป

5.4 การหาค่าความชื้นของพริกในการวิจัย

ในการหาค่าความชื้นของพริกในการวิจัยครั้งนี้จะใช้การชั่งน้ำหนักตัวอย่างของพริกเพื่อมาคำนวณหาค่าความชื้นของพริก ณ ช่วงเวลาใด ๆ โดยใช้สมการ (2-8)

$$M_f = 100 - \left[\frac{W_i \times (100 - M_i)}{W_f} \right]$$

เมื่อ M_f คือ ความชื้นที่ระยะเวลาใดๆ

M_i คือ ความชื้นเริ่มต้นก่อนอบ

W_f คือ น้ำหนักพริกที่ระยะเวลาใดๆ

W_i คือ น้ำหนักเริ่มต้น

5.5 สมรรถนะทางกายภาพ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้มุ่งเน้นสมรรถนะทางกายภาพ 3 ด้านคือ ด้านการออกแบบและการใช้งาน , ความปลอดภัยในการใช้งาน และความสวยงาม ซึ่งเป็นรูปแบบของการประเมินผลวิธีการทางสถิติ โดยหลักของทางสถิติ คือการนำค่าคะแนนหรือการประเมินที่เป็นข้อมูลมาทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ย และหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาพิจารณาเป็นเกณฑ์ค่าเฉลี่ยต่างๆ

5.5.1 ค่าเฉลี่ย (Mean) โดยใช้สมการ (2-10)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

5.5.2 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) โดยใช้สมการ (2-11)

$$S = \sqrt{\frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นระดับเกณฑ์ต่างๆ โดยการกำหนดเกณฑ์ระดับการให้คะแนนจะกำหนดเป็น 5 ระดับ ตั้งแต่ 1-5 คะแนน ซึ่งสามารถแปลงเป็นเกณฑ์ตั้งแต่ ระดับใช้ไม่ได้ จนถึง ระดับดีมาก

5.6 จุดคุ้มทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุน รายได้ และผลกำไร ซึ่งผันแปรไปตามความเปลี่ยนแปลงของปริมาณการผลิต โดยในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะมุ่งเน้นที่ระยะเวลาในการคืนทุนเพื่อใช้เปรียบเทียบกับสมมติฐานที่ได้ตั้ง

ในการวิจัยครั้งนี้จะทำการคำนวณระยะเวลาคืนทุน โดยใช้วิธีการคำนวณจากการปรับปรุงโครงการได้โดยใช้ค่าผลต่างของกำไรมาคิดคำนวณกับค่าต้นทุนคงที่ที่ได้ลงทุนเพื่อพัฒนาปรับปรุง โดยใช้สมการ (2-15) ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาในการคืนทุน} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{ผลต่างของกำไรก่อนและหลังปรับปรุง}}$$

ดังนั้นการคำนวณในการวิจัยครั้งนี้สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาในการคืนทุน} &= \frac{\text{ต้นทุนเครื่องอบแห้ง}}{\text{ผลต่างของกำไรการอบแห้งด้วยเครื่องกับการตากแห้งแบบธรรมชาติ}} \\ &= \frac{\text{ต้นทุนเครื่องอบแห้ง}}{\text{กำไรจากการอบแห้งด้วยเครื่องต่อปี} - \text{กำไรจากการตากแห้งด้วยวิธีธรรมชาติต่อปี}} \end{aligned}$$

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

การศึกษาค้นคว้าในเรื่องนี้เป็นการศึกษาค้นคว้าเชิงทดลอง การออกแบบและสร้างเครื่อง
อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลและศึกษาค้นคว้าโดยแบ่งเป็นขั้นตอน
ดังต่อไปนี้

1. ขั้นการออกแบบ

- ศึกษารายละเอียดที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
- ออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์
- วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้
- กำหนดระยะเวลา และสถานที่ที่ใช้ในการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

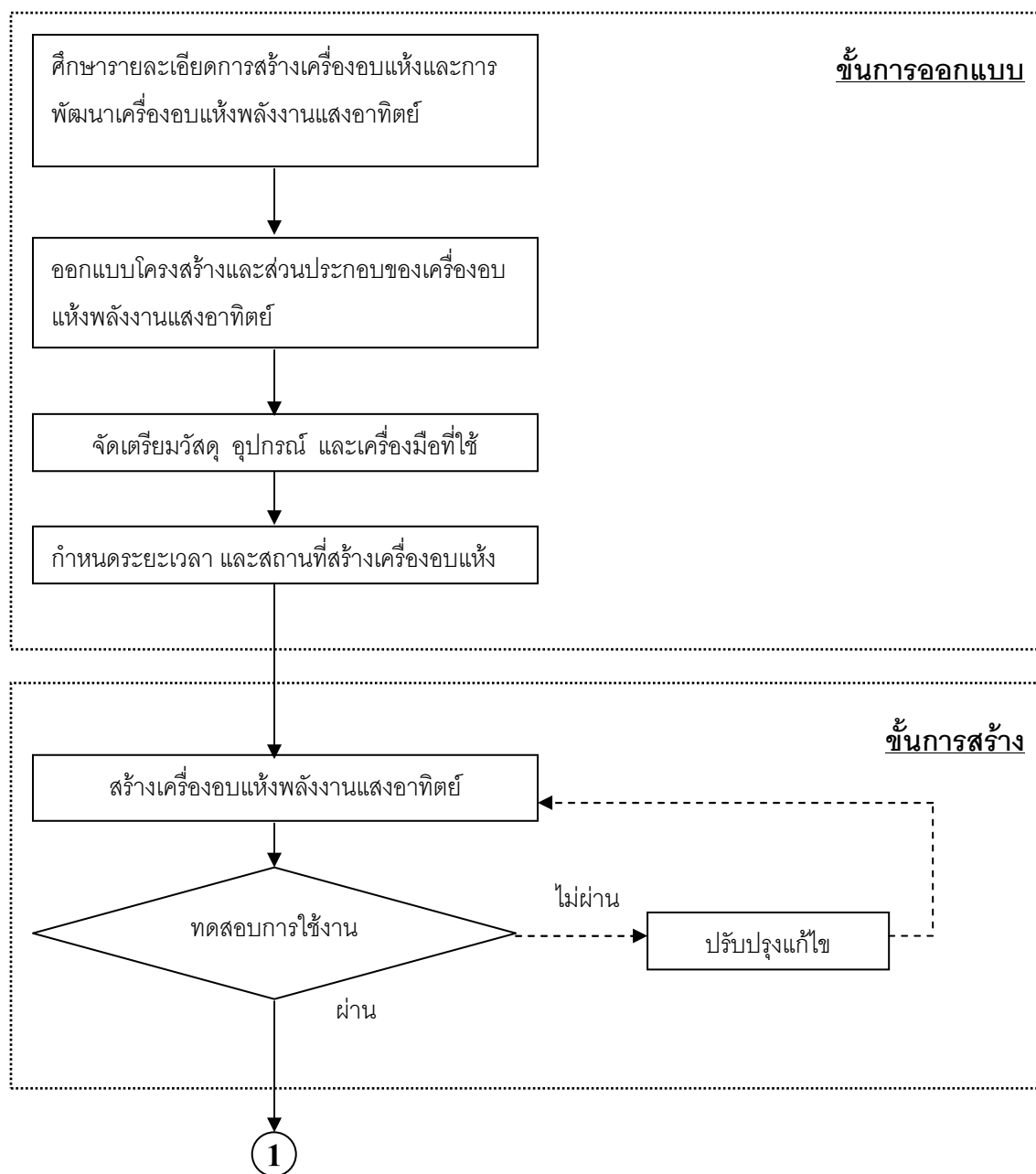
2. ขั้นการสร้าง

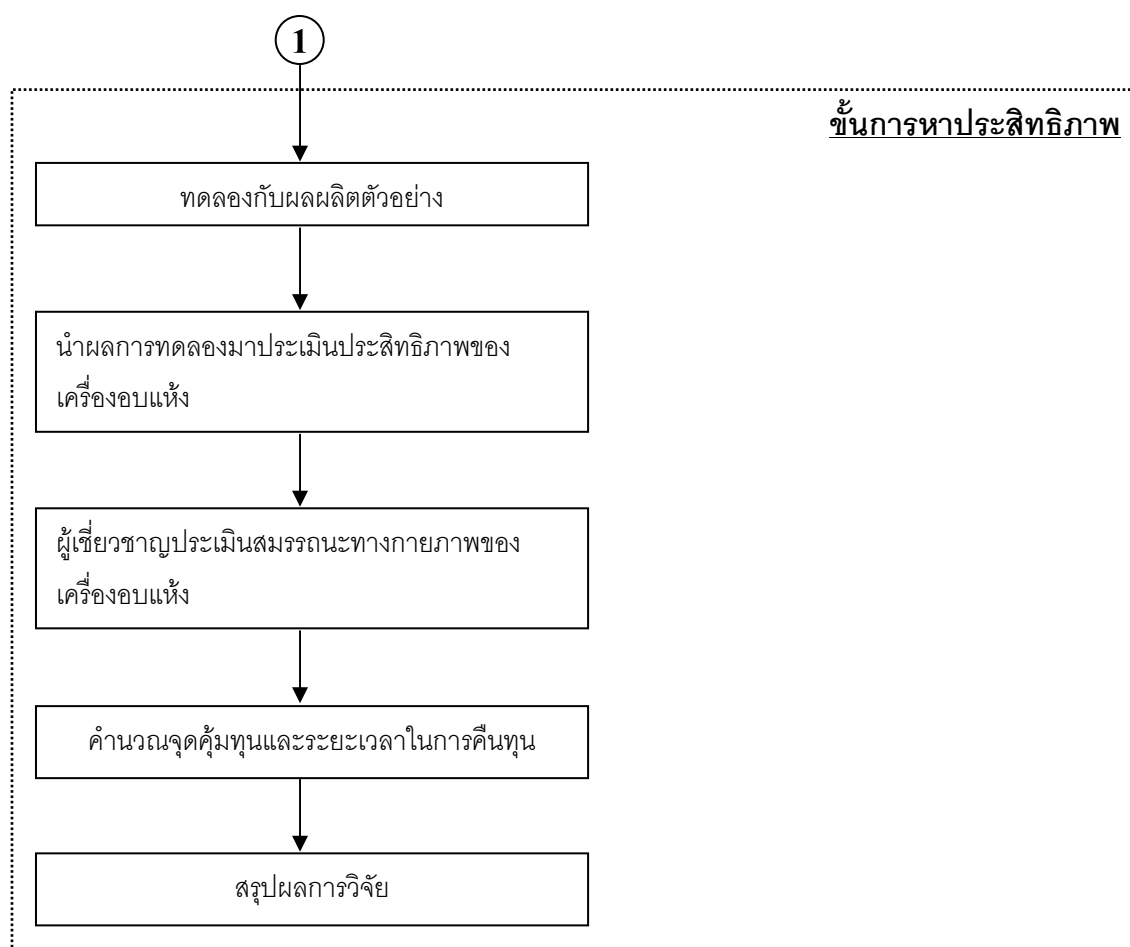
- สร้างเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์
- ทดสอบการใช้งาน ปรับแต่งและแก้ไขการทำงานของเครื่องอบแห้งที่ได้จัดทำขึ้น

3. ขั้นการหาประสิทธิภาพ

- การทดลองกับผลผลิตตัวอย่าง
- วิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพ
- แบบประเมินสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
- การคำนวณจุดคุ้มทุนและระยะเวลาในการคืนทุน

การศึกษาค้นคว้าเรื่องการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถแสดงเป็น
ขั้นตอนในการศึกษาค้นคว้าได้ดังภาพประกอบ





ภาพประกอบ 36 ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

1. ขั้นตอนการออกแบบ

เป็นขั้นตอนการวางแผนและออกแบบการวิจัย โดยเริ่มต้นตั้งแต่การศึกษารายละเอียดองค์ประกอบต่างๆ ที่มีเป็นส่วนประกอบของการวิจัยพร้อมทั้งกำหนดแผนงาน ระยะเวลาในการวิจัย โดยสามารถสรุปเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ดังนี้

1.1 ศึกษารายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์

ศึกษารายละเอียดต่างๆ ที่นำมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วยการศึกษาค้นคว้าจากส่วนต่างๆ คือ

1.2.1 ตู้อบแห้ง ออกแบบตู้อบแห้งให้มีขนาดพอเหมาะสำหรับการบรรจุพริกชี้ฟ้าปริมาณ 10 กิโลกรัม โดยแบ่งเป็น 4 ชั้น ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

พริกชี้ฟ้า 10 กิโลกรัมเมื่อนำมาวางแผ่ตามพื้นราบจะใช้เนื้อที่ประมาณ 2 ตารางเมตร ซึ่งกำหนดภายในตู้อบแห้งแบ่งเป็นชั้นวางตระแกรงทั้งหมด 4 ชั้น ดังนั้นจะต้องใช้พื้นที่ในแต่ละชั้นของตู้อบแห้งเท่ากับ

$$2 \text{ ตารางเมตร} / 4 \text{ ชั้น} = 0.5 \text{ ตารางเมตร} / \text{ชั้น}$$

จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มากำหนดเป็นขนาดของตู้อบแห้ง โดยมีความกว้าง 80 เซนติเมตร ความยาว 80 เซนติเมตร ความสูง 165 เซนติเมตร สำหรับการบรรจุผลผลิตที่มีน้ำหนัก 10 กิโลกรัม ซึ่งแบ่งเป็น ตะแกรง 4 ชั้น สามารถคิดโดยเป็นหน่วยของปริมาตรรวมไม่เกิน 0.3 ลูกบาศก์เมตร

1.2.2 แผงรับแสงอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ขนาดของแผงรับแสงอาทิตย์นั้นจะคำนวณจากอัตราการระเหยของน้ำที่ตั้งเอาไว้โดยเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 8.2 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งเป็นอัตราเฉลี่ยของการอบแห้งตัวอย่างพริกชี้ฟ้าขนาด 10 กิโลกรัมที่มีความชื้น 85%(wb) และเมื่อผ่านการอบแห้งแล้วจะได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 15% (wb) ได้ โดยใช้ระยะเวลา 1 วัน ตั้งแต่เวลา 8:00 น. ถึง 17:00 น. ในการอบแห้ง ซึ่งคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\text{จากสมการ (2-2)} \quad M_w = m_i \frac{(M_i - M_f)}{100 - M_f}$$

เมื่อ M_w = มวลของน้ำที่ต้องการระเหย (kg)

m_i = มวลของผลผลิตอบแห้งก่อนทำการอบแห้ง (kg)

M_i = เปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนทำการอบแห้ง (% w.b.)

M_f = เปอร์เซ็นต์ความชื้นภายหลังจากทำการอบแห้ง (% w.b.)

$$\begin{aligned} M_w &= 10 \frac{(85 - 15)}{(100 - 15)} \\ &= 8.2 \text{ kg.} \end{aligned}$$

จากนั้นคำนวณปริมาตรความร้อนที่จำเป็นต้องใช้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{จากสมการ (2-3)} \quad Q_{\text{dry}} = M_w L$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } Q_{\text{dry}} &= \text{ปริมาณความร้อนที่จำเป็นต้องใช้ (MJ)} \\ M_w &= \text{มวลของน้ำที่ต้องการระเหย (kg)} \\ L &= \text{ความร้อนที่ต้องใช้ระเหยน้ำ 1 kg (MJ/kg)} \end{aligned}$$

กำหนดให้ค่า L ในที่นี้เป็นความร้อนแฝงในการระเหยของน้ำซึ่งเท่ากับ 2.4 MJ/kg ที่อุณหภูมิปกติ 30°C ซึ่งในความเป็นจริงแล้วการระเหยของน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์จะมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอยิ่งสูงกว่าการระเหยของน้ำปกติ ดังนั้นในการกำหนดการอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร จึงใช้ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไเท่ากับ 2.8 MJ/Kg (ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุตร จำลองกุล. 2545)

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าลงในสมการ} \quad Q_{\text{dry}} &= 8.2 \times 2.8 \text{ MJ/kg} \\ &= 22.96 \text{ MJ} \end{aligned}$$

จากนั้นผู้วิจัยได้คำนวณพื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ของเครื่องอบแห้งซึ่งใช้การคำนวณจากสมการ (2-4)

$$A_T = \frac{Q_{\text{dry}}}{\eta H_T N_d}$$

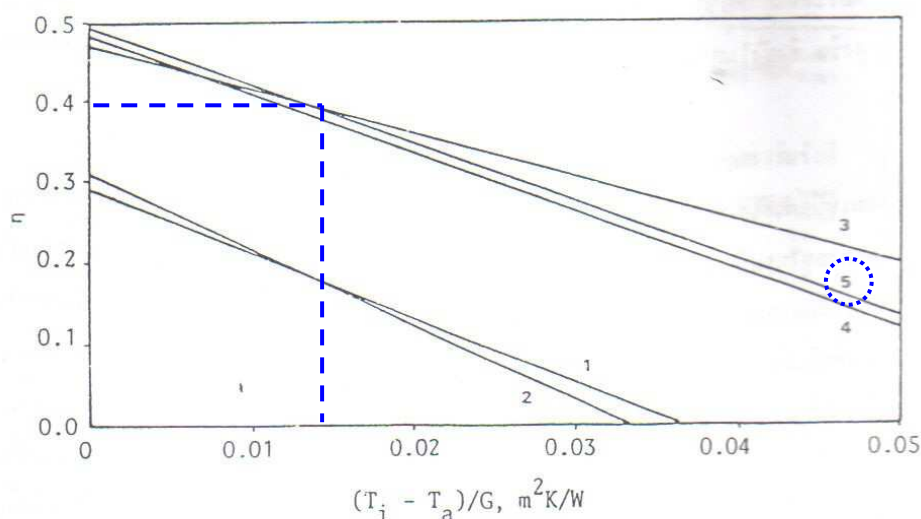
$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } A_T &= \text{พื้นที่รับแสงดวงอาทิตย์ (m}^2\text{)} \\ H_T &= \text{ความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์บนพื้นที่ราบ (MJ / m}^2\text{-day)} \\ N_d &= \text{จำนวนวันที่ใช้ในการอบแห้งแต่ละครั้ง (day)} \\ \eta &= \text{ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งในฐานะที่เป็นแผงรับแสงอาทิตย์ (decimal)} \end{aligned}$$

จากข้อมูลการทดสอบเปรียบเทียบตัวรับรังสีแผ่นเรียบทำอากาศร้อนแบบต่างๆ ของ Soponronnarit; et al. (1988) ซึ่งได้ทำการทดสอบวัดประสิทธิภาพของชนิดตัวรับรังสีชนิดต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 2 รายละเอียดของตัวรับรังสีที่ทดสอบโดย Soponronnarit et al.

ชนิดของตัวรับรังสี	แผ่นดูดรังสี	ค่าการดูดกลืนรังสีของ แผ่นดูดรังสี	ค่าการแผ่รังสีของ แผ่นดูดรังสี
1. เปลือย	แผ่นเหล็กอาบสังกะสี ลอนลูกฟูกเล็ก	0.69	0.64
2. เปลือย	แผ่นเหล็กอาบสังกะสี ลอนลูกฟูกเล็กทาสีดำ ด้าน	0.94	0.84
3. กระจก 1 ชั้น ปิด 85%	แผ่นเหล็กอาบสังกะสี ลอนลูกฟูกเล็กทาสีดำ ด้าน	0.94	0.89
4. กระจก 1 ชั้น ปิด 87%	แผ่นเหล็กอาบสังกะสี ลอนเหลี่ยมทาสีดำด้าน	0.95	0.89
5. กระจก 1 ชั้น ปิด 100%	แผ่นเหล็กอาบสังกะสี ลอนเหลี่ยมทาสีดำด้าน	0.95	0.89

ที่มา: ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2531). *อนุกรมพลังงานนอกแบบและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เล่มที่ 1*. หน้า 24. (อ้างอิงจาก Soponronnarit; et al. (1988).)



ภาพประกอบ 38 ผลการทดสอบตัวรับรังสีทำอากาศร้อนแบบต่างๆ ของ Soponronnarit; et al.

ที่มา: ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2531). *อนุกรมพลังงานนอกแบบและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เล่มที่ 1*. หน้า 25. (อ้างอิงจาก Soponronnarit; et al. (1988).)

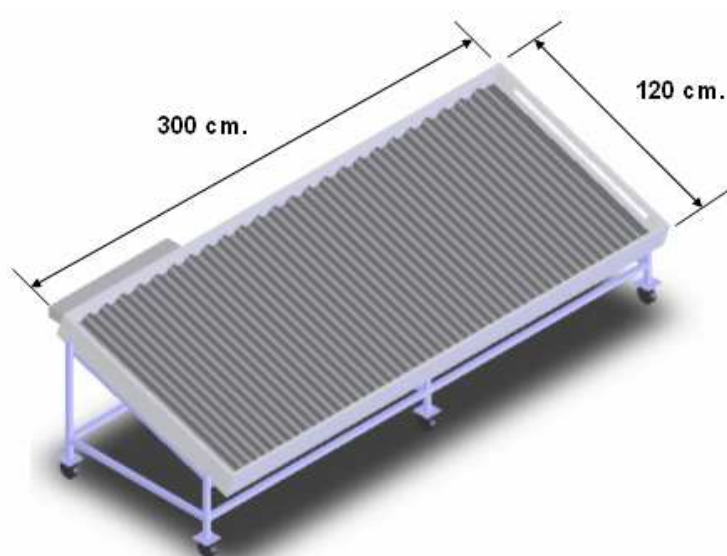
จากข้อมูลของ Soponronnarit; et al. ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดอุณหภูมิเฉลี่ยภายในแผงรับแสงอาทิตย์โดยอาศัยข้อมูลอ้างอิงจากเอกสารอ้างอิงดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งกำหนดค่าของอุณหภูมิภายในแผงรับแสงอาทิตย์สูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม $10^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงกำหนดค่าเฉลี่ยความร้อนที่ได้เท่ากับ 51°C โดยอุณหภูมิสภาพแวดล้อมเท่ากับ 31°C ในสมการ $(T_i - T_a) / G$ เพื่อให้ได้ค่าประมาณเพื่อกำหนดเป็นประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์

$$\begin{aligned} (T_i - T_a) / G &= (51 - 31) / 1,367 \text{ W} \\ &= 0.0146 \end{aligned}$$

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพสามารถประมาณประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ได้ โดยในการวิจัยนี้จะใช้ชนิดของแผงรับแสงอาทิตย์แบบกระจกใสปิด 100% (ชนิดที่ 5) จากกราฟแสดงความสัมพันธ์กำหนดค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.4 หรือ 40 เปอร์เซ็นต์ ทางผู้วิจัยจึงกำหนดประสิทธิภาพในการวิจัยครั้งนี้ไว้ที่ 40 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มของแสงจากดวงอาทิตย์ที่เป็นค่าเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน.2547)

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าลงในสมการ (2-4)} \quad A_T &= \frac{22.96 \text{ MJ}}{0.4 \times 18.2 \times 1} \\ A_T &= 3.15 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

ค่าที่ได้เป็นขนาดของพื้นที่ในการรับแสงจากดวงอาทิตย์ดังนั้นจึงกำหนดเป็นขนาดของแผงรับแสงอาทิตย์ได้เป็นขนาดความกว้าง 1.2 เมตร และความยาว 3 เมตร ซึ่งได้พื้นที่ในการรับแสงจากดวงอาทิตย์เท่ากับ 3.6 ตารางเมตร



ภาพประกอบ 39 แสดงลักษณะของแผงรับแสงอาทิตย์

1.2.3 ชุดพัดลมพาความร้อน ในการเลือกขนาดของพัดลมนั้นดูจากขนาดของพื้นที่รับแสงอาทิตย์ของแผงรับแสงอาทิตย์นั้นมีขนาดพื้นที่ประมาณ 3.6 m^2 และกำหนดค่าของอัตราการระเหยของน้ำไว้ที่ 8.2 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งกำหนดอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอกประมาณ $10^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}$ อุณหภูมิขั้นต่ำของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการทดลองกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และประมาณค่าของอุณหภูมิตรงทางออกเท่ากับ 31°C ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80% ของบรรยากาศภายนอก (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อนุตร จำลองกุล.2547)

สำหรับอัตราการไหลของมวลอากาศได้จากสมการ (2-1)

$$M_w L = M_a C_p (T_i - T_f)$$

เมื่อต้องการหาค่า M_a จึงทำการย้ายสมการได้เท่ากับ

$$M_a = \frac{M_w L}{C_p (T_i - T_f)}$$

เมื่อ M_w = น้ำหนักของน้ำที่หายไปหลังการอบแห้ง

M_a = น้ำหนักของอากาศที่ใช้อบแห้ง

L = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (2,800 kJ/kg)

C_p = ความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่
= $1.1 + 0.0488M$

T_i = อุณหภูมิของอากาศที่อบแห้ง

T_f = อุณหภูมิของอากาศที่อบแห้งหลังจากผ่านวัสดุอบแห้ง

แทนค่า $C_p = 1.1 + 0.0488 (0.85) = 1.14148 \text{ kJ / kg}^\circ\text{C}$

$M_w = 8.2 \text{ kg}$

$M_a = (8.2 \text{ kg} \times 2,800 \text{ kJ/kg}) / [1.14148 \times (51-31)]$
= 1,005.71 kg

จากข้อมูลความดันบรรยากาศของอากาศแห้งที่อุณหภูมิ 31°C จะมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.127 kg/m^3 ดังนั้นจะต้องใช้อากาศมีปริมาตรเท่ากับ

$$1,005.71 \text{ kg} / 1.127 \text{ kg/m}^3 = 892.37 \text{ m}^3$$

หรือกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 900 m^3 และกำหนดระยะเวลาในการอบแห้งภายใน 1 วัน เท่ากับ 9 ชั่วโมง คือตั้งแต่ 8.00 - 17.00 น. ในวันที่อากาศแจ่มใส จำเป็นต้องใช้อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ

$$900 \text{ m}^3 / 9 \text{ hr} = 100 \text{ m}^3/\text{hr}$$

ดังนั้นพัสดุระบายอากาศที่จะนำมาใช้ในการระบายอากาศตามที่ต้องการผู้วิจัย เลือกใช้พัสดุระบายอากาศที่มีขนาดกำลังไฟฟ้า 2 วัตต์ ขนาด 12 โวลท์ (160 มิลลิแอมป์) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. 2547) โดยลักษณะของการติดตั้งชุดพัสดุลมพาความร้อนนั้นจะทำการออกแบบการติดตั้งไว้ทั้งสิ้น 2 จุด คือ ด้านทางเข้าของอากาศร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์มายังตู้อบแห้ง และด้านขาออกของอากาศร้อนที่ด้านบนของตู้อบแห้ง เพื่อเป็นการกระจายความร้อนและช่วยให้ระบบการไหลเวียนของอากาศร้อนภายในตู้อบแห้งเป็นไปตามที่ได้ออกแบบและกำหนดไว้

1.2.4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 8 วัตต์ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์พัดลมที่ใช้พาอากาศร้อนทั้งหมด

1.3 เครื่องมือที่ใช้ วัสดุและอุปกรณ์

1.3.1 เตรียมเครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

1.3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

1.3.1.1.1 ไม้ฉาก

1.3.1.1.2 ตลับเมตร

1.3.1.1.3 ไม้บรรทัด

1.3.1.1.4 เหล็กขีด

1.3.1.1.5 ฉากเหล็ก

1.3.1.1.6 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า

1.3.1.1.7 กรรไกรตัดโลหะ

1.3.1.1.8 เครื่องตัดเหล็ก

1.3.1.1.9 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า

1.3.1.1.10 ลวดเชื่อม

1.3.1.1.11 สว่านไฟฟ้า

1.3.1.1.12 ดอกสว่าน

- 1.3.1.1.13 เหล็กนำศูนย์
- 1.3.1.1.14 เลื่อย
- 1.3.1.1.15 คีมล็อก
- 1.3.1.1.16 ประแจ
- 1.3.1.2 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องอบแห้ง และส่วนประกอบต่างๆ
 - 1.3.1.2.1 สังกะสีแผ่นเรียบ
 - 1.3.1.2.2 กระจกใส
 - 1.3.1.2.3 แผ่นพลาสติกใส PVC
 - 1.3.1.2.4 เหล็กกล่องขนาด 3 X 3 เซนติเมตร
 - 1.3.1.2.5 แผ่นสแตนเลส
 - 1.3.1.2.6 ยางรองกระจก
 - 1.3.1.2.7 สังกะสีแผ่นลอน
 - 1.3.1.2.8 ชุดพัดลมพาความร้อน
 - 1.3.1.2.9 สายไฟ
 - 1.3.1.2.10 เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 8 วัตต์
 - 1.3.1.2.11 วัสดุฉนวนกันความร้อน
 - 1.3.1.2.12 สกรู
 - 1.3.1.2.13 สีสเปรย์พ่น
 - 1.3.1.2.14 ชุดล้อสำหรับเคลื่อนย้าย

1.4 กำหนดระยะเวลา และสถานที่ที่ใช้ในการสร้างเครื่องอบแห้ง

ระยะเวลาที่ใช้สำหรับการสร้างเครื่องอบแห้งประมาณ เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2550 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ.2551 ใช้สถานที่ในการสร้างเครื่องที่โรงฝึกงาน สาขาอุตสาหกรรมศึกษา ตึก 14 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่อยู่ 114 ถนน สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร โดยกำหนดการศึกษาข้อมูล การออกแบบ การสร้างเครื่องอบแห้ง ขั้นตอนการทดลอง และการเก็บข้อมูล เพื่อสรุปผลการวิจัย มีรายละเอียดดังแผนกำหนดการต่อไปนี้

ตาราง 3 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการทําริวิจัย	ระยะเวลา															
	พ.ศ.2550								พ.ศ.2551							
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ก.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ขั้นการออกแบบ																
- ศึกษารายละเอียดการสร้างเครื่องอบแห้ง และการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์																
- ออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์																
- จัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้																
- กำหนดระยะเวลา และสถานที่สร้างเครื่องอบแห้ง																
ขั้นการสร้าง																
- สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์																
- ทดสอบการใช้งาน																
ขั้นการหาประสิทธิภาพ																
- ทดลองกับผลผลิตตัวอย่าง																
- นำผลการทดลองมาประเมินประสิทธิภาพของ เครื่องอบแห้ง																
- ผู้เชี่ยวชาญประเมินสมรรถนะทางกายภาพของ เครื่องอบแห้ง																
- วิเคราะห์จุดคุ้มทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์																
- อภิปรายและสรุปผลการวิจัย																

2. ขั้นการสร้าง

เป็นขั้นตอนการดำเนินการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ตามที่ได้วางแผนและออกแบบไว้แล้วในขั้นการออกแบบ สามารถแยกออกเป็นรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 สร้างเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์

2.1.1 สร้างตู้อบแห้งด้วยโครงเหล็ก , แผ่นสแตนเลส และแผ่นพลาสติกใส ซึ่งมีขนาด ความกว้าง 80 เซนติเมตร ความยาว 80 เซนติเมตร ตัวตู้อบแห้งมีความสูง 100 เซนติเมตร และความสูงของโครงสร้างรวมเท่ากับ 165 เซนติเมตร ทำการตัดและประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เป็นส่วนของตู้อบแห้ง

2.1.2 นำแผ่นสังกะสีมาพับเป็นถาดสำหรับวางผลผลิตทางการเกษตร โดยพื้นของถาดปูด้วยแผ่นสังกะสีที่มีการทำลักษณะเป็นรูตระแกรง

2.1.3 สร้างชุดแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน โดยใช้แผ่นสังกะสีทำ กรอบและบุด้วยฉนวนกันความร้อน ด้านบนปิดด้วยกระจกใสให้มีขนาด ความกว้าง 120 เซนติเมตร ความยาว 300 เซนติเมตร ความสูง 15 เซนติเมตร โดยทำช่องทางเข้าของอากาศทางด้านข้าง และ ช่องทางออกของอากาศร้อนทางด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์

2.1.4 นำแผ่นสังกะสีลอนมาพันสีสเปรย์สีดำสำหรับวางภายในชุดแผงรับแสงอาทิตย์

2.1.5 สร้างโครงเหล็กสำหรับรองรับแผงรับแสงอาทิตย์ โดยมีขนาดความกว้าง 100 เซนติเมตร ความยาว 305 เซนติเมตร และความสูง 50 เซนติเมตร และทำมุม 14 องศา สำหรับวางแผงรับแสงอาทิตย์

2.1.6 ติดตั้งชุดพัฒนาคาความร้อนโดยใช้มอเตอร์พัฒนขนาด 12 โวลท์ 2 วัตต์ โดยติดตั้ง 2 จุด คือด้านขาเข้าของอากาศร้อน และด้านทางออกของอากาศร้อนภายในตู้อบแห้ง พร้อมทั้งแผง เซลล์แสงอาทิตย์ทางด้านบนของตู้อบแห้งสำหรับแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าสำหรับ ชุดพัฒนาคาความร้อน

2.2 ทดสอบการใช้งาน ปรับแต่งและแก้ไขการทำงานของเครื่องอบแห้ง

2.2.1 ทดสอบการใช้งานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการนำไปตั้งไว้ใน สถานที่ที่กำหนดจากเวลา 8.00 น. – 17.00 น. โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งและแผงรับ แสงอาทิตย์ทุกๆ 1 ชั่วโมง

2.2.2 สังเกตการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยดูการทำงานของมอเตอร์พัฒน ชุดพัฒนาคาความร้อน

2.2.3 ตรวจสอบสภาพภายนอกและภายในของเครื่องอบแห้ง จะต้องอยู่ในสภาพดี และ มีความปลอดภัยต่อผลผลิตและผู้ใช้จนตลอดการทำงาน

2.2.4 การปรับแต่งและแก้ไขการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ทำการอุด รอยรั่วบริเวณรอยต่อต่างๆ ของเครื่องอบแห้งเพื่อป้องกันการการสูญเสียความร้อนภายในตู้อบแห้ง

3. ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพ

ในการหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นทางผู้วิจัยจะทำการคำนวณ จากการทดลองอบแห้งกับผลผลิตตัวอย่างทางการเกษตร และทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยใช้ เครื่องมือวัด ซึ่งค่าที่ได้จะนำไปคำนวณออกมาเป็นประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งและสมรรถนะทาง กายภาพในด้านการออกแบบและการใช้งาน , ความปลอดภัยในการใช้งาน และความสวยงามจะใช้ แบบประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ และนำผลการประเมินมาแปลความหมายเป็นระดับขั้นต่อไป

3.1 การทดลองกับผลผลิตตัวอย่าง

ทางผู้วิจัยจะทำการทดลองกับพริกซึ่งเป็นตัวอย่างของผลผลิตทางการเกษตร โดยใช้พริก ซีฟ้านขนาด 10 กิโลกรัม โดยมีวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้

3.1.1 ติดตั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยหันแผงรับแสงอาทิตย์ไปยังทิศใต้ โดยแผงรับแสงอาทิตย์จะทำมุม 14 องศากับพื้นดิน ซึ่งเป็นละติจูดของตำแหน่งพื้นที่ในเขตกรุงเทพฯ (ผศ.อนุตร จำลองกุล. 2545: 40) เพื่อรับแสงอาทิตย์ได้ทั้งทางทิศตะวันออกจนกระทั่งทิศตะวันตก และทำการต่อท่อของแผงรับแสงอาทิตย์เข้ากับส่วนของตู้อบแห้ง

3.1.2 นำพริกที่จะใช้ในการทดลองไปลวกในน้ำร้อนประมาณ 1 นาทีและทำให้สะเด็ดน้ำ

3.1.3 ชั่งน้ำหนักพริกที่จะทำการอบแห้งทั้งหมด และแบ่งชั่งน้ำหนักของพริกที่จะทำการกำหนดเป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดลองของแต่ละชั้นวาง ซึ่งจะทำการแบ่งพริกออกเป็น 4 ชั้นภายในตู้อบแห้ง

3.1.4 นำพริกใส่ตระแกรงของตู้อบแห้งทั้ง 4 ชั้น โดยแบ่งปริมาณพริกให้มีขนาดเท่าๆ กันในแต่ละชั้น

3.1.5 ทำการวัดอุณหภูมิตามจุดที่กำหนด และเริ่มทำการเก็บข้อมูล โดยเฉลี่ยทุกๆ 1 ชั่วโมง ซึ่งทำการวัดอุณหภูมิ และชั่งน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละชั้นที่ได้ทำการกำหนดไว้ รวมทั้งแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในการคำนวณค่าความชื้นจากน้ำหนักของพริก ณ ช่วงเวลาต่างๆ โดยใช้สมการ (2-8)

$$M_f = 100 - \left[\frac{W_i \times (100 - M_i)}{W_f} \right]$$

3.1.6 ดำเนินการอบแห้งต่อเนื่องจนครบระยะเวลาที่กำหนดและทำการชั่งน้ำหนักของกลุ่มตัวอย่างพริกในแต่ละชั้นเพื่อคำนวณจนหาค่าความชื้นถ้าความชื้นยังมากกว่า 15%(wb) จะทำการอบแห้งต่อจนได้ความชื้นของพริกตามที่ต้องการ จึงนำพริกออกจากเครื่องอบแห้งและนำผลผลิตที่ได้จากเครื่องอบแห้งมาวิเคราะห์ผลต่อไป

3.1.7 คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จ่ายให้กับชุดพัฒนาคาความร้อน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

$$\text{กำลังไฟฟ้า (W)} = \text{กระแสไฟฟ้า (A)} \times \text{ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)}$$

3.1.8 ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้

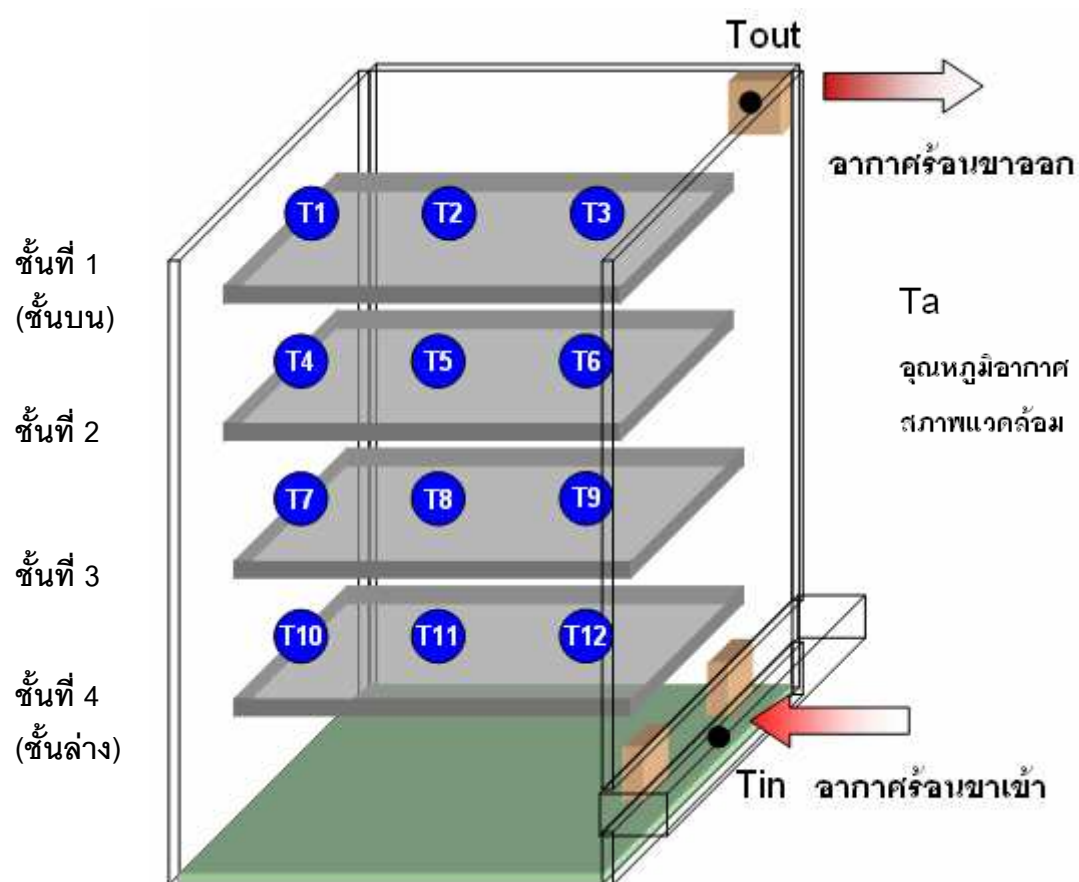
3.2 อุปกรณ์การวัดสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง

3.2.1 เทอร์โมมิเตอร์ สำหรับวัดอุณหภูมิ

3.2.2 มัลติมิเตอร์สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าสำหรับหาค่ากำลังไฟฟ้าของไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับชุดพัฒนาคาความร้อน

3.2.3 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล รุ่น EPS 202

3.2.4 เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 15 กิโลกรัม



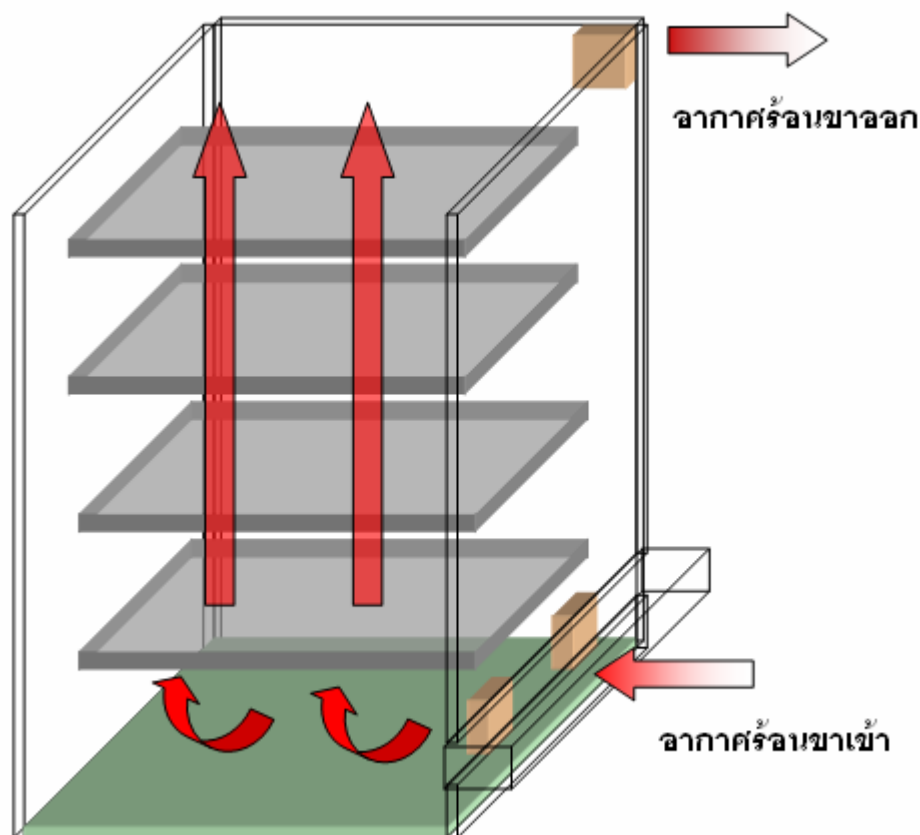
ภาพประกอบ 40 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

T_a = จุดวัดอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม

T_{1-12} = จุดวัดอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง

T_{in} = จุดวัดอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า

T_{out} = จุดวัดอุณหภูมิของอากาศร้อนขาออก



ภาพประกอบ 41 แสดงทิศทางการไหลอากาศร้อนภายในตึกอบแห้ง

3.3 การสร้างแบบประเมินสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การสร้างแบบประเมินสมรรถนะทางกายภาพจะทำแบบประเมินสมรรถนะทางกายภาพทั้งหมด 3 ด้านคือ ด้านการออกแบบและการใช้งาน , ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน และด้านความสวยงามของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมิน โดยผู้ประเมินในการวิจัยครั้งนี้ คือ ผู้เชี่ยวชาญ 4 ท่าน ที่มีประสบการณ์ด้านการออกแบบ เพื่อนำเอาผลการประเมินมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและแปลความหมายเป็นผลตามระดับต่อไป

3.3.1 การสร้างแบบประเมินสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วยคำถาม 2 ตอน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ

1. ด้านการออกแบบและการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
2. ด้านความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
3. ด้านความสวยงามของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

โดยกำหนดค่าคะแนน (Weight) ออกเป็น 5 ระดับ คือ

ระดับคะแนน 5 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

ระดับคะแนน 4 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดี

ระดับคะแนน 3 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง

ระดับคะแนน 2 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อย

ระดับคะแนน 1 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับน้อยที่สุด

3.3.2 วิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จะใช้วิธีการทางสถิติ ดังนี้

3.3.2.1 นำคะแนนที่ได้มาคำนวณ

3.3.2.1.1 หาค่าเฉลี่ยคณิต

3.3.2.1.2 หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.3.2.1.3 หาค่า t-test ในการเปรียบเทียบผลการประเมินกับสมมติฐาน

3.3.2.2 กำหนดเกณฑ์ในการแปลข้อมูลความหมายข้อมูลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยต่างๆ

ดังต่อไปนี้

ตาราง 4 เกณฑ์ในการแปลข้อมูลความหมายข้อมูลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยต่างๆ

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง	แปลความ
4.51-5.00	ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก
3.51-4.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับดี
2.51-3.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับพอใช้
1.51-2.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับต้องปรับปรุง
1.00-1.50	ผลการประเมินอยู่ในระดับใช้ไม่ได้

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.2.2.1 ค่าเฉลี่ย (Mean) โดยใช้สมการ (2-10)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย
 $\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
 N แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3.3.2.2.2 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) โดยใช้

สมการ (2-11)

$$S = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ S แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 $\sum X^2$ แทน ค่าผลรวมของคะแนนแต่ละข้อ
 N แทน จำนวนทั้งหมดของผู้ตอบแบบสอบถาม

3.3.2.2.3 หาค่า t-test โดยใช้สมการ

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_o}{\frac{SD}{\sqrt{n}}}$$

โดยมี $d_f = n - 1$

เมื่อ $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

μ_o แทน ค่าเกณฑ์มาตรฐาน

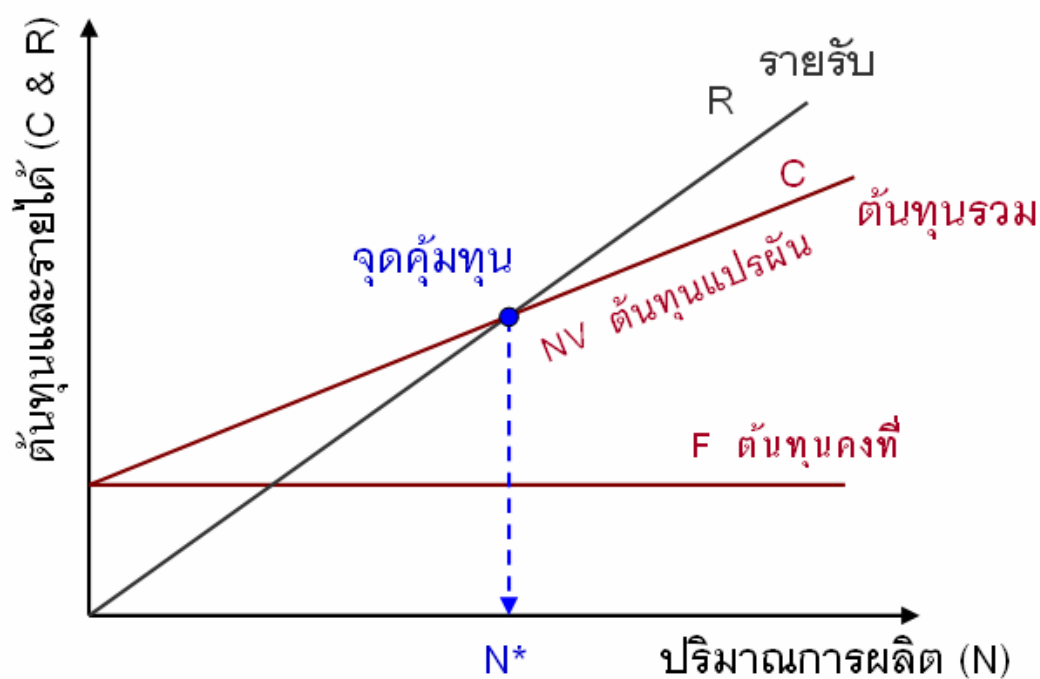
SD แทน ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

n แทน จำนวนประชากร

3.4 การคำนวณจุดคุ้มทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์

3.4.1 ต้นทุนการผลิต และจุดคุ้มทุน

ในการคำนวณหาจุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้จะคำนวณจากต้นทุนของการผลิตเครื่องอบแห้งซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผัน โดยทำการเปรียบเทียบกับรายรับที่ได้จากการขาย ซึ่งมีความหมายว่าเป็นจุดซึ่งมีกำไรเป็นศูนย์นั่นเอง



ภาพประกอบ 42 แสดงแผนภูมิของจุดคุ้มทุน

โดยในการคำนวณปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุน (N^*) สามารถคำนวณได้จากสมการ (2-14)

$$N^* = \frac{F}{p - V}$$

เมื่อ N^* แทน ปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุน
 F แทน ต้นทุนคงที่
 p แทน ราคาขาย
 V แทน ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

3.4.2 ระยะเวลาในการคืนทุน

เมื่อทราบปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุนแล้วจึงนำปริมาณที่ได้มาคำนวณระยะเวลาในการผลิตที่ใช้สมการ

$$\text{ระยะเวลาในการคืนทุน} = \frac{\text{ปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุน}}{\text{ปริมาณการผลิตต่อระยะเวลา}}$$

ซึ่งระยะเวลาของปริมาณการผลิตอาจจะกำหนดหน่วยเป็นวัน ,สัปดาห์ ,เดือน หรือปี ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม โดยการวิจัยครั้งนี้จะใช้ปริมาณการผลิตต่อวัน ในการเปรียบเทียบกับปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุน เพื่อคำนวณหาระยะเวลาในการคืนทุน

สำหรับการวิจัยนี้จะใช้การเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งกับการตากแห้งด้วยวิธีธรรมชาติ ดังนั้นในส่วนของความคิดคำนวณระยะเวลาคืนทุนจะใช้วิธีคำนวณจากผลต่างของกำไรที่ได้รับต่อปี ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาในการคืนทุน} &= \frac{\text{ต้นทุนเครื่องอบแห้ง}}{\text{ผลต่างของกำไรจากการอบแห้งด้วยเครื่องกับการตากแห้งแบบธรรมชาติ}} \\ &= \frac{\text{ต้นทุนเครื่องอบแห้ง}}{\text{กำไรจากการอบแห้งด้วยเครื่องต่อปี} - \text{กำไรจากการตากแห้งด้วยวิธีธรรมชาติต่อปี}} \end{aligned}$$

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นำเสนอตามลำดับต่อไปนี้

1. การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

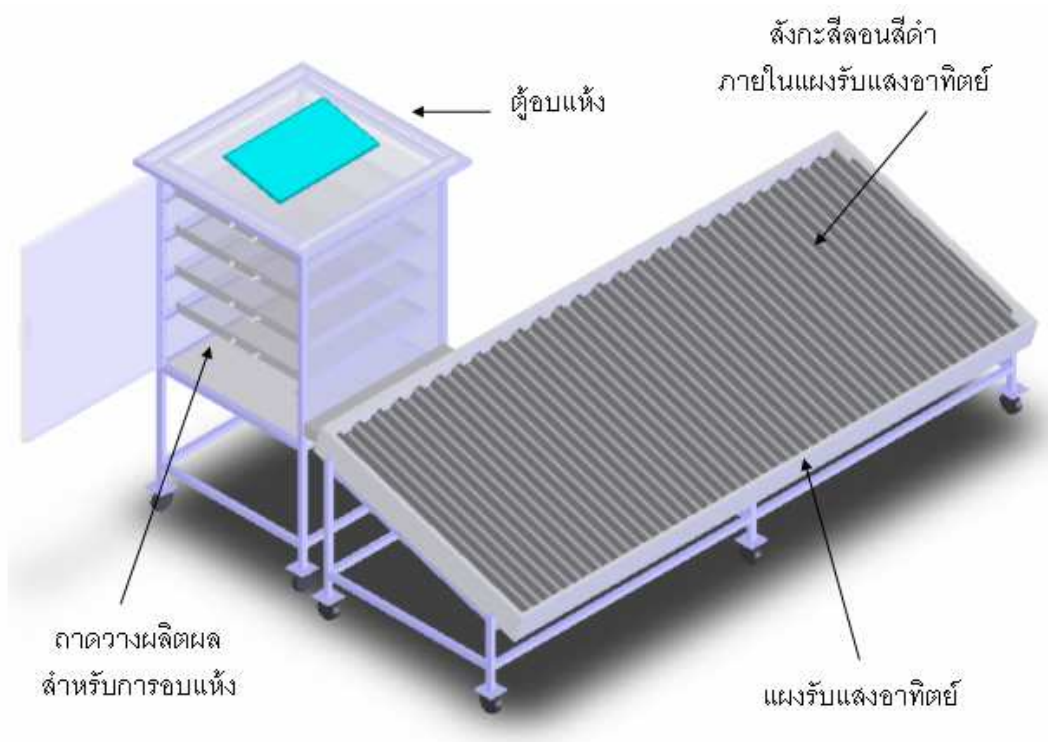
ในการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ทำการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและการใช้งาน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ คือ

1.1 แผงรับแสงอาทิตย์

แผงรับแสงอาทิตย์จะทำมุมเอียง 14 องศา ซึ่งเป็นละติจูดของตำแหน่งพื้นที่ในเขตกรุงเทพฯ (ผศ.อนุตร จำลองกุล. 2545: 40) และทำการบุด้วยฉนวนกันความร้อน เพื่อช่วยในการป้องกันการสูญเสียความร้อนของอากาศร้อนภายในแผงรับแสงอาทิตย์ ด้านบนปิดด้วยแผ่นกระจกใส สำหรับการแปลงแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์ และพื้นที่รับแสงอาทิตย์ภายในแผงรับแสงอาทิตย์นั้นได้ใช้สังกะสีลอนพ่นสีดำ เพื่อช่วยในการดูดซับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และความโค้งลอนของสังกะสีจะเป็นตัวช่วยให้พื้นที่รับแสงอาทิตย์มากขึ้น

1.2 ตู้อบแห้ง

ในส่วนของตู้อบแห้ง จะมีถาดสำหรับวางผลผลิตทางการเกษตรสำหรับการอบแห้งพื้นที่ถาดภายในตู้อบแห้งทั้งหมดเท่ากับ 2 ตารางเมตร และติดตั้งชุดพัดลมพาความร้อนภายในตู้อบแห้งสำหรับการพาความร้อนจากส่วนของแผงรับแสงอาทิตย์และการระบายความร้อน ผนังของตู้อบแห้งจะใช้พลาสติกใสปิดด้านข้างและด้านบน เพื่อให้แสงอาทิตย์สามารถส่งผ่านมายังส่วนของการอบแห้งและทางด้านบนและด้านข้าง ส่วนด้านล่างของบริเวณตู้อบแห้งจะได้รับพลังงานความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์โดยใช้ชุดพัดลมพาความร้อน



ภาพประกอบ 43 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

2. ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ในการทดลองของการวิจัยครั้งนี้จะใช้พริกชี้ฟ้าแดงเป็นตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยทำการทดลองทั้งหมด 7 ครั้ง ตั้งแต่วันที่ 20 มีนาคม ถึง 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2551 โดยการทดลองจะทำการอบพริกสดขนาด 10 กิโลกรัม จนพริกมีความชื้นเท่ากับหรือน้อยกว่า 15% ซึ่งเป็นความชื้นที่ทำให้พริกสามารถเก็บรักษาไว้ได้ การวัดผลข้อมูลของการทดลองและผลของข้อมูลมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 อุณหภูมิในแต่ละจุดที่กำหนดทั้งภายในและภายนอกของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับการวิเคราะห์ระบบการพาความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

2.2 น้ำหนักของตัวอย่างของพริกในแต่ละชั้นของตู้อบแห้ง เพื่อนำมาคำนวณเป็นความชื้นของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรสำหรับคำนวณหาประสิทธิภาพในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยตัวอย่างของพริกที่นำมาทำการวัดผลในแต่ละถาดจะมีน้ำหนัก 140 กรัม และกำหนดค่าความชื้นเริ่มต้นของพริกสดเท่ากับ 85%(wb)

2.3 กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตให้กับชุดพัดลมพาความร้อนภายในตู้อบแห้ง

จากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการอบพริกแห้งนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม ซึ่งผลของการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถอบพริกชี้ฟ้าสดขนาด 10 กิโลกรัม ให้แห้งได้ภายใน 1 – 2 วัน โดยระยะเวลาในการอบแห้งแสดงในตาราง

ตาราง 5 แสดงระยะเวลาในการอบแห้งจนพริกชี้ฟ้าสดมีความชื้นเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์

การทดลองครั้งที่	วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลา (วัน)
1	20 – 21 มีนาคม พ.ศ. 2551	2
2	30 – 31 มีนาคม พ.ศ. 2551	1.5
3	5 – 6 เมษายน พ.ศ. 2551	2
4	13 - 14 เมษายน พ.ศ. 2551	1.5
5	15 เมษายน พ.ศ. 2551	1
6	9 – 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2551	2
7	17 พฤษภาคม พ.ศ. 2551	1

จากตาราง 5 แสดงระยะเวลาของการอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของพริกสดจนมีความชื้นเท่ากับหรือน้อยกว่า 15%(wb) พบว่าระยะของการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศของวันที่ทำการอบแห้ง ในช่วงวันที่มีเมฆหรือสภาพอากาศไม่แจ่มใสจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานกว่าวันที่มีสภาพอากาศแจ่มใสตลอดทั้งวัน ซึ่งข้อมูลของผลการทดลองตามระยะเวลาของการอบแห้งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตาราง 6 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง โดยใช้ระยะเวลาอบแห้งทั้งหมด 2 วัน

เวลา / อุณหภูมิ (°C)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tin	Tout	Ta
8.00	30	28	29	27	26	26	27	26	26	30	28	31	32	28	26
9.00	43	40	41	41	39	40	40	39	40	41	43	45	46	38	28
10.00	52	50	51	50	48	49	49	48	50	51	51	52	53	45	30
11.00	59	58	58	57	57	57	57	57	58	59	59	60	61	52	32
12.00	63	61	62	60	59	59	60	59	60	62	61	63	64	56	33
13.00	63	62	62	61	60	61	61	61	61	63	62	63	64	57	33
14.00	63	62	61	60	59	59	60	59	60	62	62	62	63	56	32
15.00	61	59	59	58	56	57	58	57	58	60	60	61	62	53	31
16.00	54	51	51	51	49	50	50	50	51	52	53	54	56	47	30
17.00	52	50	50	48	47	47	48	48	49	50	50	51	52	45	29
เฉลี่ย	54	52	52	51	50	50	51	50	51	53	53	54	55	48	30

ตาราง 7 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งระยะเวลา 2 วัน (วันที่ 1)

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	139.42	129.13	107.26	85.38	67.28	54.85	48.22	42.23	38.47	36.60
ชั้นที่ 2	140.07	136.76	113.92	92.40	78.77	69.13	52.93	50.14	44.66	41.91
ชั้นที่ 3	140.25	135.14	114.84	91.90	77.03	68.62	54.23	49.0	44.39	40.94
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	141.39	129.12	106.86	83.98	65.88	54.81	48.45	41.68	38.15	36.30
เฉลี่ย	140.29	132.54	110.72	88.41	72.24	61.85	50.96	45.76	41.42	38.94

ตาราง 8 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งระยะเวลา 2 วัน (วันที่ 2)

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	36.08	34.92	32.73	29.93	27.48	25.66	24.37	23.36	22.97	22.77
ชั้นที่ 2	40.89	38.87	36.00	33.21	30.57	28.00	25.98	24.81	24.31	23.93
ชั้นที่ 3	40.36	38.23	35.92	33.00	30.60	28.01	25.99	24.81	24.20	23.85
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	35.97	34.64	32.71	29.93	27.58	25.88	24.46	23.64	23.25	23.04
เฉลี่ย	38.32	36.66	34.34	31.52	29.06	26.89	25.20	24.15	23.68	23.40

ตาราง 9 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งระยะเวลา 2 วัน (วันที่ 1)

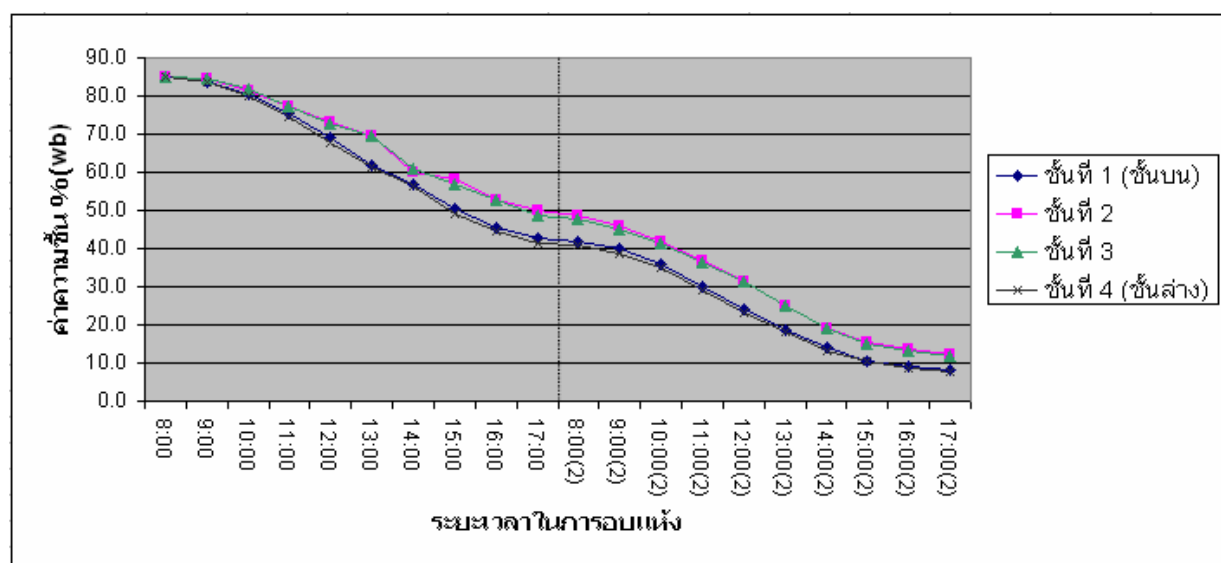
ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	85.0	83.8	80.5	75.5	68.9	61.9	56.6	50.5	45.6	42.9
ชั้นที่ 2	85.0	84.6	81.5	77.2	73.1	69.6	60.2	58.0	52.9	49.9
ชั้นที่ 3	85.0	84.4	81.7	77.1	72.6	69.3	61.1	57.0	52.5	48.6
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	85.0	83.6	80.1	74.7	67.8	61.3	56.2	49.1	44.4	41.6
เฉลี่ย	85.0	84.1	80.9	76.1	70.6	65.5	58.5	53.6	48.9	45.7

ตาราง 10 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งระยะเวลา 2 วัน (วันที่ 2)

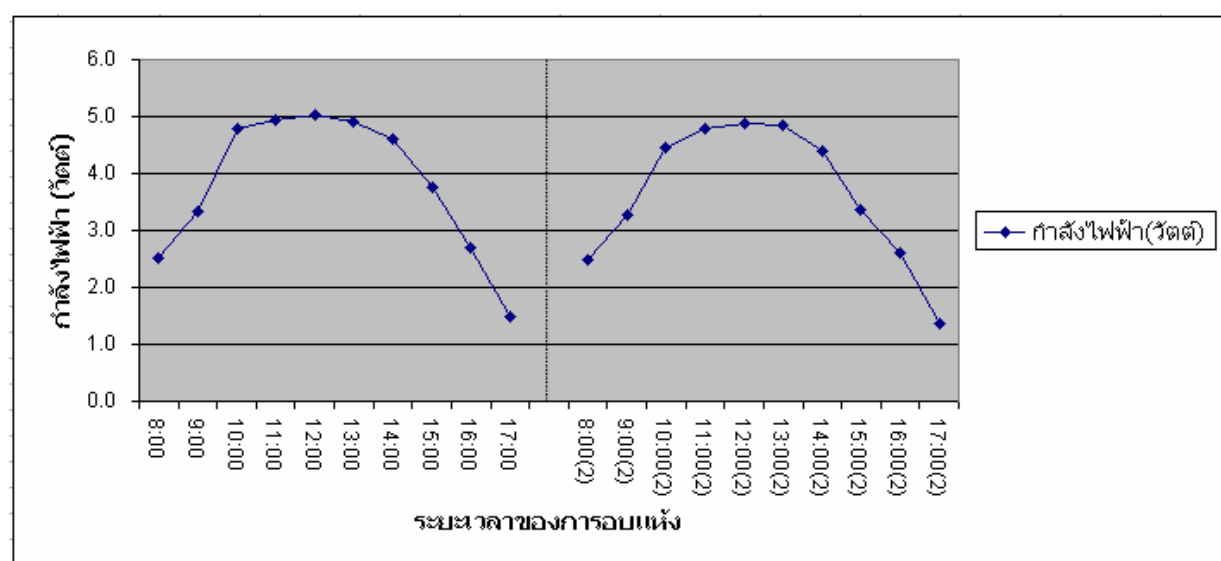
ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	42.0	40.1	36.1	30.1	23.9	18.5	14.2	10.5	8.9	8.1
ชั้นที่ 2	48.6	45.9	41.6	36.7	31.3	24.9	19.1	15.3	13.6	12.2
ชั้นที่ 3	47.8	44.9	41.4	36.2	31.2	24.9	19.1	15.2	13.1	11.8
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	41.0	38.8	35.2	29.1	23.0	18.0	13.3	10.3	8.8	7.9
เฉลี่ย	44.9	42.4	38.6	33.1	27.4	21.6	16.4	12.8	11.1	10.0

ตาราง 11 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งระยะเวลา 2 วัน

กำลังไฟฟ้า (วัตต์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 1	2.5	3.3	4.8	4.9	5.0	4.9	4.6	3.7	2.7	1.5
วันที่ 2	2.5	3.3	4.5	4.8	4.9	4.8	4.4	3.4	2.6	1.4
เฉลี่ย	2.5	3.3	4.6	4.9	4.9	4.9	4.5	3.6	2.7	1.4



ภาพประกอบ 44 กราฟแสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในการอบแห้งโดยใช้ระยะเวลา 2 วัน



ภาพประกอบ 45 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้า (วัตต์) ที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้

จากตาราง 5 แสดงระยะเวลาในการอบแห้ง โดยวันที่ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2551 จนถึง 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 รวมทั้งสิ้น 7 ครั้ง ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน ที่สภาพอากาศและสภาวะแวดล้อมค่อนข้างแจ่มใส แต่อาจจะมีเมฆปกคลุมในบางวัน ซึ่งส่งผลให้การอบแห้งใช้ระยะเวลาไม่เท่ากัน โดยจากการทดลองทั้งหมด 7 ครั้ง พบว่าการอบแห้งพริกชี้ฟ้าสดให้มีความชื้นเท่ากับหรือน้อยกว่า 15 % (wb) จะใช้ระยะเวลา 2 วัน 3 ครั้ง , 1.5 วัน 2 ครั้ง และภายใน 1 วัน 2 ครั้ง โดยระยะเวลาที่ทำการบันทึกผลคือ 8:00 – 17:00 น. ของแต่ละวัน โดยรายละเอียดข้อมูลแสดงดังต่อไปนี้

ผลที่ได้จากการอบแห้งที่ใช้ระยะเวลา 2 วัน มีผลการทดลองดังนี้ ตาราง 6 เป็นผลเฉลี่ยของข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละจุดภายในตู้อบแห้งและภายนอกของตู้อบแห้ง รวมทั้งอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (Ta) ซึ่งผลแสดงว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 30°C โดยมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 26 – 33°C โดยอุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงสุดในช่วงเวลาเที่ยง และอุณหภูมิของอากาศร้อนเข้าที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์ (Tin) มีค่าเท่ากับ 32 - 64°C ภายในตู้อบแห้งภาคชั้นที่ 1 (ชั้นบน) มีอุณหภูมิตั้งแต่ (T1,T2 ,T3) 28 - 63°C โดยเฉลี่ยเท่ากับ 53°C , บริเวณชั้นที่ 2 และ 3 มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน (T4-T9) ตั้งแต่ 26 - 61°C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 51°C และบริเวณภาคชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง) พบว่ามีอุณหภูมิใกล้เคียงกับ บริเวณภาคชั้นที่ 1 (ชั้นบน) โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเท่ากับ 53°C และมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 63°C ซึ่งเป็นผลจากชุดพัดลมพาอากาศร้อนบริเวณทางเข้าของอากาศร้อน

ซึ่งผลของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งแสดงให้เห็นถึงพลังงานความร้อนที่จะส่งผลให้ความชื้นของพริกภายในตู้อบแห้งลดลงจนถึงค่าความชื้นที่กำหนด โดยการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของพริกจะใช้ผลจากการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละภาคมาใช้ในการคำนวณค่าความชื้น ตาราง 7 และ ตาราง 8 แสดงผลของน้ำหนักตัวอย่างพริกในแต่ละภาคของวันที่ 1 และวันที่ 2 ของการอบแห้ง โดยผลของน้ำหนักจะนำมาคิดคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นของพริกในตารางที่ 9 และตารางที่ 10 โดยความชื้นของพริกสดในการทดลองเท่ากับ 85% (wb) หลังจากผ่านการอบแห้งวันที่ 1 มีค่าความชื้นลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 45.7% (wb) และเมื่อสิ้นสุดการอบแห้งวันที่ 2 มีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 10% (wb) ซึ่งต่ำกว่าค่าความชื้นที่ต้องการคือ 15% (wb) ซึ่งความชื้นของตัวอย่างภาคชั้นที่ 1 (ชั้นบน) และชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง) มีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 8% (wb) เมื่ออบแห้งแล้วน้ำหนักของพริกลดลงจาก 10.2 กิโลกรัม เหลือเพียง 1.7 กิโลกรัม โดยคิดเป็นอัตราการระเหยของน้ำจากพริกสดเท่ากับ $(10.2 \text{ กิโลกรัม} - 1.7 \text{ กิโลกรัม}) / 2 \text{ ตารางเมตร} / 2 \text{ วัน} = 2.1 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน}$

จากตาราง 11 เป็นการแสดงกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการจ่ายไฟฟ้าให้กับชุดพัดลมพาความร้อน ซึ่งผลแสดงว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด

4.9 วัดต์ ในชั่วงเวลาเที่ยงวัน และมีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 3.8 วัดต์ โดยภาพประกอบ 45 แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับชุดพัดลมพาอากาศร้อนภายในตู้อบแห้ง ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามสภาพของความเข้มแสงอาทิตย์ตามสภาพอากาศของวันที่ทำการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าในช่วงเช้าตั้งแต่ 8:00 – 10:00 น. ความเข้มแสงอาทิตย์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และในช่วงเวลาเที่ยงจะมีค่าความเข้มของแสงอาทิตย์สูงสุด จากนั้นจะลดลงตั้งแต่เวลา 15:00 น. เป็นต้นไป ซึ่งส่งผลให้การไหลของอากาศร้อนมีผลตามช่วงระยะเวลาของการอบแห้ง

ตาราง 12 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง โดยใช้ระยะเวลาอบแห้งทั้งหมด 1.5 วัน

เวลา / อุณหภูมิ (°C)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tin	Tout	Ta
8.00	31	30	31	28	27	28	28	28	28	31	29	33	34	30	27
9.00	43	41	41	41	40	42	41	40	42	45	45	46	48	40	29
10.00	54	53	52	50	50	50	51	50	51	53	52	54	55	47	31
11.00	62	61	60	59	58	59	60	59	60	62	61	62	63	54	34
12.00	66	63	64	62	60	60	63	62	63	66	65	66	67	56	35
13.00	65	64	64	64	61	63	64	62	64	66	66	67	69	58	35
14.00	64	64	64	63	61	61	63	62	64	66	66	67	68	59	33
15.00	61	59	59	59	58	59	59	59	60	62	61	63	65	55	33
16.00	54	51	52	52	51	53	52	52	53	54	54	55	57	48	32
17.00	51	49	50	50	48	50	49	49	51	50	50	52	53	45	31
เฉลี่ย	55	53	54	53	51	52	53	52	53	55	55	56	58	49	32

ตาราง 13 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกแต่ละช่วงระยะเวลาของการอบแห้งระยะเวลา 1.5 วัน (วันที่ 1)

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	137.98	108.70	96.46	80.77	65.00	50.91	45.03	41.99	39.02	36.52
ชั้นที่ 2	139.39	113.95	100.49	86.99	67.25	53.63	46.30	43.11	40.32	37.58
ชั้นที่ 3	139.33	115.87	107.13	91.53	69.34	55.00	47.00	44.04	41.30	38.35
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	139.88	104.81	92.64	78.23	64.58	50.62	43.92	41.53	38.53	35.85
เฉลี่ย	139.14	110.83	99.18	84.38	66.54	52.54	45.56	42.67	39.79	37.08

ตาราง 14 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งระยะเวลา 1.5 วัน (วันที่ 2)

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	34.64	32.63	29.51	27.02	24.22	23.14	22.51	22.22	22.11	21.88
ชั้นที่ 2	35.54	33.52	30.20	27.62	24.92	23.91	23.22	22.80	22.58	22.48
ชั้นที่ 3	35.92	34.16	30.40	27.86	25.03	23.84	23.35	22.79	22.69	22.53
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	34.60	32.51	29.90	27.14	24.45	23.29	22.74	22.57	22.37	22.21
เฉลี่ย	35.18	33.21	30.00	27.41	24.66	23.54	22.96	22.60	22.44	22.28

ตาราง 15 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งระยะเวลา 1.5 วัน (วันที่ 1)

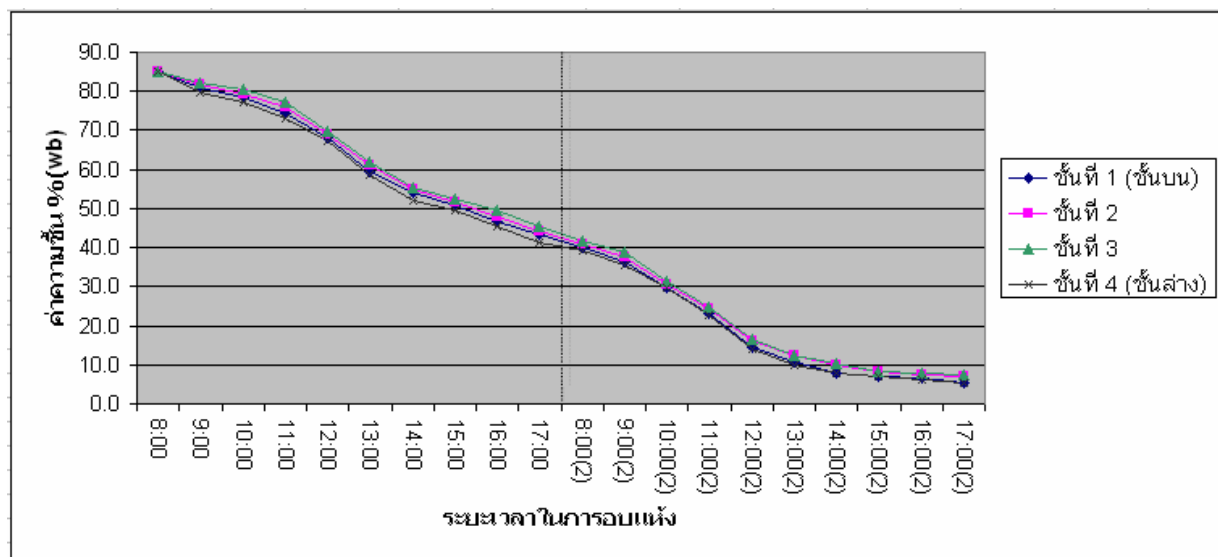
ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	85.0	80.9	78.5	74.4	68.2	59.4	54.0	50.7	46.8	43.2
ชั้นที่ 2	85.0	81.6	79.2	75.9	68.9	61.0	54.8	51.4	48.1	44.2
ชั้นที่ 3	85.0	82.0	80.5	77.1	69.9	62.0	55.5	52.5	49.4	45.4
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	85.0	79.9	77.3	73.2	67.5	58.6	52.2	49.4	45.4	41.4
เฉลี่ย	85.0	81.1	78.9	75.1	68.6	60.2	54.1	51.0	47.4	43.5

ตาราง 16 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งระยะเวลา 1.5 วัน (วันที่ 2)

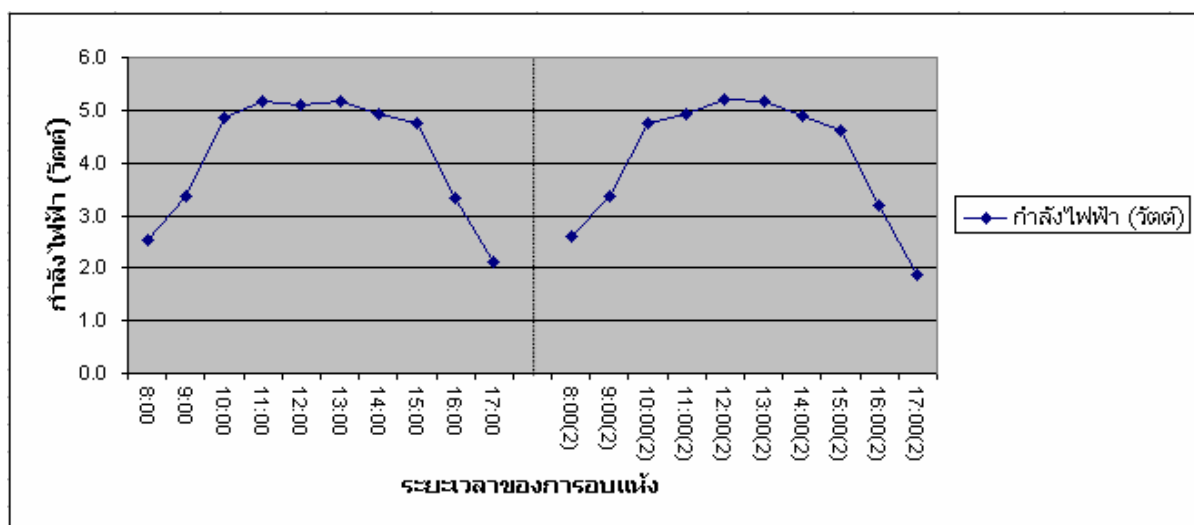
ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	39.9	36.5	29.8	23.3	14.5	10.6	8.1	6.9	6.4	5.4
ชั้นที่ 2	40.9	37.5	30.7	24.2	16.1	12.6	10.0	8.3	7.4	7.0
ชั้นที่ 3	41.5	38.7	31.2	24.9	16.5	12.4	10.5	8.3	7.9	7.3
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	39.1	35.3	29.8	22.6	14.2	9.9	7.8	7.1	6.2	5.6
เฉลี่ย	40.3	37.0	30.4	23.8	15.3	11.3	9.1	7.6	7.0	6.3

ตาราง 17 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งระยะเวลา 1.5 วัน

กำลังไฟฟ้า (วัตต์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 1	2.5	3.3	4.8	5.2	5.1	5.2	4.9	4.8	3.3	2.1
วันที่ 2	2.6	3.3	4.8	4.9	5.2	5.2	4.9	4.6	3.2	1.9
เฉลี่ย	2.6	3.3	4.8	5.0	5.2	5.2	4.9	4.7	3.3	2.0



ภาพประกอบ 46 กราฟแสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในการอบแห้งโดยใช้ระยะเวลา 1.5 วัน



ภาพประกอบ 47 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ภายในระยะเวลา 1.5 วัน

จากข้อมูลตาราง 12 เป็นผลเฉลี่ยของข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละจุดภายในตู้อบแห้งและภายนอกของตู้อบแห้ง รวมทั้งอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (Ta) ของการอบแห้งที่ใช้ระยะเวลาอบฟริกซ์ฟ้าสาดให้แห้งภายในระยะเวลา 1.5 วัน โดยในการปฏิบัติของทดลองจะทำการอบแห้งฟริกต่อเนื่องและทำการวัดผลค่าความชื้นของฟริกจนครบ 2 วัน ซึ่งผลอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 32°C โดยมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ $27 - 35^{\circ}\text{C}$ โดยอุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงสุดในช่วงเวลาเที่ยง โดยสภาพอากาศท้องฟ้าแจ่มใสเกือบตลอดทั้งวัน และอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์ (Tin) มีค่าเท่ากับ $34 - 69^{\circ}\text{C}$ ภายในตู้อบแห้งถาดชั้นที่ 1 (ชั้นบน) มีอุณหภูมิตั้งแต่ (T1,T2 ,T3) $30 - 65^{\circ}\text{C}$ โดยเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 54°C , บริเวณชั้นที่ 2 และ 3 มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน (T4-T9) ตั้งแต่ $27 - 64^{\circ}\text{C}$ และมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 52°C และ 53°C ส่วนบริเวณถาดชั้นที่ 4 (T10-T12) พบว่ามีอุณหภูมิต่ำเฉลี่ยเท่ากับ 55°C และมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 67°C ซึ่งเป็นผลจากอากาศร้อนที่มาจากแผงรับแสงอาทิตย์โดยการพาความร้อนของชุดพัดลมพาอากาศร้อน ผลของการชั่งน้ำหนักตัวอย่างในแต่ละถาดโดยกำหนดตัวอย่างของแต่ละถาดเท่ากับ 140 กรัม และมีค่าความชื้นเริ่มต้นกำหนดเท่ากับ 85%(wb) ซึ่งจะนำผลของน้ำหนักตัวอย่างที่ได้มาใช้ในการคำนวณค่าความชื้นตามระยะเวลาดังผลของตาราง 15 และ ตาราง 16 หลังจากผ่านการอบแห้งวันที่ 1 มีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 43.5%(wb) และเมื่อสิ้นสุดการอบแห้งวันที่ 2 มีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 6.3% (wb) ซึ่งต่ำกว่าค่าความชื้นที่ต้องการคือ 15%(wb) โดยค่าความชื้นของฟริกตัวอย่งนั้นมีค่า

เท่ากับ 11.3% (wb) ตั้งแต่ 13:00 น. ของวันที่ 2 จึงสรุปว่าระยะเวลาของการอบแห้งเป็น 1.5 วัน เมื่ออบแห้งแล้วน้ำหนักของพริกลดลงจาก 10.3 กิโลกรัม เหลือเพียง 1.7 กิโลกรัม ที่เวลา 13:00 น. ซึ่งอัตราการระเหยของน้ำจากพริกสดเท่ากับ

$$(10.3 \text{ กิโลกรัม} - 1.7 \text{ กิโลกรัม}) / 2 \text{ ตารางเมตร} / 1.5 \text{ วัน} = 2.9 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน}$$

จากตาราง 17 เป็นการแสดงกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการจ่ายไฟฟ้าให้กับชุดพัฒนาศักยภาพความร้อน ซึ่งผลแสดงว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 5.2 วัตต์ ในช่วงเวลาเที่ยงวัน และมีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 4.1 วัตต์ โดยภาพประกอบ 47 แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับชุดพัฒนาศักยภาพอากาศร้อนภายในตู้อบแห้ง ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามสภาพของความเข้มแสงอาทิตย์ตามสภาพอากาศของวันที่ทำการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ของการอบแห้งภายในระยะเวลา 1.5 วัน มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าการอบแห้งโดยใช้ระยะเวลา 2 วัน วิเคราะห์จากสภาพอากาศในการทดลองและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดได้ ลักษณะของแสงอาทิตย์ในช่วงเช้าตั้งแต่ 8:00 – 10:00 น. ความเข้มแสงอาทิตย์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และในช่วงเวลาเที่ยงจะมีค่าความเข้มของแสงอาทิตย์สูงสุด จากนั้นจะลดลงตั้งแต่เวลา 15:00 น. เป็นต้นไป ซึ่งส่งผลให้การไหลของอากาศร้อนมีผลตามช่วงระยะเวลาของการอบแห้ง

ตาราง 18 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง โดยใช้ระยะเวลาอบแห้งทั้งหมด 1 วัน

เวลา / อุณหภูมิ (°C)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tin	Tout	Ta
8.00	32	32	32	29	28	29	29	29	29	33	32	35	37	31	28
9.00	46	45	45	45	43	45	43	42	42	45	46	49	51	44	32
10.00	56	55	56	54	52	53	52	52	53	55	56	56	57	50	34
11.00	65	63	64	61	61	62	61	62	62	63	64	65	66	56	36
12.00	68	66	68	65	63	63	64	63	65	68	68	69	71	59	38
13.00	70	69	69	66	65	65	66	65	66	69	70	71	72	60	37
14.00	70	68	69	65	65	66	66	65	66	69	69	71	71	60	36
15.00	65	63	64	62	60	61	61	61	62	63	65	65	68	58	35
16.00	57	56	56	55	53	55	54	53	55	55	56	58	60	52	35
17.00	55	53	55	52	51	51	52	52	53	54	55	55	56	49	32
เฉลี่ย	58	57	58	55	54	55	55	54	55	57	58	59	61	52	34

ตาราง 19 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งระยะเวลา 1 วัน

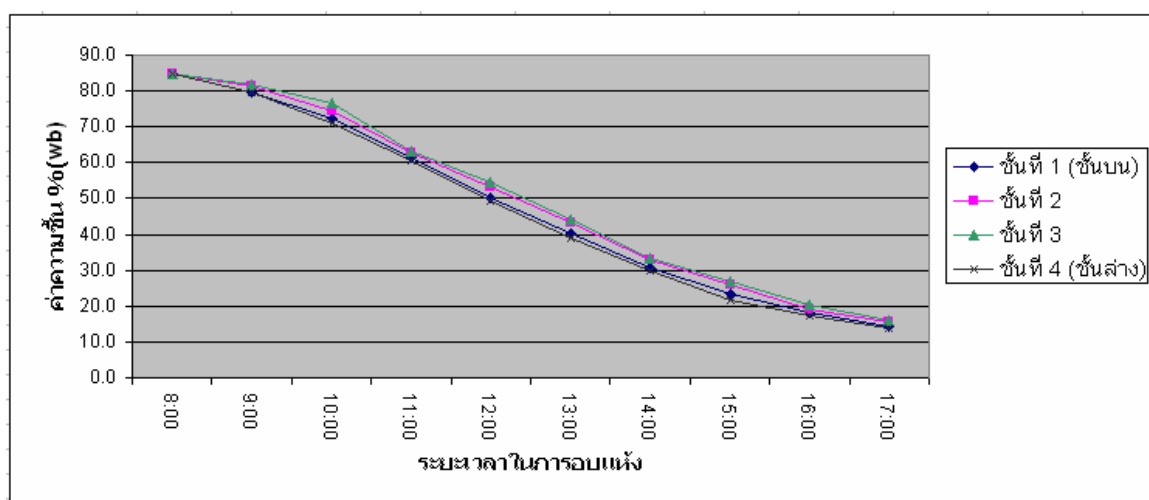
น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	140.30	103.51	76.25	54.88	42.43	35.16	30.34	27.46	25.73	24.59
ชั้นที่ 2	139.60	111.68	82.42	55.99	44.79	36.93	31.28	28.20	25.90	24.75
ชั้นที่ 3	139.26	115.12	89.01	56.53	45.86	37.43	31.41	28.56	26.16	24.85
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	141.79	104.78	73.54	53.78	41.91	34.87	30.26	27.13	25.70	24.73
เฉลี่ย	140.24	108.77	80.33	55.30	43.75	36.10	30.82	27.84	25.87	24.73

ตาราง 20 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งระยะเวลา 1 วัน

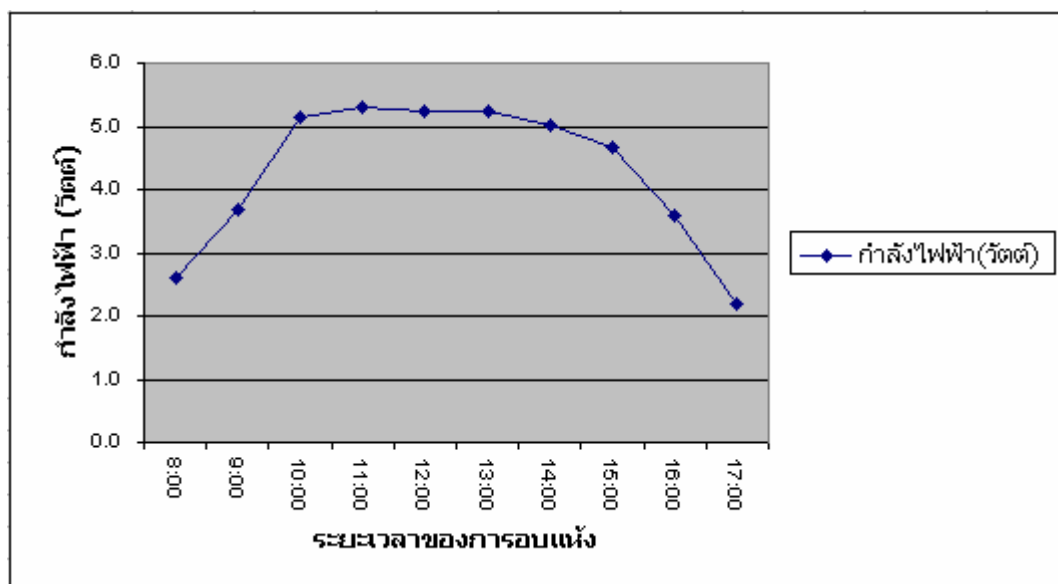
ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	85.0	79.7	72.4	61.7	50.4	40.2	30.7	23.4	18.2	14.4
ชั้นที่ 2	85.0	81.3	74.6	62.6	53.3	43.3	33.1	25.8	19.2	15.4
ชั้นที่ 3	85.0	81.9	76.5	63.1	54.5	44.2	33.5	26.9	20.2	16.0
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	85.0	79.6	71.1	60.5	49.3	39.0	29.7	21.6	17.3	14.0
เฉลี่ย	85.0	80.6	73.6	61.9	51.8	41.6	31.7	24.4	18.7	14.9

ตาราง 21 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งระยะเวลา 1 วัน

กำลังไฟฟ้า (วัตต์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 1	2.6	3.7	5.2	5.3	5.2	5.2	5.0	4.7	3.6	2.2



ภาพประกอบ 48 กราฟแสดงความชื้นของตัวอย่างฟริกในการอบแห้งโดยใช้ระยะเวลา 1 วัน



ภาพประกอบ 49 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ภายในระยะเวลา 1 วัน

จากข้อมูลตาราง 18 เป็นผลของการวัดอุณหภูมิในแต่ละจุดภายในตู้อบแห้งและภายนอกของตู้อบแห้ง รวมทั้งอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม (T_a) ของการอบแห้งที่ใช้ระยะเวลาอบฟริกชีฟ้าสดให้แห้งภายในระยะเวลา 1 วัน ซึ่งผลอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 34°C โดยมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ $28 - 38^{\circ}\text{C}$ โดยอุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงสุดในช่วงเวลาที่เที่ยง โดยสภาพอากาศท้องฟ้าแจ่มใสตลอดทั้งวัน และอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์ (Tin) มีค่าตั้งแต่ $37 - 72^{\circ}\text{C}$ ภายในตู้อบแห้งถาดชั้นที่ 1 (ชั้นบน) มีอุณหภูมิตั้งแต่ $(T1-T3) 32 - 70^{\circ}\text{C}$ โดยเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 58°C ในถาดชั้นที่ 2 ($T4-T6$) มีอุณหภูมิตั้งแต่ $28 - 66^{\circ}\text{C}$ โดยอุณหภูมิเฉลี่ย

เท่ากับ 55°C ส่วนภาคชั้นที่ 3 (T7-T9) มีอุณหภูมิตั้งแต่ $29 - 66^{\circ}\text{C}$ และมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 55°C ส่วนบริเวณภาคชั้นที่ 4 (T10-T12) พบว่ามีอุณหภูมิค่าเฉลี่ยเท่ากับ 58°C และมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 71°C ที่จุดวัด T12 ซึ่งเป็นผลจากอากาศร้อนที่มาจากแผงรับแสงอาทิตย์โดยการพาความร้อนของชุดพัดลมพาอากาศร้อน โดยอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกเท่ากับ

$20 - 30^{\circ}\text{C}$ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 10:00 – 15:00 น. ซึ่งส่งผลต่อการลดความชื้นของพริกที่ทำการอบแห้ง โดยผลของการชั่งน้ำหนักตัวอย่างในแต่ละภาคโดยใช้ตัวอย่างของแต่ละภาคประมาณ 140 กรัม และมีความชื้นเริ่มต้นกำหนดเท่ากับ 85%(wb) ซึ่งจะนำผลของน้ำหนักตัวอย่างที่ได้มาใช้ในการคำนวณค่าความชื้นตามระยะเวลาดังผลของตารางที่ 20 หลังจากผ่านการอบแห้ง 1 วัน มีความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 14.9%(wb) ซึ่งต่ำกว่าค่าความชื้นที่ต้องการคือ 15%(wb) หลังจากการอบแห้งแล้วน้ำหนักของพริกลดลงจาก 10.0 กิโลกรัม เหลือเพียง 1.8 กิโลกรัม ซึ่งเท่ากับอัตราการระเหยของน้ำจากพริกสดเท่ากับ $(10.0 \text{ กิโลกรัม} - 1.8 \text{ กิโลกรัม}) / 2 \text{ ตารางเมตร} / 1 \text{ วัน} = 4.1 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน}$

ตาราง 21 เป็นการแสดงกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการจ่ายไฟฟ้าให้กับชุดพัดลมพาความร้อน ซึ่งผลแสดงว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 5.3 วัตต์ ในช่วงเวลา 11:00 – 12:00 น. และมีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 4.3 วัตต์ ซึ่งในช่วงระหว่าง 10:00 – 14:00 น. ที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้อย่างคงที่และภายในตู้อบมีอุณหภูมิสูง จึงส่งผลให้น้ำหนักและค่าความชื้นของพริกที่ทำการทดลองลดลงได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งระยะเวลาของการอบพริกสดให้แห้งภายในระยะเวลา 1 วัน เท่ากับที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนของการออกแบบภาพประกอบ 49 แสดงกราฟของกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับชุดพัดลมพาอากาศร้อนภายในตู้อบแห้ง ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามสภาพของความเข้มแสงอาทิตย์ตามสภาพอากาศของวันที่ทำการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ของการอบแห้งภายในระยะเวลา 1 วัน มีความชื้นสูงกว่าการอบแห้งโดยใช้ระยะเวลา 2 วัน และ 1.5 วัน วิเคราะห์จากสภาพอากาศในการทดลองและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดได้ ลักษณะของแสงอาทิตย์ในช่วงเช้าตั้งแต่ 8:00 – 10:00 น. ความเข้มแสงอาทิตย์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และมีความเข้มแสงอาทิตย์สูงตลอดตั้งแต่ 11:00 – 15:00 น. จากนั้นจึงค่อยๆ ลดลง ส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศร้อนมีความสม่ำเสมอตลอดทั้งวัน ทำให้พริกสดที่ทำการทดลองสามารถลดความชื้นลงได้อย่างต่อเนื่อง

ตาราง 22 แสดงอุณหภูมิโดยเฉลี่ยต่อวันของการตากพริกโดยวิธีธรรมชาติ

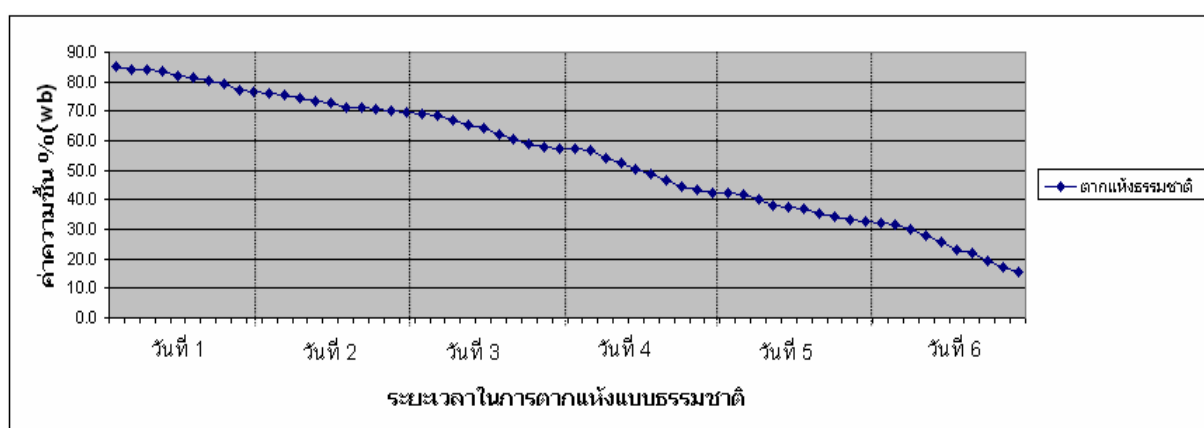
อุณหภูมิ (°C) / เวลา	21 มี.ค. 51	22 มี.ค. 51	23 มี.ค. 51	24 มี.ค. 51	25 มี.ค. 51	26 มี.ค. 51
อุณหภูมิเฉลี่ย ต่อวัน	30	30	30	32	30	32

ตาราง 23 แสดงน้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่างต่อวันของการตากพริกโดยวิธีธรรมชาติ

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	21 มี.ค. 51	22 มี.ค. 51	23 มี.ค. 51	24 มี.ค. 51	25 มี.ค. 51	26 มี.ค. 51
น้ำหนัก สุดท้ายของ วัน	88.06	68.13	48.78	36.02	30.79	24.62

ตาราง 24 แสดงค่าความชื้นสุดท้ายของตัวอย่างต่อวันของการตากพริกโดยวิธีธรรมชาติ

ความชื้น (%wb) / เวลา	21 มี.ค. 51	22 มี.ค. 51	23 มี.ค. 51	24 มี.ค. 51	25 มี.ค. 51	26 มี.ค. 51
ความชื้น สุดท้ายของ วัน	76.4	69.5	57.4	42.3	32.5	15.6



ภาพประกอบ 50 กราฟความชื้นของตัวอย่างพริกในการอบแห้งโดยวิธีการตากแห้งแบบธรรมชาติ

จากผลของตาราง 22 , 23 และ 24 เป็นผลตัวอย่างที่ทำการตากพริกแห้งด้วยวิธีธรรมชาติ ทำการตากแห้งตัวอย่างพริกใส่ถาดรองที่มีลักษณะเป็นตระแกรง วางในที่ที่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ ตลอดทั้งวันตั้งแต่เวลา 8:00 – 17:00 น. ทำการชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง จนกระทั่งพริกมีค่าความชื้น เท่ากับหรือน้อยกว่า 15%(Wb) โดยผลของการตากด้วยวิธีธรรมชาตินั้นสรุปได้ว่าจะใช้ระยะเวลา ประมาณ 6 วัน ซึ่งจากตัวอย่างของพริกสดจะมีน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 138.54 กรัม ที่ความชื้นเริ่มต้น เท่ากับ 85% (wb) และเมื่อสิ้นสุดวันที่ 6 ของการอบแห้งจะมีน้ำหนักเหลือเท่ากับ 24.62 กรัม หรือ คำนวณเป็นค่าความชื้นได้เท่ากับ 15.6% (wb) โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิตลอดวันเท่ากับ 30°C ซึ่งเมื่อ เทียบกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้พัฒนาขึ้นจะเห็นได้ว่าเครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์สามารถอบพริกให้แห้งได้ภายในระยะเวลา 1 – 2 วัน ซึ่งเร็วกว่าการตากแห้งด้วย วิธีธรรมชาติประมาณ 4 วัน

3. ผลการประเมินสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การประเมินความคิดเห็นของสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 4 ท่าน แบ่งการประเมินเป็น 3 ด้าน คือ

- 3.1 ด้านการออกแบบและการใช้งานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
- 3.2 ด้านความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
- 3.3 ด้านความสวยงามของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

โดยผลของการประเมินสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีดัง รายละเอียดต่อไปนี้

ตาราง 25 แสดงผลประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
ด้านการออกแบบและการใช้งาน

รายละเอียดการประเมิน ด้านการออกแบบและการใช้งาน	$\bar{X}$	SD	t-test	Sig.	แปล ความหมาย
1. การนำทฤษฎีมาใช้ในการคำนวณ ออกแบบขนาดเครื่องอบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์	3.75	0.50	-1.000	0.391	ดี
2. การคำนวณและการออกแบบการพาความร้อนเพื่อนำไปใช้ในการอบแห้ง	4.50	0.58	1.732	0.182	ดี
3. การเลือกวัสดุที่ใช้เป็นส่วนประกอบของ แผงรับแสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับการ ออกแบบ	4.75	0.50	3.000	0.058	ดีมาก
4. การเลือกวัสดุที่ใช้เป็นส่วนประกอบของ ตู้อบแห้งให้เหมาะสมกับการออกแบบ	4.50	0.58	1.732	0.182	ดี
5. ขนาดและรูปร่างของเครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์มีความเหมาะสมใน การใช้งาน	4.25	0.50	1.000	0.391	ดี
6. ความสามารถในการพาความร้อนจากแผง รับแสงอาทิตย์มาใช้ในการอบแห้งใน ตู้อบแห้ง	4.00	0.00	∞	1.000	ดี
7. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถ ติดตั้งได้สะดวก	4.50	0.58	1.732	0.182	ดี
8. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถ เคลื่อนย้ายได้สะดวก	4.25	0.96	0.522	0.638	ดี
9. แผงรับแสงอาทิตย์และตู้อบแห้งสามารถ ถอดแยกออกจากกันได้	4.50	0.58	1.732	0.182	ดี
10. ความสะดวกของเครื่องอบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์	4.50	0.58	1.732	0.182	ดี
ผลเฉลี่ยการประเมิน	4.35	0.19	3.656	0.035*	ดี

C.V. = 4 , $\alpha = 0.05$, * $P < 0.05$

จากผลตาราง 25 สรุปได้ว่าความเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับด้านการออกแบบและการใช้งานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.35$, SD = 0.19 , t-test = 3.656 , Sig = 0.035 เมื่อทดสอบกับเกณฑ์คะแนน 4 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างจากเกณฑ์คะแนน 4 โดยมีค่าคะแนนเฉลี่ยสูงกว่า ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี หัวข้อที่ได้คะแนนสูงสุดคือ การเลือกวัสดุที่ใช้เป็นส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับการออกแบบ มีค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.75$, SD = 0.50 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก และหัวข้อที่ได้รับคะแนนน้อยที่สุดคือ การนำทฤษฎีมาใช้ในการคำนวณออกแบบขนาดเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 3.75$, SD = 0.50 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 25 สรุปได้ว่าด้านการออกแบบและการใช้งานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับดี เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีการนำทฤษฎีมาใช้ในการคำนวณออกแบบและเลือกวัสดุที่ใช้ได้เหมาะสม ขนาดและรูปร่างของเครื่องอบแห้ง มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและการติดตั้ง

ตาราง 26 แสดงผลประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน

รายละเอียดการประเมิน ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน	$\bar{X}$	SD	t-test	Sig.	แปล ความหมาย
1. ความปลอดภัยในการติดตั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	4.50	0.58	1.732	0.182	ดี
2. ความปลอดภัยในการเคลื่อนย้ายเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	4.25	0.50	1.000	0.391	ดี
3. ผู้ใช้งานเครื่องอบแห้งมีความปลอดภัยในการนำผลผลิตมาทำการอบแห้ง	4.50	0.58	1.732	0.182	ดี
4. การเลือกวัสดุที่มีความปลอดภัยมาใช้เป็นส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์	4.00	0.82	0.000	1.000	ดี
5. การเลือกวัสดุที่มีความปลอดภัยมาใช้เป็นส่วนประกอบของตู้อบแห้ง	4.00	0.82	0.000	1.000	ดี
ผลเฉลี่ยการประเมิน	4.25	0.60	0.837	0.464	ดี

C.V. = 4 , $\alpha = 0.05$, * P < 0.05

จากผลตาราง 26 สรุปได้ว่าสมรรถนะทางกายภาพด้านความปลอดภัยของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่า $\bar{X} = 4.25$, SD = 0.60 , t-test = 0.837 , Sig = 0.464 ทำการทดสอบกับเกณฑ์คะแนน 4 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าไม่แตกต่าง สรุปได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ดี โดยหัวข้อที่ได้คะแนนสูงสุดคือ ความปลอดภัยในการติดตั้งและการปฏิบัติงานของผู้ใช้งาน มีค่า $\bar{X} = 4.50$, SD = 0.58 อยู่ในเกณฑ์ดี และหัวข้อที่ได้รับคะแนนน้อยที่สุดคือ ความปลอดภัยของการเลือกวัสดุที่นำมาใช้ในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีค่า $\bar{X} = 4.00$, SD = 0.82 โดยอยู่ในเกณฑ์ดี

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 26 สรุปได้ว่าสมรรถนะทางกายภาพด้านความปลอดภัยของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับดี เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความปลอดภัยในด้านการใช้งานและวัสดุที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ตาราง 27 แสดงผลประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
ด้านความสวยงาม

รายละเอียดการประเมินด้านความสวยงาม	$\bar{X}$	SD	t-test	Sig.	แปลความหมาย
1. ความสวยงามของวัสดุที่นำมาใช้เป็น ส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์	4.00	0.82	0.000	1.000	ดี
2. ความสวยงามของวัสดุที่นำมาใช้เป็น ส่วนประกอบของตู้อบแห้ง	4.00	0.00	∞	1.000	ดี
3. ความสวยงามของการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ของแผงรับแสงอาทิตย์	4.00	0.82	0.000	1.000	ดี
4. ความสวยงามของการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ของตู้อบแห้ง	3.75	0.96	-0.522	0.638	ดี
5. ขนาดและรูปร่างของเครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์มีความสวยงาม เหมาะสมในการใช้งาน	4.25	0.96	0.522	0.638	ดี
ผลเฉลี่ยการประเมิน	4.00	0.63	0.000	1.000	ดี

C.V. = 4 , $\alpha = 0.05$, * P < 0.05

จากผลตาราง 27 สรุปได้ว่าสมรรถนะทางกายภาพด้านความสวยงามของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่า $\bar{X} = 4.00$, SD = 0.63 , t-test = 0.000 , Sig = 1.000 โดยทดสอบกับเกณฑ์คะแนน 4 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าไม่แตกต่าง สรุปได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ดี โดยหัวข้อที่ได้คะแนนสูงสุดคือ ขนาดและรูปร่างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความสวยงามเหมาะสมในการทำงานมีค่า $\bar{X} = 4.25$, SD = 0.96 อยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนหัวข้อที่ได้รับคะแนนน้อยที่สุดคือ ความสวยงามของการติดตั้งอุปกรณ์ของตู้อบแห้ง โดยมีค่า $\bar{X} = 3.75$, SD = 0.96 โดยภาพรวมของความสวยงามของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถสรุปได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ดี

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 27 สรุปได้ว่าสมรรถนะทางกายภาพด้านความสวยงามของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับดี เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความสวยงามของการนำวัสดุมาใช้เป็นส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์และตู้อบแห้ง ขนาดรูปร่างมีความเหมาะสมต่อการใช้งานอยู่ในระดับดี

ตาราง 28 แสดงผลประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

รายละเอียดการประเมิน	$\bar{X}$	SD	t-test	Sig
1. ด้านการออกแบบและการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	4.35	0.19	3.656	0.035*
2. ด้านความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	4.25	0.60	0.837	0.464
3. ด้านความสวยงามของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	4.00	0.63	0.000	1.000
ผลเฉลี่ยรวมของสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	4.24	0.35	1.368	0.265

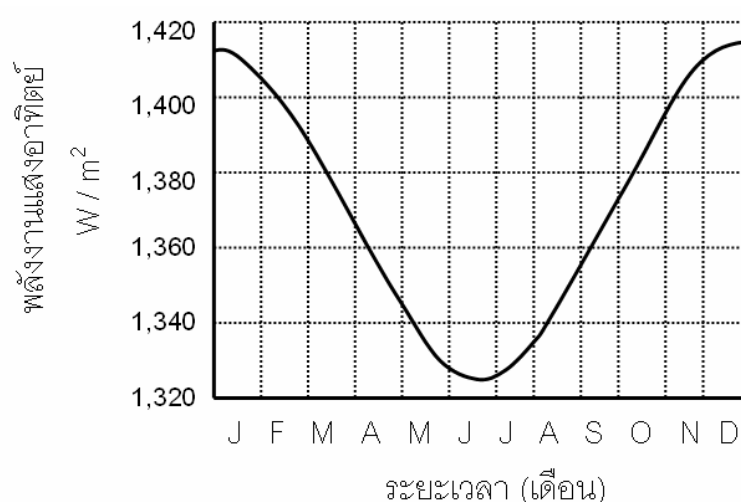
C.V. = 4 , $\alpha = 0.05$, * P < 0.05

จากตาราง 28 สรุปได้ว่าจากการประเมินสมรรถภาพทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ด้านการออกแบบและการใช้งานของเครื่องอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.35$, SD = 0.19 ด้านความปลอดภัยในการใช้งานอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.25$, SD = 0.60 และทางด้านความสวยงามของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในเกณฑ์ดี มีค่า $\bar{X} = 4.00$, SD = 0.63

จากผลการประเมินสมรรถนะทางกายภาพทั้งหมด สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในเกณฑ์ดี โดยมีค่าเฉลี่ยรวม $\bar{X} = 4.24$, $SD = 0.35$, $t\text{-test} = 1.368$, $Sig = 0.265$ ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานของการวิจัยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

4. การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการอบพริกแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้น จะเป็นการวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ทางด้านการเงิน แม้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะมีการลงทุนสูงในครั้งแรก แต่ค่าใช้จ่ายในการทำงานต่ำ เนื่องจากใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และยังช่วยลดระยะเวลาในการเก็บผลผลิตอีกด้วย ในการคิดจุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะทำการเปรียบเทียบระหว่างรายได้และกำไรที่ได้รับต่อปีระหว่างการอบพริกแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากพริกแห้งโดยวิธีธรรมชาติ โดยพิจารณาจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่โลกใน 1 ปีและ ตามสภาพอากาศในฤดูกาล จากข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ดังภาพประกอบ 51 แสดงให้เห็นว่าในช่วงระหว่างเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม จะมีปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์ค่อนข้างต่ำ และเป็นช่วงของระยะเวลาฤดูฝนของประเทศไทย ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้กำหนดระยะเวลาในการวิเคราะห์ระยะเวลาที่สามารถใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งแต่ละปี เท่ากับ 8 เดือนหรือ 240 วัน



ภาพประกอบ 51 ปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งตารางเมตร

ที่มา: อุษาวดี ดันติวานุรักษ์. (2543). *พลังงานเบื้องต้น*. หน้า 102. (อ้างอิงจาก Duffie; & Beckman. (1991).)

โดยรายละเอียดของการศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินมีดังต่อไปนี้

4.1 ค่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ต้นทุน) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตาราง 29 แสดงรายการราคาต้นทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

รายการอุปกรณ์	ราคา (บาท)
1. ตู้อบแห้งและถาดวางผลิตผล	8,000
2. โครงเหล็กและแผงรับแสงอาทิตย์	8,500
3. เซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 8 วัตต์	6,000
4. ชุดพัดลมพาความร้อน	500
ราคาต้นทุนรวม	23,000

4.2 ค่าดำเนินงาน ได้แก่ ค่าวัตถุดิบ และค่าพลังงานในการเตรียมพริก

4.2.1 ค่าวัตถุดิบแบ่งเป็นค่าวัตถุดิบต่อปีของการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแห้งด้วยวิธีธรรมชาติ

4.2.1.1 คิดจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้สามารถอบพริกสดได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม ภายใน 1 ปี โดยคุณสมบัติของเครื่องสามารถอบพริกแห้งโดยใช้ระยะเวลาเท่ากับ 1 วันต่อครั้ง จากระยะเวลา 1 ปีจะสามารถอบพริกได้ประมาณ 240 วัน สามารถอบพริกได้เต็มที่ 240 ครั้ง คิดเป็น 2,400 กิโลกรัมต่อปี ส่วนราคาพริกนั้นขึ้นอยู่กับฤดูกาล

4.2.1.2 จากการทดลองการตากแห้งด้วยวิธีธรรมชาติ พบว่าจะต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 6 วันต่อการตากแห้ง 1 ครั้ง ดังนั้นใน 1 ปี หรือคิดที่ 240 วันที่สามารถอบพริกได้จะสามารถทำการอบพริกได้ 40 ครั้ง คิดเป็นวัตถุดิบ 400 กิโลกรัมต่อปี โดยราคาพริกขึ้นอยู่กับฤดูกาล เช่นเดียวกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

4.2.2 ค่าแก๊ส ใช้ในการลวกพริก ในการอบพริกแต่ละครั้งจะใช้แก๊สประมาณครึ่งกิโลกรัม โดยราคาแก๊สเท่ากับกิโลกรัมละ 18 ดังนั้นคิดเป็นเงินค่าแก๊สต่อการลวกพริก 1 ครั้ง เท่ากับ 9 บาท โดยเป็นต้นทุนเดียวกันทั้งการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแห้งด้วยวิธีธรรมชาติ

4.3 อบพริกแห้งได้ครั้งละ 1.8 กิโลกรัมต่อครั้ง โดยคิดจากค่าความชื้น 15%(wb)

4.4 ราคาขายพริกแห้ง ราคา กิโลกรัมละ 110 – 120 บาท ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา

ในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้วิธีการคิดคำนวณ เปรียบเทียบกับการตากแห้งด้วยวิธีธรรมชาติ โดยคิดจากผลต่างกำไรต่อปี ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาในการคืนทุน} &= \frac{\text{ต้นทุนเครื่องอบแห้ง}}{\text{ผลต่างของกำไรจากการอบแห้งด้วยเครื่องกับการตากแห้งแบบธรรมชาติ}} \\ &= \frac{\text{ต้นทุนเครื่องอบแห้ง}}{\text{กำไรจากการอบแห้งด้วยเครื่องต่อปี} - \text{กำไรจากการตากแห้งด้วยวิธีธรรมชาติต่อปี}} \end{aligned}$$

เนื่องจากราคาวัตถุดิบและราคาขายของพริกแห้งนั้นขึ้นอยู่กับฤดูกาลและช่วงเวลา ดังนั้นในการวิเคราะห์ทางการเงินสำหรับหาระยะเวลาการคืนทุนได้คำนวณ ตามราคาวัตถุดิบพริกสดและราคาขายพริกแห้งได้ดังนี้

1. กรณีราคาขายพริกแห้งเท่ากับกิโลกรัมละ 110 บาท และราคาพริกสดกิโลกรัมละ 16 บาท

1.1 คำนวณหาผลกำไรต่อปีในการอบแห้งด้วยวิธีธรรมชาติ

$$\begin{aligned} \text{รายจ่ายต่อปี} &= (16 \times 400) + (40 \times 9) \\ &= 6,760 \quad \text{บาทต่อปี} \\ \text{รายได้ต่อปี} &= 110 \times 1.8 \times 40 \\ &= 7,920 \quad \text{บาทต่อปี} \\ \text{กำไรต่อปี} &= 7,920 - 6,760 \\ &= 1,160 \quad \text{บาทต่อปี} \end{aligned}$$

1.2 คำนวณหาผลกำไรต่อปีในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

$$\begin{aligned} \text{รายจ่ายต่อปี} &= (16 \times 2,400) + (240 \times 9) \\ &= 40,560 \quad \text{บาทต่อปี} \\ \text{รายได้ต่อปี} &= 110 \times 1.8 \times 240 \\ &= 47,520 \quad \text{บาทต่อปี} \\ \text{กำไรต่อปี} &= 47,520 - 40,560 \\ &= 6,960 \quad \text{บาทต่อปี} \end{aligned}$$

1.3 ระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ในกรณีที่ราคาพริกแห้ง เท่ากับ 110 บาทต่อกิโลกรัม และราคาพริกสดเท่ากับ 16 บาทต่อกิโลกรัม เท่ากับ

$$\begin{aligned}\text{ระยะเวลาในการคืนทุน} &= \frac{23,000}{6,960 - 1,160} \\ &= 3.97 \text{ ปี}\end{aligned}$$

2. กรณีราคาขายพริกแห้งเท่ากับกิโลกรัมละ 120 บาท และราคาพริกสดกิโลกรัมละ 18 บาท

2.1 คำนวณหาผลกำไรต่อปีในการอบแห้งด้วยวิธีธรรมชาติ

$$\begin{aligned}\text{รายจ่ายต่อปี} &= (18 \times 400) + (40 \times 9) \\ &= 7,560 \text{ บาทต่อปี} \\ \text{รายได้ต่อปี} &= 120 \times 1.8 \times 40 \\ &= 8,640 \text{ บาทต่อปี} \\ \text{กำไรต่อปี} &= 8,640 - 7,560 \\ &= 1,080 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

2.2 คำนวณหาผลกำไรต่อปีในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

$$\begin{aligned}\text{รายจ่ายต่อปี} &= (18 \times 2,400) + (240 \times 9) \\ &= 45,360 \text{ บาทต่อปี} \\ \text{รายได้ต่อปี} &= 120 \times 1.8 \times 240 \\ &= 51,840 \text{ บาทต่อปี} \\ \text{กำไรต่อปี} &= 51,840 - 45,360 \\ &= 6,480 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

2.3 ระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ในกรณีที่ราคาพริกแห้ง เท่ากับ 120 บาทต่อกิโลกรัม และราคาพริกสดเท่ากับ 18 บาทต่อกิโลกรัม เท่ากับ

$$\begin{aligned}\text{ระยะเวลาในการคืนทุน} &= \frac{23,000}{6,480 - 1,080} \\ &= 4.26 \text{ ปี}\end{aligned}$$

จากผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ต้นทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะถูกลง ถ้ามีการผลิตเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ส่วนทางด้านการขาย ถ้าขายพริกแห้งในราคาขายส่งจะมีราคาที่ถูกลง แต่สามารถเพิ่มมูลค่าได้โดยการนำมาแปรรูปเป็นพริกป่นและบรรจุขายในรูปแบบของพริกป่นสด มลภาวะ และปราศจากสิ่งปนเปื้อน ซึ่งส่งผลให้พริกแห้งมีราคาขายที่สูงขึ้นได้

บทที่ 5

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัยเพื่อการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีรายละเอียดของการวิจัยดังนี้

สรุปผลการวิจัย

ผลของการวิจัยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในครั้งนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. การหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จากการทดลองกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ในการดำเนินการทดลองในการวิจัยครั้งนี้จะใช้พริกชี้ฟ้าเป็นตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรขนาด 10 กิโลกรัม โดยใช้ระยะเวลาในการทำการทดลอง ตั้งแต่วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2551 จนถึง 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 รวมทั้งสิ้น 7 ครั้ง ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน ที่สภาพอากาศและสภาวะแวดล้อมค่อนข้างแจ่มใส แต่อาจจะมีเมฆปกคลุมในบางวัน ซึ่งส่งผลให้การอบแห้งใช้ระยะเวลาไม่เท่ากัน โดยจากการทดลองทั้งหมด 7 ครั้ง พบว่าการอบแห้งพริกชี้ฟ้าสดให้มีความชื้นเท่ากับหรือน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ จะใช้ระยะเวลา 2 วัน, 1.5 วัน และภายใน 1 วัน โดยทำการบันทึกผลทุก 1 ชั่วโมง ตั้งแต่ 8:00 – 17:00 น.ของแต่ละวัน จากผลการทดลองอบพริกสดพบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถอบพริกสดให้แห้งได้ภายในระยะเวลา 1 วัน อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 34°C โดยมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ $28 - 38^{\circ}\text{C}$ โดยอุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงสุดในช่วงเวลาเที่ยง โดยสภาพอากาศท้องฟ้าแจ่มใสตลอดทั้งวัน และอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์มีค่าตั้งแต่ $37 - 72^{\circ}\text{C}$ ภายในตู้อบแห้งภาคชั้นที่ 1 (ชั้นบน) มีอุณหภูมิตั้งแต่ $32 - 70^{\circ}\text{C}$ โดยเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 58°C ในภาคชั้นที่ 2 มีอุณหภูมิตั้งแต่ $28 - 66^{\circ}\text{C}$ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 55°C ส่วนภาคชั้นที่ 3 มีอุณหภูมิตั้งแต่ $29 - 66^{\circ}\text{C}$ และมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 55°C ส่วนบริเวณภาคชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง) พบว่ามีอุณหภูมิค่าเฉลี่ยเท่ากับ 58°C และมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 71°C ซึ่งเป็นผลจากอากาศร้อนที่มาจากแผงรับแสงอาทิตย์โดยการพาความร้อนของชุดพัดลมพาอากาศร้อนโดยอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกเท่ากับ $20 - 30^{\circ}\text{C}$ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 10:00 – 15:00 น. ซึ่งส่งผลต่อการลดความชื้นของพริกที่ทำการอบแห้งโดยผลของการชั่งน้ำหนักตัวอย่างในแต่ละภาคโดยใช้ตัวอย่างของแต่ละภาคประมาณ 140 กรัม และมีค่าความชื้นเริ่มต้นกำหนดเท่ากับ 85%(wb) ซึ่งจะนำผลของน้ำหนักตัวอย่างที่ได้มาใช้ในการคำนวณค่าความชื้นตามระยะเวลา หลังจากผ่านการอบแห้ง 1 วัน มีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 14.9%(wb) ซึ่งต่ำกว่าค่าความชื้นที่ต้องการคือ 15%(wb) ซึ่งเมื่ออบแห้งแล้วน้ำหนักของพริกลดลงจาก 10.0 กิโลกรัม เหลือเพียง 1.8 กิโลกรัม ซึ่ง

เท่ากับอัตราการระเหยของน้ำจากพริกสดเท่ากับ 4.1 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน (พื้นที่รวมของภาชนะในภาชนะที่อบแห้งเท่ากับ 2 ตารางเมตร) เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 5.3 วัตต์ ในช่วงเวลา 11:00 – 12:00 น. และมีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 4.3 วัตต์ ซึ่งในช่วงระหว่าง 10:00 – 14:00 น. ที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้อย่างคงที่และภายในตู้อบมีอุณหภูมิสูง จึงส่งผลให้น้ำหนักและค่าความชื้นของพริกที่ทำการทดลองลดลงได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งระยะเวลาของการอบพริกสดให้แห้งภายในระยะเวลา 1 วัน เท่ากับที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนของการออกแบบ กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับชุดพัดลมพาอากาศร้อนภายในตู้อบแห้ง ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามสภาพของความเข้มแสงอาทิตย์ตามสภาพอากาศของวันที่ทำการทดลอง

ในส่วนของผลการอบแห้งพริกสดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ระยะเวลา 2 วัน และ 1.5 วัน ทำให้พริกสดที่มีค่าความชื้นจาก 85%(wb) ลดลงเป็นเท่ากับหรือน้อยกว่า 15%(wb) เป็นผลมาจากสภาวะอากาศแวดล้อมที่ไม่แจ่มใสตลอดทั้งวัน โดยมีเมฆในบางเวลา อุณหภูมิเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมเท่ากับ 30°C – 32°C ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิภายในและภายนอกของตู้อบแห้ง ผลของการอบแห้งที่ใช้ระยะเวลา 2 วัน มีอุณหภูมิของสภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 26 – 33°C โดยเฉลี่ยเท่ากับ 53°C , บริเวณชั้นที่ 2 และ 3 มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 51°C และบริเวณภาคชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง) มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเท่ากับ 53°C โดยความชื้นของพริกสดในการทดลองเท่ากับ 85% (wb) หลังจากผ่านการอบแห้งวันที่ 1 มีค่าความชื้นลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 45.7%(wb) และเมื่อสิ้นสุดการอบแห้งวันที่ 2 มีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 10% (wb) เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 4.9 วัตต์ ในช่วงเวลาเที่ยงวัน และมีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 3.8 วัตต์ ผลของการอบแห้งที่ใช้ระยะเวลา 1.5 วัน อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 32°C ภายในตู้อบแห้งภาคชั้นที่ 1 (ชั้นบน) มีอุณหภูมิตั้งแต่ 30 - 65°C โดยเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 54°C , บริเวณชั้นที่ 2 และ 3 มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 52°C และ 53°C ส่วนบริเวณภาคชั้นที่ 4 พบว่ามีอุณหภูมิค่าเฉลี่ยเท่ากับ 55°C และมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 67°C หลังจากผ่านการอบแห้งวันที่ 1 มีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 43.5%(wb) และเมื่อสิ้นสุดการอบแห้งวันที่ 2 มีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 6.3%(wb) ซึ่งต่ำกว่าค่าความชื้นที่ต้องการคือ 15%(wb) โดยค่าความชื้นของพริกตัวอย่างนั้นมีค่าเท่ากับ 11.3% (wb) ตั้งแต่ 13:00 น. ของวันที่ 2 จึงสรุปว่าระยะเวลาของการอบแห้งเป็น 1.5 วัน เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 5.2 วัตต์ ในช่วงเวลาเที่ยงวัน และมีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 4.1 วัตต์ โดยจะสังเกตได้ว่าผลของอุณหภูมิน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งที่ใช้ระยะเวลา 1 วัน รวมทั้งกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตให้กับชุดพัดลมพาอากาศร้อนก็ผลิตได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลของการอบแห้งภายในระยะเวลาเดียวกัน สำหรับการทดลองตากแห้งตัวอย่างพริกโดยวิธีธรรมชาติ ตั้งแต่วันที่ 21 – 26 มีนาคม พ.ศ. 2551 โดยนำตัวอย่างพริกใส่ถาดรองที่มีลักษณะเป็น

ตระแกรง วางในที่ที่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวันตั้งแต่เวลา 8:00 – 17:00 น. ทำการวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อม และทำการชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง จนกระทั่งพริกมีค่าความชื้นเท่ากับหรือน้อยกว่า 15%(Wb) โดยผลของการตากด้วยวิธีธรรมชาตินั้นสรุปได้ว่าจะใช้ระยะเวลาประมาณ 6 วัน โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิตลอดวันเท่ากับ 30°C ซึ่งเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้พัฒนาขึ้นจะเห็นได้ว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถอบพริกให้แห้งได้ภายในระยะเวลา 1 – 2 วัน ซึ่งเร็วกว่าการตากแห้งด้วยวิธีธรรมชาติประมาณ 4 วัน

2. การประเมินความคิดเห็นของสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 4 คน โดยใช้แบบประเมินความคิดเห็นและข้อเสนอแนะสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ผลจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับเกณฑ์ดี มีค่าคะแนนเฉลี่ยคือ $\bar{X} = 4.24$, $SD = 0.35$, $t\text{-test} = 1.368$, $Sig = 0.265$ ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานของการวิจัยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ในการวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งสมรรถนะทางกายภาพออกเป็น 3 ด้าน โดยมีผลการประเมินดังต่อไปนี้

2.1 ด้านการออกแบบและการใช้งานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ผลการประเมินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.35$, $SD = 0.19$, $t\text{-test} = 3.656$, $Sig = 0.035$ สรุปได้ว่าด้านการออกแบบและการใช้งานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับดี เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีการนำทฤษฎีมาใช้ในการคำนวณออกแบบและเลือกวัสดุที่ใช้ได้เหมาะสม ขนาดและรูปร่างของเครื่องอบแห้ง มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและการติดตั้ง ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย

2.2 ด้านความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ผลการประเมินอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.25$, $SD = 0.60$, $t\text{-test} = 0.837$, $Sig = 0.464$ สรุปได้ว่าสมรรถนะทางกายภาพด้านความปลอดภัยของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับดี เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความปลอดภัยในด้านการใช้งานและวัสดุที่นำมาใช้เป็น ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย

2.3 ด้านความสวยงามของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ผลการประเมินอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 4.00$, $SD = 0.63$, $t\text{-test} = 0.000$, $Sig = 1.000$ สรุปได้ว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีความสวยงามของการนำอุปกรณ์มาใช้เป็นส่วนประกอบและมีความเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยที่ได้กำหนด

3. ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แม้จะมีการลงทุนสูงในครั้งแรก ซึ่งราคาต้นทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 23,000 บาท ในการคิดจุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งพลังงาน

แสงอาทิตย์จะทำการเปรียบเทียบระหว่างรายได้และกำไรที่ได้รับต่อปีระหว่างการอบพริกแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากพริกแห้งโดยวิธีธรรมชาติ โดยพิจารณาจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่โลกใน 1 ปีและ ตามสภาพอากาศในฤดูกาล ทางผู้วิจัยจึงได้กำหนดระยะเวลาในการวิเคราะห์ระยะเวลาที่สามารถใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งแต่ละปี เท่ากับ 8 เดือนหรือ 240 วัน เนื่องจากราคาวัตถุดิบและราคาขายของพริกแห้งนั้นขึ้นอยู่กับฤดูกาลและช่วงเวลา ทางผู้วิจัยได้ทำการคำนวณผลกำไรของการใช้เครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับตากแห้งด้วยวิธีธรรมชาติ ตามราคาวัตถุดิบพริกสดและราคาขายพริกแห้ง สรุปได้ว่าในกรณีราคาขายพริกแห้งเท่ากับกิโลกรัมละ 110 บาท และราคาพริกสดกิโลกรัมละ 16 บาท ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 3.97 ปี และในกรณีราคาขายพริกแห้งเท่ากับกิโลกรัมละ 120 บาท และราคาพริกสดกิโลกรัมละ 18 บาท ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 4.26 ปี

การอภิปรายผล

การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้มีความมุ่งหมายคือ พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสามารถอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม โดยประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอัตราการระเหยของน้ำภายในเครื่องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 4.1 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และสมรรถนะทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์ดี จากผลการทดลองสามารถอภิปรายผลได้โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ทำการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แผงรับแสงอาทิตย์ โดยแผงรับแสงอาทิตย์จะทำมุมเอียง 14 องศา และทำการบุด้วยฉนวนกันความร้อน เพื่อช่วยในการป้องกันการสูญเสียความร้อนของอากาศร้อนภายในแผงรับแสงอาทิตย์ ด้านบนปิดด้วยแผ่นกระจกใสสำหรับการแปลงแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์ และพื้นที่รับแสงอาทิตย์ภายในแผงรับแสงอาทิตย์นั้นได้ใช้สังกะสีลอนพ่นสีดำ เพื่อช่วยในการดูดซับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และความโค้งลอนของสังกะสีจะเป็นตัวช่วยให้พื้นที่รับแสงอาทิตย์มากขึ้น และอีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนของตู้อบแห้งจะมีถาดสำหรับวางผลิตผลทางการเกษตรสำหรับการอบแห้ง และติดตั้งชุดพัดลมพาความร้อนภายในตู้อบแห้งสำหรับการพาความร้อนจากส่วนของแผงรับแสงอาทิตย์และการระบายความร้อน ผนังของตู้อบแห้งจะใช้พลาสติกใสปิดด้านข้างและด้านบน เพื่อให้แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านมายังส่วนของการอบแห้งและทางด้านบนและด้านข้าง ส่วนด้านล่างของบริเวณตู้อบแห้งจะได้รับพลังงานความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์โดยใช้ชุดพัดลมพาความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับทองประเสริฐ และคณะ (2528) ที่ได้ทำการทดลองพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนโดยบังคับ ซึ่งประกอบด้วยแผงรับแสงอาทิตย์ 3.74×4.48 เมตร และมีพัดลมดูดอากาศใน

การพาความร้อนเข้าสู่ส่วนของตู้อบแห้ง ชุดพัฒนาได้รับกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 8 วัตต์ สอดคล้องกับ Esper (1994) ได้ทำการใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวขับเคลื่อนพัฒนาสำหรับควบคุมอัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้ทราบถึงขนาดของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมในการเลือกขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ให้พอเหมาะกับการใช้งาน ผลของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นนี้สามารถอบแห้งพริกชี้ฟ้าสดขนาด 10 กิโลกรัมที่มีความชื้น 85%(wb) ให้แห้งและมีความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 14.9%(wb) ภายในระยะเวลา 1 วัน โดยสภาพอากาศแจ่มใสตลอดทั้งวัน และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 34°C ภายในตู้อบแห้งมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกเท่ากับ $20 - 30^{\circ}\text{C}$ ในช่วงเวลาดังแต่ 10:00 – 15:00 น. ซึ่งสอดคล้องกับ รัฐธิปไตย ปางวัชรการ (2545) ซึ่งได้ทำการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยสามารถลดความชื้นของพริกขนาด 20 กิโลกรัม จาก 72 – 73%(wb) เป็น 7 - 8%(wb) ภายใน 2 วัน โดยสามารถเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งจาก 30°C เป็น 65°C ซึ่งเพียงพอต่อการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร ผลจากการทดลองอบพริกสดด้วยเครื่องแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นพบว่าระยะเวลาในการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับสภาวะของอากาศแวดล้อมของแต่ละวันที่ทำการทดลอง โดยการอบแห้งที่ใช้ระยะเวลา 1 วัน จะมีสภาวะอากาศแจ่มใสตลอดทั้งวัน เมื่อเทียบกับผลของการอบแห้งที่ใช้ระยะเวลา 2 วันและ 1.5 วัน ซึ่งพบว่าสภาวะอากาศไม่แจ่มใสตลอดทั้งวันและมีเมฆในบางเวลา ซึ่งส่งผลกับอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งและการอัตราการไหลของอากาศร้อน โดยชุดพัฒนาพาอากาศร้อนจะใช้กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้พบว่ากำลังไฟฟ้าก็มีผลกับสภาพอากาศของวันที่ทำการทดลองด้วยเช่นกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่าความชื้นของแสงอาทิตย์ของระยะเวลาในการอบแห้ง 1 วันมีค่าสูงกว่าการทดลองที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 2 วัน และ 1.5 วัน เมื่อคิดเป็นอัตราการระเหยของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยพื้นที่ภายในตู้อบแห้งเท่ากับ 2 ตารางเมตร ในการใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 1 วัน เท่ากับ 4.1 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้

2. สมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ผลของการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 4 ท่าน สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในเกณฑ์ดี โดยมีค่าเฉลี่ยรวม $\bar{X} = 4.24$, $SD = 0.35$, $t\text{-test} = 1.368$, $Sig = 0.265$ ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานของการวิจัยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ในด้านการออกแบบและการใช้งานมีค่า $\bar{X} = 4.35$, $SD = 0.19$, $t\text{-test} = 3.656$, $Sig = 0.035$ อยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อทำการทดสอบกับเกณฑ์คะแนน 4 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่ามีความแตกต่างจากเกณฑ์คะแนน 4 โดยมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าระดับคะแนน 4 เป็นผลมาจากผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญได้ประเมินให้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทางด้านการออกแบบและการใช้งานอยู่ในระดับดีและดีมากเป็นส่วนใหญ่ ผลการประเมินในหัวข้อของ

การเลือกวัสดุที่ใช้เป็นส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับการออกแบบที่มีค่าเฉลี่ยของคะแนนสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.75$, $SD = 0.50$ มีความสอดคล้องกับการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทางผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาตัวแผงรับแสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นสังกะสีลอนสี่ดำเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการรับแสง พร้อมทั้งทำการบุผนังด้วยฉนวนกันความร้อนเพื่อเก็บรักษาความร้อนภายในแผงรับแสงอาทิตย์ และในส่วนของตู้อบแห้งที่ได้ทำการพัฒนาโดยทำการออกแบบให้เป็นลักษณะถาด แบ่งออกเป็น 4 ชั้น ผนังปิดด้วยแผ่นพลาสติกใสสำหรับรับแสงอาทิตย์และทำการติดตั้งชุดพัดลมพาความร้อนสำหรับพาความร้อนในการพาความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ มีความสอดคล้องกับหัวข้อการประเมินด้านการเลือกวัสดุที่ใช้เป็นส่วนประกอบของตู้อบแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.50$, $SD = 0.58$ อยู่ในเกณฑ์ดี อีกทั้งเป็นผลดีให้กับคุณภาพของพริกที่ทำการอบแห้งโดยพลาสติกใสสามารถป้องกันฝุ่นละอองและแมลงที่จะทำลายผลิตภัณฑ์ผลผลิตขณะทำการอบแห้งได้อีกทางด้วย ผลของหัวข้อการประเมินของความสามารถติดตั้งได้สะดวก พร้อมทั้งแผงรับแสงอาทิตย์และตู้อบแห้งสามารถถอดแยกออกจากกันได้ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.50$, $SD = 0.58$ อยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ ทองประเสริฐ และคณะ (2528) ที่ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ที่แยกส่วนของแผงรับแสงอาทิตย์และส่วนของตู้อบแห้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลของการออกแบบให้แผงรับแสงอาทิตย์และตู้อบแห้งมีความเหมาะสมอีกทั้งได้ทำการติดตั้งชุดล้อที่แผงรับแสงอาทิตย์และตู้อบแห้งทำให้มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและในการติดตั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ด้านความปลอดภัยในการใช้งานมีค่า $\bar{X} = 4.25$, $SD = 0.60$, $t\text{-test} = 0.837$, $Sig = 0.464$ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับระดับคะแนน 4 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าไม่แตกต่าง และผลประเมินอยู่ในเกณฑ์ดี เป็นผลมาจากผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่อยู่ในระดับดี โดยผลการประเมินในหัวข้อความปลอดภัยในการติดตั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตู้อบแห้งมีความปลอดภัยในการนำผลผลิตมาทำการอบแห้งที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.50$, $SD = 0.58$ ซึ่งสอดคล้องกับการพัฒนาเครื่องอบแห้งให้มีลักษณะเป็นถาด แบ่งออกเป็น 4 ชั้น ซึ่งสอดคล้องกับเครื่องอบแห้งผลไม้ที่ได้พัฒนาขึ้นโดย ณัฐวุฒิ ดุษฎี (2534) เพื่อความสะดวกและความปลอดภัยของผู้ใช้ รวมทั้งการแยกตัวแผงรับแสงอาทิตย์และตู้อบแห้งจะช่วยให้ลดความเสี่ยงในการเกิดอันตรายของการเคลื่อนย้ายและการติดตั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พร้อมทั้งการเลือกวัสดุที่ใช้เป็นส่วนประกอบให้มีความปลอดภัย เช่น โครงสร้างของตู้อบแห้ง , โครงสร้างของแผงรับแสงอาทิตย์ที่มีความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักของผลผลิตและน้ำหนักของตัวแผงรับแสงอาทิตย์ มีความสอดคล้องกับผลการประเมินในหัวข้อการเลือกวัสดุที่มีความปลอดภัยมาใช้เป็นส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์และตู้อบแห้งที่มีผลการประเมินเท่ากับ $\bar{X} = 4.00$, $SD = 0.82$ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี ด้านความสวยงามของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ $\bar{X} = 4.00$, $SD = 0.63$, $t\text{-test} = 0.000$, $Sig = 1.000$ อยู่ในเกณฑ์

ดี เมื่อทำการเปรียบเทียบกับระดับคะแนน 4 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าไม่แตกต่าง และผลประเมินอยู่ในเกณฑ์ดี เป็นผลมาจากผลการประเมินส่วนใหญ่อยู่ในระดับคะแนน 4 หรืออยู่ในเกณฑ์ดี ผลของการประเมินในหัวข้อความสวยงามของวัสดุที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์ และตู้อบแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.00$, $SD = 0.82$ และ $\bar{X} = 4.00$, $SD = 0.00$ อยู่ในเกณฑ์ดี เป็นผลสอดคล้องกับการออกแบบให้ส่วนของแผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้สังกะสีลอนสีดำและด้านบนปิดด้วยแผ่นกระจกใส เพื่อเพิ่มให้แผงรับแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน และในส่วนของผนังตู้อบแห้งได้ใช้แผ่นพลาสติกใส สำหรับรับแสงอาทิตย์และความสวยงามของตู้อบแห้ง รวมทั้งความสะดวกในการตรวจสอบผลิตผลขณะทำการอบแห้ง รายละเอียดการประเมินในหัวข้อขนาดและรูปร่างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความสวยงามเหมาะสมในการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.25$, $SD = 0.96$ อยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งสอดคล้องกับการออกแบบให้ขนาดของแผงรับแสงอาทิตย์และตู้อบแห้งมีขนาดเหมาะสมกับปริมาณของผลิตผลที่ทำการอบแห้ง พร้อมทั้งสามารถแยกแผงรับและตู้อบแห้งออกจากกันได้ เพื่อความเหมาะสมกับการเคลื่อนย้ายและความสวยงามของเครื่องอบแห้งในการใช้งาน อีกทั้งผลผลิตที่ได้จะมีคุณภาพและมีความสะอาดเพราะปราศจากฝุ่นและแมลงรบกวนในขณะทำการอบแห้งอีกเช่นกัน

3. ด้านการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีการลงทุนสูงในครั้งแรก ซึ่งราคาต้นทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 23,000 บาท แต่จะมีค่าใช้จ่ายในการทำงานต่ำ เนื่องจากใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ช่วยลดระยะเวลาในการเก็บผลผลิตและสามารถลดการสูญเสียจากแมลงกัดแทะและความสกปรกอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ ทองประเสริฐ และคณะ (2528) และ วิชัย จันทรรักษ์ (2542) ในการคิดจุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะทำการเปรียบเทียบระหว่างรายได้และกำไรที่ได้รับต่อปีระหว่างการอบพริกแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากพริกแห้งโดยวิธีธรรมชาติ ทางผู้วิจัยจึงได้กำหนดระยะเวลาที่สามารถใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งแต่ละปีเท่ากับ 8 เดือนหรือ 240 วัน ราคาวัตถุดิบและราคาขายของพริกแห้งนั้นขึ้นอยู่กับฤดูกาลและช่วงเวลา จากการคำนวณจุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 3.97 – 4.26 ปี ซึ่งมีระยะเวลาของจุดคุ้มทุนใกล้เคียงกับเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นของ วรวิทย์ รุ่งจิรวรรักษ์ (2538) โดยมีรายละเอียดสรุปได้ว่า ในกรณีที่ราคาขายพริกแห้งเท่ากับกิโลกรัมละ 110 บาท และราคาพริกสดกิโลกรัมละ 16 บาท ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 3.97 ปี และในกรณีที่ราคาขายพริกแห้งเท่ากับกิโลกรัมละ 120 บาท และราคาพริกสดกิโลกรัมละ 18 บาท ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 4.26 ปี โดยระยะเวลาคืนทุนมีความสอดคล้องกับสมมติฐานของการวิจัยที่ได้กำหนดไว้ ระยะเวลาคืนทุนที่ได้จากการคำนวณจะแปรผันตามราคาของพริกสดและราคาขายของพริกแห้ง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดใน

แต่ละปีไม่เท่ากัน รวมทั้งสภาวะอากาศของแต่ละปีก็อาจจะไม่เหมือนกันในแต่ละปี ดังนั้นผลของระยะเวลาที่ผู้วิจัยได้จากการคำนวณจะเป็นการกำหนดให้สภาวะอากาศของแต่ละปีทำการอบแห้งมีสภาวะอากาศที่อยู่ในสภาวะที่เหมือนกัน และราคาของฟริกสดและราคาฟริกแห้งมีความเปลี่ยนแปลงที่อยูในระดับที่ไม่แตกต่างกันมากนักในช่วงที่ได้ทำการทดลอง ซึ่งในสภาพความเป็นจริงอาจจะมีมีความแตกต่างของสภาวะอากาศและส่วนต่างของราคาฟริกสดและราคาขายมากกว่าที่ได้คำนวณไว้ ดังนั้นจะต้องทำการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ตามความเป็นจริงของช่วงเวลาที่ได้ทำการอบแห้งจริงอีกครั้งหนึ่ง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. ขนาดและน้ำหนักของแผงรับแสงอาทิตย์ยังมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นผลเสียต่อการเคลื่อนย้าย ควรทำการเลือกวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและสามารถถอดประกอบได้มาเข้าร่วมในการสร้างแผงรับแสงอาทิตย์
2. ควรทำการสลับถาดรองผลิตผลภายในตู้อบแห้งตามระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ผ่านการอบแห้งแล้วมีคุณภาพและระยะเวลาในการอบแห้งใกล้เคียงกัน
3. มุมรับแสงของแผงรับแสงอาทิตย์ควรออกแบบให้มีการปรับมุมรับแสงได้ เพื่อให้ได้รับแสงอาทิตย์ได้อย่างเต็มที่
4. ลักษณะการวางผลผลิตภายในตู้อบแห้ง ควรจัดเรียงให้มีความหนาแน่นเท่าๆ กันในแต่ละชั้น เพื่อให้ได้ระยะเวลาของการอบแห้งในแต่ละชั้นที่เท่ากัน
5. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้ผลผลิตที่ได้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น สามารถนำไปทำการตลาดประเภทสินค้าทางการเกษตรปลอดมลพิษได้

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรทำการศึกษาถึงลักษณะของพื้นผิวและชนิดของวัสดุสีดำที่ใช้ดูดรับแสงอาทิตย์ภายในแผงรับแสงอาทิตย์ เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการแปลงแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนภายในเครื่องอบแห้งให้มากยิ่งขึ้น
2. ควรมีการพัฒนากระบวนการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้อบแห้งให้มีความเที่ยงตรงและเหมาะสมกับผลผลิตทางการเกษตรชนิดต่างๆ ที่ต้องการทำการอบแห้ง
3. ควรออกแบบระบบการอบแห้งที่สามารถนำความร้อนจากการอบแห้งวนกลับมาใช้เป็นพลังงานความร้อนร่วมได้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. (2547). *เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์*. กรุงเทพฯ : บริษัท จีรังริชต์ จำกัด
- คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร (2546). *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- งานส่งเสริมการผลิต. (2540). *รายงานผลการศึกษารื่องการแปรรูปพริกสดเป็นพริกแห้ง*. เชียงใหม่ : สำนักงานเกษตรอำเภอสันกำแพง
- จงจิตร หิรัญลาภ. (2541). *กระบวนการพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- จรวาย บุญยุบล. (2529). *พลังงาน*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ชูศรี วงศ์รัตนะ. (2546). *เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย*. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: เทพเนรมิต.
- ณัฐวุฒิ คุชฎี. (2534). *การพัฒนาระบบอบแห้งผลไม้ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม*. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2531). *อนุกรมพลังงานนอกแบบและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเล่มที่ 1 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์และตัวรับรังสี*. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- รัฐธิปไตย ปางวัชรกร. (2545). *การพัฒนาเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว). เชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ถ่ายเอกสาร.
- วรวิทย์ รุ่งจิรวารักษ์. (2538). *การศึกษาระบบอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยแสงอาทิตย์ขนาดอุตสาหกรรม*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- วันชัย วิจิรวนิช; และ ช่อม พลอยมีค่า. (2547). *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม*. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- วิชัย จันทรักษา. (2542). *การพัฒนาเครื่องอบแห้งตะไคร้พลังงานแสงอาทิตย์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.

- วิไล รัตตทอง. (2545). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สมาน วันชูเพลา; และวิรัช คารวะพิทยากุล. (2529). *การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์โดยใช้อุปกรณ์รวมแสง*. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน
- อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์. (2543). *พลังงานเบื้องต้น*. ชลบุรี : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
- อนุตร จำลองกุล. (2545). *พลังงานหมุนเวียน*. กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้าส์
- Bala. (1998). *Solar Drying System*. Udaipur India : Agrotech Publishing Academy
- Esper A. (1995). *Solar Tunneltrockner mit Photovoltaischem Antriebssystem*. Hohenheim University Germany : Institute for Agricultural Engineering in the Tropics and the Subtropics
- Exell R.H.B; & Kornsakoo S. (1976). *A low-cost solar rice dryer*.
- Karel M. (1975). *Concentration of foods*. New York : Marcel Dekker
- Process research orteck Inc. (2008). *Food processing – the energy efficient electric food processor*. Retrieved September 6 , 2008 , from <http://www.processortech.com/torbed/default.asp?id=1>
- Psychrometric Chart Use. (2008). Retrieved September 6 , 2008 , from http://www.sp.uconn.edu/~mdarre/NE-127/Images/psc_01.gif
- Sodha M.S. (1987). *Solar Crop Drying*. Boca Raton Florida: CRC Press
- Thongprasert S. (1985). *An economic study on solar rice dryer*. Thailand: National Energy and Administration
- Wibulswas P. (1977). *Performance of a solar cabinet dryer*. Proceeding of Renewable Energy and Application : Bangkok

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ 4 ท่านในการประเมินสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีดังต่อไปนี้

1. นายอัศนัย ปทุมมิน ผู้เชี่ยวชาญด้าน งานออกแบบ
ประสบการณ์ในการทำงาน 18 ปี
ตำแหน่ง วิศวกรระบบอาวุโส
สถานที่ทำงาน บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด
2. นายจิรภัทร ธนโชติเกียรติ ผู้เชี่ยวชาญด้าน งานออกแบบและวิเคราะห์ระบบ
ประสบการณ์ในการทำงาน 7 ปี
ตำแหน่ง นักวิเคราะห์ระบบห่วงโซ่อุปทาน
สถานที่ทำงาน บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด
3. นายธีรฤทธิ์ กลางกัลยา ผู้เชี่ยวชาญด้าน งานออกแบบและวางแผนโรงงาน
ประสบการณ์ในการทำงาน 7 ปี
ตำแหน่ง วิศวกรอาวุโสฝ่ายอุตสาหกรรม
สถานที่ทำงาน บริษัท เวสเทิร์นดิจิตอล จำกัด
4. นายณัฐพล เพชรนิล ผู้เชี่ยวชาญด้าน งานออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์
ประสบการณ์ในการทำงาน 12 ปี
ตำแหน่ง วิศวกรฝ่ายขาย
สถานที่ทำงาน บริษัท ฉัตรพร ซ็อบ (2005) จำกัด

ภาคผนวก ข
จดหมายขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

ที่ ศธ 0519.12/ 4845



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

15 กรกฎาคม 2551

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการกองผลิต บริษัท วิฑูการบินแห่งประเทศไทย จำกัด

เนื่องด้วย นางสาวสุทธิดา อินทผล นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันชกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายอัสนัย ปทุมมิน วิศวกรระบบ อวูโส เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นางสาวสุทธิดา อินทผล และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์สมชาย สันติวัฒนกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0-2664-1000 ต่อ 5730

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 081-8342-743

ที่ ศธ 0519.12/4846



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

15 กรกฎาคม 2551

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้จัดการฝ่ายพัฒนาระบบขนส่ง บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด

เนื่องด้วย นางสาวสุทธิดา อินทผล นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันธกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายจิรภัทร ธนโชติภักดิ์ นักวิเคราะห์ระบบห่วงโซ่อุปทาน เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นางสาวสุทธิดา อินทผล และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์สมชาย สันติวัฒนกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0-2664-1000 ต่อ 5730

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 081-8342-743

ที่ ศธ 0519.12/ 4847



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

15 กรกฎาคม 2551

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้จัดการฝ่ายอุตสาหกรรม บริษัท เวสเทิร์นดิจिटอล (ประเทศไทย) จำกัด

เนื่องด้วย นางสาวสุดธิดา อินทผล นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายธีรฤทธิ์ กลางกล้า วิศวกรอาวุโสฝ่ายอุตสาหกรรม เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นางสาวสุดธิดา อินทผล และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์สมชาย สันติวัฒนกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0-2664-1000 ต่อ 5730

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 081-8342-743

ที่ ศธ 0519.12/ ๘๘๓๙



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๒ สิงหาคม 2551

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้จัดการ บริษัท ฉัตรพร ซ้อป (2005) จำกัด

เนื่องด้วย นางสาวสุทธิดา อินทผล นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์” โดยมี อาจารย์อุปวิทย์ สุวคันทรกุล และ อาจารย์โอภาส สุขหวาน เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายณัฐพล เพชรนิล วิศวกรฝ่ายขาย เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบประเมินสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นางสาวสุทธิดา อินทผล และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ชูชาติ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิเทศสัมพันธ์

รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0-2664-1000 ต่อ 5730

หมายเหตุ : ต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 081-8342-743

ภาคผนวก ค

แบบประเมิน

สมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

แบบประเมิน สมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

แบบประเมินชุดนี้ เป็นแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแบ่งเป็น 3 ด้าน คือ ด้านการออกแบบและการใช้งาน , ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน และด้านความสวยงามของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

คำชี้แจง แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ

1. ด้านการออกแบบและการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
2. ด้านความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
3. ด้านความสวยงามของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

วัตถุประสงค์ของการประเมิน

แบบประเมินชุดนี้สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ

กรุณาทำเครื่องหมาย ☒ ลงในกรอบ ☐ หน้าข้อความที่ตรงกับความเป็นจริง และ/ หรือ
เติมคำหรือข้อความลงในช่องว่างที่กำหนดให้

1. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง
2. อายุ ปี
3. ระดับการศึกษา
 - ☐ ต่ำกว่าปริญญาตรี
 - ☐ ปริญญาตรีหรือเทียบเท่า
 - ☐ ปริญญาโทหรือเทียบเท่า
 - ☐ อื่น ๆ (โปรดระบุ)
4. ประสบการณ์การทำงาน / ด้านงานออกแบบ ปี
5. ตำแหน่งและหน้าที่ในหน่วยงาน

.....

.....

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ข้อแนะนำในการตอบแบบประเมิน

1. แบบประเมินตอนที่ 2 นี้ แบ่งการประเมินออกเป็น 3 ด้าน คือ
 - 1.1 ด้านการออกแบบและการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
 - 1.2 ด้านความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
 - 1.3 ด้านความสวยงามของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
2. กรุณาทำเครื่องหมาย ☒ (ถูก) ลงในช่องมาตราส่วนประเมิน 5 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่านเกี่ยวกับสมรรถนะทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยกำหนดค่าคะแนนเป็น 5 ระดับ คือ

คะแนนระดับ 5 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

คะแนนระดับ 4 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดี

คะแนนระดับ 3 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับพอใช้

คะแนนระดับ 2 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับต้องปรับปรุง

คะแนนระดับ 1 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับใช้ไม่ได้

3. แสดงข้อเสนอแนะในช่องข้อเสนอแนะของแต่ละรายละเอียดการประเมิน

แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
ด้านการออกแบบและการใช้งาน

ลำดับ	รายละเอียดการประเมิน ด้านการออกแบบและการใช้งาน	ระดับการประเมิน					ข้อเสนอแนะ
		ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง	ใช้ไม่ได้	
1	การนำทฤษฎีมาใช้ในการ คำนวณออกแบบขนาดเครื่องอบ แห้งพลังงานแสงอาทิตย์						..... ..... .....
2	การคำนวณและการออกแบบการ พาความร้อนเพื่อนำไปใช้ในการ อบแห้ง						..... ..... .....
3	การเลือกวัสดุที่ใช้เป็น ส่วนประกอบของแผงรับแสง อาทิตย์ให้เหมาะสมกับการ ออกแบบ						..... ..... .....
4	การเลือกวัสดุที่ใช้เป็น ส่วนประกอบของตู้อบแห้งให้ เหมาะสมกับการออกแบบ						..... ..... .....
5	ขนาดและรูปร่างของเครื่องอบ แห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความ เหมาะสมในการใช้งาน						..... ..... .....

แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
ด้านการออกแบบและการใช้งาน (ต่อ)

ลำดับ	รายละเอียดการประเมิน ด้านการออกแบบและการใช้งาน	ระดับการประเมิน					ข้อเสนอแนะ
		ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง	ใช้ไม่ได้	
6	ความสามารถในการพาความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์มาใช้ในการอบแห้งในตู้อบแห้ง						..... ..... .....
7	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถติดตั้งได้สะดวก						..... ..... .....
8	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก						..... ..... .....
9	แผงรับแสงอาทิตย์และตู้อบแห้งสามารถถอดแยกออกจากกันได้						..... ..... .....
10	ความสะดวกของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งผลิตผล						..... ..... .....

แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน

ลำดับ	รายละเอียดการประเมิน ด้านความปลอดภัยในการใช้งาน	ระดับการประเมิน					ข้อเสนอแนะ
		ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง	ใช้ไม่ได้	
1	ความปลอดภัยในการติดตั้ง เครื่องอบแห้งพลังงานแสง อาทิตย์						..... ..... .....
2	ความปลอดภัยในการเคลื่อนย้าย เครื่องอบแห้งพลังงานแสง อาทิตย์						..... ..... .....
3	ผู้ใช้งานเครื่องอบแห้งมีความ ปลอดภัยในการนำผลผลิตมาทำ การอบแห้ง						..... ..... .....
4	การเลือกวัสดุที่มีความปลอดภัย มาใช้เป็นส่วนประกอบของแผง รับแสงอาทิตย์						..... ..... .....
5	การเลือกวัสดุที่มีความปลอดภัย มาใช้เป็นส่วนประกอบของ ตู้อบแห้ง						..... ..... .....

แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
ด้านความสวยงาม

ลำดับ	รายละเอียดการประเมิน ด้านความสวยงาม	ระดับการประเมิน					ข้อเสนอแนะ
		ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง	ใช้ไม่ได้	
1	ความสวยงามของวัสดุที่นำมาใช้เป็น ส่วนประกอบของแผงรับ แสงอาทิตย์						..... ..... .....
2	ความสวยงามของวัสดุที่นำมาใช้เป็น ส่วนประกอบของตู้อบแห้ง						..... ..... .....
3	ความสวยงามของการติดตั้ง อุปกรณ์ต่างๆ ของแผงรับ แสงอาทิตย์						..... ..... .....
4	ความสวยงามของการติดตั้ง อุปกรณ์ต่างๆ ของตู้อบแห้ง						..... ..... .....
5	ขนาดและรูปร่างของเครื่องอบ แห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความ สวยงามเหมาะสมในการใช้งาน						..... ..... .....

ผู้เชี่ยวชาญ

(.....)

ตำแหน่ง

ประเมินเมื่อวันที่ เดือน พ.ศ.

ภาคผนวก ง

คู่มือการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

คู่มือ

การใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

คำนำ

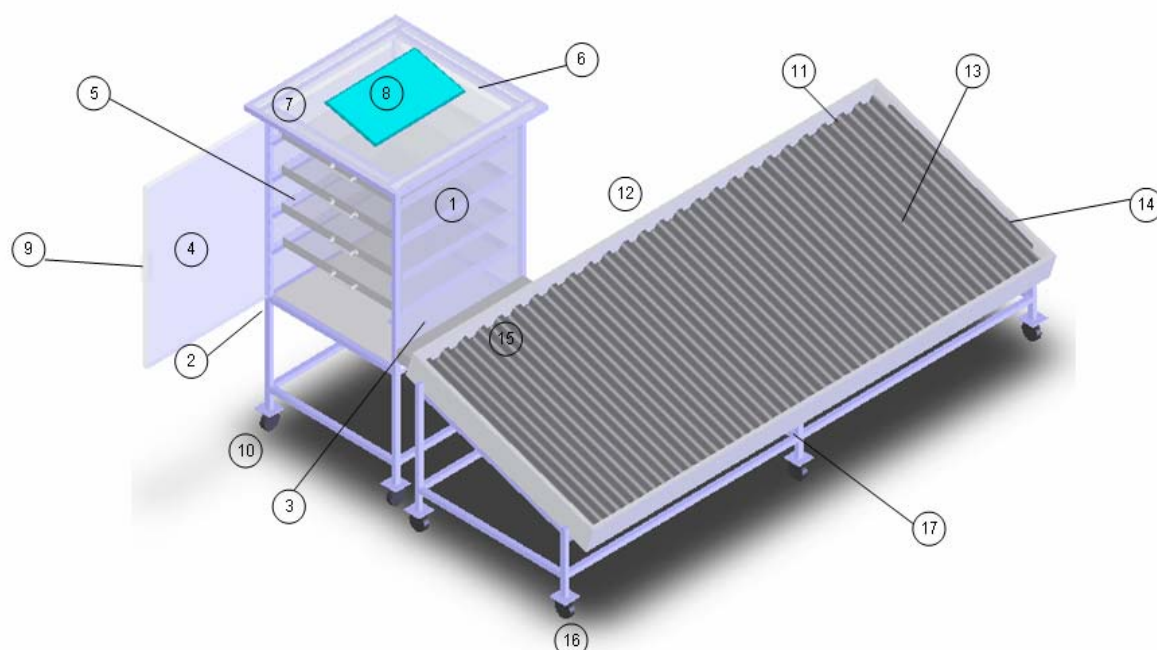
การใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของแผงรับแสงอาทิตย์สำหรับแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน และ ส่วนของตู้อบแห้งสำหรับวางผลผลิตทางการเกษตรที่ต้องการอบแห้ง โดยภายในตู้อบแห้งได้ทำการติดตั้งชุดพัดลมพาความร้อนสำหรับพาความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์มายังตู้อบแห้ง โดยคู่มือการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้จะกล่าวถึงวิธีการติดตั้งและการทำงานของเครื่องอบแห้ง รวมทั้งวิธีการดูแลรักษาเครื่อง

ทางผู้วิจัยหวังว่าคู่มือการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะช่วยให้ผู้ใช้งานได้ใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ

สุดธิดา อินทผล

1. องค์ประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ แผงรับแสงอาทิตย์และตู้อบแห้งโดยมีรายละเอียดดังนี้



รายการส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

- | | | |
|---------------------------------------|--|--|
| 1. ผนังตู้อบแห้งทำจากแผ่นพลาสติกใส | 8. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ | 15. ท่อทางออกอากาศร้อนของแผงรับรังสี |
| 2. โครงเหล็กของตู้อบแห้ง | 9. มือจับสำหรับเปิด-ปิดตู้อบแห้ง | 16. ชุดล้อสำหรับเคลื่อนย้าย |
| 3. ช่องทางเข้าของอากาศร้อน | 10. ชุดล้อสำหรับเคลื่อนย้าย | 17. โครงเหล็กสำหรับแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ |
| ติดตั้งชุดพัดลมพาความร้อน | 11. แผ่นกระจกใส | |
| 4. ประตูเปิด-ปิดตู้อบแห้ง | 12. กรอบแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ | |
| 5. ถาดสำหรับวางผลผลิตที่ต้องการอบแห้ง | ทำจากแผ่นสังกะสี | |
| 6. ช่องทางออกของอากาศร้อน | 13. แผ่นสังกะสีลอนสำหรับรับรังสีแสงอาทิตย์ | |
| 7. ฝาปิดด้านบนของตู้อบแห้ง | 14. ช่องอากาศเข้า | |

ภาพที่ 1 แสดงองค์ประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

1. แผงรับแสงอาทิตย์

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับแสงอาทิตย์และทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน แผงรับแสงอาทิตย์จะทำมุมเอียง 14 องศา โดยมีขนาดกว้าง 120 เซนติเมตร ความยาว 300 เซนติเมตร และทำการบุด้วยฉนวนกันความร้อน เพื่อช่วยในการป้องกันการสูญเสียความร้อนของอากาศร้อนภายในแผงรับแสงอาทิตย์ ด้านบนปิดด้วยแผ่นกระจกใสสำหรับการแปลงแสงอาทิตย์เป็น

พลังงานความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์ และพื้นที่รับแสงอาทิตย์ภายในแผงรับแสงอาทิตย์นั้นได้ใช้สังกะสีลอนพ่นสีดำ เพื่อช่วยในการดูดซับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และความโค้งลอนของสังกะสีจะเป็นตัวช่วยให้พื้นที่รับแสงอาทิตย์มากขึ้น



ภาพที่ 2 แสดงแผงรับแสงอาทิตย์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

2. ตู้อบแห้ง

ตู้อบแห้งจะมีภาคสำหรับวางผลผลิตทางการเกษตรสำหรับการอบแห้ง โดยภาคออกแบ่งเป็น 4 ชั้น โดยมีความกว้าง 80 เซนติเมตร ความยาว 80 เซนติเมตร ความสูง 165 เซนติเมตร ติดตั้งชุดพัฒนาคาความร้อนภายในตู้อบแห้งสำหรับการพาความร้อนจากส่วนของแผงรับแสงอาทิตย์และการระบายความชื้น โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าสำหรับจ่ายให้กับชุดพัฒนาคาความร้อนผนังของตู้อบแห้งจะใช้พลาสติกใสปิดด้านข้างและด้านบน เพื่อให้แสงอาทิตย์สามารถส่งผ่านมายังส่วนของการอบแห้งและทางด้านบนและด้านข้าง ส่วนด้านล่างของบริเวณตู้อบแห้งจะได้รับพลังงานความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์โดยใช้ชุดพัฒนาคาความร้อน



ภาพที่ 3 แสดงตู้เก็บของของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



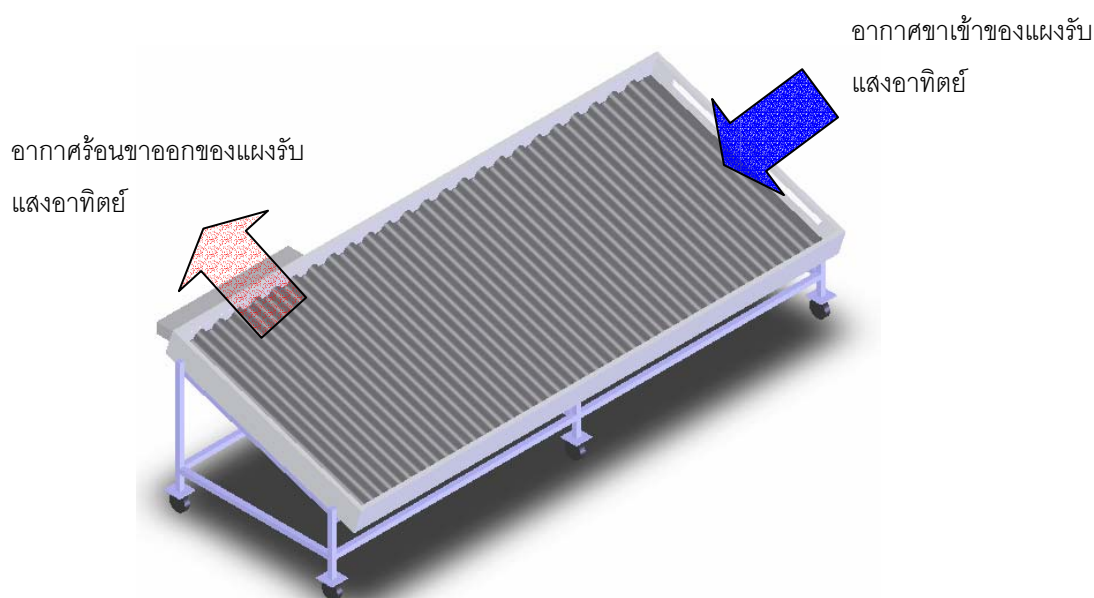
ภาพที่ 4 แสดงชุดพัดลมพาความร้อนและเซลล์แสงอาทิตย์

2. หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ขั้นตอนของระบบการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

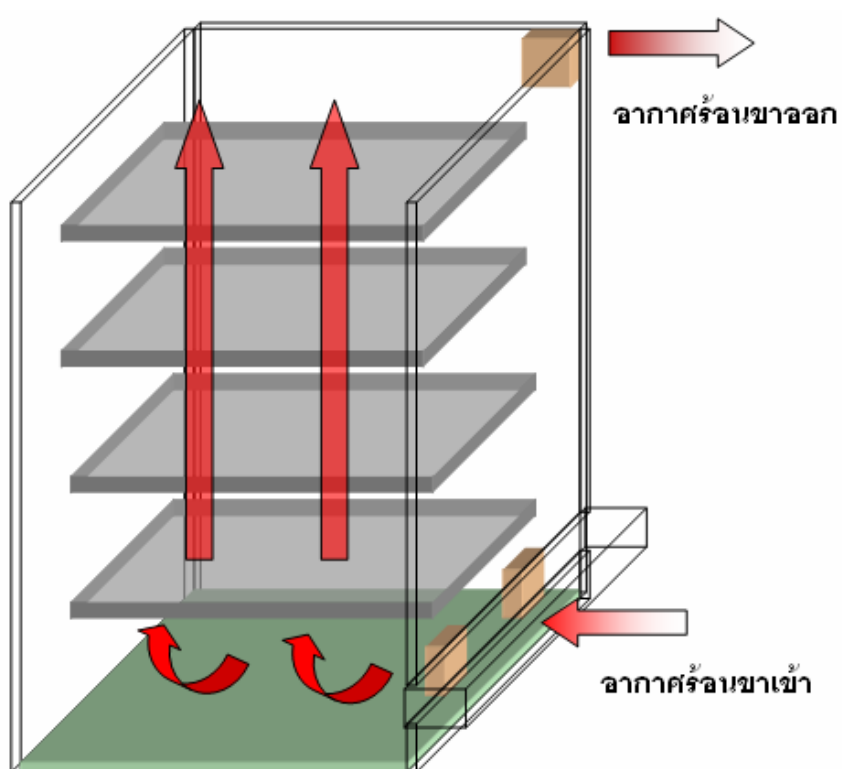
2.1 แผงรับแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่รับแสงอาทิตย์ และแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน โดยภายในแผงรับได้ใช้แผ่นสังกะสีลอนพ่นสีดำเพื่อช่วยในการดูดแสงอาทิตย์และมีการบุด้วยฉนวนกันความร้อนภายในผนังของแผงรับแสงอาทิตย์ เพื่อเป็นการรักษาความร้อนที่ได้สำหรับใช้กับตู้อบแห้ง

2.2 ทิศทางของอากาศเข้าทางด้านข้างของแผงรับแสงอาทิตย์และอากาศร้อนขาออกของแผงรับแสงอาทิตย์จะอยู่ทางด้านบน โดยมีท่อต่อสำหรับส่งผ่านความร้อนไปยังตู้อบแห้ง



ภาพที่ 5 แสดงทิศทางการไหลของอากาศภายในแผงรับแสงอาทิตย์

2.3 ภายในตู้อบแห้ง จะมีการติดตั้งชุดพัดลมพาอากาศร้อนโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวผลิตไฟฟ้าให้กับชุดพัดลมพาอากาศร้อน โดยทิศทางของอากาศร้อนจะมีทิศทางจากทางเข้าอากาศร้อนของตู้อบแห้งที่ต่อเข้ากับแผงรับแสงอาทิตย์ และไหลขึ้นทางด้านบนของตู้อบแห้งผ่านผลิตภัณฑ์และพาความชื้นออกไปยังบรรยากาศภายนอกทางด้านบนของตู้อบแห้ง ซึ่งทิศทางการไหลของอากาศร้อนแสดงได้ดังภาพ

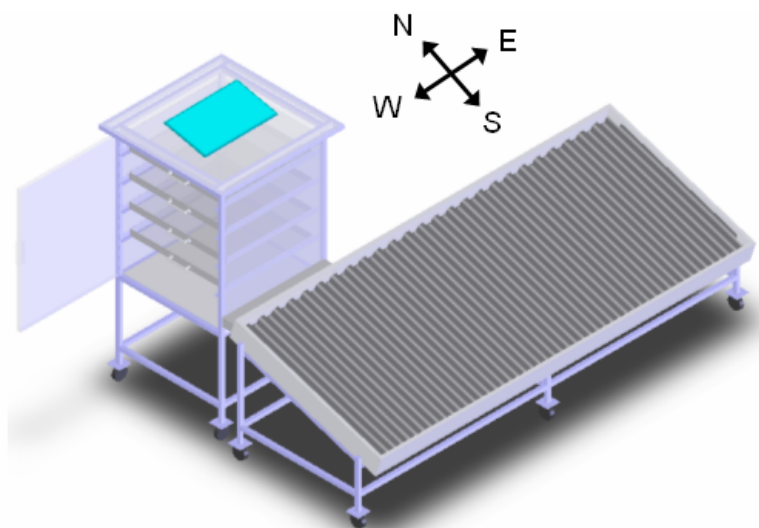


ภาพที่ 6 แสดงทิศทางการไหลของอากาศร้อนภายในตู้อบแห้ง

3. วิธีการติดตั้งและการใช้งานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

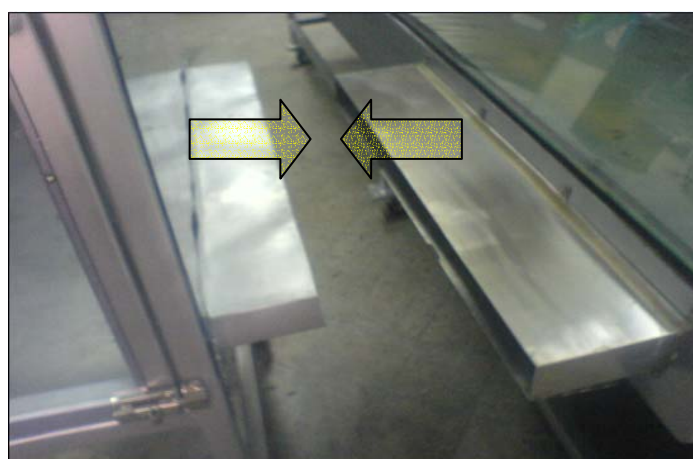
การติดตั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้ถูกต้องและใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ใช้ควรปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 ติดตั้งแผงรับแสงอาทิตย์ในสถานที่กลางแจ้งที่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน โดยหันด้านหน้าของแผงรับแสงอาทิตย์ไปยังทิศใต้ ดังภาพ



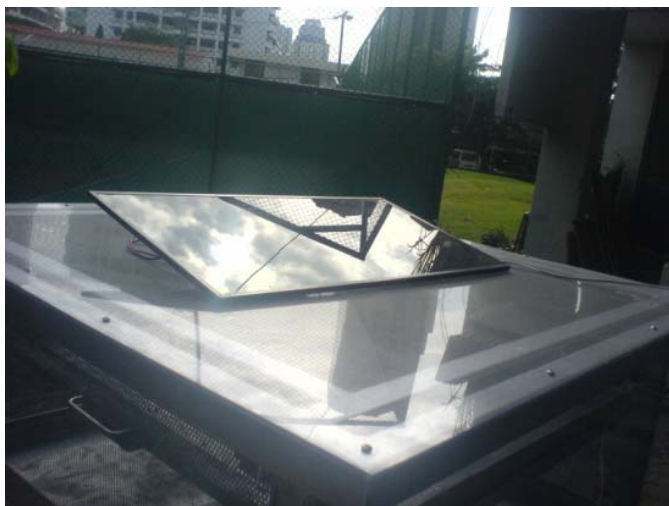
ภาพที่ 7 แสดงทิศทางของการติดตั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

3.2 หลังจากติดตั้งแผงรับแสงอาทิตย์เรียบร้อยแล้วให้นำส่วนของตู้อบแห้งประกอบเข้ากับแผงรับแสงอาทิตย์ โดยทำการต่อท่ออากาศร้อนเข้าด้วยกันดังภาพ



ภาพที่ 8 แสดงท่อต่อระหว่างแผงรับแสงอาทิตย์กับตู้อบแห้ง

3.3 ทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทางด้านบนของตู้อบแห้งโดยทำมุมเอียง 14 องศาในทิศทางเดียวกับแผงรับแสงอาทิตย์



ภาพที่ 9 แสดงการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

3.4 ทำการต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับชุดพัดลมพาความร้อน สังเกตชุดพัดลมพาความร้อนจะทำงานหลังจากต่อวงจรไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว ในสภาวะที่มีความชื้นแสงอาทิตย์เพียงพอต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

3.5 เปิดประตูของตู้อบแห้งและทำการดึงถาดสำหรับวางผลิตผลออกเพื่อเรียงผลิตผลในการอบแห้ง



ภาพที่ 10 แสดงถาดรองผลิตผลภายในตู้อบแห้ง

3.6 ใส่ถาดที่จัดเรียงผลิตผลเรียบร้อยแล้ว กลับเข้าสู่ตู้อบแห้ง ปิดประตูตู้อบแห้งเพื่อทำการอบแห้ง



ภาพที่ 11 ตัวอย่างการจัดเรียงผลิตผลก่อนทำอบแห้ง

3.7 ระยะเวลาในการอบแห้งผลิตผลนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผลที่นำมาทำการอบแห้ง และสภาพอากาศของวันที่ทำการอบแห้ง (ในการวิจัยได้ใช้พริกเป็นตัวอย่างผลิตผลทางการเกษตร โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 1-2 วัน)

3.8 ควรทำการสลับตำแหน่งของถาดภายในตู้อบแห้งตามระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้ผลิตผลที่ได้มีคุณภาพและใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกัน

3.9 ผนังของตู้อบแห้งทำจากพลาสติกใสมีความทนทานและสามารถกันน้ำได้ในกรณีที่มีฝนตกขณะทำการอบแห้ง จึงไม่จำเป็นต้องทำการเคลื่อนย้ายเครื่องอบแห้งในช่วงที่มีเมฆฝน และยังสามารถป้องกันฝุ่นละอองและแมลงได้

3.10 เมื่อครบกำหนดระยะเวลาของการอบแห้ง ให้นำผลิตผลออกมาจากตู้อบแห้งและดำเนินการจัดเก็บผลิตผลในขั้นตอนต่อไป

3.11 ทำความสะอาดถาดรอง และเก็บเข้าสู่ตู้อบแห้ง

3.12 ในกรณีที่ต้องการเคลื่อนย้ายตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้ทำการถอดเซลล์แสงอาทิตย์ออกก่อน แล้วจึงทำการถอดท่อต่อระหว่างตู้อบแห้งและแผงรับแสงอาทิตย์ออกจากกัน และทำการเคลื่อนย้ายไปยังจุดที่ต้องการ

4. วิธีการบำรุงรักษาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ในการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นจำเป็นต้องมีวิธีการใช้และวิธีการดูแลรักษาที่ถูกต้องเพื่อให้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้งานได้นานและมีประสิทธิภาพ โดยวิธีการบำรุงรักษาเครื่องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในบริเวณพื้นที่ลาดเอียง หรือพื้นที่ที่พื้นไม่เรียบสม่ำเสมอ เพราะจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการต่อท่อส่งความร้อนระหว่างแผงรับแสงอาทิตย์กับตู้อบแห้ง

4.2 ไม่ควรใส่ผลิตภัณฑ์ที่จะทำการอบแห้งมากเกินไป เพราะจะทำให้ใช้ระยะเวลานานในการอบแห้ง และอาจได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีคุณภาพรวมทั้งอาจตรงอาจจะได้รับความเสียหาย

4.3 โครงสร้างของเครื่องอบแห้งมีน้ำหนักสูง จึงจำเป็นต้องระมัดระวังในการเคลื่อนย้ายหรือทำการติดตั้ง

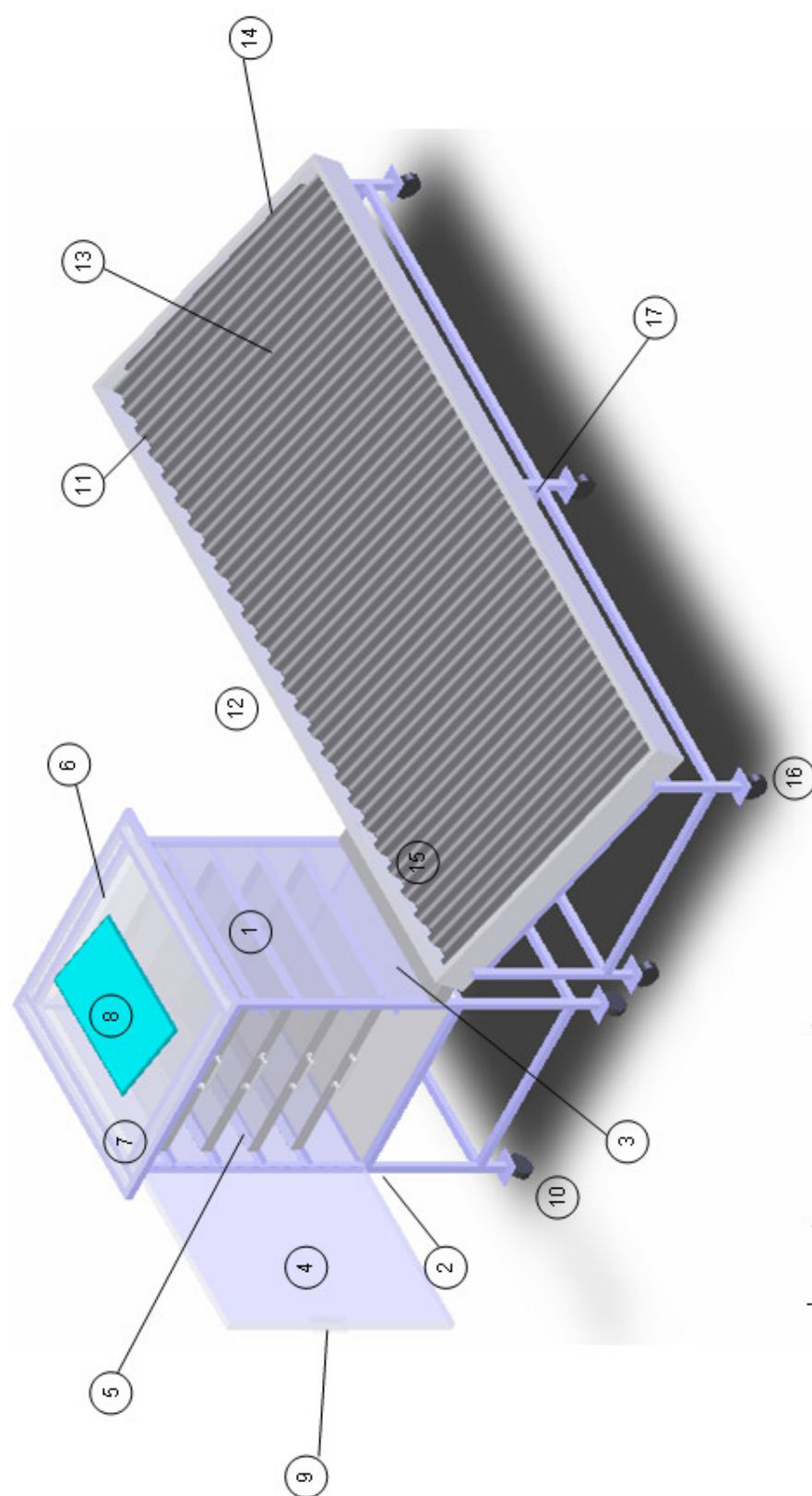
4.4 ไม่ควรวางเครื่องอบแห้งใกล้กับแหล่งที่สามารถเกิดการกระแทกจากเศษวัสดุต่างๆ เพราะแผงรับแสงอาทิตย์ด้านบนทำด้วยกระจกใส จะเสี่ยงต่อการโดนวัสดุกระแทกใส อาจทำให้เกิดความเสียหายได้

4.5 ควรจัดวางเซลล์แสงอาทิตย์บนตู้อบแห้งให้อยู่ตรงกลางของบริเวณหลังคาตู้อบแห้ง เพื่อป้องกันการหล่น เนื่องจากการทำงานที่อาจจะมีกรขยับตัวตู้อบแห้ง

4.6 ควรหมั่นทำความสะอาดถาดรองและตัวตู้อบแห้งหลังจากทำการอบแห้ง

ภาคผนวก จ

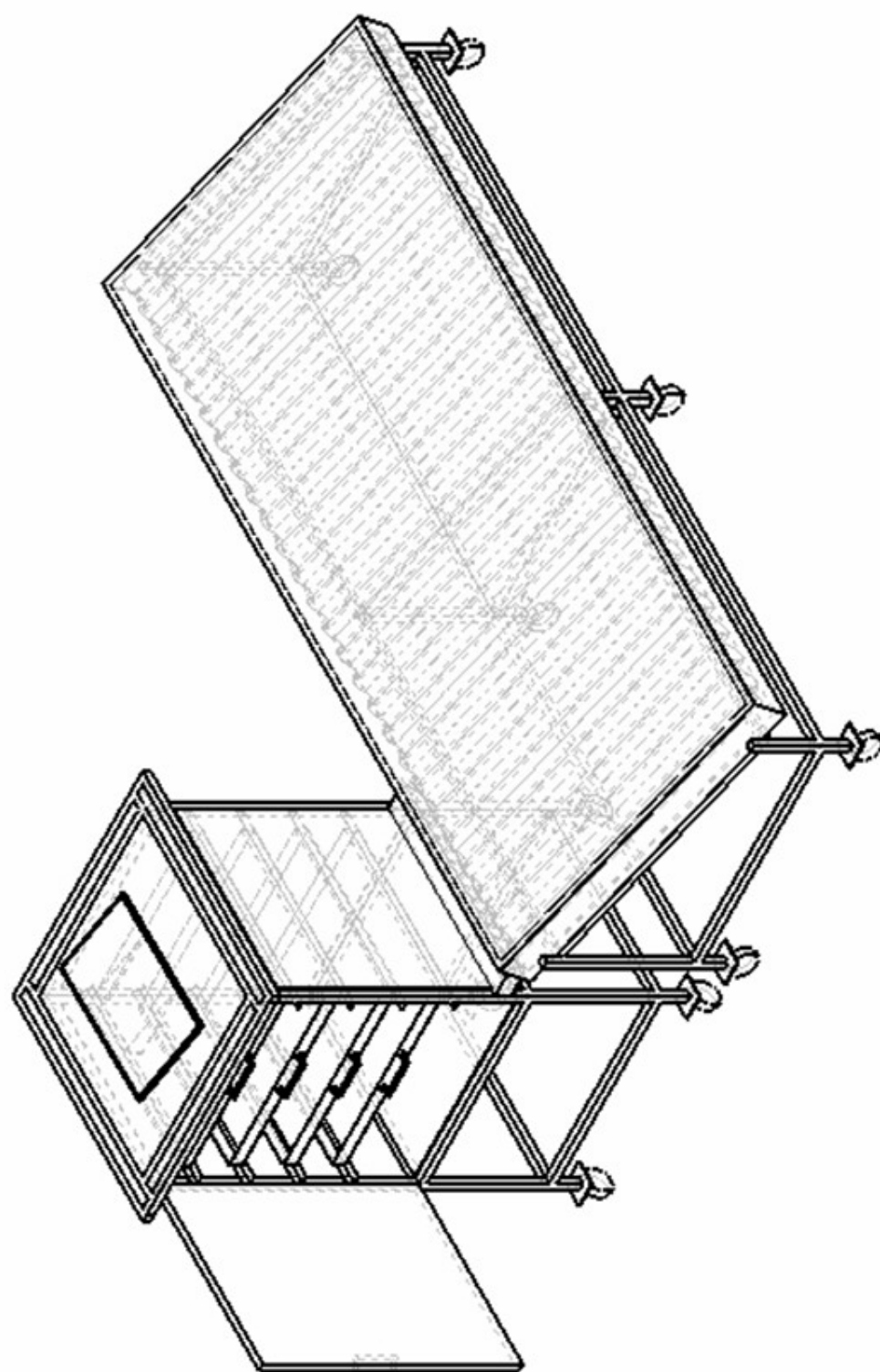
แบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



รายการส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

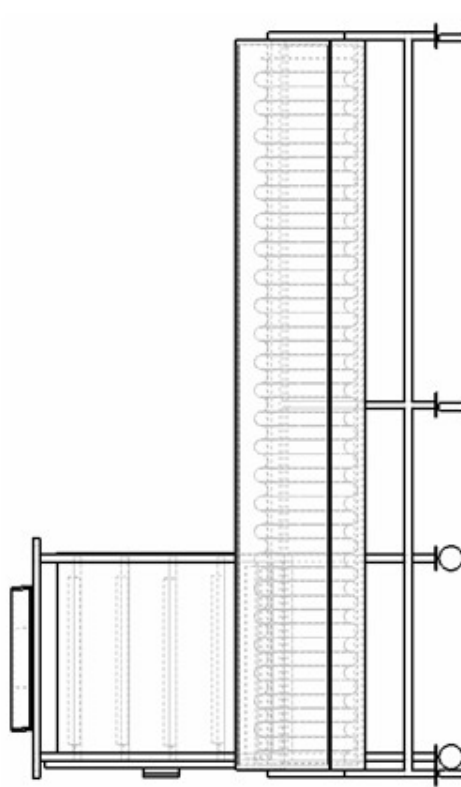
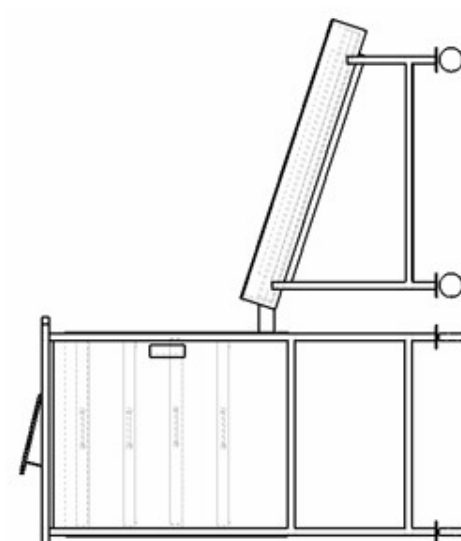
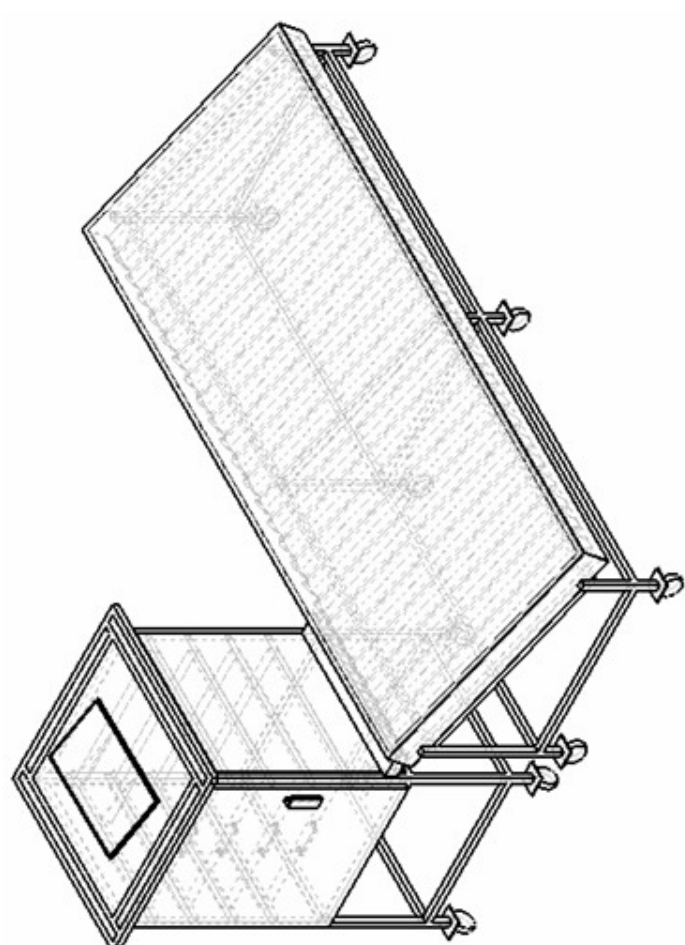
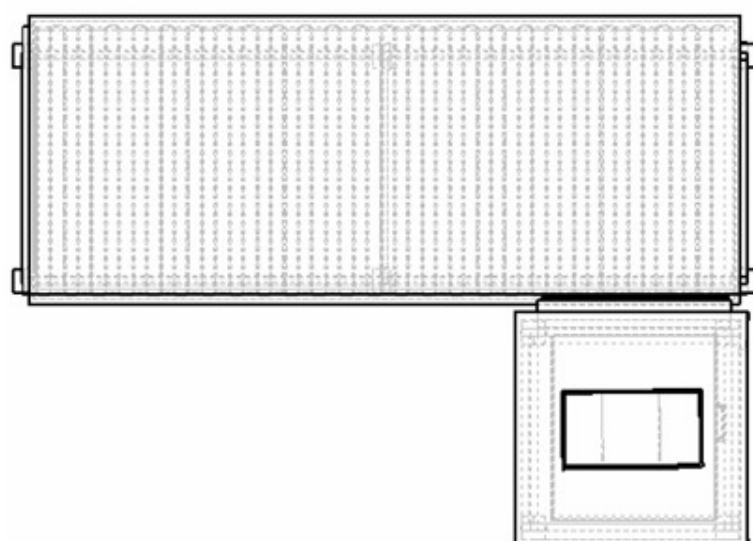
- | | | |
|---------------------------------------|---|---|
| 1. ผนังตู้อบแห้งทำจากแผ่นพลาสติกใส | 8. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ | 15. ท่อทางออกอากาศร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์ |
| 2. โครงเหล็กของตู้อบแห้ง | 9. มือจับสำหรับเปิด-ปิดตู้อบแห้ง | 16. ชุดล้อสำหรับเคลื่อนย้าย |
| 3. ช่องทางเข้าของอากาศร้อน | 10. ชุดล้อสำหรับเคลื่อนย้าย | 17. โครงเหล็กสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ |
| ติดตั้งชุดพัดลมพาความร้อน | 11. แผ่นกระจกใส | |
| 4. ประตูเปิด-ปิดตู้อบแห้ง | 12. กรอบแผงรับแสงอาทิตย์ | |
| 5. ถาดสำหรับวางผลผลิตที่ต้องการอบแห้ง | ทำจากแผ่นสังกะสี | |
| 6. ช่องทางออกของอากาศร้อน | 13. แผ่นสังกะสีลอนสี่เหลี่ยมสำหรับรับแสงอาทิตย์ | |
| 7. ฝาปิดด้านบนของตู้อบแห้ง | 14. ช่องอากาศเข้า | |

Item#	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by	Checked by	Approved by - date	Scale
		SCD-01	
Solar Crop Dryer			



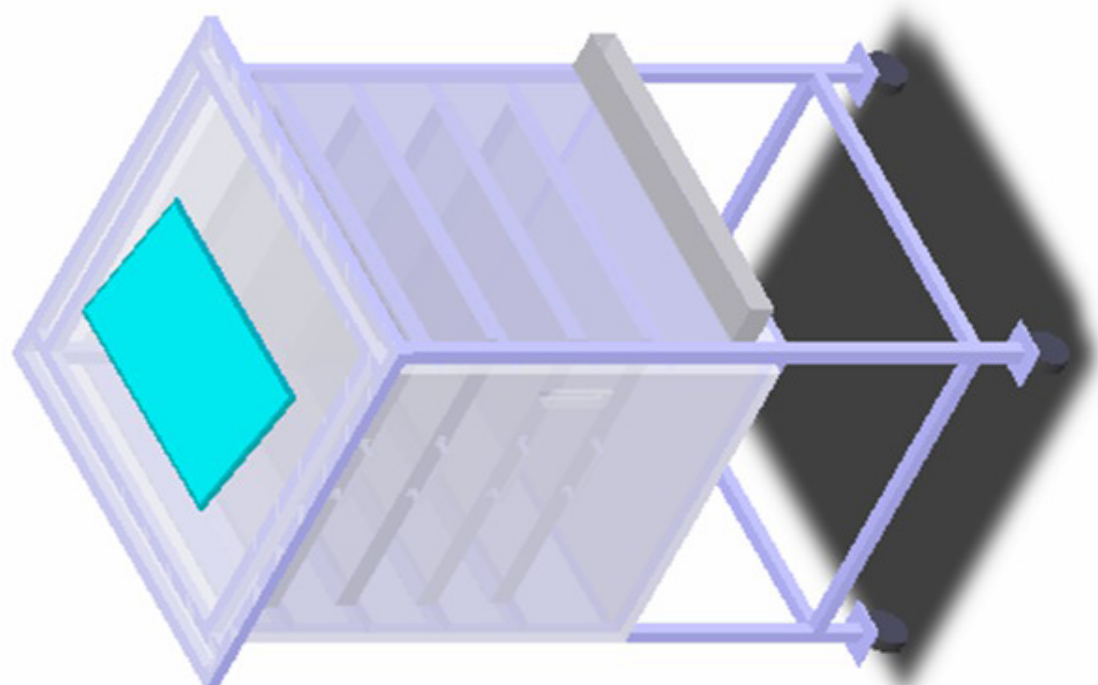
Item Ref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by	Checked by	Approved by - date	Scale
		SCD-02	

Solar Crop Dryer



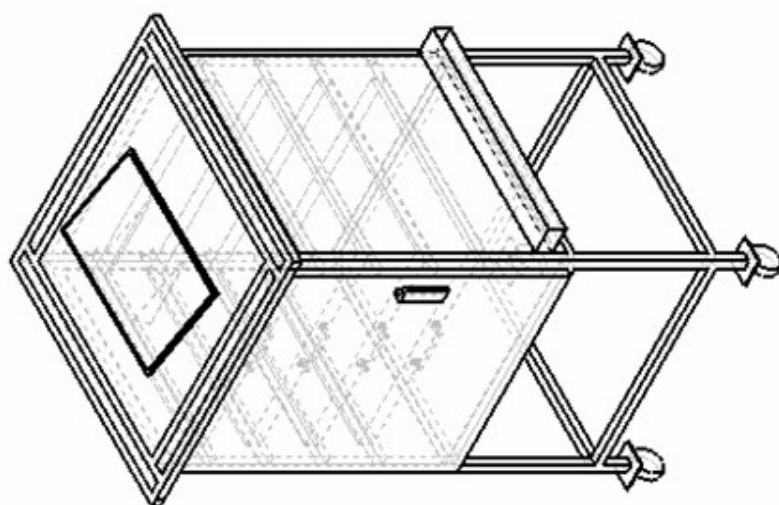
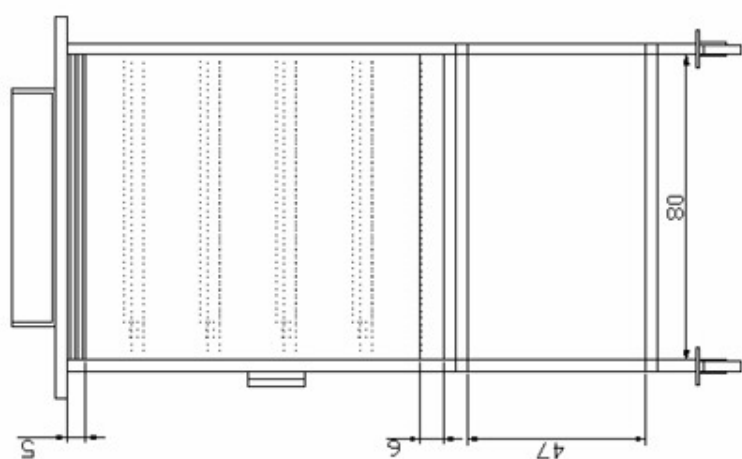
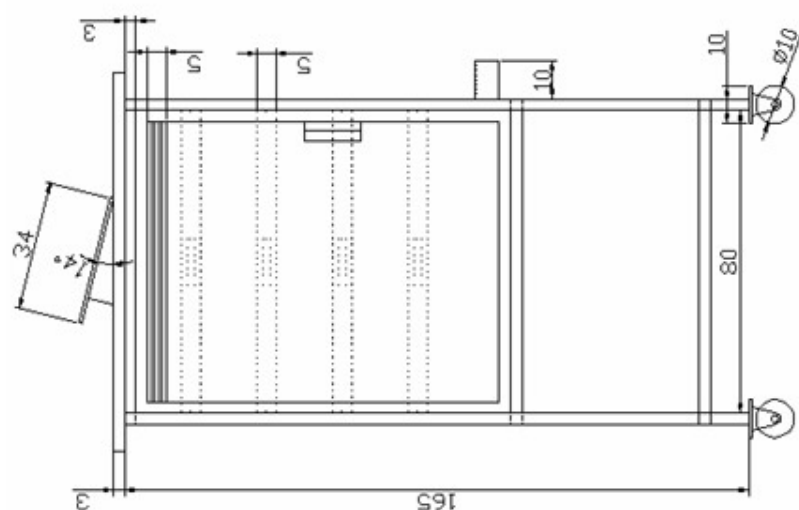
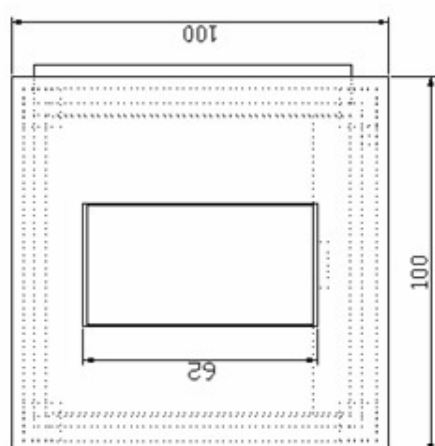
Item ref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by	Checked by	Approved by - date	Scale
		SCD-03	

Solar Crop Dryer



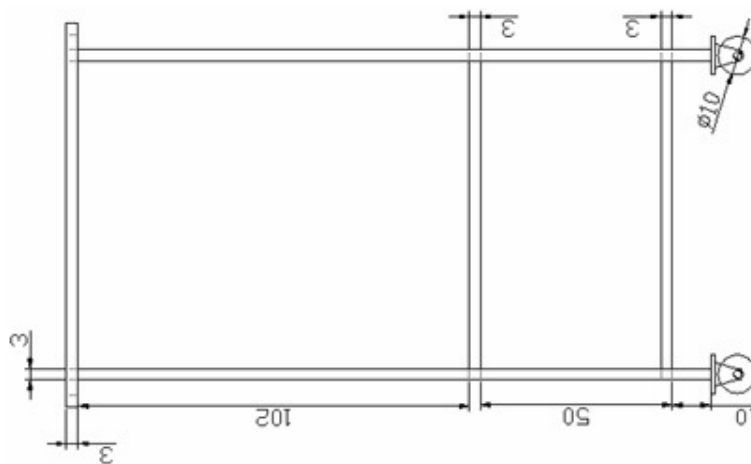
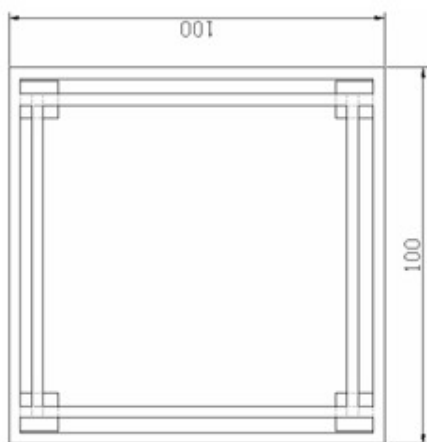
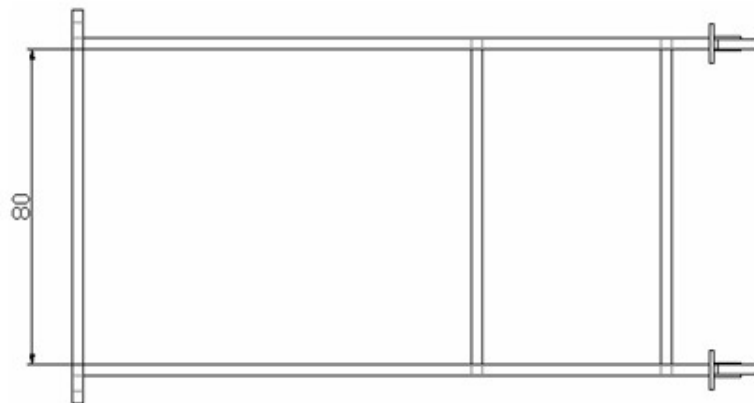
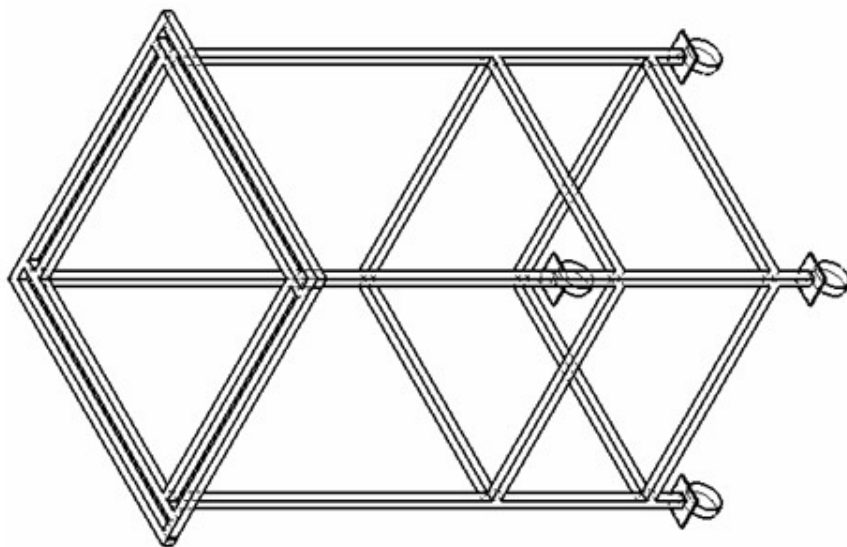
Item ref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by	Checked by	Approved by - date	Scale
		SCD-DC-01	

Dryer cabinet

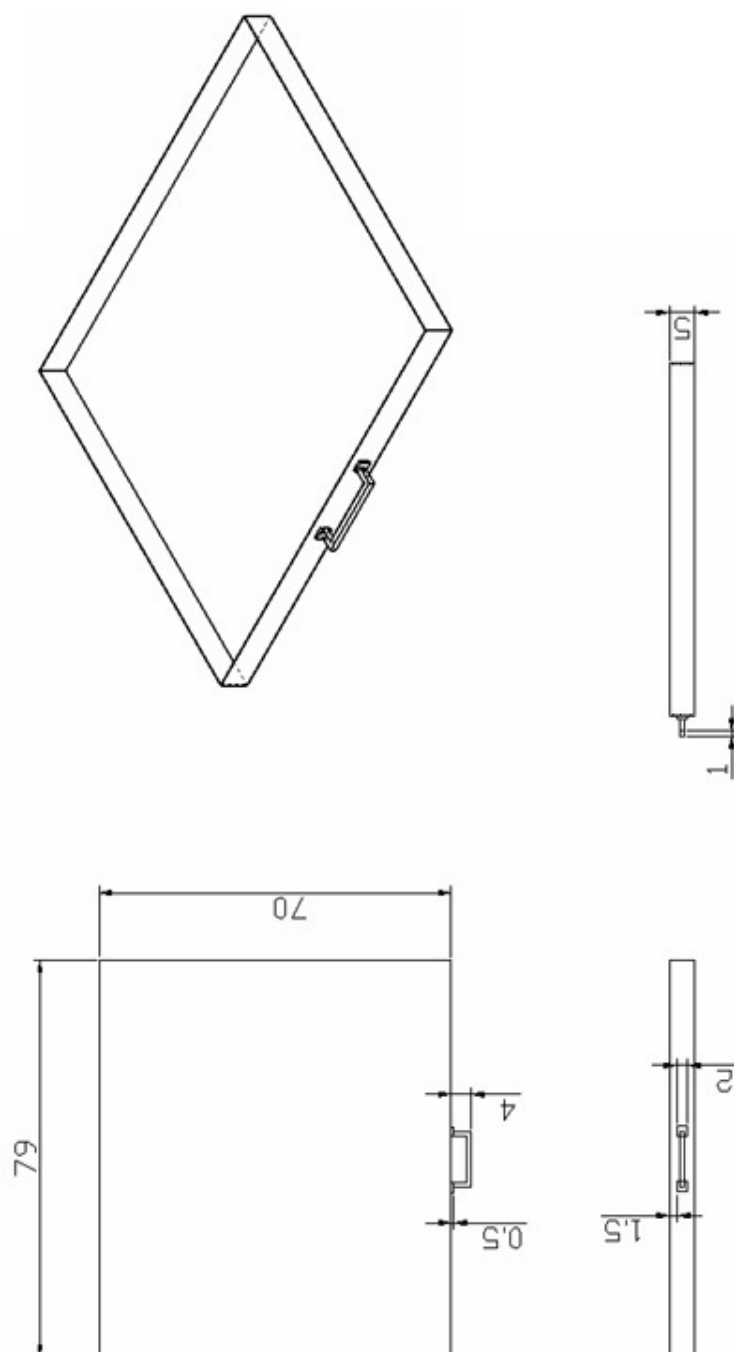


Item Ref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by	Checked by	Approved by - date	Scale
		SCD-DC-02	1:20

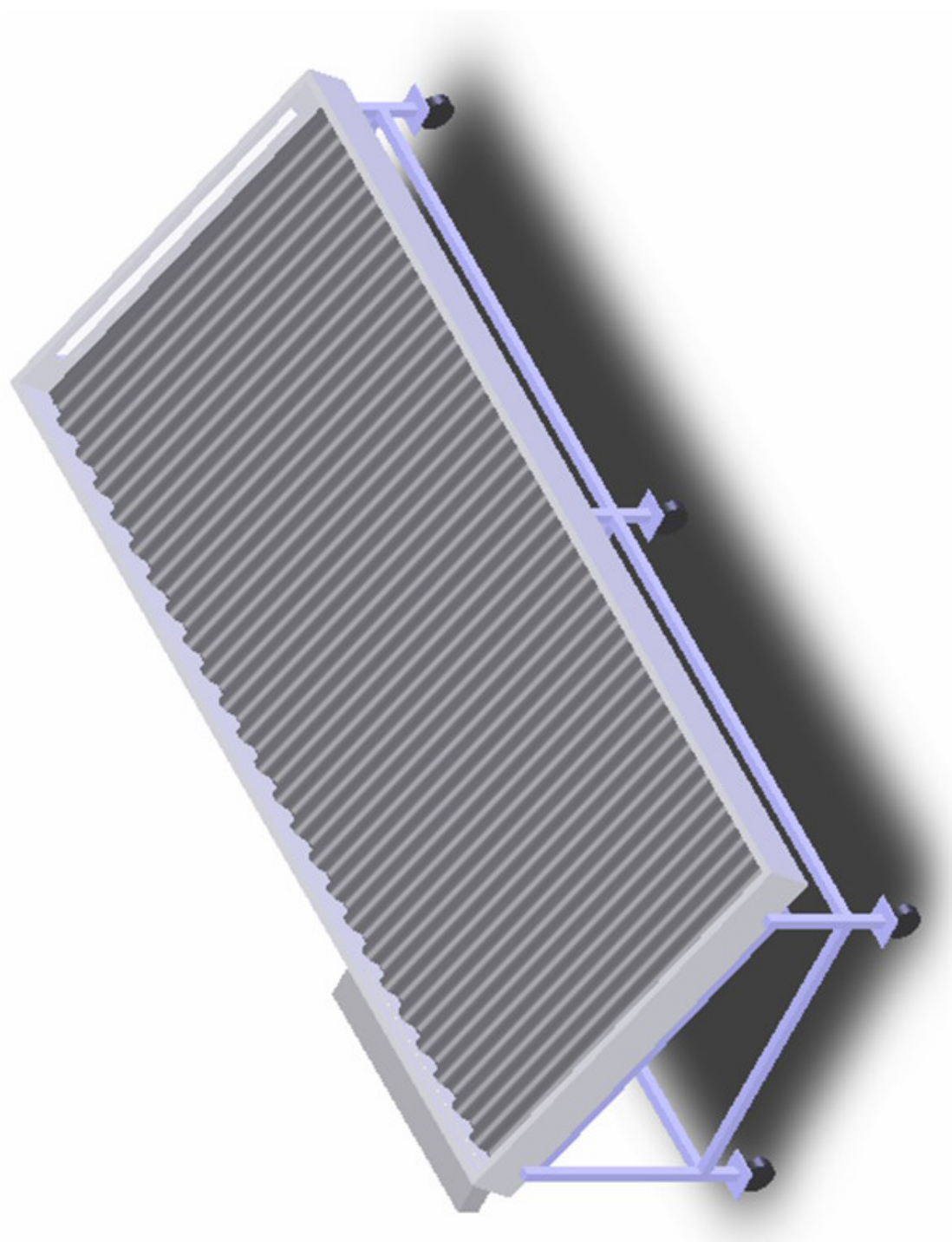
Dryer cabinet Unit : Centimeter



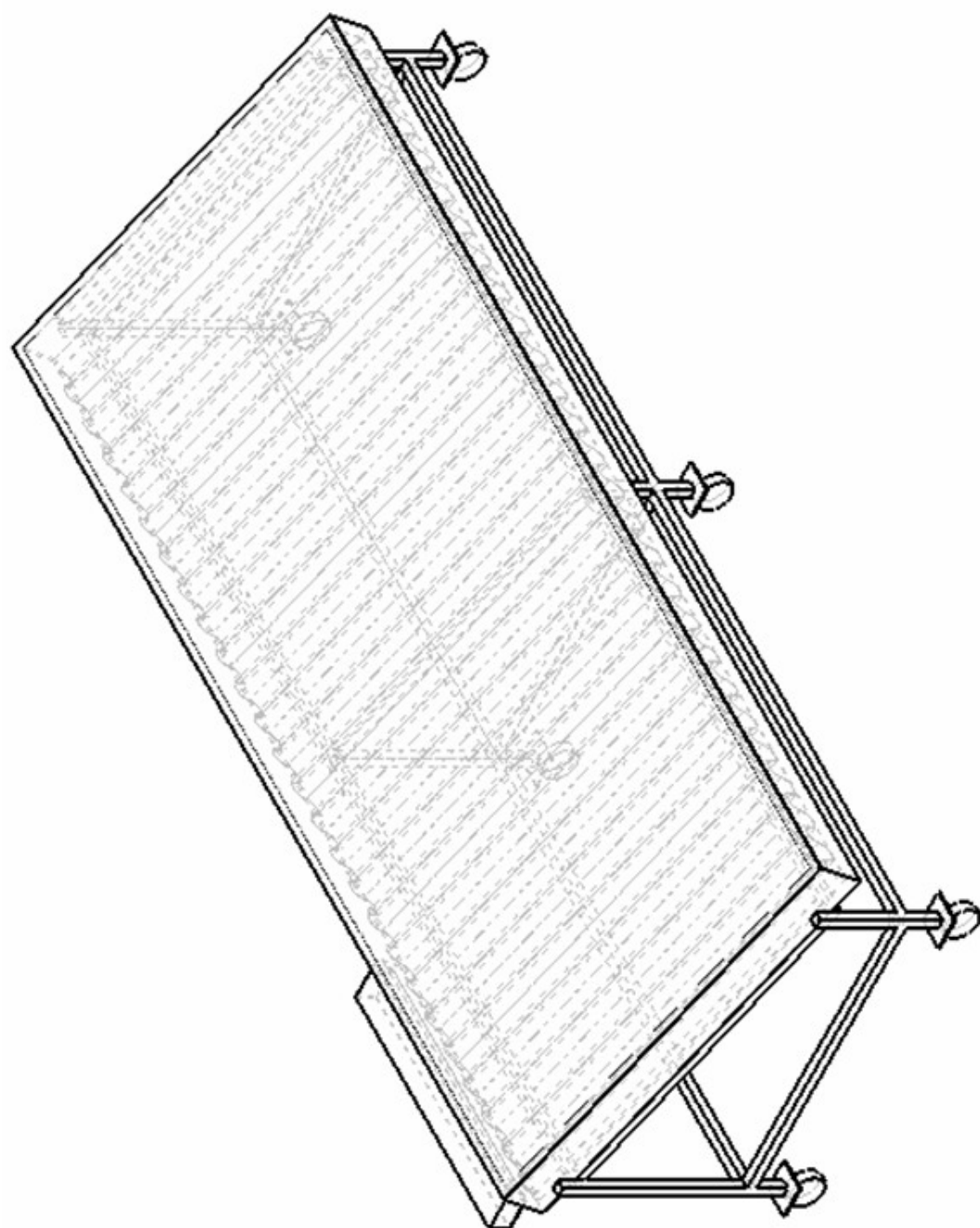
Item Ref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by	Checked by	Approved by - date	Scale
		SCD-DC-FC-01	1:20
Frame cabinet		Unit : Centimeter	



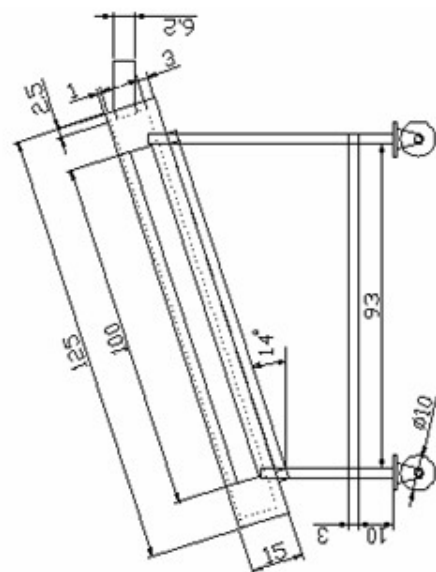
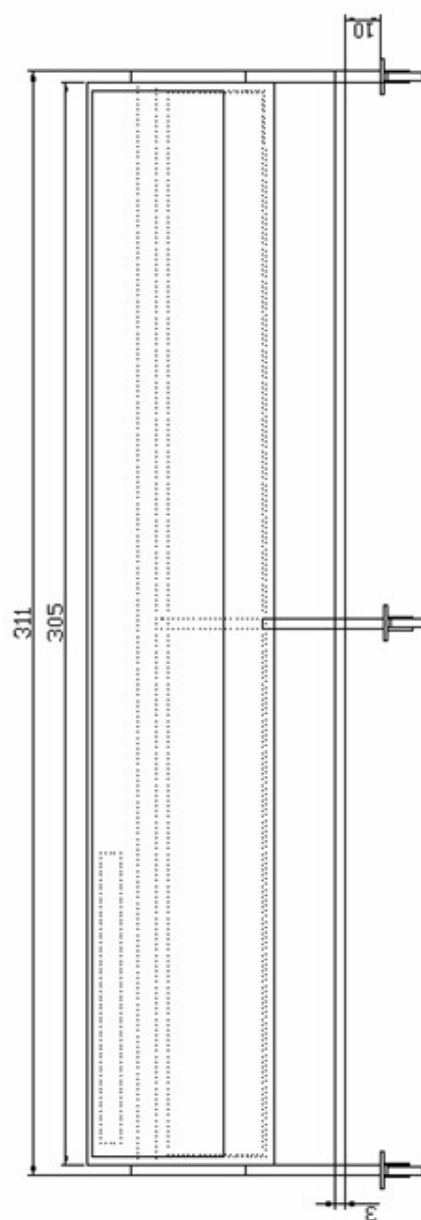
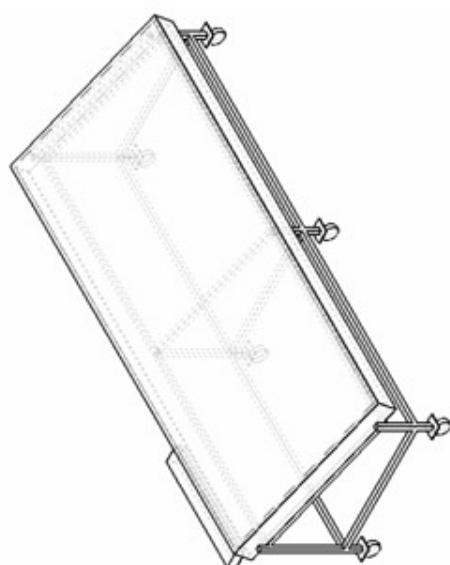
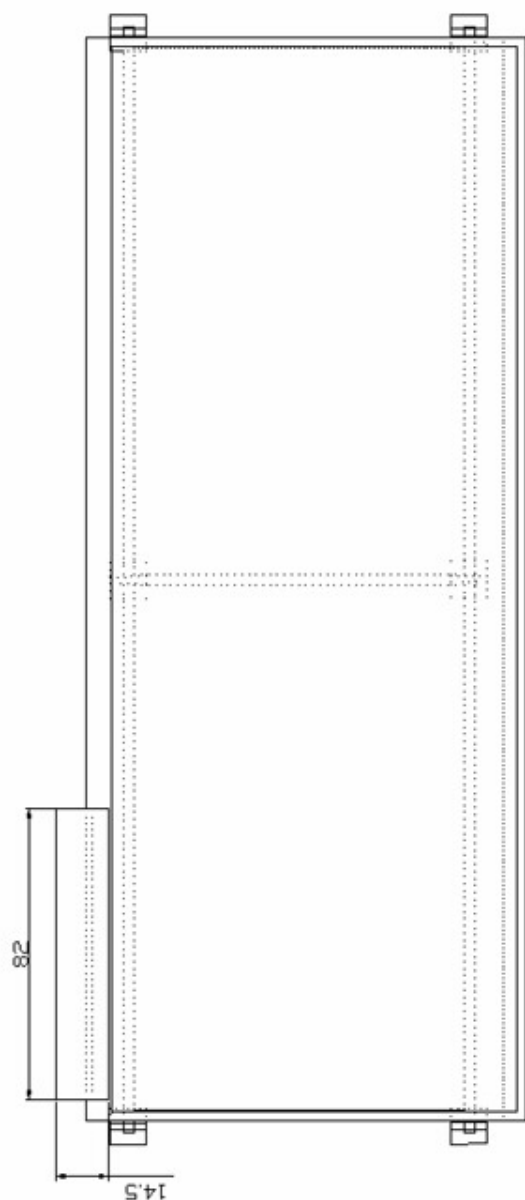
Item No.	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by	Checked by	Approved by - date	Scale
		SCD-DC-T-01	1 : 15
Tray		Unit : Centimeter	



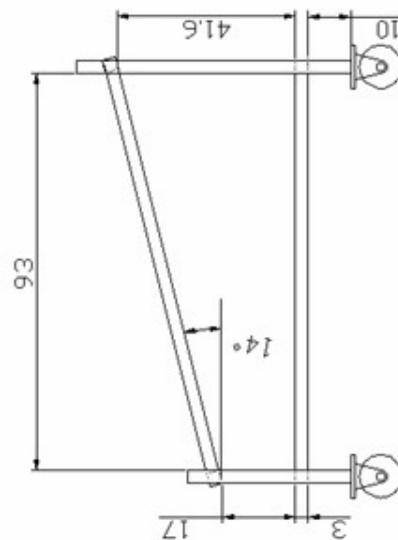
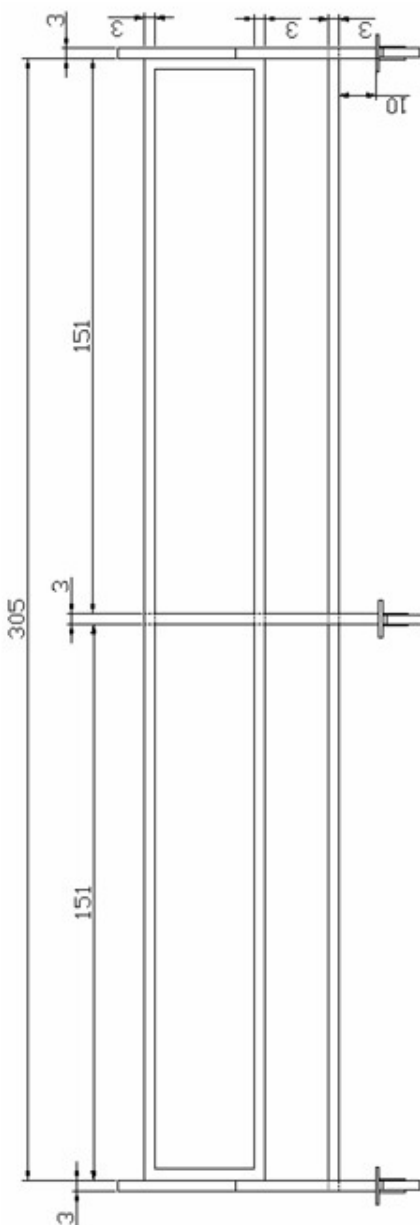
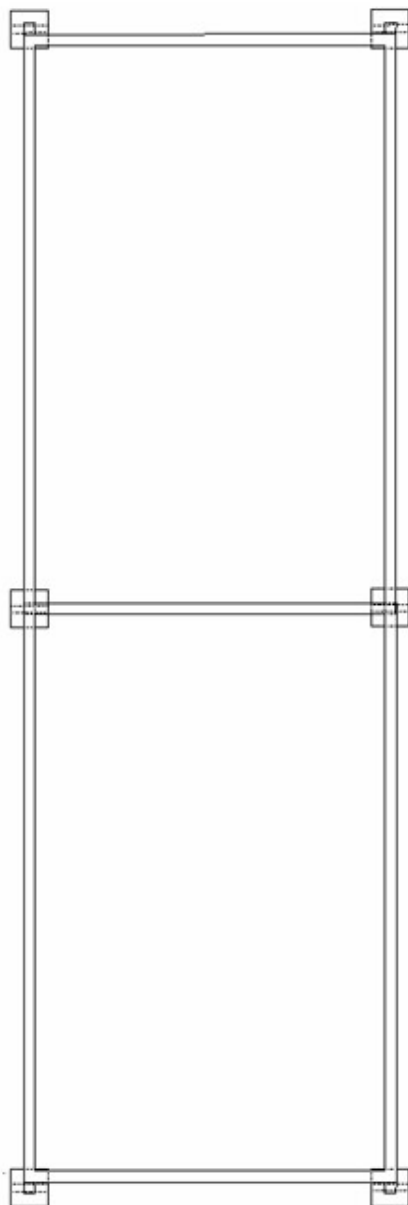
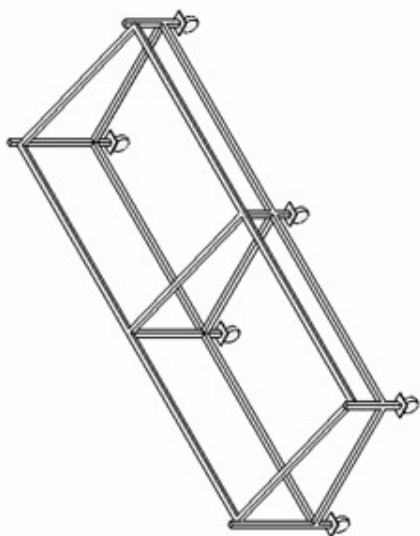
Item ref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by	Checked by	Approved by - date	Scale
		SCD-SC-01	
Solar collector			



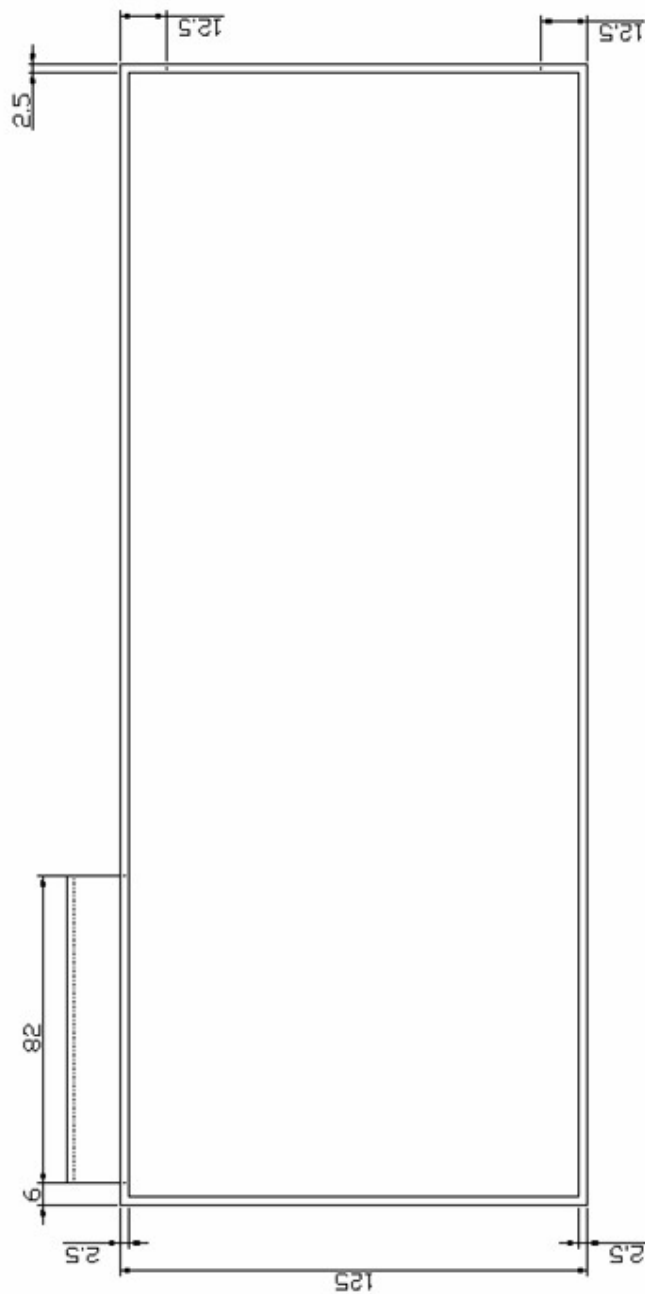
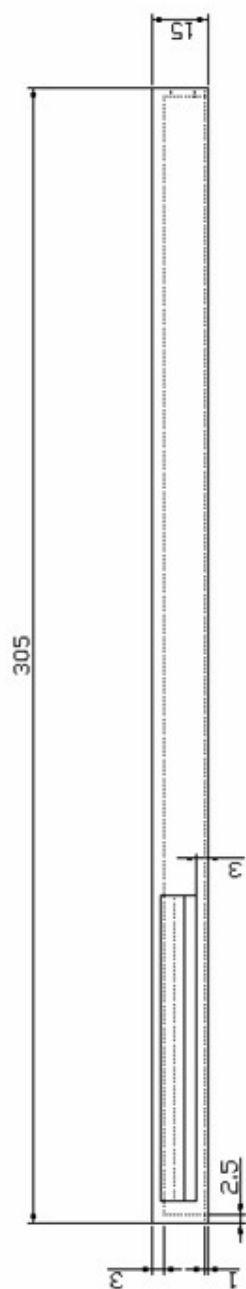
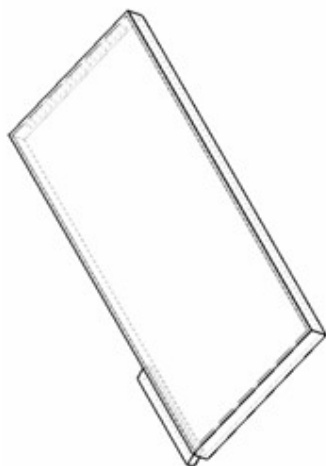
Item ref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by	Checked by	Approved by - date	Scale
		SCD-SC-02	
Solar collector			



Item ref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by	Checked by	Approved by - date	SCD-SC-03
Solar collector			Unit : Centimeter
			Scale 1 : 20

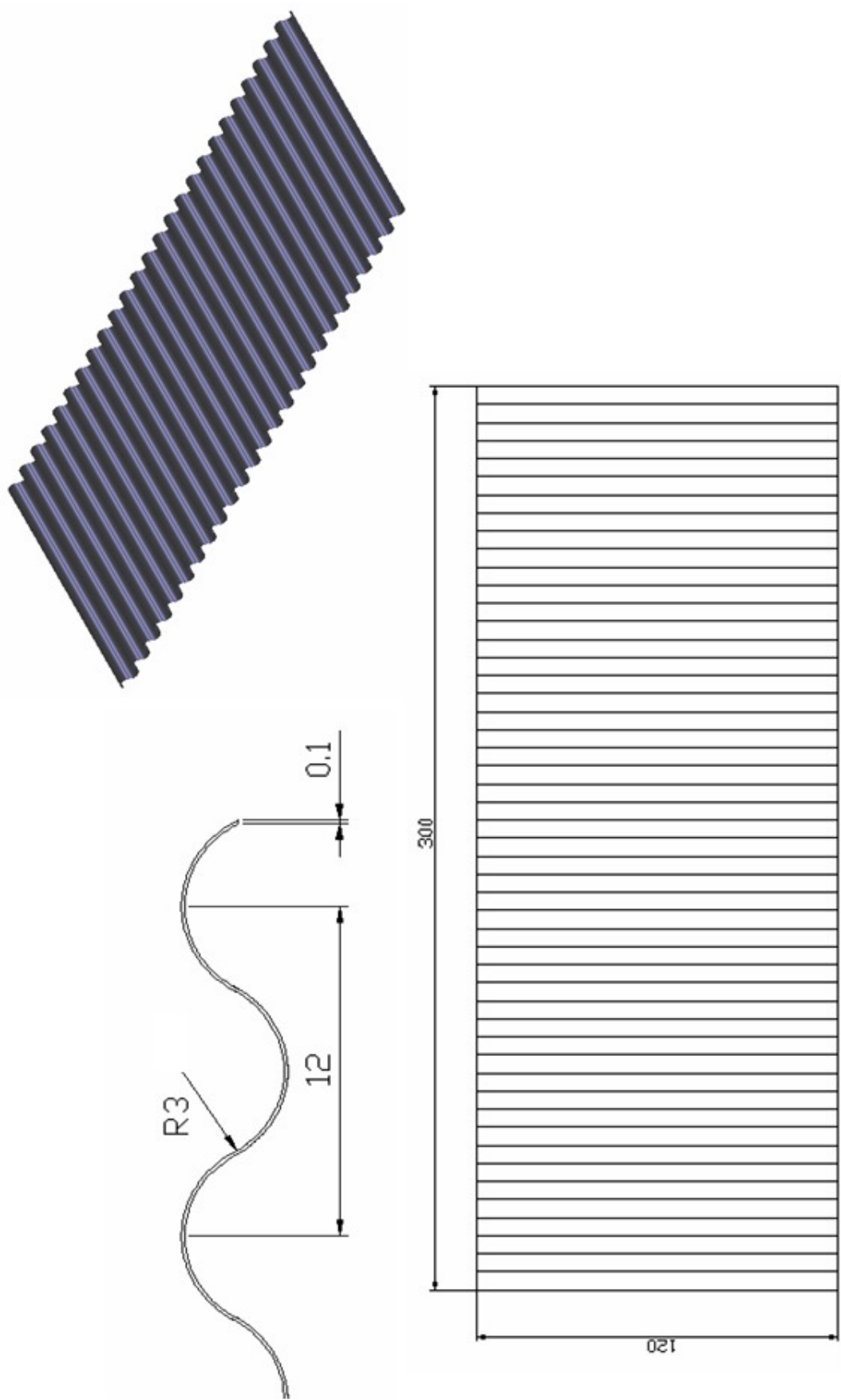


Item no	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by	Checked by	Approved by - date	Scale
		SCD-SC-FC-01	4 : 20
Frame collector			Unit : Centimeter



Item/Ref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by		Checked by	SCD-SC-BC-01
		Approved by - date	Scale
			1:20

Body collector Unit : Centimeter



Item ref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by	Checked by	Approved by - date	SCD-SC-PC-01
			Scale
			1:20
Plate collector		Unit : Centimeter	

ภาคผนวก จ

ผลการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการเก็บข้อมูลของการทดลองวันที่ 20-21 มีนาคม พ.ศ.2551 ระยะเวลาในการอบแห้ง 2 วัน
ตาราง 30 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 20 มีนาคม 2551(วันที่1)

เวลา / อุณหภูมิ (°C)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tin	Tout	Ta
8.00	30	28	29	26	25	26	28	26	27	30	29	31	32	27	25
9.00	42	40	42	41	40	41	40	38	41	42	43	44	46	38	28
10.00	52	49	51	50	48	50	49	46	48	50	50	51	52	46	30
11.00	58	56	57	56	55	57	56	55	56	57	58	58	60	54	32
12.00	62	60	62	60	58	59	58	57	58	60	61	62	64	57	32
13.00	63	60	62	61	59	61	60	58	60	62	62	63	65	57	33
14.00	63	60	61	59	57	58	58	57	59	62	61	62	63	56	32
15.00	61	58	60	57	54	57	56	55	58	62	60	62	63	55	30
16.00	53	51	52	51	48	50	50	49	50	52	52	53	55	47	31
17.00	50	48	50	46	46	47	47	46	48	49	50	50	52	45	29
เฉลี่ย	53	51	53	51	49	50	50	49	51	53	53	54	55	48	30

ตาราง 31 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 21 มีนาคม 2551(วันที่2)

เวลา / อุณหภูมิ (°C)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tin	Tout	Ta
8.00	29	28	29	27	26	26	27	26	25	30	28	31	32	28	26
9.00	42	40	41	39	38	39	41	40	40	39	42	45	46	38	28
10.00	52	51	52	49	48	50	50	49	50	51	50	52	53	45	29
11.00	57	58	60	59	58	59	58	58	58	60	59	61	62	52	31
12.00	63	62	62	60	59	60	60	59	58	60	61	63	64	56	33
13.00	62	63	63	61	60	61	59	61	60	63	62	63	63	55	32
14.00	62	62	63	61	60	61	61	59	57	62	62	63	65	53	32
15.00	60	58	60	58	57	58	58	58	58	60	60	62	63	53	31
16.00	53	51	52	51	49	51	51	50	52	51	52	54	55	47	29
17.00	51	51	51	49	48	49	49	48	49	50	50	51	52	46	28
เฉลี่ย	53	52	53	51	50	51	51	51	51	53	53	55	56	48	30

ตาราง 32 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 20 มีนาคม 2551(วันที่ 1)

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	140.26	129.87	107.34	84.83	65.34	54.22	47.28	42.16	38.25	36.78
ชั้นที่ 2	139.84	138.91	115.89	92.81	76.28	67.88	56.69	51.79	45.70	42.12
ชั้นที่ 3	143.25	136.86	120.72	90.28	76.20	68.00	56.70	50.68	44.49	42.22
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	141.92	133.05	110.88	83.81	64.90	54.03	47.41	41.42	38.15	36.14
เฉลี่ย	141.32	134.67	113.71	87.94	70.68	61.03	52.02	46.51	41.65	39.31

ตาราง 33 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 21 มีนาคม 2551(วันที่ 2)

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	36.27	34.89	32.67	29.80	27.72	25.75	24.32	23.27	22.84	22.77
ชั้นที่ 2	41.78	38.63	35.67	33.03	30.76	28.35	26.06	24.82	24.06	23.60
ชั้นที่ 3	41.89	39.14	36.17	33.47	31.41	28.92	26.50	25.22	24.47	24.04
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	35.72	34.67	62.50	29.90	27.65	25.83	24.50	23.71	23.29	23.19
เฉลี่ย	38.92	36.83	34.25	31.55	29.38	27.21	25.34	24.26	23.67	23.40

ตาราง 34 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 20 มีนาคม 2551 (วันที่ 1)

ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	85	83.8	80.4	75.2	67.8	61.2	55.5	50.1	45.0	42.8
ชั้นที่ 2	85	84.9	81.9	77.4	72.5	69.1	63.0	59.5	54.1	50.2
ชั้นที่ 3	85	84.3	82.2	76.2	71.8	68.4	62.1	57.6	51.7	49.1
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	85	84.0	80.8	74.6	67.2	60.6	55.1	48.6	44.2	41.1
เฉลี่ย	85	84.3	81.3	75.9	69.8	64.8	58.9	54.0	48.8	45.8

ตาราง 35 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 21 มีนาคม 2551 (วันที่ 2)

ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	42.0	39.7	35.6	29.4	24.1	18.3	13.5	9.6	7.9	7.6
ชั้นที่ 2	49.8	45.7	41.2	36.5	31.8	26.0	19.5	15.5	12.8	11.1
ชั้นที่ 3	48.7	45.1	40.6	35.8	31.6	25.7	18.9	14.8	12.2	10.6
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	40.4	38.6	34.5	28.8	23.0	17.6	13.1	10.2	8.6	8.2
เฉลี่ย	45.2	42.3	38.0	32.6	27.6	21.9	16.3	12.5	10.4	9.4

ตาราง 36 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 20-21 มีนาคม 2551

ความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (โวลท์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 20 มี.ค.51	8.2	9.2	10.9	11.2	11.2	11.0	10.6	9.0	7.3	6.0
วันที่ 21 มี.ค. 51	8.0	9.3	10.5	11.0	11.1	11.0	10.5	8.9	7.2	5.6
เฉลี่ย	8.1	9.3	10.7	11.1	11.2	11.0	10.6	9.0	7.3	5.8

ตาราง 37 แสดงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 20-21 มีนาคม 2551

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 20 มี.ค. 51	0.33	0.37	0.44	0.45	0.45	0.44	0.42	0.36	0.29	0.24
วันที่ 21 มี.ค. 51	0.32	0.37	0.42	0.44	0.44	0.44	0.42	0.36	0.29	0.22
เฉลี่ย	0.32	0.37	0.43	0.44	0.45	0.44	0.42	0.36	0.29	0.23

ตาราง 38 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 20-21 มีนาคม 2551

กำลังไฟฟ้า (วัตต์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 20 มี.ค. 51	2.7	3.4	4.8	5.0	5.0	4.8	4.5	3.2	2.1	1.4
วันที่ 21 มี.ค. 51	2.6	3.5	4.4	4.8	4.9	4.8	4.4	3.2	2.1	1.3
เฉลี่ย	2.7	3.5	4.6	4.9	5.0	4.8	4.5	3.2	2.1	1.4

ผลการเก็บข้อมูลของการทดลองวันที่ 30–31 มีนาคม พ.ศ. 2551 ระยะเวลาในการอบแห้ง 1.5 วัน

ตาราง 39 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 30 มีนาคม 2551(วันที่1)

เวลา / อุณหภูมิ (°C)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tin	Tout	Ta
8.00	31	30	31	28	28	28	29	29	30	32	30	33	35	30	27
9.00	43	41	42	41	40	41	41	40	41	44	45	46	48	40	30
10.00	56	54	54	50	50	50	52	51	53	53	52	54	56	47	32
11.00	62	60	60	58	58	58	61	60	60	62	61	62	64	54	35
12.00	66	64	65	62	61	60	64	63	63	66	65	67	67	57	33
13.00	65	65	65	64	61	64	65	63	64	66	66	67	68	28	35
14.00	64	65	66	63	62	61	63	63	65	65	66	66	68	59	34
15.00	63	60	60	60	58	58	59	59	60	62	61	63	65	56	33
16.00	56	53	54	53	51	52	51	53	54	53	54	55	58	49	34
17.00	52	50	51	52	50	50	49	50	51	51	52	53	54	46	31
เฉลี่ย	56	54	55	53	52	52	53	53	54	55	55	57	58	50	32

ตาราง 40 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 31 มีนาคม 2551(วันที่2)

เวลา / อุณหภูมิ (°C)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tin	Tout	Ta
8.00	31	30	31	29	28	28	30	29	30	32	29	33	35	31	27
9.00	43	41	42	41	40	41	42	40	41	47	45	46	48	42	30
10.00	56	53	54	51	50	50	52	51	54	53	52	54	56	50	32
11.00	62	61	62	59	57	58	61	60	61	63	62	62	63	58	35
12.00	66	64	65	62	60	59	64	63	63	66	64	67	67	57	36
13.00	65	66	65	64	61	64	65	63	64	67	67	68	69	62	35
14.00	64	65	66	63	62	61	65	64	65	68	67	68	68	63	32
15.00	63	60	60	60	59	60	59	59	60	62	61	63	65	57	33
16.00	56	53	54	53	51	52	51	53	54	56	55	55	58	50	32
17.00	52	50	51	52	49	51	49	51	51	51	52	53	54	46	32
เฉลี่ย	56	54	55	53	52	52	54	53	54	57	55	57	58	52	32

ตาราง 41 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 30 มีนาคม 2551 (วันที่ 1)

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	137.51	114.59	100.62	83.17	66.11	50.93	46.25	43.33	41.09	38.55
ชั้นที่ 2	139.62	122.47	105.24	93.08	68.44	54.82	47.74	45.14	42.05	39.66
ชั้นที่ 3	138.55	118.76	111.73	96.22	70.45	54.95	48.11	45.28	42.50	39.97
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	139.45	113.07	96.84	80.76	65.57	50.65	44.89	43.04	40.77	37.49
เฉลี่ย	138.78	117.22	103.61	88.31	67.64	52.85	46.74	44.20	41.60	38.92

ตาราง 42 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 31 มีนาคม 2551 (วันที่ 2)

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	37.23	34.04	30.38	27.91	24.32	23.05	22.44	22.06	21.97	21.78
ชั้นที่ 2	38.22	35.32	31.21	28.69	25.08	24.18	23.51	22.96	22.67	22.52
ชั้นที่ 3	38.49	35.59	31.20	28.78	24.98	23.86	23.51	22.69	22.59	22.42
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	36.83	34.07	30.54	28.04	24.49	23.27	22.74	22.54	22.28	22.13
เฉลี่ย	37.69	34.75	30.83	28.36	24.72	23.59	23.05	22.56	22.37	22.21

ตาราง 43 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 30 มีนาคม 2551 (วันที่ 1)

ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	85	82.0	79.5	72.5	68.8	59.5	55.4	52.4	49.8	46.5
ชั้นที่ 2	85	82.9	80.1	77.5	69.4	61.8	56.1	53.6	50.2	47.2
ชั้นที่ 3	85	82.5	81.4	78.4	70.5	62.2	56.8	54.1	51.1	48.0
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	85	81.5	78.4	74.1	68.1	58.7	53.4	51.4	48.7	44.2
เฉลี่ย	85	82.2	79.9	76.3	69.2	60.6	55.4	52.9	50.0	46.5

ตาราง 44 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 31 มีนาคม 2551 (วันที่ 2)

ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	44.6	39.4	32.1	26.4	15.2	10.5	8.1	6.5	6.1	5.3
ชั้นที่ 2	45.2	40.7	32.9	27.0	16.5	13.4	10.9	8.8	7.6	7.0
ชั้นที่ 3	46.0	41.6	33.4	27.8	16.8	12.9	11.6	8.4	8.0	7.3
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	43.2	38.6	31.5	25.4	14.6	10.1	8.0	7.2	6.1	5.5
เฉลี่ย	44.8	40.1	32.5	26.6	15.8	11.7	9.7	7.7	7.0	6.3

ตาราง 45 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 30-31 มีนาคม พ.ศ.2551

ความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (โวลท์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 30 มี.ค.51	8.0	9.2	11.0	11.4	11.3	11.4	11.2	11.0	9.0	7.2
วันที่ 31 มี.ค. 51	8.1	9.1	10.9	11.2	11.5	11.4	11.0	10.8	8.9	6.7
เฉลี่ย	8.1	9.2	11.0	11.6	11.4	11.4	11.1	10.9	9.0	7.0

ตาราง 46 แสดงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 30-31 มีนาคม พ.ศ.2551

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 30 มี.ค. 51	0.32	0.37	0.44	0.46	0.45	0.46	0.45	0.44	0.36	0.29
วันที่ 31 มี.ค. 51	0.32	0.36	0.44	0.45	0.46	0.46	0.44	0.43	0.36	0.27
เฉลี่ย	0.32	0.37	0.44	0.45	0.46	0.46	0.44	0.44	0.36	0.28

ตาราง 47 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 30-31 มีนาคม พ.ศ.2551

กำลังไฟฟ้า (วัตต์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 30 มี.ค. 51	2.6	3.4	4.8	5.2	5.1	5.2	5.0	4.8	3.2	2.1
วันที่ 31 มี.ค. 51	2.6	3.3	4.8	5.0	5.3	5.2	4.8	4.7	3.2	1.8
เฉลี่ย	2.6	3.4	4.8	5.1	5.2	5.2	4.9	4.8	3.2	2.0

ผลการเก็บข้อมูลของการทดลองวันที่ 5-6 เมษายน พ.ศ. 2551 ระยะเวลาในการอบแห้ง 2 วัน

ตาราง 48 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 5 เมษายน 2551 (วันที่1)

เวลา / อุณหภูมิ (°C)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tin	Tout	Ta
8.00	32	28	28	27	26	26	26	26	27	30	27	31	33	28	26
9.00	45	40	41	40	39	40	40	37	40	41	43	45	45	38	28
10.00	51	50	52	50	49	50	48	48	50	51	51	53	53	45	30
11.00	58	58	57	55	55	56	58	56	58	59	58	59	59	52	32
12.00	62	58	60	59	58	59	60	59	60	60	60	62	62	55	34
13.00	63	61	61	60	58	59	62	61	60	63	62	63	63	57	34
14.00	61	60	61	61	57	58	60	59	61	62	61	63	62	57	31
15.00	59	58	58	57	56	56	58	57	57	58	58	59	59	53	31
16.00	57	51	52	51	50	51	50	50	51	52	52	54	54	47	30
17.00	55	50	51	47	47	48	48	48	50	51	50	51	53	45	28
เฉลี่ย	54	51	52	51	49	50	51	50	51	53	52	54	54	48	30

ตาราง 49 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 6 เมษายน 2551 (วันที่2)

เวลา / อุณหภูมิ (°C)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tin	Tout	Ta
8.00	29	28	29	26	26	26	27	26	25	30	28	31	32	27	25
9.00	42	40	41	39	40	40	40	38	40	41	42	44	46	38	27
10.00	52	50	52	50	48	50	49	49	50	51	51	52	54	45	31
11.00	60	58	60	57	58	58	58	58	58	60	59	61	59	52	32
12.00	62	62	61	60	59	60	61	60	61	61	59	61	62	56	34
13.00	63	62	61	61	60	61	62	61	62	64	63	64	65	56	33
14.00	62	62	61	58	60	59	61	60	60	62	62	63	64	56	33
15.00	61	60	60	58	57	58	58	58	58	60	60	62	63	53	31
16.00	54	51	52	51	50	51	50	50	50	55	56	57	59	47	30
17.00	51	50	51	49	48	49	49	48	50	50	50	51	52	44	29
เฉลี่ย	51	52	53	51	51	51	52	51	51	53	53	55	56	47	31

ตาราง 50 น้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 5 เมษายน 2551 (วันที่ 1)

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	139.45	131.56	113.07	87.16	68.36	55.48	49.92	43.04	38.59	36.70
ชั้นที่ 2	140.15	137.40	117.44	95.99	89.46	70.55	51.91	47.45	43.35	41.38
ชั้นที่ 3	138.29	133.83	112.13	93.02	81.35	68.01	49.86	45.39	41.65	39.59
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	141.13	128.30	112.60	86.41	66.57	54.84	49.81	42.51	38.14	36.82
เฉลี่ย	139.76	132.77	113.81	90.64	76.43	62.22	50.38	44.60	40.43	38.62

ตาราง 51 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 6 เมษายน 2551 (วันที่ 2)

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	36.13	35.33	32.94	29.92	26.82	25.60	24.96	23.66	23.29	23.04
ชั้นที่ 2	40.82	39.52	36.56	33.26	30.56	28.37	26.44	25.09	24.76	24.62
ชั้นที่ 3	38.56	36.52	35.40	32.11	29.85	27.81	25.86	24.52	24.09	23.90
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	36.25	34.82	32.97	29.82	26.59	26.30	24.96	23.73	23.31	23.04
เฉลี่ย	37.94	36.55	34.47	31.28	28.45	27.02	25.56	24.25	23.87	23.65

ตาราง 52 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 5 เมษายน 2551 (วันที่ 1)

ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	85	84.1	81.5	76.0	69.4	62.3	58.1	51.4	45.8	43.0
ชั้นที่ 2	85	84.7	82.1	78.1	76.5	70.2	59.5	55.7	51.5	49.2
ชั้นที่ 3	85	84.5	81.5	77.7	74.5	69.35	58.4	54.3	50.2	47.6
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	85	83.5	81.2	75.5	68.2	61.4	57.5	50.2	44.5	42.5
เฉลี่ย	85	84.2	81.6	76.8	72.2	65.9	58.4	52.9	48.0	45.6

ตาราง 53 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 6 เมษายน 2551 (วันที่ 2)

ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	42.1	40.8	36.5	30.1	22.0	18.3	16.2	11.6	10.2	9.2
ชั้นที่ 2	48.5	46.8	42.5	36.8	31.2	25.9	20.5	16.2	15.1	14.6
ชั้นที่ 3	46.2	43.2	41.4	35.4	30.5	25.4	19.8	15.4	13.9	13.2
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	41.6	39.2	35.8	29.0	20.4	19.5	15.2	10.8	9.2	8.1
เฉลี่ย	44.6	42.5	39.1	32.8	26.0	22.3	17.9	13.5	12.1	11.3

ตาราง 54 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 5-6 เมษายน พ.ศ. 2551

ความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (โวลท์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 5 เม.ย. 51	8.1	9.3	11.0	11.1	11.2	11.0	10.6	10.0	7.6	6.0
วันที่ 6 เม.ย. 51	7.8	8.9	10.6	10.9	10.9	11.0	10.5	9.0	8.0	6.1
เฉลี่ย	8.0	9.1	10.8	11.0	11.1	11.0	10.6	9.5	7.8	6.1

ตาราง 55 แสดงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 5-6 เมษายน พ.ศ. 2551

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 5 เม.ย. 51	0.32	0.37	0.44	0.45	0.45	0.44	0.42	0.40	0.30	0.24
วันที่ 6 เม.ย. 51	0.31	0.36	0.42	0.44	0.44	0.44	0.42	0.36	0.32	0.24
เฉลี่ย	0.32	0.36	0.43	0.44	0.44	0.44	0.42	0.38	0.31	0.24

ตาราง 56 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 5-6 เมษายน พ.ศ. 2551

กำลังไฟฟ้า (วัตต์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 5 เม.ย. 51	2.6	3.5	4.8	4.9	5.0	4.8	4.5	4.0	2.3	1.4
วันที่ 6 เม.ย. 51	2.4	3.2	4.5	4.8	4.8	4.8	4.4	3.2	2.6	1.5
เฉลี่ย	2.5	3.3	4.7	4.9	4.9	4.8	4.5	3.6	2.5	1.5

ผลการเก็บข้อมูลของการทดลองวันที่ 13-14 เมษายน พ.ศ.2551 ระยะเวลาในการอบแห้ง 1.5 วัน

ตาราง 57 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 13 เมษายน 2551 (วันที่1)

เวลา / อุณหภูมิ (°C)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tin	Tout	Ta
8.00	30	28	29	26	26	27	27	26	26	30	29	32	33	28	26
9.00	43	40	38	41	39	42	39	40	42	45	45	46	48	38	28
10.00	50	51	46	49	49	50	50	47	46	52	51	53	54	45	30
11.00	63	61	56	58	57	59	57	57	58	61	60	60	62	54	34
12.00	65	60	57	61	60	61	61	60	63	65	64	65	67	56	35
13.00	63	58	58	63	62	63	63	61	64	65	63	65	68	56	35
14.00	61	58	58	62	60	61	61	59	60	64	64	65	67	57	33
15.00	55	54	55	58	56	58	59	59	61	65	65	63	64	54	32
16.00	48	47	48	51	50	53	53	51	52	53	52	54	56	47	30
17.00	48	45	46	45	43	49	46	45	49	45	45	48	49	45	29
เฉลี่ย	53	50	49	51	50	52	52	51	52	54	54	55	57	49	31

ตาราง 58 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 14 เมษายน 2551 (วันที่2)

เวลา / อุณหภูมิ (°C)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tin	Tout	Ta
8.00	30	31	32	27	26	27	27	27	27	31	29	33	34	31	26
9.00	43	42	43	42	41	42	41	40	42	43	43	46	48	39	28
10.00	54	52	54	51	50	51	50	49	51	52	5	254	55	45	31
11.00	62	60	61	59	59	59	59	59	60	61	61	62	62	48	33
12.00	65	63	67	61	60	61	62	61	62	66	66	66	68	55	34
13.00	67	67	67	63	61	62	64	62	64	67	67	68	70	55	34
14.00	67	66	67	62	61	62	63	62	64	67	66	68	68	56	33
15.00	62	61	61	58	57	58	59	59	60	61	61	62	65	52	32
16.00	55	52	53	51	50	53	52	51	51	52	54	55	57	47	32
17.00	53	51	53	50	48	48	50	50	51	51	51	52	54	42	30
เฉลี่ย	56	55	56	52	51	52	53	52	53	55	55	57	58	47	31

ตาราง 59 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 13 เมษายน 2551 (วันที่1)

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	138.44	102.80	92.29	78.36	63.90	50.90	43.81	40.64	36.95	34.50
ชั้นที่ 2	139.15	105.42	95.75	80.90	66.05	52.44	44.89	41.09	38.58	35.50
ชั้นที่ 3	140.11	112.99	102.52	86.85	68.24	55.02	45.89	42.80	40.11	36.74
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	140.31	96.54	88.43	75.71	63.58	50.59	42.95	40.01	36.29	34.22
เฉลี่ย	139.50	104.44	94.75	80.45	65.44	52.24	44.38	41.14	37.98	35.24

ตาราง 60 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 14 เมษายน 2551 (วันที่2)

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	32.05	31.23	28.64	26.12	24.11	23.23	22.57	22.38	22.26	21.97
ชั้นที่ 2	32.87	31.72	29.19	26.56	24.76	23.64	22.94	22.64	22.49	22.44
ชั้นที่ 3	33.36	32.74	29.60	26.94	25.08	23.83	23.20	22.49	22.79	22.65
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	32.38	30.95	29.27	26.24	24.42	23.31	22.75	22.61	22.46	22.30
เฉลี่ย	32.66	31.66	29.18	26.47	24.59	23.50	22.46	22.63	22.50	22.34

ตาราง 61 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 13 เมษายน 2551 (วันที่1)

ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	85	79.8	77.5	73.5	67.5	59.2	52.6	48.9	43.8	39.8
ชั้นที่ 2	85	80.5	78.2	74.2	68.4	60.2	53.5	49.2	45.9	41.2
ชั้นที่ 3	85	81.4	79.5	75.8	69.2	61.8	54.2	50.9	47.6	42.8
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	85	78.2	76.2	72.2	66.9	58.4	51.0	47.4	42.0	38.5
เฉลี่ย	85	79.9	77.9	73.9	68.0	59.9	52.8	49.1	44.8	40.6

ตาราง 62 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 14 เมษายน 2551 (วันที่ 2)

ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	35.2	33.5	27.5	20.5	13.9	10.6	8.0	7.2	6.7	5.5
ชั้นที่ 2	36.5	34.2	28.5	21.4	15.7	11.7	9.0	7.8	7.2	7.0
ชั้นที่ 3	37.0	35.8	29.0	22.0	16.2	11.8	9.4	8.2	7.8	7.2
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	35.0	32.0	28.1	19.8	13.8	9.7	7.5	6.9	6.3	5.6
เฉลี่ย	35.9	33.9	28.3	20.9	14.9	11.0	8.5	7.5	7.0	6.3

ตาราง 63 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 13-14 เมษายน พ.ศ.2551

ความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (โวลท์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 13 เม.ย.51	7.9	9.1	11.0	11.3	11.3	11.3	11.0	10.8	9.2	7.3
วันที่ 14 เม.ย. 51	8.0	9.2	10.9	11.0	11.3	11.3	11.1	10.7	9.0	7.0
เฉลี่ย	8.0	9.2	11.0	11.2	11.3	11.3	11.1	10.8	9.1	7.2

ตาราง 64 แสดงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 13-14 เมษายน พ.ศ.2551

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 13 เม.ย.51	0.32	0.36	0.44	0.45	0.45	0.45	0.44	0.43	0.37	0.29
วันที่ 14 เม.ย.51	0.32	0.37	0.44	0.44	0.45	0.45	0.44	0.43	0.36	0.28
เฉลี่ย	0.32	0.37	0.44	0.45	0.45	0.45	0.44	0.43	0.36	0.29

ตาราง 65 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 13-14 เมษายน พ.ศ.2551

กำลังไฟฟ้า (วัตต์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 13 เม.ย.51	2.5	3.3	4.8	5.1	5.1	5.1	4.8	4.7	3.4	2.1
วันที่ 14 เม.ย.51	2.6	3.4	4.8	4.8	5.1	5.1	4.9	4.6	3.2	2.0
เฉลี่ย	2.6	3.4	4.8	5.0	5.1	5.1	4.9	4.7	3.3	2.1

ผลการเก็บข้อมูลของการทดลองวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2551 ระยะเวลาในการอบแห้ง 1 วัน

ตาราง 66 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 15 เมษายน 2551

เวลา / อุณหภูมิ (°C)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tin	Tout	Ta
8.00	32	32	32	29	28	29	29	29	29	33	32	35	37	31	28
9.00	46	45	45	45	43	45	43	42	41	45	46	49	50	46	32
10.00	56	55	56	54	52	53	52	52	52	54	56	56	57	51	33
11.00	65	63	64	61	61	62	61	62	62	63	64	65	66	56	36
12.00	68	66	68	65	63	63	63	61	65	68	67	69	72	59	38
13.00	70	69	69	66	65	65	66	65	66	69	70	71	72	59	37
14.00	70	68	69	65	65	66	67	65	66	69	69	71	71	59	36
15.00	65	63	64	62	60	61	61	61	62	63	65	65	68	58	35
16.00	57	56	56	55	53	55	54	52	55	55	56	58	60	52	35
17.00	55	53	55	52	51	51	52	51	53	54	55	55	56	49	33
เฉลี่ย	58	57	58	55	54	55	55	54	55	57	58	59	61	52	34

ตาราง 67 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 15 เมษายน 2551

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	138.94	99.72	75.24	54.13	42.71	34.62	30.29	27.71	25.48	24.29
ชั้นที่ 2	139.66	111.43	79.05	56.31	44.57	35.81	31.08	27.93	25.99	24.79
ชั้นที่ 3	138.29	112.74	85.36	56.06	45.89	36.26	30.96	27.96	26.09	24.64
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	141.13	97.11	71.04	53.06	41.92	34.37	30.64	27.21	25.66	24.59
เฉลี่ย	139.51	105.25	77.67	54.89	43.77	35.27	30.74	27.70	25.84	24.58

ตาราง 68 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 15 เมษายน 2551

ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	85	79.1	72.3	61.5	51.2	39.8	31.2	24.8	18.2	14.2
ชั้นที่ 2	85	81.2	73.5	62.8	53.0	41.5	32.6	25.0	19.4	15.5
ชั้นที่ 3	85	81.6	75.7	63.0	54.8	42.8	33.0	25.8	20.5	15.8
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	85	78.2	70.2	60.1	49.5	38.4	30.9	22.2	17.5	13.9
เฉลี่ย	85	80.0	72.9	61.9	52.1	40.6	31.9	24.5	18.9	14.9

ตาราง 69 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 15 เมษายน พ.ศ.2551

ความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 15 เม.ย.51	8.0	9.7	11.4	11.5	11.5	11.4	11.2	10.8	9.4	7.5
เฉลี่ย	8.0	9.7	11.4	11.5	11.5	11.4	11.2	10.8	9.4	7.5

ตาราง 70 แสดงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 15 เมษายน พ.ศ.2551

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 15 เม.ย.51	0.32	0.39	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.43	0.38	0.30
เฉลี่ย	0.32	0.39	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.43	0.38	0.30

ตาราง 71 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 15 เมษายน พ.ศ.2551

กำลังไฟฟ้า (วัตต์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 15 เม.ย.51	2.6	3.8	5.2	5.3	5.3	5.2	5.0	4.7	3.5	2.3
เฉลี่ย	2.6	3.8	5.2	5.3	5.3	5.2	5.0	4.7	3.5	2.3

ผลการเก็บข้อมูลของการทดลองวันที่ 9-10 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 ระยะเวลาในการอบแห้ง 2 วัน

ตาราง 72 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 9 พฤษภาคม 2551 (วันที่1)

เวลา / อุณหภูมิ (°C)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tin	Tout	Ta
8.00	29	29	29	27	26	26	27	26	26	30	28	31	33	28	26
9.00	42	41	38	43	40	37	40	39	40	41	43	45	46	38	28
10.00	52	50	47	50	48	46	48	48	50	51	52	53	54	46	31
11.00	61	58	55	57	57	53	55	58	58	60	59	61	63	52	31
12.00	63	62	62	60	60	57	63	60	62	64	62	65	65	56	33
13.00	63	62	61	60	60	59	61	61	61	63	63	64	65	57	34
14.00	65	65	60	61	60	57	61	61	63	65	65	60	60	56	32
15.00	61	59	55	58	56	54	57	57	58	60	60	61	62	53	31
16.00	54	51	48	50	49	47	50	49	51	53	52	53	55	47	30
17.00	51	50	47	47	47	43	48	48	49	50	51	51	52	44	29
เฉลี่ย	54	53	50	51	50	48	51	51	52	54	54	54	56	48	31

ตาราง 73 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 10 พฤษภาคม 2551 (วันที่2)

เวลา / อุณหภูมิ (°C)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tin	Tout	Ta
8.00	28	27	28	27	26	26	26	26	27	30	27	31	32	27	26
9.00	42	40	41	41	39	40	40	38	40	41	42	44	47	38	28
10.00	52	50	52	50	48	50	48	48	49	51	51	52	53	45	30
11.00	61	58	60	58	57	58	57	58	58	59	60	60	62	52	32
12.00	63	62	64	60	60	60	60	60	61	64	65	63	65	55	33
13.00	63	63	61	62	60	62	62	61	62	63	62	63	64	57	31
14.00	63	62	61	60	58	59	59	60	60	61	61	63	63	57	32
15.00	61	59	60	57	57	58	58	58	58	60	60	61	60	53	31
16.00	54	52	52	51	50	51	50	49	52	51	52	53	55	47	30
17.00	51	50	51	47	47	48	48	48	50	50	51	51	52	44	29
เฉลี่ย	54	52	53	51	50	51	51	51	52	53	53	54	55	48	30

ตาราง 74 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 9 พฤษภาคม 2551 (วันที่ 1)

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	138.55	125.95	101.38	84.14	68.14	54.84	47.45	41.48	38.56	36.33
ชั้นที่ 2	140.23	133.98	108.43	88.38	70.59	68.97	50.20	51.18	44.95	42.24
ชั้นที่ 3	139.22	134.73	111.67	92.40	73.53	69.84	56.14	50.93	47.03	41.03
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	141.13	126.01	97.11	81.74	66.15	55.56	48.11	41.11	38.14	35.94
เฉลี่ย	139.78	130.17	104.65	86.66	69.60	62.30	50.47	46.18	42.17	38.00

ตาราง 75 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 10 พฤษภาคม 2551 (วันที่ 2)

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	35.83	34.52	32.57	30.08	27.90	25.63	23.83	23.16	22.76	22.49
ชั้นที่ 2	40.07	38.45	35.77	33.34	30.40	27.28	25.43	24.52	24.12	23.58
ชั้นที่ 3	40.63	39.03	36.19	33.41	30.53	27.30	25.62	24.68	24.03	23.62
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	35.94	34.42	32.67	30.07	28.49	25.51	23.92	23.47	23.14	22.89
เฉลี่ย	38.12	36.61	34.30	31.72	29.33	26.43	24.70	23.96	23.51	23.15

ตาราง 76 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 9 พฤษภาคม 2551 (วันที่ 1)

ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	85	83.5	79.5	75.3	69.5	62.1	56.2	49.9	46.1	42.8
ชั้นที่ 2	85	84.3	80.6	76.2	70.2	69.5	58.1	58.9	53.2	50.2
ชั้นที่ 3	85	84.5	81.3	77.4	71.6	70.1	62.8	59.0	55.6	49.1
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	85	83.2	78.2	74.1	68.0	61.9	56.0	48.5	44.5	41.1
เฉลี่ย	85.0	83.9	79.9	75.8	69.8	65.9	58.3	54.1	49.9	45.8

ตาราง 77 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 10 พฤษภาคม 2551 (วันที่ 1)

ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	42.0	39.8	36.2	30.9	25.5	18.9	12.8	10.3	8.7	7.6
ชั้นที่ 2	47.5	45.3	41.2	36.9	30.8	22.9	17.3	14.2	12.8	10.8
ชั้นที่ 3	48.6	46.5	42.3	37.5	31.6	23.5	18.5	15.4	13.4	11.6
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	41.1	38.5	35.2	29.6	25.7	17.0	11.5	9.8	8.5	7.5
เฉลี่ย	44.8	42.5	38.7	33.7	28.4	20.6	15.0	12.4	10.8	9.4

ตาราง 78 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 9-10 พฤษภาคม พ.ศ. 2551

ความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (โวลท์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 9 พ.ค. 51	7.5	8.9	10.9	11.0	11.2	11.2	11.0	10.0	9.6	6.2
วันที่ 10 พ.ค. 51	7.8	8.9	10.6	10.9	11.1	11.0	10.4	9.6	8.9	5.8
เฉลี่ย	7.7	8.9	10.8	11.0	11.2	11.1	10.7	9.8	9.3	6.0

ตาราง 79 แสดงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 9-10 พฤษภาคม พ.ศ. 2551

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 9 พ.ค. 51	0.30	0.36	0.44	0.44	0.45	0.45	0.44	0.40	0.38	0.25
วันที่ 10 พ.ค. 51	0.31	0.36	0.42	0.44	0.44	0.44	0.42	0.38	0.36	0.23
เฉลี่ย	0.31	0.32	0.43	0.44	0.45	0.44	0.43	0.39	0.37	0.24

ตาราง 80 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 9-10 พฤษภาคม พ.ศ. 2551

กำลังไฟฟ้า (วัตต์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 9 พ.ค. 51	2.3	3.2	4.8	4.8	5.0	5.0	4.8	4.0	3.7	1.5
วันที่ 10 พ.ค. 51	2.4	3.2	4.5	4.8	4.9	4.8	4.3	3.7	3.2	1.3
เฉลี่ย	2.4	3.2	4.7	4.8	5.0	4.9	4.6	3.9	3.5	1.4

ผลการเก็บข้อมูลของการทดลองวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 ระยะเวลาในการอบแห้ง 1 วัน

ตาราง 81 แสดงผลของอุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้ง ของวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ.2551

เวลา / อุณหภูมิ (°C)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Tin	Tout	Ta
8.00	32	31	32	29	28	29	29	29	29	33	31	35	36	31	27
9.00	46	44	45	44	43	44	43	42	43	45	46	48	51	41	32
10.00	56	54	56	53	52	53	52	52	53	55	55	56	57	49	34
11.00	65	62	63	61	61	61	61	62	62	63	63	64	66	56	36
12.00	68	66	68	64	63	63	64	64	65	68	68	69	70	59	37
13.00	69	69	69	66	64	65	65	65	66	69	69	70	72	60	37
14.00	69	68	69	65	64	65	65	65	65	69	69	70	71	60	36
15.00	65	63	63	61	60	61	61	61	62	63	64	65	67	57	35
16.00	57	55	56	55	53	55	54	53	55	55	56	57	59	51	34
17.00	55	53	55	52	51	51	52	52	53	54	54	55	56	48	31
เฉลี่ย	58	57	58	55	54	55	55	55	55	57	58	59	61	51	34

ตาราง 82 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2551

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	141.65	107.31	44.26	55.62	42.16	35.71	30.40	27.21	25.97	24.88
ชั้นที่ 2	139.54	111.93	85.78	55.67	45.01	38.06	31.48	28.48	25.81	24.71
ชั้นที่ 3	140.22	117.50	62.66	57.00	45.82	38.59	31.87	29.17	26.23	25.07
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	142.45	112.46	76.04	54.51	41.90	35.38	29.88	27.05	25.74	24.87
เฉลี่ย	140.97	112.30	82.94	55.70	43.72	36.93	30.91	27.98	25.94	24.88

ตาราง 83 แสดงความชื้นของตัวอย่างพริกในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ.2551

ความชื้น (%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ชั้นที่ 1 (ชั้นบน)	85	80.2	72.5	61.8	49.6	40.5	30.1	21.9	18.2	14.6
ชั้นที่ 2	85	81.3	75.6	62.4	53.5	45.0	33.5	26.5	18.9	15.3
ชั้นที่ 3	85	82.1	77.3	63.1	54.1	45.5	34.0	27.9	19.8	16.1
ชั้นที่ 4 (ชั้นล่าง)	85	81.0	71.9	60.8	49.0	39.6	28.5	21.0	17.0	14.1
เฉลี่ย	85	81.2	74.3	62.0	51.6	42.7	31.5	24.3	18.5	15.0

ตาราง 84 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ.2551

ความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 17 พ.ค. 51	8.1	9.5	11.3	11.5	11.4	11.5	11.2	10.8	9.5	7.3
เฉลี่ย	8.1	9.5	11.3	11.5	11.4	11.5	11.2	10.8	9.5	7.3

ตาราง 85 แสดงกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ.2551

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 17 พ.ค. 51	0.32	0.38	0.45	0.46	0.46	0.46	0.45	0.43	0.38	0.29
เฉลี่ย	0.32	0.38	0.45	0.46	0.46	0.46	0.45	0.43	0.38	0.29

ตาราง 86 แสดงกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ของวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ.2551

กำลังไฟฟ้า (วัตต์) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
วันที่ 17 พ.ค. 51	2.6	3.6	5.1	5.3	5.2	5.3	5.0	4.7	3.6	2.1
เฉลี่ย	2.6	3.6	5.1	5.3	5.2	5.3	5.0	4.7	3.6	2.1

ผลของการเก็บข้อมูลการอบแห้งตัวอย่างพริกโดยวิธีธรรมชาติ ระยะเวลาในการอบแห้ง 6 วัน
ตั้งแต่วันที่ 21 – 26 มีนาคม พ.ศ. 2551

ตาราง 87 อุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 21 มีนาคม 2551 (วันที่1)

อุณหภูมิ (°C) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม	26	28	29	31	33	32	32	31	29	28

ตาราง 88 อุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 22 มีนาคม 2551 (วันที่2)

อุณหภูมิ (°C) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม	25	28	30	31	33	32	32	30	29	28

ตาราง 89 อุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 23 มีนาคม 2551 (วันที่3)

อุณหภูมิ (°C) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม	27	29	30	32	34	33	31	30	29	28

ตาราง 90 อุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 24 มีนาคม 2551 (วันที่4)

อุณหภูมิ (°C) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม	27	28	31	33	35	37	35	33	31	29

ตาราง 91 อุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 25 มีนาคม 2551 (วันที่5)

อุณหภูมิ (°C) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม	26	27	30	33	31	32	31	31	29	27

ตาราง 92 อุณหภูมิในสภาวะที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 26 มีนาคม 2551 (วันที่6)

อุณหภูมิ (°C) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม	27	29	33	35	36	36	35	32	30	28

ตาราง 93 น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 21 มีนาคม 2551 (วันที่1)

น้ำหนัก (กรัม)	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
/ เวลา										
น้ำหนักตัวอย่าง	138.54	131.53	129.88	125.95	116.09	111.73	106.57	101.37	90.75	88.06

ตาราง 94 น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 22 มีนาคม 2551 (วันที่2)

น้ำหนัก (กรัม)	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
/ เวลา										
น้ำหนักตัวอย่าง	86.59	85.87	81.81	77.54	76.12	72.92	71.66	70.92	69.27	68.13

ตาราง 95 น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 23 มีนาคม 2551 (วันที่3)

น้ำหนัก (กรัม)	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
/ เวลา										
น้ำหนักตัวอย่าง	67.25	65.97	63.36	59.89	58.37	54.83	52.61	50.81	49.48	48.78

ตาราง 96 น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 24 มีนาคม 2551 (วันที่4)

น้ำหนัก (กรัม)	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
/ เวลา										
น้ำหนักตัวอย่าง	48.44	47.88	45.37	43.84	41.73	40.51	39.06	37.51	36.59	36.02

ตาราง 97 น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 25 มีนาคม 2551 (วันที่5)

น้ำหนัก (กรัม)	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
/ เวลา										
น้ำหนักตัวอย่าง	35.89	35.64	34.81	33.63	33.36	32.88	32.07	31.53	31.02	30.79

ตาราง 98 น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ ของวันที่ 26 มีนาคม 2551 (วันที่ 6)

น้ำหนัก (กรัม) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
น้ำหนักตัวอย่าง	30.56	30.34	29.60	28.70	28.01	27.09	26.57	25.72	25.10	24.62

ตาราง 99 แสดงความชื้นของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ
ของวันที่ 21 มีนาคม 2551 (วันที่1)

ความชื้น(%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ค่าความชื้น	85	84.2	84.0	83.5	82.1	81.4	80.5	79.5	77.1	76.4

ตาราง 100 แสดงความชื้นของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ
ของวันที่ 22 มีนาคม 2551 (วันที่2)

ความชื้น(%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ค่าความชื้น	76	75.8	74.6	73.2	72.7	71.5	71.0	70.7	70.0	69.5

ตาราง 101 แสดงความชื้นของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ
ของวันที่ 23 มีนาคม 2551 (วันที่3)

ความชื้น(%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ค่าความชื้น	69.1	68.5	67.2	65.3	64.4	62.1	60.5	59.1	58.0	57.4

ตาราง 102 แสดงความชื้นของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ
ของวันที่ 24 มีนาคม 2551 (วันที่4)

ความชื้น(%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ค่าความชื้น	57.1	56.6	54.2	52.6	50.2	48.7	46.8	44.6	43.2	42.3

ตาราง 103 แสดงความชื้นของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ
ของวันที่ 25 มีนาคม 2551 (วันที่5)

ความชื้น(%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ค่าความชื้น	42.1	41.7	40.3	38.2	37.7	36.8	35.2	34.1	33.0	32.5

ตาราง 104 แสดงความชื้นของตัวอย่างที่ทำการอบแห้งตามธรรมชาติ
ของวันที่ 26 มีนาคม 2551 (วันที่6)

ความชื้น(%wb) / เวลา	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
ค่าความชื้น	32	31.5	29.8	27.6	25.8	23.3	21.8	19.2	17.2	15.6

ภาคผนวก ช
การทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



การเตรียมการพริก



การทดลองอบแห้ง



การวัดผลเก็บข้อมูล

ภาพแสดงขั้นตอนการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



การตอนการขึ้นโครงเหล็กของแผงรับแสงอาทิตย์และตู้อบแห้ง



การจัดทำถาดรอง และการทำสี่เครื่องอบแห้ง



การติดตั้งอุปกรณ์และแผ่นพลาสติกใสที่ตู้อบแห้ง



การติดตั้งชุดพัดลมพาอากาศร้อน

ภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



ส่วนของตู้อบแห้ง



ส่วนของแผงรับแสงอาทิตย์

ภาพเครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิจัย



เทอร์โมมิเตอร์

มัลติมิเตอร์ รุ่น UT33C



เครื่องชั่งละเอียด EPS 202

เครื่องชั่ง 15 กิโลกรัม

ภาพเปรียบเทียบตัวอย่างพริกก่อนอบแห้งและหลังอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพแสดงตัวอย่างพริกก่อนอบแห้ง ชั้นที่ 1



ภาพแสดงตัวอย่างพริกหลังอบแห้ง ชั้นที่ 1

ภาพเปรียบเทียบตัวอย่างพริกก่อนอบแห้งและหลังอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพแสดงตัวอย่างพริกก่อนอบแห้ง ชั้นที่ 2



ภาพแสดงตัวอย่างพริกหลังอบแห้ง ชั้นที่ 2

ภาพเปรียบเทียบตัวอย่างพริกก่อนอบแห้งและหลังอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพแสดงตัวอย่างพริกก่อนอบแห้ง ชั้นที่ 3



ภาพแสดงตัวอย่างพริกหลังอบแห้ง ชั้นที่ 3

ภาพเปรียบเทียบตัวอย่างพริกก่อนอบแห้งและหลังอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพแสดงตัวอย่างพริกก่อนอบแห้ง ชั้นที่ 4



ภาพแสดงตัวอย่างพริกหลังอบแห้ง ชั้นที่ 4

ภาคผนวก ซ
เกียรติบัตรการนำเสนอผลงานวิจัย



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้แก่

นางสาวสุตติตา อินทผล

ในการนำเสนอผลงานวิจัยประเภท “โปสเตอร์”
เนื่องในการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ ๑

ให้ไว้ ณ วันที่ ๗ กันยายน พ.ศ. ๒๕๕๑

ของประสบการณ์สูงสุด และความกล้าหาญในการทำงานยิ่งขึ้นไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปณิตตา อัจฉริยเมษฐ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ มาณพ พรหมณโชติ)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นางสาวสุดธิดา อินทผล
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 22 พฤษภาคม 2522
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	15/132 ซอยบางประจัน ถนนเอกชัย ตำบลแม่กลอง อำเภอเมืองสมุทรสงคราม จังหวัดสมุทรสงคราม โทร. 0818342743
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2537	มัธยมศึกษาปีที่ 3 จากโรงเรียนถาวรรานุกูล จังหวัดสมุทรสงคราม
พ.ศ. 2540	มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนถาวรรานุกูล จังหวัดสมุทรสงคราม
พ.ศ. 2544	วท.บ. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร) จากคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
พ.ศ. 2551	กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ