



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรโดยเทคนิค
พลังงานความร้อนร่วมสำหรับครัวเรือน
(Development of Agricultural Product Dryer Using
Combined Heating Energy for Households)

โดย

อีลีหัยะ สนิโซ
Eleeyah Saniso

ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณบำรุงการศึกษาประจำปี 2553
มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัย เรื่อง การพัฒนาเครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรโดยเทคนิคพลังงานความร้อนร่วมสำหรับครัวเรือน (Development of Agricultural Product Dyer Using Combined Heating Energy for Households) นี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินบำรุงการศึกษา (บก.ศ.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2553 จากมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

ขอขอบคุณนายฐิษฐ์ ชัยดามาน นักวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์สำหรับการวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณนายกามาตุติน หะยีสาและ และนายสุกรี สาเมาะ นักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ที่ช่วยเตรียมและติดตั้งอุปกรณ์จนทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ใดๆ อันพึงได้จากรายงานวิจัยนี้ขอมอบแด่ ครู อาจารย์ และเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องตลอดจนผู้ที่สนใจทุกท่าน

อิลีหัยะ สนิโซ
พฤษภาคม 2554

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรโดยเทคนิคพลังงานความร้อนร่วมสำหรับ
 ครั้วเรือน
 ชื่อผู้วิจัย นายอิทธิยะ สนิโซ
 ปีงบประมาณ 2553

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรโดยอาศัยพลังงานความร้อนร่วม (แสงอาทิตย์และลมร้อน) เพื่อให้สามารถลดระยะเวลาการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรแต่คงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ ผลการวิจัยพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนที่ออกแบบและสร้างขึ้นประกอบด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 40 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร x 70 เซนติเมตร ซึ่งสามารถบรรจุผลผลิตทางการเกษตรแบบชั้นบางได้ 2,000 ตารางเซนติเมตร จำนวน 2 ถาด และแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ จำนวน 2 แผง ขนาด 10,000 ตารางเซนติเมตร ที่ติดตั้งเพื่อเป่าอากาศเข้าสู่ตู้อบแห้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว จำนวน 2 เครื่อง

จากการทดสอบเครื่องอบแห้งระหว่างเวลา 08.30 - 16.30 น. พบว่า อุณหภูมิในตู้อบแห้งและแผงรับรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 50 และ 64 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส และจากการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน ความชื้นของกล้วยจะลดลงเหลือร้อยละ 81 มาตรฐานแห้ง จากความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 229 มาตรฐานแห้ง โดยใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 420 นาที ดังนั้น เทคโนโลยีการอบแห้งนี้เหมาะสำหรับกระบวนการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรขนาดเล็กในครัวเรือนสำหรับพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ของประเทศไทย

คำสำคัญ : ผลผลิตทางการเกษตร เครื่องอบแห้ง พลังงานความร้อนร่วม ครั้วเรือน

Title Development of Agricultural Product Dryer Using Combined Heating Energy for Households
Researcher Mr. Eleeyah Saniso
Year 2010

Abstract

This study describes design, construction and tests carried out on a combined heating energy dryer (solar and hot air energy) to dry agricultural product for households within a short time but maintaining good quality of dried product. The results indicated, the size of this prototype was 40 cm x 50 cm x 70 cm and the capacity was 2,000 m² of two trays thin layer agricultural product. The two solar collector areas were 10,000 cm². The drying air was forced through the system by two fans, each 3.5-inch diameter.

Results from agricultural product dryer testing between 08.30 a.m. - 16.30 p.m., with the average ambient air temperature was 40°C; the average temperature in a drying chamber and solar collectors was 50°C and 64°C, respectively. The banana was successfully dried in developed system. The average hot air temperatures were 50°C. Drying time was 420 min for banana drying from moisture content of 229% dry basis to 81% dry basis. Finally, this drying technology is suitable for small-scale process of dried agricultural product for Households in the southernmost area of Thailand.

Keywords : Agriculture product, Dryer, Combined heating energy, Households

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญภาพ	(5)
สารบัญตาราง	(6)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	16
3.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์	16
3.2 การดำเนินการวิจัย	17
3.3 สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล	20
บทที่ 4 ผลและอภิปรายผลการวิจัย	21
4.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้ง	19
4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง	22
4.3 ผลการวิเคราะห์จลนพลศาสตร์การอบแห้ง	24
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	27
5.1 สรุปผลการทดลอง	27
5.2 ข้อเสนอแนะ	27
บรรณานุกรม	28
ภาคผนวก	31
ประวัติย่อผู้วิจัย	38

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 3.1 โครงสร้างและตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	17
ภาพที่ 3.2 กรอบและกระจกด้านบนของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	17
ภาพที่ 3.3 ท่อและช่องสำหรับลมร้อนผ่านเข้าตู้อบแห้ง	18
ภาพที่ 3.4 โครงสร้างของฐานวางแผงรับรังสีแสงอาทิตย์และแผงรับรังสีแสงอาทิตย์	19
ภาพที่ 3.5 แผ่นกระจกสำหรับปิดด้านบนของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์และชุดควบคุมระบบ	19
ภาพที่ 4.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน YRU-TLD#2010 (KS&E)	21
ภาพที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในการทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง (7 เมษายน 2553)	22
ภาพที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในการทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง (8 เมษายน 2553)	23
ภาพที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในการทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง (9 เมษายน 2553)	23
ภาพที่ 4.5 ผลกล้วยที่ผ่านเป็นชิ้นบางแล้วเรียงบนตะแกรงเพื่ออบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อนที่สร้างขึ้น	24
ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของกล้วยที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อนที่สร้างขึ้น	25
ภาพที่ 4.7 ตัวอย่างกล้วยที่ผ่านการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ลมร้อน และพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน	25

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางผนวกที่ 1 อุณหภูมิของเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม (7 เมษายน 2553 : 08.30-16.00 น.)	32
ตารางผนวกที่ 2 อุณหภูมิของเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม (8 เมษายน 2553 : 08.30-16.00 น.)	33
ตารางผนวกที่ 3 อุณหภูมิของเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม (9 เมษายน 2553 : 08.30-16.00 น.)	34
ตารางผนวกที่ 4 การอบแห้งกล้วยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	35
ตารางผนวกที่ 5 การอบแห้งกล้วยด้วยลมร้อน	36
ตารางผนวกที่ 6 การอบแห้งกล้วยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

วัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตร เช่น ข้าว มันสำปะหลัง ถั่ว ผัก ผลไม้ และอื่น ๆ เมื่อถึงฤดูเก็บเกี่ยวจะเกิดปัญหาผลผลิตล้นตลาดส่งผลให้ราคาตกต่ำและบางส่วนที่จำหน่ายไม่ทันเกิดการเน่าเสีย การแปรรูปโดยกระบวนการอบแห้ง (Drying process) เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ (สมชาติ โสภณธรณฤทธิ, 2540) เครื่องอบแห้งที่เข้ามามีบทบาทสำคัญส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้ก๊าซหุงต้ม ไฟฟ้า หรือน้ำมันเป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งมีต้นทุนสูงมากในปัจจุบันและจะยังเพิ่มสูงขึ้นต่อไปอีกในอนาคต (บัณฑิต พึ่งธรรมสาร และคณะ, 2550) ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อหาแหล่งพลังงานทางเลือกมาทดแทน เช่น พลังงานชีวมวลจากขยะ มูลสัตว์ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยเนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนที่มีแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปีโดยมีความเข้มแสงเฉลี่ยประมาณ 4-5 kWh/m²-day (ชาย ชีวะเกตุ และ ชนานัญ บัวเขียว, 2551) ซึ่งเป็นพลังงานที่มากพอสำหรับการนำมาใช้ประโยชน์ในการอบแห้ง แต่การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้โดยตรงตามลำพังอาจเกิดปัญหาที่ไม่เอื้อต่อการอบแห้ง เช่น ฝุ่นละออง แมลง และบางเวลาอาจมีฝนตกหากไม่สามารถเก็บกักได้ทันทีจะทำให้วัสดุที่ตากแห้งเกิดเชื้อราและเน่าเสียได้ จึงควรมีการใช้ร่วมกับพลังงานอื่นๆ

การพัฒนาเครื่องอบแห้งที่มีแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนร่วมเพื่อช่วยลดปัญหาต่างๆ ที่กล่าวมานั้นว่าเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่ง ดังเช่น ในงานวิจัยของ เซวน์ เอื้อเพื่อ (2545) ที่ได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำแบบพลังงานหมุนเวียน (Low temperature dryer with re-energy) โดยนำอากาศร้อนจากแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (Solar collector) เข้าสู่ตู้อบด้วยพัดลมหมุนเวียนอากาศ (Blower) ที่ทำหน้าที่ดูดอากาศร้อนจากแผงรับรังสีแสงอาทิตย์มาสู่ตู้อบและนำอากาศร้อนที่ระบายออกส่วนหนึ่งกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขดลวดความร้อนแบบครีป (Fin heater) เป็นแหล่งพลังงานความร้อนเสริมในกรณีที่พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอ ทำนองเดียวกันกับ จิระพล บุญธรรม (2543) ที่ได้สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ประยุกต์ซึ่งอาศัยแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับแผงรับความร้อนทำให้อากาศที่อยู่เหนือแผ่นรับความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นพร้อมกับเคลื่อนตัวเข้าห้องอบผ่านวัสดุที่จะอบแห้งตามชั้นต่าง ๆ แล้วนำพาความชื้นจากวัสดุที่อบแห้งออกไป ในขณะที่ จงจิตร หิรัญลาภ (2539) ได้ใช้ท่อนำอากาศร้อนที่เชื่อมต่อกับพัดลมเป่าอากาศขนาด 746 W ซึ่งสามารถให้ปริมาณลมสูงสุด 52 m³/s ทำหน้าที่เป่าอากาศจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์เข้าเครื่องอบแห้งและนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วแต่ยังมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมกลับมาใช้ใหม่โดยติดวาล์วปีกผีเสื้อที่ท่อนำอากาศและขดลวดความร้อนเพื่อปรับอัตราส่วนการนำอากาศร้อนกับการระบายอากาศออก

นอกจากนี้ยังมีเครื่องอบแห้งที่พัฒนาโดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (2551) ซึ่งมีตัวรับรังสีดวงอาทิตย์เป็นแผ่นเหล็กทาสีดำขนาด 300 m² ทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ เมื่อให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านอากาศจะร้อนและมีอุณหภูมิประมาณ 40-90°C มีพัดลมดูด

อากาศร้อนจากตัวรับแสงอาทิตย์ผ่านเข้าไปยังตูบแห้ง มีตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchange) จากอากาศที่ตัวรับแสงอาทิตย์เมื่ออากาศร้อนมีไม่เพียงพอต่อการอบแห้ง และมีพลังงานเสริมจากไอน้ำร้อนที่ได้จากการต้มด้วยเชื้อเพลิงน้ำมันเตาและหม้อต้ม (Boiler) ซึ่งจะใช้เมื่อพลังงานจากแสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอต่อการอบแห้ง ปัจจุบันเครื่องอบแห้งได้มีการพัฒนาไปอย่างกว้างขวาง อาทิเช่น การใช้ลมร้อนร่วมกับป้อนความร้อนอบแห้งข้าวเปลือก (Best *et al.*, 1996) การใช้ลมร้อนอบแห้งมันฝรั่งและส้มแขก (Ibrahim, 2007; Waigoon and Chairat, 2006) การอบแห้งข้าวเปลือกในที่เก็บด้วยลมร้อน (George *et al.*, 2006) การอบแห้งพริกแดงด้วยลมร้อนร่วมกับแสงจากสปอร์ตไลท์ (Sami *et al.*, 2007) การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยลมร้อนและไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Wathanyoo *et al.*, 2006) และการอบแห้งเส้นใยผ้าโดยใช้ป้อนความร้อนของเครื่องปรับอากาศ (ชริน สังข์เกษม และ ชโลธร ธรรมแท้, 2548) เป็นต้น

เครื่องอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตรได้มีการพัฒนาที่กว้างขวาง แต่ในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ยังไม่ปรากฏข้อมูลการวิจัยและการนำเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้ประโยชน์เลยทั้งที่เป็นพื้นที่ที่มีผลผลิตทางการเกษตรออกสู่ตลาดเป็นปริมาณมากในแต่ละปีไม่ว่าจะเป็นข้าวเปลือก ถั่วเขียว หรือส้มแขก เป็นต้น โดยประชาชนจะทำแห้งด้วยการตากกลางแจ้งหรือตากริมถนนซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ ไม่ได้ราคา ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องพัฒนาเทคโนโลยี เครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรที่อาศัยพลังงานความร้อนร่วมจากลมร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือนที่สามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตรได้ดีกว่าเครื่องอบแห้งที่ใช้ก๊าซหุงต้ม ไฟฟ้า หรือน้ำมันเป็นแหล่งพลังงานเพียงอย่างเดียว เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน และให้ประสิทธิภาพสูงสุด การวิจัยนี้จึงทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรที่อาศัยพลังงานความร้อนร่วมจากลมร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือนที่สามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตรได้ดีกว่าเครื่องอบแห้งที่ใช้ก๊าซหุงต้ม ไฟฟ้า หรือน้ำมันเป็นแหล่งพลังงานเพียงอย่างเดียว ในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรที่อาศัยพลังงานความร้อนร่วม
- 1.2.2 เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรที่อาศัยพลังงานความร้อนร่วม
- 1.2.3 เพื่อทดลองอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยเครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรที่อาศัยพลังงานความร้อนร่วมที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาทางวิทยาศาสตร์เชิงทดลองที่มุ่งออกแบบ สร้างเครื่อง และทดลองอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรที่อาศัยพลังงานความร้อนร่วม ซึ่งมีขอบเขตการวิจัย ดังนี้

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรพลังงานความร้อนร่วมที่อาศัยลมร้อน รังสีแสงอาทิตย์ และแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ขนาดห้องอบแห้งเท่ากับ $0.50 \times 0.55 \times 0.45 \text{ m}^3$ วางบนขาตั้งสูง 1.0 m และมีแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ขนาด $0.45 \times 1.0 \times 0.30 \text{ m}^3$ จำนวน 2 ชุด วางขนานกัน ทำมุม 30 องศา กับแนวระดับ

1.3.2 ทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมที่อาศัยลมร้อน รังสีแสงอาทิตย์ และแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ณ ชั้นดาดฟ้า อาคาร 9 ศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

1.3.3 ทดลองอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมที่อาศัยลมร้อน รังสีแสงอาทิตย์ และแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น ณ ชั้นดาดฟ้า อาคาร 9 ศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

1.3.4 วิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมที่อาศัยลมร้อน รังสีแสงอาทิตย์ และแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

1.3.5 วิเคราะห์การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร สรุปความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมที่อาศัยลมร้อน รังสีแสงอาทิตย์ และแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ให้กับครัวเรือนในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรพลังงานความร้อนร่วมแบบใหม่ที่อาศัยลมร้อน รังสีแสงอาทิตย์ และแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

1.4.2 ได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมที่อาศัยลมร้อน รังสีแสงอาทิตย์ และแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ให้กับเกษตรกรในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้

1.4.3 เกษตรกรในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้มีเทคโนโลยีการอบแห้งที่สามารถลดระยะเวลาการทำแห้งให้สั้นลงและได้ผลผลิตทางการเกษตรที่แห้งสม่ำเสมอ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้ง

การอบแห้ง (Drying) คือ กระบวนการลดความชื้นของวัสดุส่วนใหญ่จะใช้การถ่ายโอนความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อไล่ความชื้นให้ระเหยออก โดยใช้ความร้อนแฝงของการระเหยซึ่งถูกกำหนดโดยการถ่ายโอนความร้อนรูปแบบต่าง ๆ อันได้แก่ การพา (Convection) การนำ (Conduction) และการแผ่รังสี (Radiation) เป็นผลให้มีการถ่ายโอนความร้อนและมวลน้ำภายในวัสดุกับอากาศแวดล้อมซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการควบคุมอัตราการอบแห้ง (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2540) กล่าวคือ การถ่ายโอนความร้อนในกระบวนการอบแห้ง อาจเกิดจากการถ่ายโอนความร้อนแบบการพา การนำและการแผ่รังสีความร้อนหรือผสมกันของทั้งสามแบบก็ได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบชนิดของเครื่องอบแห้ง โดยความร้อนจะถ่ายโอนสู่ผิวของวัสดุเพื่อระเหยน้ำที่ผิวออกไปและจะถ่ายโอนต่อไปยังภายในวัสดุเพื่อเพิ่มความดันไอน้ำภายในวัสดุต่อไป ส่วนการถ่ายโอนมวลน้ำในกระบวนการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับกลไก 2 ลักษณะ คือ การเคลื่อนย้ายของมวลน้ำภายในวัสดุเนื่องจากปัจจัยภายใน อันได้แก่ ลักษณะทางกายภาพและความชื้นภายในวัสดุ และการเคลื่อนย้ายของไอน้ำจากผิวของวัสดุเนื่องจากปัจจัยภายนอก อันได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ อัตราการไหลของอากาศและพื้นที่ผิวของวัสดุ

การอบแห้งเป็นการแยกน้ำออกจากวัสดุชื้น (Moist material) โดยการทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอโดยอาศัยความร้อน สำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรส่วนใหญ่เป็นการอบแห้งแบบการพาความร้อน (Convective drying) โดยจะเป่าอากาศร้อนผ่านผลิตภัณฑ์เป็นวัสดุชื้น ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังวัตถุ ทำให้วัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้น น้ำในวัตถุจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำและระเหยออกมา การถ่ายเทมวลของน้ำจากวัตถุขึ้นไปยังอากาศจะหยุดเมื่อความดันไอน้ำที่ผิววัตถุเท่ากับความดันไอน้ำในอากาศ เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$P_{v,sur} = P_v \quad (2.1)$$

เมื่อ $P_{v,sur}$ คือ ความดันของไอน้ำที่ผิววัตถุ (Pa)
 P_v คือ ความดันไอน้ำในอากาศ (Pa)

การเคลื่อนตัวของน้ำจากภายในวัตถุขึ้นออกมาที่ผิวนั้นเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและขึ้นกับโครงสร้างของวัตถุนั้น ตัวอย่างกระบวนการเหล่านี้ได้แก่ การแพร่ (Diffusion) การไหลภายในท่อเล็กในโครงสร้างของวัตถุ (Capillary flow) การไหลจากความดันออสโมติก (Osmotic pressure) และการไหลเนื่องจากแรงโน้มถ่วง เป็นต้น การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายกระบวนการเหล่านี้มีความซับซ้อนมาก

การถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลน้ำของวัสดุจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องพร้อมกันและจะเป็นตัวกำหนดอัตราการอบแห้ง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2540) คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant drying rate period) เป็นการถ่ายโอนความร้อนและมวลน้ำที่ผิวหน้าของวัสดุเนื่องจากวัสดุมีน้ำเกาะอยู่ที่ผิวเป็นจำนวนมาก โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอัตราการอบแห้ง คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของกระแสอากาศ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิหรือลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างที่ผิววัสดุและกระแสอากาศที่ไหลอย่างอิสระมีมากขึ้นเป็นผลให้เกิดการระเหยของน้ำที่ผิวของวัสดุขึ้นและช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling drying rate period) เป็นการถ่ายโอนความร้อนและมวลน้ำที่ไม่จำกัดอยู่เฉพาะที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุด้วย ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมายังผิวนอกช้ากว่าการพาความร้อนจากวัสดุไปยังกระแสอากาศ ส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของของเหลวที่เป็นผลมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การระเหยของน้ำจะเกิดที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ลักษณะการระเหยจะคล้ายกับการระเหยน้ำจากภาชนะ ซึ่งสามารถเขียนอัตราการแห้งในช่วงเวลานี้เป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{dM}{dt} = (h_c \frac{A}{L})(T_a - T_{sur}) \quad (2.2)$$

เมื่อ	$\frac{dM}{dt}$	คือ อัตราการแห้งคงที่ (kg/s)
	h_c	คือ การนำความร้อนของฟิล์มอากาศเหนือผิวผลิตภัณฑ์ (W/m ² K)
	A	คือ พื้นที่ผิวของผลิตภัณฑ์ (m ²)
	L	คือ ความร้อนแฝงของน้ำในผลิตภัณฑ์ (J/kg)
	T_a	คือ อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง (°C)
	T_{sur}	คือ อุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์ (°C)

สำหรับช่วงที่อัตราการแห้งลดลง (Falling rate regime) โดยทั่วไปสามารถเขียนอัตราการแห้งในรูปสมการได้ดังนี้

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \quad (2.3)$$

เมื่อ	$\frac{dM}{dt}$	คือ อัตราการแห้ง
	k	คือ ค่าคงที่การอบแห้ง
	M	คือ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (% dry basis)
	M_e	คือ ความชื้นสมดุล (% dry basis)

การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งวัสดุมีค่าชี้วัดที่สำคัญหลายประการ ซึ่งจะแตกต่างกันและเป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540; Bala, 1997) อาทิเช่น

ค่าความชื้น (Moisture content, M) หมายถึง ค่าที่บ่งบอกปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเทียบกับมวลของวัสดุ ตามมาตรฐาน AOAC (AOAC, 2005) ความชื้นในวัสดุสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

1) ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) คำนวณได้ ดังนี้

$$M_w(\%) = \frac{(w - d)}{w} \times 100 \quad (2.4)$$

2) ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) คำนวณได้ ดังนี้

$$M_d(\%) = \frac{(w - d)}{d} \times 100 \quad (2.5)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (% wet basis)
 M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% dry basis)
 w คือ มวลของวัสดุเริ่มต้น (kg)
 d คือ มวลแห้งของวัสดุ (kg)

อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลน้ำหรือความชื้นในวัสดุเทียบกับความชื้นเริ่มต้นเมื่อเวลาการอบแห้งดำเนินไปที่เวลาต่าง ๆ (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540; Brooker *et al.*, 1981; Bala, 1997) เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$MR = \frac{(M_t - M_{eq})}{(M_0 - M_{eq})} \quad (2.6)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น (decimal)
 M_t คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ (% dry basis)
 M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล (% dry basis)
 M_0 คือ ความชื้นเริ่มต้น (% dry basis)

สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (Effective diffusion coefficient, D_{eff}) หมายถึง ค่าที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการถ่ายโอนมวลน้ำหรือความชื้นเข้าหรือออกจากวัสดุ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับรูปร่างและลักษณะเฉพาะของวัสดุ (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540; Brooker *et al.*, 1981; Bala, 1997) เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

1) สำหรับวัสดุแผ่นแบนซึ่งกว้างและยาวมาก (Infinite slab)

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{1}{(2n+1)^2} \right] \exp \left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{\text{eff}} t}{L^2} \right] \quad (2.7)$$

2) สำหรับวัสดุทรงลูกบาศก์ (Cubic shape)

$$MR = \left(\frac{8}{\pi^2} \right)^3 \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{1}{(2n+1)^2} \right]^3 \exp \left[-3 \frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{\text{eff}} t}{L^2} \right] \quad (2.8)$$

3) สำหรับวัสดุทรงกลม (Sphere shape)

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n^2} \right) \exp \left[-\left(\frac{n\pi A}{3V} \right)^2 D_{\text{eff}} t \right] \quad (2.9)$$

อัตราการอบแห้ง (Drying rate) หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลน้ำหรือความชื้นในวัสดุ เทียบกับเวลาการอบแห้งที่ดำเนินไป (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2540; Brooker *et al.*, 1981; Bala, 1997) เขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$DR_i = \frac{M_{d(i-1)} - M_{d(i+1)}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (2.10)$$

เมื่อ	MR	คือ อัตราส่วนความชื้น (decimal)
	D_{eff}	คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (m^2/s)
	A	คือ พื้นที่ผิว (m^2)
	V	คือ ปริมาตร (m^3)
	t	คือ เวลา (min)
	L	คือ ความหนาของแผ่นแบนซึ่งกว้างและยาวมาก (m)
	DR_i	คือ อัตราการอบแห้งที่จุดพิจารณา i (% dry basis/min)
	$M_{d(i-1)}$	คือ ความชื้นที่ตำแหน่งก่อนจุดพิจารณา i (% dry basis)
	$M_{d(i+1)}$	คือ ความชื้นที่ตำแหน่งหลังจุดพิจารณา i (% dry basis)
	t_{i+1}	คือ เวลาที่ตำแหน่งก่อนจุดพิจารณา i (min)
	t_{i-1}	คือ เวลาที่ตำแหน่งหลังจุดพิจารณา i (min)
	n	คือ จำนวนเต็ม 0, 1, 2, ..., ∞

นอกจากนี้ยังมีสมบัติความร้อนอื่น ๆ ของวัตถุดิบที่มีผลต่อการอบแห้ง เช่น ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) ความร้อนแฝง (Latent heat) ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) สภาพนำความร้อน (Heat conductivity) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Conductive heat transfer coefficient) และ พื้นที่ผิวต่อปริมาตรวัตถุ เป็นต้น

2.1.2 การอบแห้งแบบพาความร้อน

การอบแห้งแบบพาความร้อนโดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ (สมชาติ โสภณธรณฤทธิ, 2540; Brooker *et al.*, 1981; Bala, 1997) ดังนี้

1) การอบแห้งชั้นบาง (Thin layer drying) การอบแห้งแบบนี้วัตถุดิบจะเรียงเป็นชั้นบาง ๆ หรือเพียงหนึ่งชั้นของเมล็ดพืช กรณีที่การอบเมล็ดพืช การลดลงของความชื้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{(M_t - M_e)}{(M_m - M_e)} = \exp(-kt) \quad (2.11)$$

เมื่อ	M_t	คือ ความชื้นขณะเวลา t (% dry basis)
	M_e	คือ ความชื้นสมดุล (% dry basis)
	M_m	คือ ความชื้นเริ่มต้น (% dry basis)
	k	คือ ค่าคงที่การอบแห้ง

2) การอบแห้งชั้นหนา (Thick layer drying) เป็นการอบแห้งที่วัตถุดิบซ้อนกันหลายชั้น การทดลองหาความชื้นต้องคำนวณจากชุดสมการ ที่อธิบายการถ่ายเทความร้อนและมวลของแต่ละชั้น

2.1.3 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ (<http://www.energy.go.th>) เป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) สามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่สิ้นสุดและมีลักษณะกระจายไปถึงผู้ใช้โดยตรงอีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและตามปกติมนุษย์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติในชีวิตประจำวันอยู่แล้ว ตลอดหลายปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาจนถึงขั้นนำมาใช้งานได้จริง อย่างไรก็ตามการนำอุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์เหล่านี้มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของบริเวณที่จะใช้งานด้วย โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น โดยบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากก็จะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง สำหรับการใชพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้อุปกรณ์รวมแสงเราจำเป็นต้องทราบสัดส่วนของรังสีรวมต่อรังสีกระจายด้วย

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar drying) ปัจจุบันมีการยอมรับใช้งาน 3 ลักษณะ ดังนี้

1) การอบแห้งระบบ Passive คือ ระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์และกระแสลมที่พัดผ่าน ได้แก่

1.1) เครื่องตากแห้งโดยธรรมชาติ เป็นการวางวัสดุไว้ที่กลางแจ้ง อาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์และกระแสลมในบรรยากาศในการระเหยความชื้นออกจากวัสดุ

1.2) ตู้อบแห้งแบบได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง วัสดุที่อบจะอยู่ในเครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วยวัสดุที่โปร่งใส ความร้อนที่เข้าอบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และอาศัยหลักการขยายตัวของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศขึ้น

1.3) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม เครื่องอบแห้งชนิดนี้วัสดุที่อยู่ภายในจะได้รับความร้อน 2 ทาง คือ ทางตรงจากดวงอาทิตย์และทางอ้อมจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้อากาศร้อนก่อนที่จะผ่านวัสดุอบแห้ง

2) การอบแห้งระบบ Active คือ ระบบอบแห้งที่มีเครื่องช่วยให้อากาศไหลเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น จะมีพัดลมติดตั้งในระบบเพื่อบังคับให้มีการไหลของอากาศผ่านระบบ พัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกให้ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ อากาศร้อนที่ไหลผ่านพัดลมและห้องอบแห้งจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นของพืชผล จึงพาความชื้น จากพืชผลออกสู่ภายนอกทำให้พืชผลที่อบไว้แห้งได้

3) การอบแห้งระบบ Hybrid คือ ระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และยังต้องอาศัยพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ช่วยในเวลาที่มีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอหรือต้องการให้ผลิตผลทาง การเกษตรแห้งเร็วขึ้น เช่น ใช้ร่วมกับพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวล พลังงานไฟฟ้า วัสดุอบแห้งจะได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ผ่านเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ และการหมุนเวียนของอากาศจะอาศัยพัดลมหรือเครื่องดูดอากาศช่วย (<http://blog.eduzones.com>)

การใช้เครื่องอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ มีข้อดีหลายประการ อาทิเช่น ได้ผลิตภัณฑ์ที่สวยและคุณภาพสม่ำเสมอ สะอาดเพราะสามารถควบคุมไม่ให้ฝุ่นละอองหรือแมลงเข้าไปได้ ใช้เวลาน้อยกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ ทำให้ประหยัดเวลาในการตากได้ประมาณหนึ่งในสาม ประหยัดพื้นที่ในการตาก เพราะในตู้อบสามารถวางถาดที่จะใส่ผลผลิตได้หลายถาด หรือหลายชั้น ประหยัดแรงงาน เพราะไม่ต้องเก็บอาหารที่กำลังตากเข้าที่รมในตอนเย็น และเอาออกตากในตอนเช้าเหมือนสมัยก่อน ซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนในการผลิตอาหารแห้งลดลง

2.1.4 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้ง เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการอบอาหารจำนวนมากในคราวเดียวกันให้แห้งนั้นมีหลายแบบ แต่ละแบบก็มีหลายขนาด ได้แก่

1) ตู้อบหรือโรงอบที่ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยมีหลักการทำงานคือ ตู้หรือโรงอบประกอบด้วยแผงรับแสงอาทิตย์ ซึ่งทำด้วยวัสดุใส เมื่อแสงอาทิตย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นรังสีคลื่นสั้น ตกลงบนแผงรับแสงนี้แล้วจะทะลุผ่านไปยังวัสดุสีดำ ภายในตู้และเปลี่ยนเป็นรังสีความร้อน ซึ่งความร้อนนี้จะไปกระทบกับอาหารทำให้น้ำในอาหารระเหยออกมา และผ่านออกไปทางช่องระบายอากาศของตู้ อบหรือโรงอบ มีผลทำให้อาหารแห้ง ในระหว่างการอบควรกลับผลิตภัณฑ์นั้น วันละ 1-2 ครั้ง เพื่อให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ทุกส่วนได้สัมผัสกับความร้อน ทำให้แห้งเร็วและสม่ำเสมอ ส่วนมากตู้อบแสงอาทิตย์นี้จะใช้กับพวกผัก ผลไม้ และธัญพืช

2) เครื่องอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากแหล่งอื่น ความร้อนที่ใช้กับเครื่องอบประเภทนี้ส่วนมากจะได้จากกระแสไฟฟ้า หรือแก๊ส ส่วนมากใช้ในระดับอุตสาหกรรมซึ่งมีหลายแบบหลายขนาด โดยใช้หลักการที่แตกต่างกันแล้วแต่ประโยชน์ของการใช้สอย เช่น

2.1) เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบตู้หรือถาด ตู้อบด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนมีถาดสำหรับวางอาหารที่จะอบ เครื่องมือชนิดนี้จะใช้อบอาหารที่มีปริมาณน้อย หรือสำหรับงานทดลอง

2.2) เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบต่อเนื่อง มีลักษณะคล้ายอุโมงค์ นำอาหารที่ต้องการอบแห้งวางบนสายพานที่เคลื่อนผ่านลมร้อนในอุโมงค์ เมื่ออาหารเคลื่อนออกจากอุโมงค์ก็จะแห้งพอดี ตัวอย่างอาหาร เช่น ผัก หรือ ผลไม้อบแห้ง

2.3) เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย การทำงานของเครื่องอบแบบนี้คือ ต้องฉีดของเหลวที่ต้องการทำให้แห้งพ่นเป็นละอองเข้าไปในตู้อบแห้งที่มีลมร้อนผ่านเข้ามา เช่น กาแฟผงสำเร็จรูป ไข่ผง น้ำผลไม้ผง ชูปัง เป็นต้น

2.4) เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง เครื่องทำแห้งแบบนี้ให้ความร้อนแบบนำความร้อนซึ่งประกอบด้วยลูกกลิ้งทำด้วยเหล็กปลอดสนิม อาหารที่จะทำแห้งต้องมีลักษณะชิ้นและป้อนเข้าเครื่องตรง ผิวนอกของลูกกลิ้งเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ความร้อนจะถ่ายเทจากลูกกลิ้งไปยังอาหาร

2.5) เครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็ง ประกอบด้วยเครื่องที่ทำให้อาหารเย็นจัด (Freezer) แผ่นให้ความร้อน และตู้อบสุญญากาศ หลักการในการทำแห้งแบบนี้คือการไล่น้ำจากอาหารออกไป ในสภาพสุญญากาศ การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการนำความร้อน ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ประสบความสำเร็จมากที่สุดคือ กาแฟผงสำเร็จรูป

2.6) ตู้อบแห้งแบบที่ใช้ไมโครเวฟ ขณะนี้ได้มีการใช้ไมโครเวฟคลื่นความถี่ 13×10^6 Cycle เพื่อลดความชื้นของผัก เช่น กะหล่ำปลี และผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพดี สีสวย ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ตู้อบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับการใช้สุญญากาศ คือ ผลิตภัณฑ์น้ำส้มผง ซึ่งยังคงคุณภาพของ สี กลิ่น และรสของส้มไว้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กอบพัชรกุล เป็นบุญ และคณะ (2551) ได้ศึกษาการทำแห้งลำไยแผ่นโดยการใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์และเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาอบลมร้อน พบว่า ในการทำแห้งลำไยแผ่นที่มีความหนา 2.80 mm ด้วยเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ในวันที่มีแดดจัดต้องใช้เวลาอบแห้ง 21 h จึงจะได้ผลผลิตแห้งที่มีความชื้น 11.26% dry basis ส่วนการทำแห้งลำไยแผ่นแบบผสมโดยนำลำไยแผ่นมาทำแห้งเป็นเวลา 8 h (09.00 น. - 17.00 น.) ในเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ และนำมาทำแห้งต่อในเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60-80°C ระยะเวลาการทำแห้ง 5-9 h ความเร็วลมคงที่ 0.2 m/s แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าสี ปริมาณความชื้น และลักษณะเนื้อสัมผัสของลำไยแผ่นเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งลำไยแผ่น คือ การทำแห้ง 8 h ในเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์วันที่แดดจัด และอบจนแห้งในเตาอบลมร้อนอุณหภูมิ 73°C เป็นเวลา 8 h ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีกว่า และใช้ระยะเวลาในการทำแห้งน้อยกว่าการทำแห้งด้วยเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์

คันสนีย์ แสนศิริพันธ์ (2546) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้พลังงานความร้อนทั้งจากคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศและแสงอาทิตย์มาใช้ร่วมกันเพื่ออบแห้งสตรอเบอรี่เพื่อทดสอบ

หาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้ง โดยมีหลักการทำงาน คือ การใช้พัดลมดึงอากาศร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบให้ไหลมาสมกับอากาศร้อนที่ระบายทิ้งออกจากคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศและไหลผ่านขดลวดความร้อนก่อนเข้าไปที่ตู้อบ โดยติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิเพื่อควบคุมให้อุณหภูมิอากาศภายในตู้อบสม่ำเสมอตลอดการอบแห้ง ทั้งนี้การดำเนินงานวิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งต้นแบบที่ประกอบด้วยตู้อบแห้งขนาด $0.6 \times 0.9 \times 0.5 \text{ m}^3$ สามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ได้ 5 ถาด มีอุปกรณ์เก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาดพื้นที่รับแสง 1.53 m^2 เครื่องปรับอากาศขนาด 13,000 BTU/h พัดลมดูดอากาศขนาด 0.5 hp ขดลวดความร้อนขนาด 1,000 W ซึ่งได้ทำการทดลองศึกษาหาตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งสตรอเบอร์รี่ได้แก่ ระยะเวลาในการอบแห้ง อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศรวมถึงสัดส่วนของอากาศเวียนกลับเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

จักรารัฐ พรหมโคตร และคณะ (2534) ได้ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกแบบอุโมงค์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีขนาดของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ 3.4 m^2 และปริมาณข้าวเปลือกที่สามารถอบได้แต่ละครั้ง 100 kg มีต้นทุนการสร้าง 7,300 Baht ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเท่ากับ 12.68% ใช้สังกะสีแผ่นเรียบขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 mm ทาสีดำด้านในเป็นแผ่นดูดซับพลังงานความร้อน (Absorber plate) จากแสงอาทิตย์มาใช้ในการอบแห้ง มีมอเตอร์ไฟฟ้าขับพัดลมใช้แบบ Single phase motor ขนาด 220 V / 0.25 hp ใช้พันธุ์ข้าวเจ้าและพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตองจากสถานีทดลองข้าวสันป่าตอง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ จากการศึกษาถึงความสามารถในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกแบบอุโมงค์โดยจากพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อเปรียบเทียบกับ การตากแห้งตามธรรมชาติ (Sun drying) ในด้านความชื้นในเมล็ดข้าวก่อนและหลังอบแห้ง ทำการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนและผลทางเศรษฐศาสตร์ สรุปได้ว่า เครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกที่ออกแบบและสร้างนี้ สามารถควบคุมปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกได้ตามต้องการซึ่งอยู่ในช่วง 11-14% wet basis โดยใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 2 วัน ซึ่งน้อยกว่าเวลาในการตากแห้งตามธรรมชาติ 2 วัน หากพิจารณาในด้านเศรษฐศาสตร์แล้ว พบว่า จะเกิดการคุ้มค่าเมื่อใช้ไปเป็นเวลา 2 ปี

ณัฐพล ศรีสิทธิโชคกุล และคณะ (2535) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่มีแผงรับรังสี 2 ชั้น โดยใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตเป็นฉนวนโปร่งแสงเพื่อลดการสูญเสียความร้อนด้านบน เครื่องอบแห้งดังกล่าวประกอบด้วย ส่วนแผงรับรังสีดวงอาทิตย์และส่วนอบแห้งผลิตภัณฑ์ โดยทั้งสองส่วนใช้โครงสร้างและวัสดุชนิดเดียวกัน ทั้งนี้การใช้แผงรับรังสี 2 ชั้น จะช่วยลดการสูญเสียความร้อนบริเวณฉนวนด้านล่างได้ดีขึ้น สำหรับระบบระบายอากาศใช้พัดลมระบายอากาศที่ทำงานด้วยไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์เพื่อเป่าอากาศร้อนจากแผงรับรังสีไปยังส่วนอบแห้งผลิตภัณฑ์ แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ดังกล่าวมีพื้นที่รับแสงรวม 108 m^2 จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งโดยการอบแห้งกล้วยน้ำว้าสุกประมาณ 100 kg ในช่วงเดือนเมษายนปี พ.ศ.2552 พบว่า เครื่องอบแห้งดังกล่าวสามารถอบแห้งกล้วยน้ำว้าสุกที่มีความชื้น 65% wet basis จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 16% wet basis ภายใน 3-4 วัน ซึ่งเร็วกว่าการตากแดดตามธรรมชาติประมาณ 1-2 วัน ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีคุณภาพดี และไม่ได้รับความเสียหายจากการเปียกฝน หรือการรบกวนของสัตว์และแมลงต่าง ๆ และประสิทธิภาพของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35% โดยอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งแปรค่าระหว่าง $30-70^\circ\text{C}$ ขึ้นกับสภาพอากาศ

ธีระชัย ไชยศิริ และคณะ (2532) ได้ศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Natural circulation ในบริเวณภาควิชาชีพวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ชนิดแผ่นแบนราบ (Flat plate collector) ทาสีดำ มีขนาด $1 \times 1.7 \text{ m}^2$ และส่วนของตู้อบมีขนาด $0.6 \times 1 \times 0.4 \text{ m}^2$ ปล่องสูงจากพื้นดิน 2.8 m หุ้มทั้งหมดด้วยพลาสติกใส PVC อบได้ 1 ชั้น อบกล้วยได้ครั้งละ 5 kg โดยเครื่องอบแห้งนี้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณ 9.2% จากการทดลองอบกล้วยน้ำว้าที่สุกอม เนื้อเป็นสีเหลือง เปลือกกรอบนอกง่าย ด้วยเครื่องอบแห้งกล้วยน้ำว้าพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าจากความชื้นของกล้วยเริ่มต้นประมาณ 230% dry basis สามารถลดความชื้นลงให้เหลือประมาณ 25% dry basis ในเวลา 3 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยที่ตากโดยวิธีธรรมชาติพบว่ากล้วยภายในเครื่องอบใช้เวลาในการลดความชื้นน้อยกว่า 1 วัน และสีของกล้วยจะเข้มกว่ากล้วยที่ตากโดยวิธีธรรมชาติ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองจริง ซึ่งสามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ไปใช้เป็นแนวทางและทำนายอัตราการอบแห้งกล้วยน้ำว้าได้ ผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ภายใต้สมมติฐานที่สร้างขึ้น พบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้ถ้าใช้งานในช่วงที่ไม่มีฝนตกจะสามารถทำการอบกล้วยได้ 72 ครั้ง ใน 1 ปี จะมีผลกำไร 463 Baht เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีตากแห้งโดยธรรมชาติซึ่งมีผลกำไร 560 Baht/year แสดงว่าไม่คุ้มกับการลงทุนสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ถึงแม้ว่าจะมีผลกำไรน้อยกว่าวิธีตากแห้งทางธรรมชาติ แต่การอบโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีข้อได้เปรียบตรงที่สามารถควบคุมความชื้นให้ลดลงตามที่ต้องการได้ และควบคุมดูแลเรื่องความสะดวกได้ง่ายกว่า

สุพร พรานนทีสถิตย์ และ สานนท์ ธนะพรสุขสันต์ (2538) ได้ศึกษาตู้อบแห้งผลไม้ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการดัดแปลงมาจากโครงงานตู้อบแห้งของนมเนย มันการโก และสมศักดิ์ แดงพยนต์ เพื่อใช้ในการอบแห้งกล้วย โดยใช้ตะแกรงขนาด $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$ ทาสีตู้อบด้วยสีดำด้านในเพิ่มจำนวนชั้น โดยแต่ละชั้นจะวางตะแกรงได้สองอันทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของช่องระบายอากาศทุกครั้งที่ทำการทดลองหรือติดพัดลมที่มีอัตราการดูดอากาศเพื่อศึกษาหาความเหมาะสมของขนาดช่องระบายอากาศจากการทดสอบพบว่า การปิดช่องระบายอากาศทั้งหมดและติดพัดลมดูดระบายอากาศออกจะได้กล้วยตากที่มีความชื้นต่ำที่สุดประมาณ 23.19% wet basis และมีรสหวานมากที่สุดโดยใช้เวลาในการตาก 5 วัน

จันจิรา อินทร์จันทร์ (2545) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งเห็ดนางฟ้าโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบโมดูล แล้วหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งเห็ดนางฟ้า จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งเห็ดนางฟ้าที่เหมาะสมกับความต้องการของตลาดคือ 60°C จำนวนชั่วโมงที่ใช้ คือ 7 h อัตราการไหลของอากาศ 0.068 kg/s โดยอบแห้งเห็ดนางฟ้าที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 933% dry basis หรือประมาณ 90.32% wet basis จนเหลือความชื้นสุดท้ายที่ 188% dry basis หรือประมาณ 18.18% wet basis ในขณะที่การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการใช้พลังงานสำหรับเครื่องอบแห้ง พบว่า ใช้พลังงานสำหรับการอบแห้งเห็ดนางฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 42.05 MJ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ 27.05 MJ งานไฟฟ้าที่ใช้กับขดลวดความร้อนเท่ากับ 2.5 MJ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับมอเตอร์พัดลมเท่ากับ 12.5 MJ

อิลีหิยะ สนิโซ และคณะ (2551) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งชั้นบางพลังงานความร้อนร่วม YRU-TLD#1(R&E) เพื่อใช้ศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตร โดยทดสอบใน

ที่ร้อนและกลางแจ้ง เมื่อควบคุมอุณหภูมิของขดลวดความร้อนและความเร็วลมในช่วง 60-200°C และ 1-3 m/s ตามลำดับ พบว่า เมื่ออุณหภูมิของขดลวดความร้อนเพิ่มสูงขึ้นอุณหภูมิในห้องอบแห้งจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยและที่อุณหภูมิของขดลวดความร้อนเท่ากันการทดสอบกลางแจ้งจะให้อุณหภูมิในห้องอบสูงกว่าการทดสอบในที่ร่ม ในขณะที่ความเร็วลมจะมีผลต่ออุณหภูมิในห้องอบทั้งที่ทดสอบในที่ร่มและกลางแจ้ง โดยเมื่อความเร็วลมเพิ่มสูงขึ้นอุณหภูมิในห้องอบจะลดลง และเครื่องอบแห้งที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้สามารถใช้ในการอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตรได้

จิระเดช เทพวงศ์ และ อิทธิชัย ไชยลังกา (2545) ได้ศึกษาและทดลองอบแห้งขยะด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยโครงสร้างของเครื่องอบแห้งทำจากไม้ซึ่งคลุมด้วยพลาสติกใส PVC หนา 3 mm ตัวเครื่องสูงจากพื้น 2.8 m ถาดวางขยะทำจากตะแกรงเหล็ก ขอบถาดทำจากเหล็กฉาก มีพื้นที่ในการอบ 4.05 m² ถาดสูงจากพื้น 1 m ด้านล่างสำหรับรับแสงอาทิตย์ปูด้วยหินชุปสีดำมีขนาด 9 m² หลักการทำงานอากาศภายในตู้อบเมื่อได้รับรังสีความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอากาศที่ร้อนจะลอยตัวสูงขึ้น ทำให้อากาศร้อนไหลผ่านส่งผลให้ขยะมีปริมาณความชื้นที่ต่ำลงร้อนที่มีความชื้นสูงจะไหลออกจากเครื่องอบทางช่องระบายอากาศด้านบน เครื่องอบสามารถอบขยะได้ครั้งละ 20 kg ใช้เวลาในการอบ 2 วัน เหลือน้ำหนักขยะ 2.4-2.6 kg โดยทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 08.00-17.00 น. โดยทำการทดลอง 10 ครั้ง จากการทดลอง จะได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเครื่องอบคิดเป็นชั่วโมงมีค่า 20.67% และประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวมเท่ากับ 8.99% จากการอบแห้งขยะพบว่าความชื้นเริ่มต้นของขยะ 1051% d.b. สามารถลดความชื้นให้เหลือ 51% dry basis ภายใน 2 วัน จากผลการทดลองหาค่าความร้อนของขยะได้ค่าความร้อนของขยะเท่ากับ 3795 cal/g

พัฒนารณณ์ ใจอุตม์ (2542) ได้ทำการศึกษาการอบพริกชี้หนูด้วยเครื่องอบแห้งระบบสลับหมุนเวียนลมร้อน มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการอบพริกสดที่เหมาะสม โดยใช้เครื่องอบแห้งระบบสลับหมุนเวียนลมร้อน และหาผลกระทบของการลวกพริกในน้ำเดือดก่อนอบต่อกระบวนการอบแห้ง การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการสลับลมร้อนเข้าด้านบนและด้านล่างของเตาอบ และหาผลกระทบของการลวกพริกก่อนอบแห้งโดยวางแผนการทดลองเป็นแบบ Split plot-design ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ใช้วิธีการสลับลมร้อนทุก 3, 5 และ 7 h เป็น main plot และใช้วิธีการลวกและไม่ลวกพริกก่อนอบเป็น sub plot ในการอบแต่ละครั้งจะบรรจุพริกประมาณ 23 kg ความหนาของชั้นอบประมาณ 60 cm ความเร็วลม 0.2 m/s อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ คือ 75°C ผลการทดลองพบว่า การสลับลมร้อนทุก 7 h มีความเหมาะสมเนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาและแรงงานในการสลับลมมากครั้ง และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ของอัตราการลดความชื้น (% M_d/h) ลักษณะปรากฏเปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้ายและคุณภาพสีของพริกแห้งหลังอบของการสลับลมร้อนทุกวิธี โดยการสลับลมร้อนทุก 7 h จะใช้เวลาทั้งหมด 14 h ในการอบพริกแห้งจากความชื้นเริ่มต้น 74.91% wet basis จนเหลือความชื้นสุดท้าย 12.42% wet basis ขั้นตอนที่ 2 ทดลองเปรียบเทียบการอบโดยการสลับลมร้อน และสลับลวกพริกในระหว่างอบทุก 7 h โดยใส่พริกไว้ในถาด 3 ถาด ๆ ละประมาณ 7.7 kg วางถาดพริกซ้อนทับกันในภาชนะบรรจุ ผลการทดลองพบว่า การอบพริกโดยวิธีการสลับลมร้อนมีแนวโน้มการลดความชื้นสูงกว่า เนื่องจากการสลับลมเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายลมร้อนภายในเตาอบ และคุณภาพสีของพริกแห้งหลังอบที่อบโดยการสลับลม มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่าพริกแห้งที่อบโดยวิธีสลับถาด

Kamil (2005) ได้ทำการศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดพืชทองโดยใช้ลมร้อน แผ่นโซลาร์ และพลังงานแสงอาทิตย์ ในการอบแห้งด้วยลมร้อนนั้นใช้ความเร็วลม 0.8 m/s ใช้อุณหภูมิลมอยู่ระหว่าง 40-60°C ในการอบแห้งโดยใช้แผ่นโซลาร์ มีอัตราการลดความชื้นที่ช้า และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดพืชทอง

Janjai (1979) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลไม้อบแห้งเป็นผลผลิตทางอาหารที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยในการผลิตผลไม้อบแห้ง เกษตรกรหรือผู้ประกอบการส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีตากแดดตามธรรมชาติ ถึงแม้วิธีดังกล่าวจะเสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีการปนเปื้อนจากการรบกวนของแมลงและสัตว์ต่าง ๆ เนื่องจากประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในเขตร้อนเขตรึ่งร้อนซึ่งได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 18.2 MJ/m²-day ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าวจึงเป็นผลดีต่อการใช้เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์มหาวิทยาลัยศิลปากรจึงได้จัดตั้งโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 โดยได้ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นหลายแบบและได้มีการนำไปเผยแพร่ใช้งานในส่วนต่างๆ ของประเทศ โดยบางแห่งมีการใช้งานต่อเนื่องมานาน 10 ปีสำหรับเครื่องอบแห้งที่มีการพัฒนาล่าสุดคือเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมแบบใช้กระจกปิดด้านบน ซึ่งสามารถอบแห้งกล้วยได้ครั้งละ 55 kg โดยใช้เวลา 3 วัน ซึ่งถ้าตากตามธรรมชาติต้องใช้เวลา 5 วัน

Joseph and David (2008) ได้ศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของปล่องกระจกระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะอากาศแบบร้อนชื้นของกรุงเทพมหานคร ปล่องกระจกระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์จะมีลักษณะโครงสร้างประกอบด้วยกระจกสองชั้นมีขนาดความสูง 1.86 m กว้าง 0.60 m กระจกแผ่นนอกเป็นกระจกใสธรรมดาทั่วไปมีความหนา 0.006 m ส่วนกระจกชั้นในมีความหนาประมาณ 0.006 m และมีช่องว่างเท่ากับ 0.07 m และช่องเปิดขนาด 0.13 m x 0.60 m ช่องเปิดด้านล่างอยู่ภายในบ้าน ช่องเปิดด้านบนอยู่ภายนอกจะมีตาข่ายป้องกันแมลง การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างห้องที่ติดตั้งปล่องกระจกระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (GSCW) กับหน้าต่างกระจกใสชั้นเดียว ผลการทดลองพบว่า ห้องที่ติดตั้งปล่องกระจกระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (GSCW) จะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าห้องที่ติดตั้งหน้าต่างกระจกใสธรรมดาชั้นเดียวและสามารถระบายอากาศภายในห้องทำให้มีอากาศไหลเวียน ลดค่าความร้อนที่ส่องกระจกได้ดีกว่าห้องที่ติดตั้งกระจกใสชั้นเดียวโดยมีปริมาณแสงธรรมชาติที่ใกล้เคียงกับห้องที่ติดตั้งหน้าต่างกระจกใสธรรมดาชั้นเดียวและช่วยประหยัดพลังงาน

Venus (1997) ได้ศึกษาเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งผักโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้น้ำเป็นพลังงานเสริมซึ่งมีความจุ 100 kg ได้ถูกออกแบบสร้างและทำการทดลองที่บริษัทอุตสาหกรรมเกษตรเขาค้อ จำกัด ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยเครื่องอบแห้งจำนวน 4 เครื่อง เครื่องอบแห้ง 1 เครื่อง ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญดังนี้ แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด 73 m² พัดลมขนาด 2 kW ห้องอบแห้งและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำกับอากาศ เครื่องอบแห้งใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์และไอน้ำ สำหรับอบแห้งผักดังต่อไปนี้ หอมแบ่ง กะหล่ำปลี ขิง ขมิ้น กล้วยดิบ กะเพรา และพริก พื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์รวมของระบบอบแห้ง 292 m² ความร้อนของไอน้ำจะนำมาใช้เสริมเมื่อความเข้มข้นของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผง รับรังสีมีค่าต่ำหม้อไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำได้ 5 ton/h และไอน้ำนี้จะถูกนำไปใช้แลกเปลี่ยนความร้อนที่ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิในห้องอบแห้งถูกควบคุมไว้ที่ 60°C ในแต่ละการทดลอง อากาศจะถูกดูดจากแผงรับรังสีอาทิตย์

และถูกทำให้ร้อนขึ้น โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า ค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ต่อจากนั้น อากาศจะผ่านไปยัง พัดลมและถูกเป่าเข้าไปในห้องอบแห้งในการอบแห้งผักที่มีความชื้นเริ่มต้น 75-85% wet basis จะถูกอบแห้งจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายลดลงเหลือ 5-10% wet basis โดยใช้เวลาในการอบ 4-6 h จากผลการทดลองอบแห้ง พบว่า ประสิทธิภาพของตู้อบแห้งมีค่า 43% ประสิทธิภาพของแผงรับรังสี 53% ประสิทธิภาพของระบบอบแห้ง 18% จากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย พบว่า ค่าใช้จ่ายรวมในการอบแห้งมีค่า 3.7 Baht/kg น้ำระเหย โดยแยกเป็นค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง 2.1 Baht/kg น้ำระเหยและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน 1.6 Baht/kg น้ำระเหย พลังงาน ในการอบแห้งเฉลี่ยต่อวัน 8270 MJ เป็นพลังงานแสงอาทิตย์ 4545 MJ เป็นพลังงานจากไอน้ำ 3427 MJ และเป็นพลังงานจากไฟฟ้า 300 MJ



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ 1) การศึกษาข้อมูลและประมวลเอกสารที่เกี่ยวข้อง 2) การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน 3) การทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน และ 4) การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์การอบแห้งกล้วยที่อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นที่ขึ้นกับอุณหภูมิ โดยใช้ตัวอย่างในการทดสอบ คือ กล้วยน้ำว้า ดังนี้

3.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

- 3.1.1 ฮีทเตอร์แบบขดลวด ขนาด 32 cm / 1000 W
- 3.1.2 เครื่องเป่าอากาศ (Blower) ขนาด 2.5 cm / 220 V
- 3.1.3 ฉนวนโพลี M- PE อะลูมิเนียม หนา 10 mm
- 3.1.4 สวิตช์เปิดปิด
- 3.1.5 เหล็กฉาก ขนาดกว้าง 3.81 cm ยาว 2 m
- 3.1.6 สกรู ขนาด 2.54 cm
- 3.1.7 ตะปูยิงเดวิด
- 3.1.8 แผ่นโลหะ
- 3.1.9 เหล็กอะลูมิเนียม ขนาด $2.54 \times 2.54 \text{ cm}^2$ ยาว 6 m
- 3.1.10 ล้อเลื่อน
- 3.1.11 มีดตัดกระจก ยี่ห้อ DIAMOND BRAND
- 3.1.12 เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท
- 3.1.13 สายไฟ ความยาว 3 m
- 3.1.14 แผ่นกระจกใส
- 3.1.15 กรรไกรตัดสังกะสี
- 3.1.16 เครื่องชั่งแบบสปริง ความละเอียด $\pm 2.0 \text{ g}$
- 3.1.17 เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล ความละเอียด $\pm 0.1^\circ\text{C}$
- 3.1.18 พัดลมเป่าอากาศแบบ Axial Flow ขนาด 3.81 cm / 40 W
- 3.1.19 สายเทอร์โมคัปเปอร์ ขนาด $7/0.32 \times 2$ ความยาว 1 m
- 3.1.20 เครื่องวัดความเร็วลมแบบมือถือ (ANEMOMETER) ความละเอียด $\pm 0.1 \text{ m/s}$
- 3.1.21 หม้อแปลงไฟฟ้า ยี่ห้อ SPECTRUM รุ่น Model SPD 220
- 3.1.22 มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า Type DD28 รุ่น XK06-003-2 กำลัง 200 V

3.2 การดำเนินการวิจัย

3.2.1 การศึกษาข้อมูลและประมวลเอกสารที่เกี่ยวข้อง

- 1) ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้ง
- 2) ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์
- 3) ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร
- 4) ศึกษาข้อมูลเชิงพื้นที่เกี่ยวกับผลผลิตทางการเกษตรในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้
- 5) ศึกษาข้อมูลเชิงพื้นที่เกี่ยวกับการเก็บรักษาและการทำแห้งผลผลิตทางการเกษตรในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้

3.2.2 การปฏิบัติการทดลอง

- 1) ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรพลังงานความร้อนร่วมที่อาศัยลมร้อนรังสีแสงอาทิตย์ และแผงรับแสงอาทิตย์ มี 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

- 1.1) นำเหล็กฉากมาวัดขนาดและตัดให้ได้ความกว้าง 40 cm ยาว 50 cm และสูง 70 cm แล้วนำมาประกอบกันเป็นฐานวางตู้อบแห้ง (ภาพที่ 3.1)



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างและตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 3.2 กรอบและกระจกด้านบนของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

1.2) นำอะลูมิเนียมมาวัดขนาดและตัดให้ได้ความกว้าง 40 cm ยาว 50 cm และสูง 70 cm แล้วประกอบเข้าด้วยกันเป็นโครงสร้างของตู้อบแห้ง

1.3) นำแผ่นโลหะมาวัดและตัดให้ได้ตามความยาวของตู้อบแห้งทั้ง 4 ด้าน ประกอบเป็นตู้สี่เหลี่ยมแล้วเจาะรูด้านข้างเพื่อเป็นช่องระบายอากาศ

1.4) เลือกแผ่นโลหะด้านใดด้านหนึ่งของตู้อบแห้งทำเป็นประตูใช้เปิดปิดในการทดลองอบแห้ง

1.5) นำอะลูมิเนียมมาตัดแล้วประกอบเป็นกรอบของแผ่นกระจกด้านบนตู้อบแห้ง (ภาพที่ 3.2)

1.6) นำแผ่นกระจกที่ตัดขนาดเท่ากับกรอบอะลูมิเนียมปิดด้านบนของตู้อบแห้ง แล้วเจาะรูขนาดประมาณ 1 cm ระหว่างกลาง เพื่อระบายอากาศและติดตั้งเครื่องชั่งแบบแขวน

1.7) นำแผ่นโลหะมาตัดให้ได้ความยาว 30 cm กว้าง 20 และ 10 cm ตามความยาวของด้านทั้ง 4 ด้าน แล้วประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเพื่อเป็นช่องสำหรับลมร้อนผ่านเข้าตู้อบแห้ง (ภาพที่ 3.3)



ภาพที่ 3.3 ท่อและช่องสำหรับลมร้อนผ่านเข้าตู้อบแห้ง

1.8) นำแผ่นโลหะที่ได้ตัดแล้วข้างต้นมาทำเป็นท่อเพื่อเชื่อมต่อระหว่างตู้อบแห้งกับตู้เก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (ภาพที่ 3.4)

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างตู้เก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

2.1) นำเหล็กฉากมาวัดและตัดให้ได้ขนาดความยาว 100 cm กว้าง 100 cm สูง 50 และ 80 cm แล้วประกอบเป็นฐานเพื่อวางแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ และพัดลมเป่าอากาศ

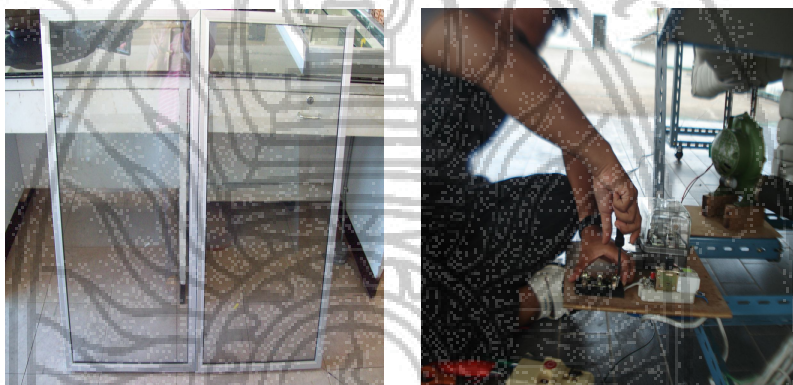
2.2) นำอะลูมิเนียมมาวัดและตัดให้ได้ขนาดความยาว 100 cm กว้าง 50 cm และสูง 20 cm แล้วประกอบเป็นโครงสร้างของตู้เก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

2.3) นำแผ่นโลหะมาวัดและตัดให้ได้ขนาดความยาว 100 cm และสูง 20 cm จำนวน 4 แผ่น ขนาดความกว้าง 50 cm และสูง 20 cm จำนวน 4 แผ่น เจาะรูตรงกลางทั้งสองด้านแล้วประกอบกันเป็นแผงเก็บความร้อนรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 2 แผง แล้วประกอบลงบนฐานที่ได้ประกอบไว้แล้ว (ภาพที่ 3.4)

2.4) นำอะลูมิเนียมมาวัดและตัดเป็นกรอบตามความยาวข้างต้น แล้วประกอบเข้าด้วยกันทำเป็นกรอบของแผ่นกระจก จากนั้นนำแผ่นกระจกที่ตัดตามความยาวของกล่องเก็บความร้อนทั้ง 2 แผง มาประกอบเข้าด้วยกัน (ภาพที่ 3.5) เพื่อปิดด้านบนให้รังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบ



ภาพที่ 3.4 โครงสร้างของฐานวางแผงรับรังสีแสงอาทิตย์และแผงรับรังสีแสงอาทิตย์



ภาพที่ 3.5 แผ่นกระจกสำหรับปิดด้านบนของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์และชุดควบคุมระบบ

2.5) นำแผ่นโลหะมาทำเป็นท่อลมร้อนแล้วต่อเข้ากับพัดลมเป่าอากาศ จากนั้นต่อเข้ากับขดลวดความร้อน และตู้เก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อนำความร้อนที่เก็บไว้ผ่านเข้าไปในตู้อบแห้งสำหรับการอบแห้งต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง

3.1) ทดสอบวัดอุณหภูมิภายนอกและภายในตู้อบแห้ง และอุณหภูมิภายในแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ โดยการวัดค่าอุณหภูมิทุก ๆ 30 min

3.2) ทดสอบการอบแห้งโดยใช้กล้วยเป็นตัวอย่างทดลอง แล้ววัดค่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งและแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ความละเอียด 0.1°C พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักกล้วยด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 0.01 g ทุก ๆ 30 min

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์การอบแห้ง

4.1) นำตัวอย่างทดลองมาหาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (AOAC, 2005) โดยการอบแห้งด้วยตู้อบ (Oven) ที่อุณหภูมิ $103 \pm 5^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 72 h เพื่อหาความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของกล้วยก่อนและหลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน

4.2) ทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว้าหั่นเป็นชิ้นบางน้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 1,500 g (ภาพที่ 4.5) ความชื้นเริ่มต้นประมาณ $266 \pm 37\%$ dry basis ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ลมร้อน และพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน โดยควบคุมความเร็วลมให้คงที่เท่ากับ 2 m/s

4.3) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของกล้วยที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม

3.2.3 การวิเคราะห์และสรุปผล

1) วิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมที่อาศัยลมร้อน รังสีแสงอาทิตย์ และแผงรับแสงอาทิตย์

2) วิเคราะห์การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร สรุปความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมที่อาศัยลมร้อน รังสีแสงอาทิตย์ และแผงรับแสงอาทิตย์ ให้กับครัวเรือนในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้

3.3 สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยนี้ได้พิจารณาค่าทางสถิติ 2 ค่า คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Average value, $\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard divisions, S.D.) ดังนี้

3.3.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ใช้สูตรดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum X_N}{N} \quad (3.1)$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยผลการทดลอง
 $\sum X_N$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
 N คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดลอง

3.3.2 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้สูตรดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (x_N - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad (3.2)$$

เมื่อ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
 X_N คือ ข้อมูลจากการทดลองครั้งที่ N
 N คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดลอง

บทที่ 4

ผลและอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน ได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน 2) การทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน และ 3) การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน โดยอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ลมร้อน และพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้ง

การออกแบบและการสร้างเครื่องอบแห้งที่อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ 1) ตู้อบแห้ง และ 2) แผงรับรังสีแสงอาทิตย์จำนวน 2 แผง โดยการสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อนใช้วัสดุหลัก คือ อะลูมิเนียมขนาด $2.54 \times 2.54 \text{ cm}^2$ มาตัดให้ได้ขนาดความยาว 40, 50 และ 70 cm อย่างละ 4 แท่ง รวมเป็น 12 แท่ง สำหรับประกอบเป็นกล่องสี่เหลี่ยมซึ่งทำหน้าที่เป็นตู้อบแห้ง (ภาพที่ 4.1)



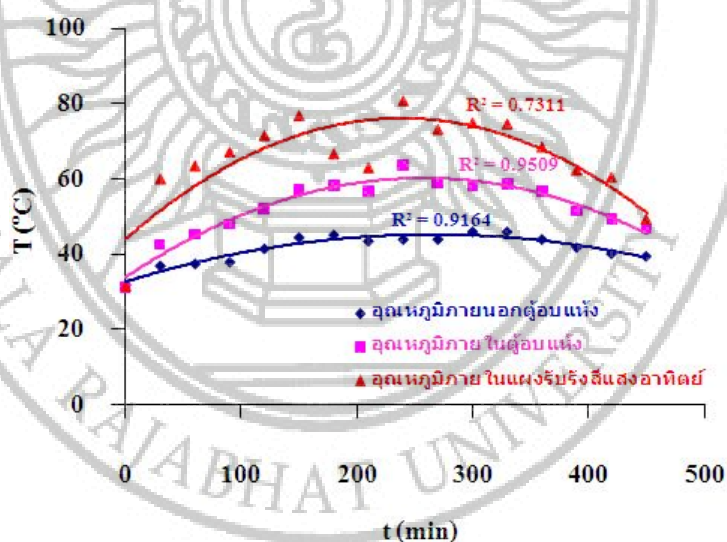
ภาพที่ 4.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน YRU-TLD#2010 (KS&E)

มีแผ่นโลหะสังกะสีที่ตัดตามความกว้างของตู้อบแห้งปิดอยู่ 3 ด้าน อีกด้านหนึ่งของตู้อบแห้งทำเป็นประตูเพื่อความสะดวกในการทดลองอบแห้ง ทั้งหมดถูกวางบนโครงที่ทำจากเหล็กฉากทำหน้าที่เป็นฐานมีความสูง 70 cm ด้านล่างของตู้อบแห้งถูกเจาะรูเพื่อเชื่อมต่อกับช่องลมร้อนที่ทำจากแผ่นโลหะม้วน โดยลมร้อนที่ได้นั้นถูกทำให้ร้อนด้วยขดลวดความร้อนแบบครีบน้ำตาลกำลัง 1,000 W ที่บรรจุอยู่ใน

กล่องสี่เหลี่ยมที่ทำจากอะลูมิเนียมแล้วปิดทับด้วยโลหะสังกะสี ในขณะที่แผงรับรังสีแสงอาทิตย์จะใช้วัสดุเหมือนกับการสร้างตู้อบแห้ง กล่าวคือ ต่อดออะลูมิเนียมขนาดความยาว 50, 100 และ 20 cm อย่างละ 8 แท่ง รวมเป็น 24 แท่ง มาประกอบเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 2 แผง แล้วนำแผ่นโลหะมาปิดด้านข้างและด้านล่างทั้ง 2 แผง แล้วเจาะรูด้านบนและด้านล่างของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ทั้ง 2 แผง เพื่อต่อเข้ากับท่อน้ำลมร้อน และอีกด้านหนึ่งของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ต่อเข้ากับตู้อบแห้ง ในขณะเดียวกันก็เจาะรูด้านข้างของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ทั้ง 2 แผง เพื่อต่อเชื่อมกับพัดลมเป่าอากาศ ขนาดเล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.81 cm ส่วนด้านบนได้นำแผ่นกระจกใสความหนา 2 mm มาปิดทั้ง 2 แผง แล้วหุ้มด้านข้างและด้านล่างด้วยแผ่นฉนวนโฟล M-PE อะลูมิเนียม ความหนา 10 mm เพื่อป้องกันการถ่ายโอนความร้อนออกจากแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ และติดตั้งแผ่นไม้ความกว้าง 40 cm ยาว 40 cm เป็นฐานสำหรับติดตั้งวงจรไฟฟ้าและชุดควบคุมระบบ (ภาพที่ 4.1)

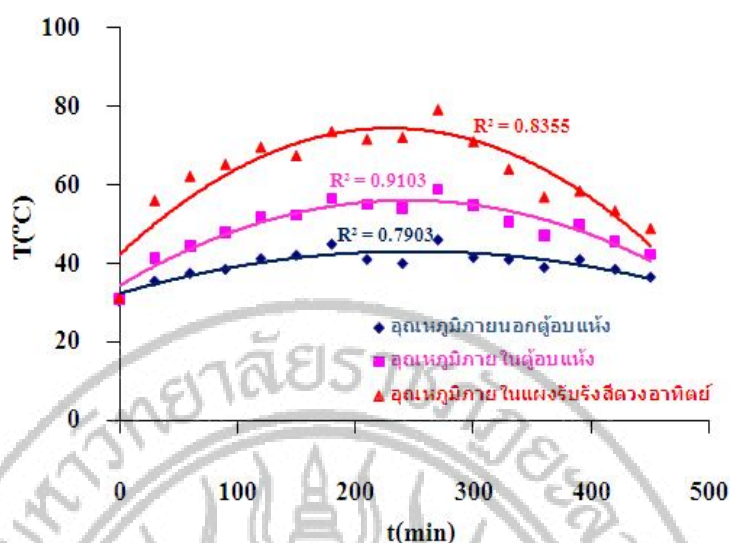
4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน ทำได้โดยการทดสอบวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง และอุณหภูมิภายในแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ เป็นเวลา 3 วัน (3 ครั้ง) พบว่า สำหรับการทดสอบครั้งที่ 1 (7 เมษายน 2553) อุณหภูมิมีค่าต่ำสุดเวลา 08.30 น. เท่ากับ 31.2°C และมีค่าเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิ 31.2°C ถึง 46.0°C เมื่อเวลา 12.30 น. จากนั้นอุณหภูมิมีค่าลดลงจนถึง 39.5°C เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 4.2)



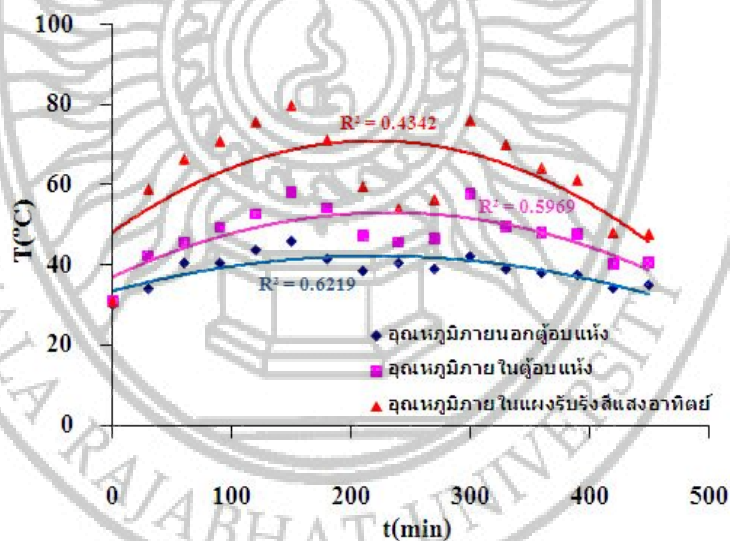
ภาพที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในการทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง (7 เมษายน 2553)

ส่วนการทดสอบครั้งที่ 2 (8 เมษายน 2553) อุณหภูมิมีค่าต่ำสุดเวลา 08.30 น. เท่ากับ 30.5°C และมีค่าเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิ 30.5°C ถึง 46.0°C เมื่อเวลา 13.00 น. จากนั้นอุณหภูมิมีค่าลดลงจนถึง 36.5°C เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 4.3)



ภาพที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในการทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง (8 เมษายน 2553)

ในขณะที่การทดสอบครั้งที่ 3 (9 เมษายน 2553) อุณหภูมิมีค่าต่ำสุดเวลา 08.30 น. เท่ากับ 30.0°C และมีค่าเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิ 30.0°C ถึง 46.0°C เมื่อเวลา 11.00 น. จากนั้นอุณหภูมิมีค่าลดลงจนถึง 34.2°C เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 4.4)



ภาพที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในการทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง (9 เมษายน 2553)

จากภาพที่ 4.2-4.4 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิภายในแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ในแต่ละช่วงเวลาของการทดสอบทั้ง 3 วัน (7-9 เมษายน 2553) มีค่าน้อยที่สุดที่เวลา 08.30 น. ซึ่งเป็นเวลาเริ่มต้นของการทดสอบ จากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นและจะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 11.30-13.00 น. แล้วจึงค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง โดยวันที่ 7 เมษายน 2553 ซึ่งเป็นวันแรกของการทดสอบอุณหภูมิแวดล้อมที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 46.0°C

อุณหภูมิในตู้อบแห้งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 63.6°C และอุณหภูมิแผงรับรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 80.7°C ในวันที่ 8 เมษายน 2553 หรือวันที่สองของการทดสอบอุณหภูมิแวดล้อมที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 46.0°C อุณหภูมิในตู้อบแห้งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 58.9°C และอุณหภูมิแผงรับรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 79.4°C และในวันที่ 9 เมษายน 2553 หรือวันที่สามของการทดสอบอุณหภูมิแวดล้อมมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 46.0°C อุณหภูมิในตู้อบแห้งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 58.2°C และอุณหภูมิแผงรับรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 79.6°C

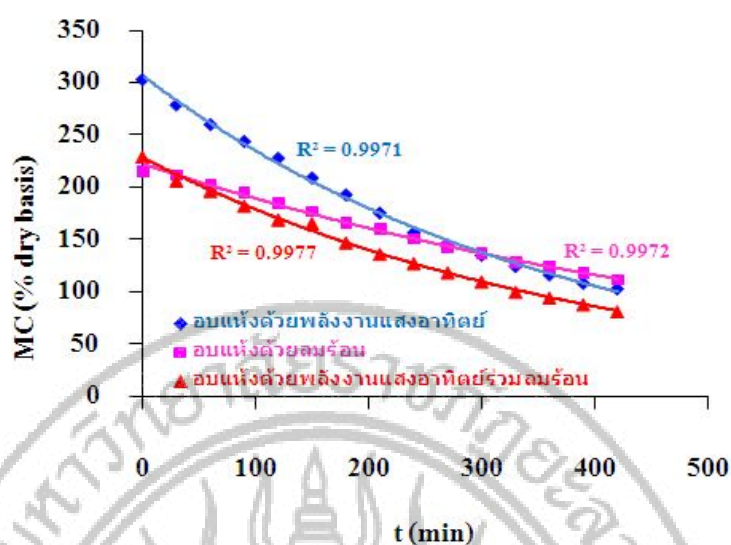
จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง สรุปได้ว่า เครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรพลังงานความร้อนร่วมที่พัฒนาขึ้น เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46.0°C อุณหภูมิแผงรับรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 80.0°C ซึ่งสามารถทำให้อุณหภูมิในตู้อบแห้งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 60.2°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับใช้อบแห้งผลผลิตทางการเกษตรดังที่ได้รายงานไว้ในงานของสมชาติ โสภณธนฤทธิ (2540) และ Bala (1997) ที่ระบุว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรนั้นจะอยู่ในช่วง $60-80^{\circ}\text{C}$

4.3 ผลการวิเคราะห์จลนพลศาสตร์การอบแห้ง

จากการทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อนที่สร้างขึ้น ด้วยการอบแห้งกล้วยน้ำว้าหั่นเป็นชิ้นบางน้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 1,500 g (ภาพที่ 4.5) ความชื้นเริ่มต้นประมาณ $266 \pm 37\%$ dry basis ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ลมร้อน และพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน โดยควบคุมความเร็วลมให้คงที่เท่ากับ 2 m/s พบว่า ความชื้นของกล้วยจะลดลงเหลือ 103% dry basis จากความชื้นเริ่มต้น 303% dry basis ในขณะที่การอบแห้งด้วยลมร้อนความชื้นของกล้วยจะลดลงเหลือ 111% dry basis จากความชื้นเริ่มต้น 215% dry basis ส่วนการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อนความชื้นของกล้วยจะลดลงเหลือ 81% dry basis จากความชื้นเริ่มต้น 229% dry basis โดยใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 420 min เท่ากัน



ภาพที่ 4.5 ผลกล้วยที่ฝานเป็นชิ้นบางแล้วเรียงบนตะแกรงเพื่ออบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อนที่สร้างขึ้น



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของกล้วยที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ รวมความร้อนที่สร้างขึ้น



ภาพที่ 4.7 ตัวอย่างกล้วยที่ผ่านการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ลมร้อน และพลังงานแสงอาทิตย์ รวมความร้อน

อัตราการลดลงของความชื้นของกล้วยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ทั้งนี้การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ รวมความร้อนมีผลต่อการอบแห้งกล้วยมากที่สุด กล่าวคือ ส่งผลให้การลดความชื้นของกล้วยเป็นไปอย่าง

รวบเร็วกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และลมร้อนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อนความชื้นจะถูกขับออกมายังบริเวณผิวนอกของกล้วยโดยอาศัยความร้อนจากลมร้อนที่ไหลผ่าน ส่งผลให้ความชื้นบริเวณผิวกล้วยระเหยออกไป (ภาพที่ 4.6 และ ภาพที่ 4.7) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ จงจิตร์ หิรัญลาก (2539) ชริน สังข์เกษม และ ชโลธร ธรรมแท้ (2548) เซวณ เอื้อเฟื้อ (2545) สมชาติ โสภณธนฤทธิ (2540) และ Bala (1997) ดังนั้น จากการออกแบบ สร้าง และทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน แล้ววิเคราะห์ จลนพลศาสตร์การอบแห้ง พอสรุปได้ว่า เครื่องอบแห้งที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นโดยอาศัยลมร้อน รังสีแสงอาทิตย์ และแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ มีสมรรถนะเพียงพอสำหรับใช้ออบแห้งผลผลิตทางการเกษตร มีความเหมาะสมและสามารถใช้ได้กับครัวเรือนในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้น และศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งกล้วยน้ำว้าที่อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน โดยควบคุมความเร็วลมให้คงที่เท่ากับ 2 m/s สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

เครื่องอบแห้งที่อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน (YRU-TLD#2010 (KS&E)) ที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วยตู้อบแห้งและแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 46.0°C อุณหภูมิแผงรับรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 80.0°C อุณหภูมิในตู้อบแห้งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 60.2°C เมื่ออบแห้งกล้วยน้ำว้าหั่นบางความชื้นเริ่มต้นประมาณ $266 \pm 37\%$ dry basis ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน และพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน ความเร็วลมคงที่เท่ากับ 2 m/s พบว่า การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อนมีผลต่อการอบแห้งกล้วยมากที่สุด และเครื่องอบแห้งที่อาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อนที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมและสามารถใช้ได้กับครัวเรือนในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อนที่พัฒนาขึ้น พบที่จะเสนอแนะได้ว่า ตู้อบแห้งที่สร้างขึ้นต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรงและสะดวกในการเคลื่อนย้าย การติดตั้งชุดลดความร้อนควรใช้ฉนวนกันระหว่างชุดลดความร้อนกับผนังห้องชุดลดและใช้สายไฟฟ้าที่ทนความร้อนสูงประมาณ $500-1,000^{\circ}\text{C}$ เพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิชุดลดความร้อนไหม้และไฟฟ้าลัดวงจร และควรใช้อุปกรณ์ควบคุมความร้อนอัตโนมัติ (Thermostat) ที่มีความไวสูง จะทำให้การควบคุมความร้อนในห้องอบแห้งมีประสิทธิภาพมากขึ้น

บรรณานุกรม

- กอบพัชรกุล เป็นบุญ และคณะ : การทำแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ และเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาอบลมร้อน. อ้างเมื่อ 3 พฤศจิกายน 2552. สืบค้นจาก URL: http://agro.cmu.ac.th/Research/WebAjarn/ppp%5Cra_002.doc.
- การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. อ้างเมื่อ 27 พฤศจิกายน 2552. สืบค้นจาก URL: <http://blog.eduzones.com/tenny/3455>.
- จงจิตร หิรัญลาก : เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบสำเร็จรูป. จดหมายข่าว 4(2) : 1-6, 2539.
- จักรารุช พรหมโคตร และคณะ : การออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกแบบอุโมงค์โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. อ้างเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2552. สืบค้นจาก URL: http://www.phtnet.org/research/viewabstract.asp?research_id=wf045.
- จันจิรา อินทร์จันทร์ : การอบแห้งเห็ดนางฟ้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบโมดูล. อ้างเมื่อ 4 มกราคม 2553. สืบค้นจาก URL: http://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research_id=ah010.
- จิระเดช เทพวงศ์ และอิทธิชัย ไชยลังกา : เครื่องอบแห้งขยะพลังงานแสงอาทิตย์. อ้างเมื่อ 4 มกราคม 2553. สืบค้นจาก URL: http://teenet.chiangmai.ac.th/eng/research_details.php?id=137.
- ชริน สังข์เกษม และ ชโลธร ธรรมแท้ : การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งเส้นใยผ้าโดยใช้ป้อนความร้อนของเครื่องปรับอากาศ. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1, 11-13 พฤษภาคม 2548 โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี, AE05 หน้า 1-5.
- ชาย ชีวะเกตุ และชนานัญ บัวเขียว : การผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์. อ้างเมื่อ 3 พฤษภาคม 2551. สืบค้นจาก URL: <http://www.eppo.go.th/vrs/VRS49-09-Solar.html>.
- เชาวน์ เอื้อเพื่อ : เครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำแบบพลังงานหมุนเวียน. วารสารเทคโนโลยี 23(2) : 3-4, 2545.
- ณัฐพล ศรีสิทธิโชคกุล และคณะ : การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่มีแผงรับรังสี 2 ชั้น. อ้างเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2552. สืบค้นจาก URL: http://www.scisoc.or.th/stt/35/sec_k/paper/STT35_K_K0002.pdf.
- ธีระชัย ไชยศิริ บุญยงค์ วัฒนาโกศัย และคณะ : เครื่องอบแห้งกล้วยน้ำว้าพลังงานแสงอาทิตย์. อ้างเมื่อ 10 ธันวาคม 2552. สืบค้นจาก URL: http://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research_id=wf218.
- ธีระพล บุญธรรม : เครื่องพลังงานแสงอาทิตย์ประยุกต์. วารสารเทคโนโลยี 21(4) : 1-2, 2543.
- บัณฑิต ฟุ้งธรรมสาร และคณะ : ทางเลือกพลังงานเพื่อดับโลกร้อน. บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม. วี วิชช์, กรุงเทพมหานคร. 192 หน้า, 2550.

- พลังงานแสงอาทิตย์. อ้างเมื่อ 27 ตุลาคม 2552. สืบค้นจาก URL: <http://www.energy.go.th/MOEN/Index.aspx?MenuID=71>.
- พัฒนาภรณ์ ใจอุตม์ : การอบพริกชี้ฟ้าด้วยเครื่องอบแห้งระบบสลับหมุนเวียนลมร้อน. อ้างเมื่อ 6 มกราคม 2553. สืบค้นจาก URL: http://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research_id=aa029.
- คันสนีย์ แสนศิริพันธ์ : การพัฒนาเครื่องอบแห้งสตรอเบอรี่ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และความร้อนทิ้งจากคอนเดนเซอร์. อ้างเมื่อ 3 พฤศจิกายน 2552. สืบค้นจาก URL: <http://www.eppo.go.th/encon/abstract/071-Abs-KMUTT-Sansani.doc>.
- ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร : เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. อ้างเมื่อ 28 เมษายน 2551. สืบค้นจาก URL: http://www.eeit.or.th/articles/sun_stove/stove.html.
- สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ : การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร. 338 หน้า, 2540.
- สุพร พรานนท์สถิตย์ และसानนท์ ณะพรสุขสันต์ : เครื่องอบผลไม้ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. อ้างเมื่อ 10 ธันวาคม 2552. สืบค้นจาก URL: http://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research_id=wf172.
- อิลีหัยะ สนิโซ และคณะ : การพัฒนาเครื่องอบแห้งชั้นบางพลังงานความร้อนร่วม YRU-TLD#1(R&E). อ้างเมื่อ 4 มกราคม 2553. สืบค้นจาก URL: <http://e-learning.yru.ac.th/dbscience/index.php>.
- AOAC : Official methods of analysis (18th edition), Washington, D.C. : Association of official analytical chemists, 2005.
- Bala, B.K. : Drying and storage of cereal grains. Oxford & IBH Publishing. 302 p., 1997.
- Best, R., Cruz, J. M., Gutierrez, J. and Soto, W. : Experimental results of a solar assisted heat pump rice drying system. WREC : 690-694, 1996.
- Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W. and Hall, C.W. : Drying cereal grains (3rd edition). Westport, Connecticut : The AVI publishing company, Inc., 1981.
- George, S., Szrednicki, Ruili, H. and Robert, H. : Driscoll development of a control system for in-store drying of paddy in Northeast China. Journal of Food Engineering 77 : 368-377, 2006.
- Ibrahim, D. : Air-drying characteristics of tomatoes. Journal of Food Engineering 78 : 1291-1297, 2007.
- Janjai : Development of solar dryers for drying fruits in Thailand. [online, cited 2010 February 18]. Available from URL: <http://e-nett.sut.ac.th/download/AE/AE13.pdf>.
- Joseph, K. and David, R. : Investigation on the Thermal Performance of Glazed Solar Chimney Walls Under hot humid Climate of Bangkok. [online, cited 2010 February 19]. Available from URL: <http://www.r-cit.com/technical/.pdf>.

- Kamil, S. : Effect of drying method on thin-layer drying characteristic of hull-less seed pumkin. [online, cited 2010 February 18]. Available from URL: <http://www.elsevier.com/locate>.
- Sami, K., Abdelhamid, F., Abdelhamid, F. and Ali, B. : Drying of red pepper in open sun and greenhouse conditions Mathematical modeling and experimental validation. *Journal of Food Engineering* 79 : 1094–1103, 2007.
- Venus, L. M. : The solar drying of vegetables by using steam as a power level of industry support. [online, cited 2010 February 19]. Available from URL: http://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research_id=ah005.
- Wathanyoo, R., Adisak, N., Warunee T. and Somchart, S. : Comparative study of fluidized bed paddy drying using hot air and superheated steam. *Journal of Food Engineering* 71 : 28–36, 2006.
- Waigoon, R. and Chairat, S. : Drying Characteristics of *Garcinia atroviridis*. *Walailak J. Sci & Tech* 3(1) : 13-32, 2006.





ตารางผนวกที่ 1 อุณหภูมิของเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม (7 เมษายน 2553 : 08.30-16.00 น.)

เวลา (min)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิในตู้อบแห้ง (°C)				อุณหภูมิแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (°C)						
		T ₁	T ₂	T ₃	$\bar{X} \pm S.D.$	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	$\bar{X} \pm S.D.$
0	32.0	31.5	31.0	31.0	31.2±0.3	32.0	31.0	32.0	32.5	31.0	31.0	31.6±0.7
30	37.0	47.0	42.0	39.0	42.7±4.0	57.5	67.0	48.0	69.5	68.0	50.0	60.0±9.5
60	37.5	46.0	46.5	43.5	45.3±1.6	59.5	72.0	52.5	68.5	74.0	54.5	63.5±9.2
90	38.0	49.0	48.5	46.5	48.0±1.3	63.0	79.0	57.5	68.7	79.0	58.5	67.2±9.7
120	41.5	55.3	51.5	49.5	52.1±2.9	63.8	86.0	62.0	71.0	83.5	62.8	71.5±10.8
150	44.5	59.2	57.5	54.7	57.1±2.3	66.0	91.8	65.5	78.0	91.5	68.0	76.8±12.4
180	45.2	58.0	57.0	59.8	58.3±1.4	64.8	92.0	69.1	76.8	86.5	71.0	66.7±10.6
210	43.5	56.0	54.0	60.0	56.7±3.1	64.2	89.0	73.2	66.8	90.0	75.8	63.0±10.9
240	44.0	62.9	61.0	67.0	63.6±3.1	62.0	92.0	81.0	69.8	94.0	85.5	80.7±12.6
270	44.0	58.8	57.5	61.0	59.1±1.8	56.0	79.0	75.0	65.0	84.5	79.5	73.1±10.7
300	46.0	59.8	57.0	57.5	58.1±1.5	55.5	85.0	78.5	62.0	86.5	81.5	74.8±12.9
330	46.0	60.5	59.0	56.5	58.7±2.0	57.0	81.0	80.0	64.0	83.0	82.5	74.6±11.2
360	44.0	58.5	58.5	53.5	56.8±2.9	51.5	72.0	75.0	58.5	74.0	80.0	68.5±11.0
390	41.8	54.7	51.2	48.9	51.6±2.9	49.0	64.0	69.0	55.0	64.0	73.2	62.4±8.9
420	40.2	50.0	49.0	49.2	49.4±0.5	50.0	61.5	65.9	53.8	61.0	70.9	60.5±7.7
450	39.5	47.0	47.0	46.5	46.8±0.3	45.5	49.0	54.5	40.2	50.8	56.5	49.4±6.0

ตารางผนวกที่ 2 อุณหภูมิของเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม (8 เมษายน 2553 : 08.30-16.00 น.)

เวลา (min)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิในตู้อบแห้ง (°C)				อุณหภูมิแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (°C)						
		T ₁	T ₂	T ₃	$\bar{X} \pm S.D.$	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	$\bar{X} \pm S.D.$
0	30.5	31.0	31.0	31.0	31.0±0.0	30.0	31.8	31.0	31.5	31.5	31.5	31.2±0.6
30	35.5	42.2	42.2	39.5	41.3±1.6	54.5	61.9	48.5	61.5	61.5	49.0	56.2±6.4
60	37.5	45.5	45.2	43.0	44.5±1.4	60.2	72.5	53.0	65.0	70.5	53.0	62.4±8.4
90	38.5	50.0	47.8	46.0	47.9±2.0	60.5	71.5	56.5	69.0	77.0	58.0	65.4±8.3
120	41.2	55	51.0	49.0	51.7±3.1	61.0	82.5	62.5	68.0	81.0	64.0	69.8±9.5
150	42.1	53.9	51.8	51.4	52.3±1.3	54.9	78.5	62.0	67.8	78.8	64.0	67.7±9.5
180	44.9	55.9	55.0	58.9	56.6±2.0	60.5	88.0	67.2	70.8	87.4	68.9	73.8±11.3
210	41.0	54.9	52.2	58.0	55.0±2.9	58.5	85.0	67.9	67.0	83.9	68.5	71.8±10.5
240	40.0	53.9	52.0	56.0	53.9±2.0	61.7	84.2	70.0	68.9	78.0	71.0	72.3±7.8
270	46.0	60.0	57.8	59.0	58.9±1.1	61.8	89.5	81.0	69.0	89.5	85.5	79.4±11.5
300	41.5	55.0	54.0	55.5	54.8±0.8	61.0	74.5	73.8	68.0	75.5	74.5	71.2±5.7
330	41.0	51.0	50.2	51.0	50.7±0.5	54.0	68.0	66.0	59.0	68.0	70.0	64.2±6.3
360	39.0	48.0	46.0	47.1	47.0±1.0	51.2	58.1	60.0	52.0	59.0	62.0	57.1±4.4
390	41.0	49.5	49.8	50.0	49.8±0.3	48.5	59.8	64.0	50.8	61.0	67.5	58.6±7.5
420	38.5	45.5	45.5	46.0	45.7±0.3	47.0	53.5	57.0	48.5	55.0	60.0	53.5±5.0
450	36.5	42.0	41.9	43.0	42.3±0.6	44.0	48.9	52.0	46.8	49.0	53.2	48.9±3.4

ตารางผนวกที่ 3 อุณหภูมิของเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม (9 เมษายน 2553 : 08.30-16.00 น.)

เวลา (min)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิในตู้อบแห้ง (°C)				อุณหภูมิแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (°C)						
		T ₁	T ₂	T ₃	$\bar{X} \pm S.D.$	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	$\bar{X} \pm S.D.$
0	30.0	31.0	31.0	31.0	31.0 ± 0.0	29.5	31.5	30.5	31.5	31.5	31.2	30.9 ± 0.8
30	34.0	44.8	43.0	39.0	42.3 ± 3.0	62.0	67.0	48.0	62.0	65.0	49.0	58.8 ± 8.2
60	40.5	47.0	47.0	43.0	45.7 ± 2.3	65.5	77.5	54.0	72.0	76.0	53.0	66.3 ± 10.8
90	40.5	52.0	49.0	47.0	49.3 ± 2.5	70.5	84.5	59.5	70.0	82.0	58.0	70.7 ± 11.0
120	43.8	57.0	51.5	49.5	52.7 ± 3.9	74.5	91.0	63.2	75.0	88.5	61.5	75.6 ± 12.3
150	46.0	60.5	59.0	55.0	58.2 ± 2.8	72.0	95.0	70.5	78.5	94.0	67.8	79.6 ± 12.0
180	41.5	53.5	53.5	55.5	54.2 ± 1.2	65.5	85.0	65.5	72.9	78.5	59.0	71.1 ± 9.6
210	38.5	47.5	46.2	48.0	47.3 ± 0.9	56.0	66.0	56.5	59.5	64.2	54.8	59.5 ± 4.6
240	40.5	46.5	45.5	45.0	45.7 ± 0.8	48.5	58.5	52.0	54.0	59.0	51.8	53.9 ± 4.1
270	39.0	46.5	46.0	47.0	46.5 ± 0.5	52.8	60.0	54.5	58.0	59.0	53.0	56.2 ± 3.2
300	42.2	57.0	57.2	59.0	57.7 ± 1.1	64.5	89.5	74.0	70.2	86.5	71.0	75.9 ± 9.9
330	39.0	50.8	48.0	50.0	49.6 ± 1.4	60.0	77.5	74.5	59.0	77.0	71.5	69.9 ± 8.4
360	38.0	49.0	46.5	48.8	48.1 ± 1.4	54.0	69.1	70.1	53.2	69.1	69.0	64.1 ± 8.1
390	37.5	46.8	47.0	49.0	47.6 ± 1.2	52.8	64.0	67.5	52.0	65.0	65.5	61.1 ± 6.9
420	34.2	39.5	39.9	41.0	40.1 ± 0.8	45.0	48.5	50.0	45.8	49.0	50.2	48.1 ± 2.2
450	35.0	40.2	40.2	41.5	40.6 ± 0.8	44.0	48.2	50.0	45.0	49.0	50.0	47.7 ± 2.6

ตารางผนวกที่ 4 การอบแห้งกล้วยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เวลา (min)	น้ำหนัก (g)	ความชื้น (% dry basis)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิในตู้อบแห้ง (°C)	อุณหภูมิแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (°C)
0	1500	303.30	31.0	31.0	30.7
30	1410	279.10	37.0	35.7	51.7
60	1340	260.28	36.5	37.5	55.6
90	1280	244.15	38.8	42.4	57.1
120	1220	228.01	40.5	44.4	57.5
150	1150	209.19	41.5	45.8	56.0
180	1090	193.06	42.0	48.0	57.0
210	1025	175.58	40.0	46.5	52.7
240	955	156.77	47.8	53.1	60.8
270	910	144.66	42.0	54.9	64.0
300	875	135.25	43.2	56.5	64.1
330	835	124.50	42.9	47.6	52.9
360	805	116.44	42.9	48.2	52.9
390	775	108.37	40.5	47.6	52.2
420	755	102.99	39.9	45.4	47.4

หมายเหตุ : ค่าอุณหภูมิเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ตำแหน่ง

ตารางผนวกที่ 5 การอบแห้งกล้วยด้วยลมร้อน

เวลา (min)	น้ำหนัก (g)	ความชื้น (% dry basis)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิในตู้อบแห้ง (°C)	อุณหภูมิแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (°C)
0	1500	215.45	28.0	28.83	28.50
30	1480	211.24	29.5	34.57	43.52
60	1435	201.78	29.5	37.07	43.53
90	1400	194.42	29.9	37.27	43.42
120	1355	184.95	31.9	38.10	44.07
150	1315	176.54	32.0	38.87	44.70
180	1265	166.03	32.5	40.03	45.48
210	1235	159.72	32.5	39.67	45.53
240	1190	150.25	33.0	40.57	46.63
270	1155	142.89	33.0	41.00	46.42
300	1125	136.59	33.0	40.83	45.52
330	1085	128.17	33.5	41.06	46.25
360	1065	123.97	33.2	41.83	46.45
390	1035	117.66	32.5	41.96	46.48
420	1005	111.35	32.5	41.46	45.83

หมายเหตุ : ค่าอุณหภูมิเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ตำแหน่ง

ตารางผนวกที่ 6 การอบแห้งกล้วยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมลมร้อน

เวลา (min)	น้ำหนัก (g)	ความชื้น (% dry basis)	อุณหภูมิแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิในตูอบแห้ง (°C)	อุณหภูมิแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (°C)
0	1500	229.33	30.0	30.03	29.50
30	1395	206.27	36.0	44.17	54.88
60	1350	196.39	38.5	44.0	56.27
90	1285	182.13	36.0	45.07	53.93
120	1225	168.95	35.9	43.20	51.98
150	1210	165.65	35.5	39.17	48.63
180	1125	146.99	37.2	48.60	56.80
210	1075	136.01	38.2	50.40	60.01
240	1035	127.23	38.9	50.50	58.90
270	995	118.45	37.0	49.73	57.25
300	955	109.67	40.9	54.40	62.65
330	910	99.79	38.0	48.60	53.45
360	885	94.30	35.5	45.80	51.08
390	855	87.71	34.5	45.63	50.49
420	825	81.13	34.2	44.07	48.92



ประวัติย่อผู้วิจัย



ชื่อ สกุล นายอีลีหียะ สนิโซ
ตำแหน่ง อาจารย์พนักงานมหาวิทยาลัย สาขาวิชาฟิสิกส์
ห้องทำงาน 216 ชั้น 2 อาคาร 9 ศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์
ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

หน่วยงานและสถานที่ติดต่อ

สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 133 ถ.เทศบาล 3 ต.สะเตง อ.เมือง จ.ยะลา 95000
โทรศัพท์ 0-7322-7148, โทรศัพท์เคลื่อนที่ 086-2960787
E-mail : saniso.e@hotmail.com, eleeyah.s@yru.ac.th

ประวัติการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จ
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549
การศึกษามหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์)	มหาวิทยาลัยทักษิณ	2547

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัย

-