



การพัฒนาคู่มือแห่งพลังงานแสงอาทิตย์แบบขั้นสำหรับการอบแห้งสับประรดห้วยมุ่น
ในจังหวัดอุดรดิตถ์



ปฏิพัทธ์ ถนอมพงษ์ชาติ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

ประจำปีงบประมาณ 2562

พ.ศ. 2562



การพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้นสำหรับการอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่น
ในจังหวัดอุดรดิตถ์



ปฏิพัทธ์ ถนอมพงษ์ชาติ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

ประจำปีงบประมาณ 2562

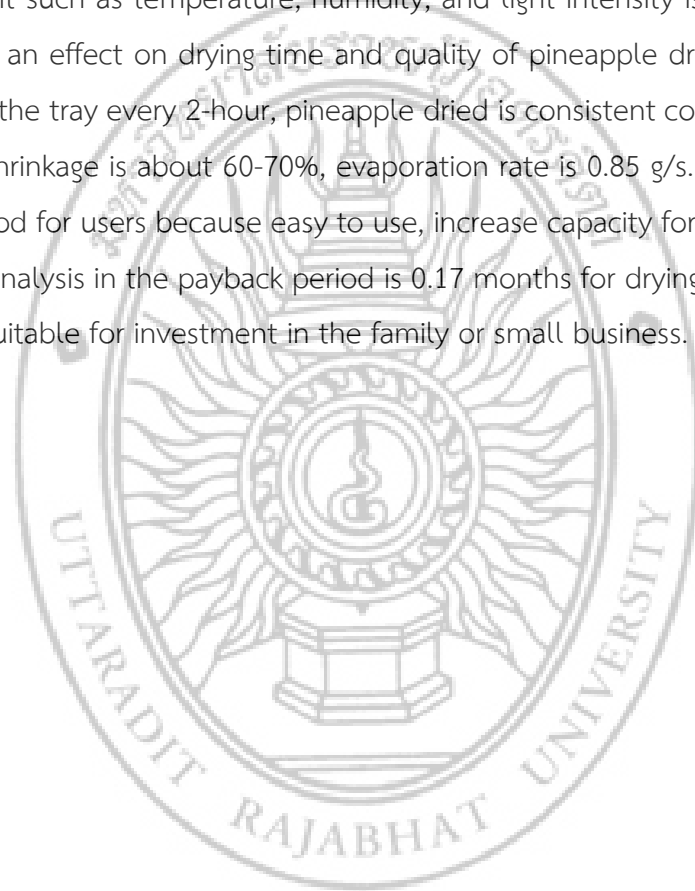
พ.ศ. 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้นสำหรับการอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่น ในจังหวัดอุดรดิตถ์ ซึ่งเป็นงานวิจัยเชิงทดลองและสำรวจจากการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบรั้งสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น สามารถนำมาใช้ในการอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่นได้ โดยเครื่องอบแห้งแบบรั้งสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้นถ้าจะให้มีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นและลดระยะเวลาในการอบแห้งได้จำเป็นต้องมีกาสลับถาดทุก 2 ชั่วโมง จึงจะทำให้สับปะรดแห้งเร็วและมีคุณภาพที่ดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศในวันที่ทำการทดลองด้วยว่ามีความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ ในด้านคุณภาพของสับปะรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้งหลังใช้เวลาในการอบแห้ง 1 วัน และมีการสลับถาดทุกๆ 2 ชั่วโมง พบว่ามีสีที่สม่ำเสมอ ไม่เข้มเกินและอ่อนเกินไป มีการหดตัวของเนื้อสับปะรดประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการระเหยน้ำ 0.85 กรัมต่อวินาที สำหรับการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้ใช้งานพบว่ามีความพึงพอใจมาก ถึงมากที่สุด เนื่องจากง่ายต่อการใช้งาน ผลิตรภัณฑ์มีคุณภาพไม่มีการปนเปื้อนของฝุ่นละออง สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้มากกว่าเดิมถึง 3 เท่า และเมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 0.17 เดือน ซึ่งมีความน่าลงทุนในการสร้างและใช้ในครัวเรือน วิสาหกิจชุมชน เป็นอย่างมาก

Abstract

The objectives of this Research is developing solar dryer in shell type for drying Huai Mun pineapple in Uttaradit Province. Research is experimental and explore. For results, the shell type solar dryer can increase performance and decrease drying time by switch the tray down levels to top-level every 2 hours. However, the environment such as temperature, humidity, and light intensity is important for solar dryer, have an effect on drying time and quality of pineapple dried. 1 day for drying and switch the tray every 2-hour, pineapple dried is consistent color no over dark and light. The shrinkage is about 60-70%, evaporation rate is 0.85 g/s. Satisfaction analysis are very good for users because easy to use, increase capacity for drying over 3 times. Economic analysis in the payback period is 0.17 months for drying 30 times. This solar dryer has suitable for investment in the family or small business.



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทดลองในครั้งนี้ รวมทั้งผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่าน ที่ช่วยอนุเคราะห์ในการตอบแบบสอบถาม และได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมต่างๆ มาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงในความกรุณาของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้จนงานวิจัยสำเร็จ

ปฎิพัทธ์ วัฒนอมพงษ์ชาติ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 นิยามคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์	5
2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง	6
2.3 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	9
2.4 การวิเคราะห์คุณภาพด้วยสี	12
2.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	19
3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	19
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	20
3.4 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย	20
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	23
3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	25
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 การทดลองการอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	27
4.2 การวิเคราะห์คุณภาพสับปะรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้ง	33
4.3 การวิเคราะห์แบบสองถาม	34
4.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	40
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 การทดลองการอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	41
5.2 การวิเคราะห์คุณภาพสับปะรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้ง	41
5.3 การวิเคราะห์แบบสอบถาม	42
5.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	43
5.5 อภิปรายผล	44
5.6 ข้อเสนอแนะ	44
บรรณานุกรม	45
ภาคผนวก	49
บทความวิจัย	52

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ลักษณะภายนอกและเนื้อภายในของสับประรดห้วยมุ่น	2
1.2	ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากสับประรด	2
1.3	ตู้อบแห้งที่ใช้อบสับประรด	3
2.1	ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลก	6
2.2	การเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างการอบแห้ง	7
2.3	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่ออบแห้งวัสดุภายใต้กระแสลมร้อน ที่อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมคงที่	8
2.4	แสดงลักษณะเครื่องอบแห้งแบบ active	11
2.5	ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้า	11
2.6	การบรรยายสีในระบบ CIE	13
2.7	ลักษณะเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรง	15
2.8	ลักษณะเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงของ Sharma และคณะ	15
2.9	ลักษณะโรงเรือนอบแห้งแบบเรือนกระจกของ Prakash และ Kumar	16
2.10	แสดงลักษณะของโรงเรือนอบแห้งแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก	16
2.11	ลักษณะโรงเรือนแบบเรือนกระจกในการอบแห้งสับประรดด้วยแสงอาทิตย์	17
2.12	เม็ตมะม่วงหิมพานต์ดิบและอบเกลือ อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์	18
3.1	เครื่อง Precision Colometer รุ่น NR110	21
3.2	เครื่องวิเคราะห์ความชื้น Kett FD-660	22
3.3	เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล	22
3.4	การบรรยายสีในระบบ CIE	24
4.1	ลักษณะเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น	28
4.2	ลักษณะภายในเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น	29
4.3	แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการทดลอง	29
4.4	แสดงการหั่นสับประรดและรูปร่าง	30
4.5	แสดงการจัดวางถาดสับประรดห้วยมุ่นในเครื่องอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้น	30

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงอื่น	12
3.1 ระดับความคิดเห็นและความหมาย	17
4.1 แสดงผลการทดลองอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น	31
4.2 แสดงการอบแห้งแบบสลับภาค	32
4.3 แสดงลักษณะสีของสับปะรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้ง	33
4.4 แสดงลักษณะสีของสับปะรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้งที่มีการหมุนสลับภาค	33
4.5 ตารางแสดงการหดตัวของสับปะรดหลังการอบแห้งแบบชั้นโดยมีการสลับภาค	34
4.6 แสดงข้อความแบบสอบถามและค่าความเที่ยงตรง (IOC)	35
4.7 แสดงข้อความแบบสอบถามและค่าความเที่ยงตรง (IOC) ปรับแก้	35
4.8 ความน่าเชื่อถือของแบบสอบถาม	36
4.9 ข้อมูลเพศของผู้ตอบแบบสอบถาม	36
4.10 ข้อมูลอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม	36
4.11 ตารางแสดงความถี่ของการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงในการอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่น	37
4.12 ตารางแสดงความถี่ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น	38
4.13 ตารางแสดงระดับความพึงพอใจเปรียบเทียบระหว่างเครื่องอบแห้งทั้ง 2 แบบ	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย

สับปะรดห้วยมุ่นเป็นผลไม้เศรษฐกิจของจังหวัดอุดรธานี รองจากทุเรียนหลง-หลินลับแล และเป็นผลไม้ชนิดเดียวที่กรมทรัพย์สินทางปัญญาได้ประกาศขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (GI) เนื่องจากปลูกบนภูเขา ปลอดภัย และผิวบาง ตาต้น สีเหมือนน้ำผึ้ง รับประทานแล้วไม่กัดลิ้นลักษณะแสดงดังรูปที่ 1.1 มีพื้นที่ปลูกตำบลห้วยมุ่น กว่า 28,000 ไร่ ซึ่งป้อนเข้าโรงงานร้อยละ 70 และ ร้อยละ 30 บริโภคผลสด สร้างรายได้กว่าปีละ 400 ล้านบาท ทำให้เกิดแรงจูงใจ ให้เกษตรกรจำนวนมากหันมาปลูกสับปะรดเพิ่มขึ้น แต่ในปีนี้มีปัญหาภัยแล้ง ส่งผลให้มีผลผลิตสับปะรดสูงขึ้น โดยมีปริมาณมากถึง 144,000 ตัน (สำนักงานเกษตรจังหวัดอุดรธานี, 2560) ประกอบกับผลผลิตออกสู่ตลาดพร้อมกัน และกระจุกตัว ในช่วงเดือน พฤษภาคม-กันยายน จึงทำให้ราคารับซื้อทั่วไปและราคารับซื้อหน้าโรงงานต่ำลง จึงก่อให้เกิดปัญหาราคาขายสับปะรดห้วยมุ่นตกต่ำ โดยในปี พ.ศ. 2560 ที่ผ่านมามีเกิดปัญหาผลผลิตราคาตกต่ำมากที่สุด ไม่มีพ่อค้ามารับซื้อ ทำให้ผลผลิตล้นตลาด ผลที่แก้จัดเริ่มเน่าคาต้น จนต้องตัดทิ้งเกิดความเสียหายอย่างมาก จากที่เคยขายได้กิโลกรัมละ 10-15 บาท เหลือเพียงกิโลกรัมละ 50 สตางค์ (ประชาชาติธุรกิจออนไลน์, 2560) ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาแก่เกษตรกรเป็นจำนวนมาก จากเหตุการณ์ดังกล่าว จึงมีกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดหันไปนำสับปะรดที่ไม่สามารถขายสดได้มาทำการแปรรูป เป็นผลิตภัณฑ์จากสับปะรดในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าและยืดระยะเวลาเก็บรักษาได้นาน เช่น สับปะรดกวน สับปะรดอบแห้ง สับปะรดแช่อิ่มตากแห้ง เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากที่สุดคือ สับปะรดอบแห้ง เนื่องจากมีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่ถูกใจกับผู้บริโภค จึงทำให้มีความต้องการสูง แต่กระบวนการผลิตสับปะรดอบแห้งต้องใช้พลังงานในกระบวนการผลิตโดยเฉพาะขั้นตอนการตากแห้ง เนื่องจากสับปะรดมีปริมาณน้ำในเนื้อค่อนข้างสูง จึงต้องใช้พลังงานในการไล่น้ำสูง ปกติกระบวนการอบแห้งจะใช้งานตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และแบบลมร้อนโดยใช้พลังงานจากก๊าซหุงต้มหรือไฟฟ้า แสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งพบว่ามีปัญหาในด้านการใช้งานมากเนื่องจากสามารถจุสับปะรดได้น้อยและไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน

จากข้อจำกัดด้านการใช้งานตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตู้อบแห้งลมร้อนสำหรับการอบแห้งสับปะรดที่เกิดขึ้นดังกล่าว ทำให้ทางทีมผู้วิจัยเห็นถึงปัญหาและหาวิธีการแก้ไข ดังนั้นโครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้สามารถเพิ่มความจุในการอบแห้งได้และศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ อีกทั้ง

โครงการนี้จะเป็นประโยชน์ต่อวงการบูรณาการการเรียนการสอนรายวิชา พลังงานและการแปรรูป พลังงานและช่วยเหลือเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดห้วยมุ่นในจังหวัดอุดรธานีให้สามารถพัฒนาและเติบโตได้อย่างยั่งยืนสืบต่อไป



รูปที่ 1.1 ลักษณะภายนอกและเนื้อภายในของสับปะรดห้วยมุ่น



ก) สับปะรดกวน

ข) สับปะรดแช่อิ่มตากแห้ง

ค) สับปะรดตากแห้ง

รูปที่ 1.2 ผลึกภัณฑ์แปรรูปจากสับปะรด



ก) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ข) ตู้อบแห้งลมร้อนพลังงานจากก๊าซหุงต้มหรือไฟฟ้า

รูปที่ 3 ตู้อบแห้งที่ใช้อบแห้งสับปะรด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงแบบถาดชั้นสำหรับการอบแห้งสับปะรดห่วยมุ่น

1.2.2 จุดประสงค์เฉพาะ

1.2.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยในการอบแห้งสับปะรดห่วยมุ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้น

1.2.2.2 เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งสับปะรดห่วยมุ่นพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้น

1.2.2.3 เพื่อหาระยะเวลาดำเนินการของเครื่องอบแห้ง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตด้านประชากร/กลุ่มเป้าหมาย/ผู้ให้ข้อมูลหลัก ประชากรที่ใช้วิจัยครั้งนี้เป็น ผู้ที่เกี่ยวข้องในการผลิตและแปรรูปสับปะรดห่วยมุ่น จังหวัดอุตรดิตถ์

1.3.2 ขอบเขตของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เครื่องอบแห้งในการทดลองเป็นแบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบถาด ขนาดเหมาะสำหรับใช้ในครัวเรือนและอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

1.3.3 ขอบเขตด้านพื้นที่และระยะเวลาที่ทำการวิจัย ผู้ผลิตและแปรรูปสับปะรด ในจังหวัดอุตรดิตถ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลผลิต (Output)	ผลลัพธ์ (Outcome)	ผลกระทบ (Impact)
1. เครื่องอบแห้งสับปรดห้วยมุ่นพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้น 2. ความชื้นและเวลาในการอบแห้งสับปรดห้วยมุ่นด้วยเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์แบบชั้น	1. ประสิทธิภาพและแนวทางในการพัฒนาเครื่องอบแห้งสับปรดห้วยมุ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 2. ผู้ผลิตและแปรรูปสับปรดห้วยมุ่นสามารถเลือกใช้เครื่องอบแห้งได้อย่างเหมาะสมและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ 3. ประยุกต์ใช้ในรายวิชาพลังงานและการแปรรูปพลังงาน (7072501)	1. เพิ่มศักยภาพด้านการแปรรูปสับปรดห้วยมุ่น 2. เพิ่มมูลค่าสินค้าทางการเกษตรด้วยเทคโนโลยี

1.5 นิยามคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

1.5.1 พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) หมายถึง พลังงานของแสงและพลังงานของความร้อนที่แผ่รังสีมาจากดวงอาทิตย์

1.5.2 เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct Solar Drying) หมายถึง ตู้ที่ประกอบไปด้วยวัสดุที่โปร่งใส ความร้อนที่ใช้ออบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และอาศัยหลักการขยายตัวเอง อากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศขึ้น

1.5.3 โรงอบแห้งแบบเรือนกระจก (Green House Solar Drying Dome) หมายถึง โรงอบแห้งที่ได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านพลาสติกหรือกระจกในเข้าไปภายใน และถูกผลิตภัณฑ์ โดยภายในโรงเรือนจะดูดกลืนรังสีแล้วเปลี่ยนเป็นความร้อน โดยโรงอบจะแผ่รังสีอินฟราเรดออกมาแต่ไม่สามารถผ่านออกมาภายนอกได้ ทำให้อุณหภูมิภายในโรงอบสูงขึ้นและถ่ายเทความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้ง (สำนักงานพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้นสำหรับการอบแห้ง สับปะรดห้วยมุ่น ในจังหวัดอุตรดิตถ์ในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

- 2.1 พลังงานแสงอาทิตย์
- 2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง
- 2.3 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
- 2.4 การวิเคราะห์คุณภาพด้วยสี
- 2.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

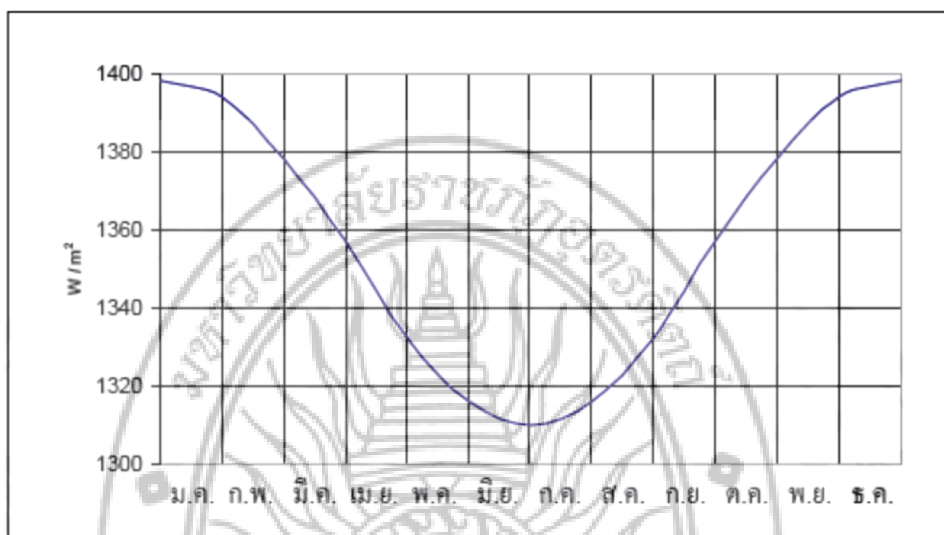
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นกลุ่มก้อนก๊าซรูปทรงกลมมีความหนาแน่นสูง โดยดวงอาทิตย์เปรียบเสมือนวัตถุดำที่มีอุณหภูมิประมาณ 5,500 องศาเซลเซียส ดวงอาทิตย์เกิดปฏิกิริยาฟิวชันอย่างต่อเนื่องทำให้อุณหภูมิภายในบริเวณศูนย์กลางของดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 7.99×10^6 ถึง 39.99×10^6 องศาเซลเซียส และมีความหนาแน่นประมาณ 100 เท่าของความหนาแน่นน้ำ พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากดวงอาทิตย์และแผ่ออกจากผิวสู่ชั้นบรรยากาศ เนื่องจากโลกไม่ได้โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงกลมระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์จึงเปลี่ยนแปลงไปตลอดปี โดยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งมายังโลกจึงแตกต่างกันแสดงในภาพที่ 2.1 โดยค่าคงที่พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบตั้งฉากบนพื้นที่หนึ่งหน่วยที่บรรยากาศนอกโลกต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบันมีค่า $1,353 \text{ W/m}^2$

บรรยากาศของโลกประกอบด้วยก๊าซชนิดต่างๆ ไอน้ำ ฝุ่นละออง ซึ่งเป็นฉนวนกันแสงอาทิตย์เข้ามายังพื้นโลก เมื่อแสงจากดวงอาทิตย์ส่องมากระทบผิวโลกจะถูกสะท้อนกลับสู่อวกาศ และส่วนหนึ่งสามารถผ่านเข้าชั้นบรรยากาศโลกได้แบ่งออกเป็น

แสงจากดวงอาทิตย์ (100%) \longrightarrow สะท้อนกลับ (6%)
ดูดซับโดยบรรยากาศ ไอน้ำ ฝุ่นละออง (14%)
กรณีมีเมฆ

- สะท้อนออก (30 - 60%)
- ดูดซับ (5 - 20%)
- ถึงพื้นโลก (0-45%)



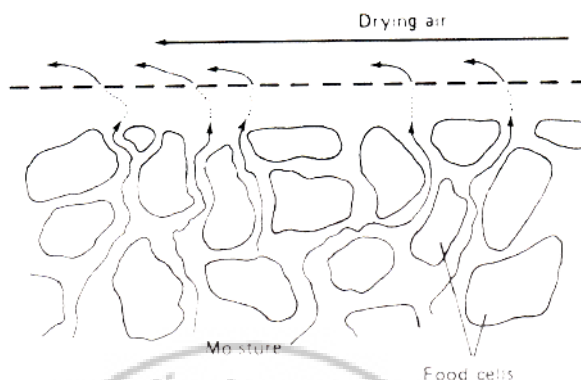
ภาพที่ 2.1 ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลก

ที่มา: Duffie and Beckman. 1980: 21

พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบบนผิวโลกแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ รังสีตรง รังสีกระจาย และรังสีรวม โดยค่ารังสีดังกล่าวสามารถวัดได้โดยใช้ ไพรานอมิเตอร์โดยปกติตัวรับรังสีจะวางทำมุมกับพื้นราบเพื่อให้ได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปีมากที่สุด มุมเอียงของระนาบที่เหมาะสมขึ้นกับองศาของเส้นละติจูดของสถานที่ติดตั้งและลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์ ถ้าต้องการพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปีสูงสุดให้ติดตั้งอุปกรณ์บนระนาบ ซึ่งเอียงทำมุมกับระนาบระดับเท่ากับเส้นละติจูดของกรุงเทพฯ ซึ่งเท่ากับ 13.5 องศา โดยแผ่นรับแสงอาทิตย์จะวางตัวในแนวที่สามารถรับแสงได้ตลอดทั้งวัน สำหรับประเทศไทยตั้งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร ให้หันแผ่นรับพลังงานแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ เพื่อจะได้รับปริมาณแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปีสูงสุด

2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง

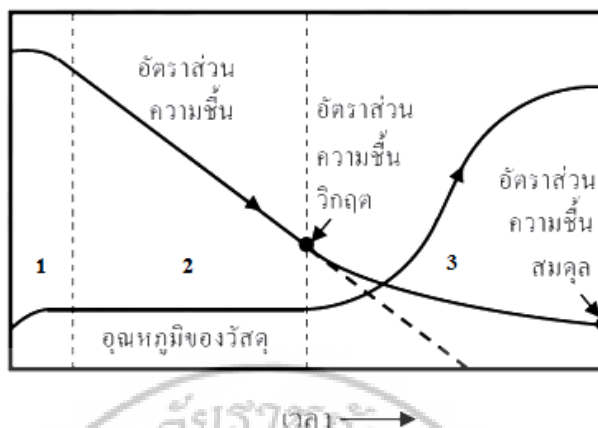
โดยทั่วไปการอบแห้งมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการนำความร้อนออกจากวัสดุ โดยความร้อนจะถ่ายเทจากกระแสอากาศไปยังผิววัสดุ ความร้อนจะถูกใช้ในการกระตุ้นให้เกิดการระเหยน้ำ ในขณะที่เดียวกันไอน้ำจะเคลื่อนจากบริเวณผิววัสดุมายังอากาศภายนอก ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างการอบแห้ง
ที่มา วิไล รังสาดทอง 2547: 276

อัตราการระเหยของน้ำหรืออัตราการอบแห้งของวัสดุจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศอบแห้ง โดยทั่วไปแล้วอัตราการอบแห้งจะคงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง แล้วอัตราการอบแห้งจะลดลงและเป็นศูนย์เมื่อความชื้นเข้าสู่สภาวะสมดุล ภาพที่ 2.3 แบ่งการอบแห้งเป็น 3 ช่วงใหญ่ๆ คือ

1. ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ ที่ผิวของวัสดุชื้น ความชื้นจะอยู่ในรูปของของเหลว ถ้านำวัสดุชิ้นนี้มาอบภายใต้สภาวะการอบแห้งคงที่ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของกระแสลมร้อน เป็นช่วงเวลาที่วัสดุใช้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ ดังช่วงที่
2. ช่วงการอบแห้งที่อัตราเร็วคงที่ ความร้อนที่ถ่ายเทจากอากาศมายังวัสดุชื้น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลชื้นขึ้นพร้อมกัน เมื่ออุณหภูมิของวัสดุเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อน ความร้อนทั้งหมดที่ได้รับจะถูกใช้ในการระเหยความชื้นในรูปของน้ำที่ผิววัสดุ ดังนั้นความเร็วในการระเหยจะมีค่าคงที่ โดยอัตราการอบแห้งคงที่จะสิ้นสุดลงเมื่อถึงอัตราส่วนความชื้นวิกฤต ดังช่วงที่ 2
3. ช่วงการอบแห้งที่อัตราเร็วลดลง เมื่อความชื้นในรูปของน้ำที่ผิววัสดุระเหยหมดไป การถ่ายเทความชื้นในรูปของน้ำจากส่วนในของวัสดุเกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของน้ำที่ผิววัสดุ ดังนั้นผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาพที่แห้งและอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้น สรุปแล้วความเร็วของการอบแห้งจะค่อยๆลดลง โดยอัตราการอบแห้งที่ความเร็วลดลงจะสิ้นสุดเมื่อถึงอัตราส่วนความชื้นสมดุล ดังช่วงที่ 3



ภาพที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่ออบแห้งวัสดุภายใต้กระแสลมร้อน ที่อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมคงที่
 ที่มา วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชย์กุล 2529

โดยทั่วไปปริมาณการอบแห้งวัสดุมักจะถูกใช้ในคำนิยามของอัตราส่วนของน้ำต่อมวลทั้งหมด โดยใช้มวลของวัสดุขึ้นเป็นมาตรฐานของการคำนวณความชื้น ดังนั้นจึงเป็นการสะดวกกว่าที่จะใช้มวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานในการคำนวณหาความชื้น โดยการหาปริมาณความชื้นจะบอกในรูปของเปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีวิธีบอกอยู่ 2 แบบ คือแบบมาตรฐานเปียก (Wet-basis) แบบมาตรฐานแห้ง (Dry-basis)

โดยที่มาตรฐานเปียก เขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$M_w = \frac{W - d}{W}$$

มาตรฐานแห้งเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$M_d = \frac{W - d}{d}$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, (เปอร์เซ็นต์)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, (เปอร์เซ็นต์)

W คือ มวลของวัสดุ, kg

d คือ มวลของวัสดุแห้ง, kg

อัตราการระเหยน้ำจากการอบแห้ง

เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ต้องระเหยแล้ว ขั้นตอนต่อมาต้องกำหนดระยะเวลาที่ต้องทำการอบแห้ง ซึ่งจะนำไปประเมินอัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุอบแห้ง คำนวณได้จากสมการ

$$\dot{m}_w = \frac{m_w}{t}$$

เมื่อ \dot{m}_w คือ อัตราการระเหยน้ำ, kg-water/h

m_w คือ น้ำหนักของน้ำที่ต้องระเหย, kg

t คือ เวลาที่ใช้การอบ, h

ประสิทธิภาพทางความร้อนของห้องอบแห้ง

$$\eta = \frac{mC_p \Delta T}{AW}$$

เมื่อ η = ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง

m = ปริมาณน้ำที่ระเหยออก, kg

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิ, °C

A = พื้นที่รับแสง, m²

W = ความเข้มแสงอาทิตย์, W/m²

2.3 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งพลังงานด้วยแสงอาทิตย์ มนุษย์รู้จักและเรียนรู้การตากแห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์มาเป็นเวลานานแล้วไม่ว่าเป็นการตากผลผลิตทางการเกษตร การตากเสื้อผ้าเป็นต้น แต่ส่วนใหญ่เป็นการตากแห้งแบบโดยตรง ซึ่งประสบปัญหามากมาย ทั้งความไม่แน่นอนของธรรมชาติ และบางครั้งยังอาจก่อให้เกิดความไม่สะอาดของผลผลิต หรือวัตถุดิบ เช่น ฝุ่นละออง แมลงวัน เชื้อโรคต่างๆ ดังนั้น การพยายามหาเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ เพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าว ก็ถูกพัฒนาขึ้น ในรูปของเครื่องอบแห้ง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่มนุษย์พยายามคิดค้น และพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งพืชผลทางการเกษตร และลดความเสียหายในการตากแห้ง โดยอาศัยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ เป็นหลัก ปัจจุบันเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับ

การพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งด้านรูปแบบ วิธีการ ทำให้สามารถแยกออกเป็นประเภทใหญ่ได้ 3 ลักษณะ คือ การอบแห้งแบบ Passive การอบแห้งแบบ Active และแบบ Hybrid (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2558)

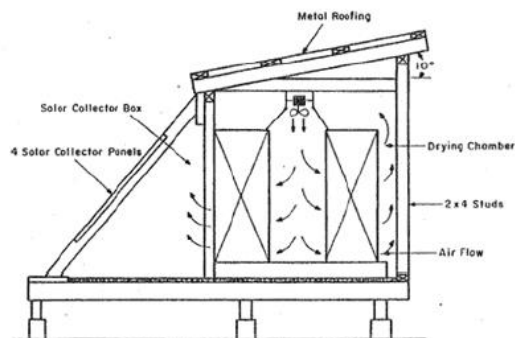
2.3.1 การอบแห้งแบบ (Passive)

เป็นระบบแบบไม่อาศัยระบบขับเคลื่อนอากาศ เช่น พัดลม มาช่วยในการหมุนเวียน กระแสอากาศร้อนที่ได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ อาศัยการเคลื่อนที่แบบธรรมชาติ เครื่องอบแห้งด้วยระบบนี้ ยังแบ่งย่อยได้อีก 4 ชนิด คือ เครื่องอบแห้งโดยธรรมชาติ เครื่องอบแห้งที่รับแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct Type) แบบใช้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Indirect Type) และแบบผสม (Mixed Mode Type) การอบแห้งระบบ Passive คือระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์และกระแสลมที่พัดผ่านได้แก่

1. เครื่องตากแห้งโดยธรรมชาติ เป็นการวางวัสดุไว้ที่กลางแจ้ง อาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์และกระแสลมในบรรยากาศในการระเหยความชื้นออกจากวัสดุ
2. ตู้อบแห้งแบบได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง วัสดุที่อบจะอยู่ในเครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วยวัสดุที่โปร่งใส ความร้อนที่โซบอบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และอาศัยหลักการขยายตัวเองอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้ง ทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศขึ้น
3. ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม เครื่องอบแห้งชนิดนี้วัสดุที่อยู่ภายในจะได้รับความร้อน 2 ทาง คือ ทางตรงจากดวงอาทิตย์และทางอ้อมจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้อากาศร้อนก่อนที่จะผ่านวัสดุอบแห้ง

2.3.2 การอบแห้งแบบ (Active)

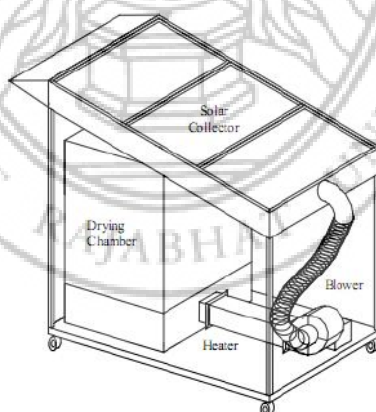
เป็นระบบหรือเครื่องอบแห้งที่มีเครื่องช่วยให้ อากาศเคลื่อนที่ หมุนเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น พัดลม โดยพัดลมจะทำหน้าที่ดูดอากาศจาก ภายนอกให้เคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์รับความร้อนจากดวงอาทิตย์และมีการถ่ายเทความร้อนไปยัง อากาศให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อลดความชื้นให้เหลือตาม ต้องการ โดยรูปแบบของเครื่องอบแห้งจะมีลักษณะคล้ายกับแบบ Passive เพียงแต่เพิ่มระบบ ขับเคลื่อนกระแสอากาศเข้าไปในเครื่องอบแห้ง แสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะเครื่องอบแห้งแบบ active
ที่มา กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2558

2.3.3 เครื่องอบแห้งแบบ (Hybrid)

เป็นเครื่องอบแห้งที่อาศัยพลังงานความร้อน จากดวงอาทิตย์ร่วมกับแหล่งความร้อนอื่น
ในกรณี ที่แสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอ หรือในบางฤดูที่มี ปริมาณแสงแดดน้อย เพื่อให้กระบวนการอบแห้ง
เป็นไปอย่างต่อเนื่อง หรือแม้แต่ต้องการเพิ่ม ประสิทธิภาพการอบแห้งให้สูงขึ้น หรือลดระยะเวลาใน
การอบแห้งลง พลังงานความร้อนที่มักใช้ ร่วมกับแสงอาทิตย์ คือ พลังงานไฟฟ้า พลังงานเหลือทิ้งจาก
แหล่งอื่น พลังงานความร้อนจากชีวมวล หรือแม้แต่แก๊สชีวภาพ แล้วแต่การประยุกต์ใช้งาน ดังแสดง
ในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้า
ที่มา จริญญาและคณะ 2557: 13

ข้อได้เปรียบของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงอื่น
สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

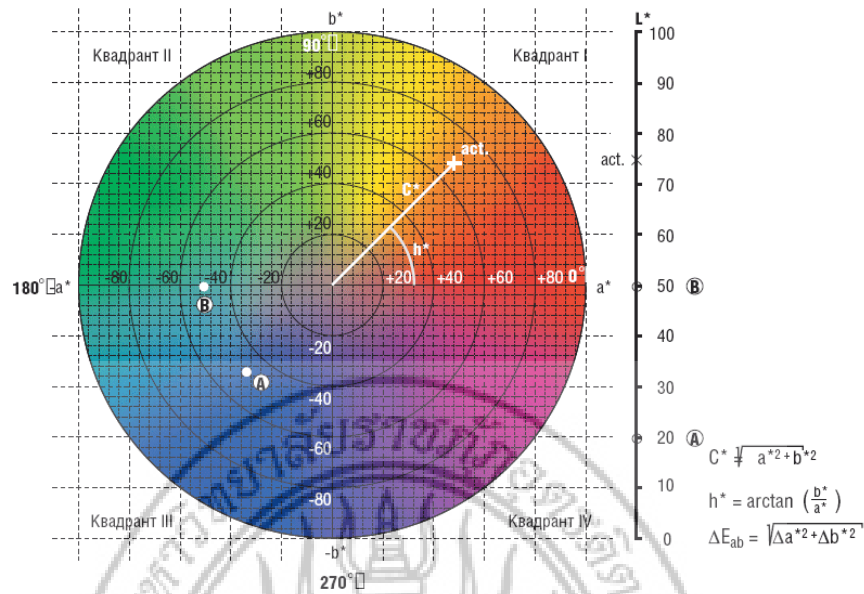
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงอื่น

รายการ	ความร้อนจากแสงอาทิตย์	เชื้อเพลิงน้ำมันเตา	ไฟฟ้า
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน	ไม่มี	ราคาถูก (แนวโน้มเพิ่มขึ้น)	ราคาแพง
เงินลงทุนเครื่องอบแห้ง	ราคาแพง	ราคาปานกลาง	ราคาต่ำ
ระยะเวลาในการคั่ว	ระยะเวลายาวแต่คุ้มค่า	ปานกลาง	ต่ำ
อายุการใช้งาน	ยาวนาน	ปานกลาง	ต่ำ
ค่าความร้อน/หน่วย	ต่ำ	สูง	ปานกลาง
ความสะดวกในการใช้งาน	ง่ายและสะดวก	ปานกลาง	สะดวก
พื้นที่ในการติดตั้ง	ใช้พื้นที่มากกว่าติดตั้งยาก	ปานกลาง	น้อย
การประหยัดพลังงาน	ไม่มีค่าใช้จ่าย	ปานกลาง	ไม่ประหยัด
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	ปานกลาง	น้อย

2.4 การวิเคราะห์คุณภาพด้วยสี

สีของอาหารเรานิยมบอกชื่อของสี เช่น สีแดง เหลือง เขียว เป็นต้นหรือเพิ่มเติมรายละเอียด เช่น อ่อน เข้ม จาง สด โดยวิธีดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้เป็นปัจจัยในการควบคุมคุณภาพของอาหารได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบค่าของสีที่เข้าใจตรงกันโดยไม่ได้รับอิทธิพลจากความรู้สึกนึกคิดส่วนบุคคล ระบบค่าสีที่ใช้เป็นมาตรฐานสากล และนิยมใช้บอกค่าสีของอาหาร คือ

จากหลักการพื้นฐานเรื่องสี จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อใช้วัดสีที่มีมาตรฐานและลดความไม่เป็นกลางเนื่องจากปัจจัยของแหล่งกำเนิดแสงและผู้สังเกตการณ์ องค์กรที่มีบทบาทในการกำหนดมาตรฐานสีคือ Commission International de l'Eclairage (CIE) มีสำนักงานใหญ่อยู่ที่ประเทศฝรั่งเศส องค์กรนี้ได้กำหนดมาตรฐานสีที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันคือ ระบบ $L^* a^* b^*$ ซึ่งเป็นระบบบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่างจากค่า $+L^*$ แสดงถึงแสงสีขาวไปจนถึง $-L^*$ ที่เป็นแสงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากสีเขียว $-a^*$ ไปจนถึงสีแดง $+a^*$ ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีน้ำเงิน $-b^*$ ไปเหลือง $+b^*$ ลักษณะการบรรยายสีของ CIE แสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 การบรรยายสีในระบบ CIE
 ที่มา จุฑารัตน์ บุญปัญญา 2553: 22

2.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์จะช่วยให้การตัดสินใจมีความน่าเชื่อถือมาก โดยพิจารณาหาระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน ของเครื่องอบแห้งแบบรับแสงอาทิตย์โดยตรงและแบบเรือนกระจก (ทริรักซ์: 2556,41)

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คือระยะเวลาที่ทำให้ได้เงินทุนคืนพอดี หรือระยะเวลาที่ทำให้รายรับมีค่าเท่ากับต้นทุนพอดี ซึ่งมีหน่วยเป็นช่วงเวลา และมักมีหน่วยเป็นปีจากสมการด้านล่าง

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{ต้นทุนผันแปร}}$$

โดยที่

ต้นทุนคงที่ หมายถึง ต้นทุนที่ไม่ขึ้นกับจำนวนหน่วยที่ผลิต

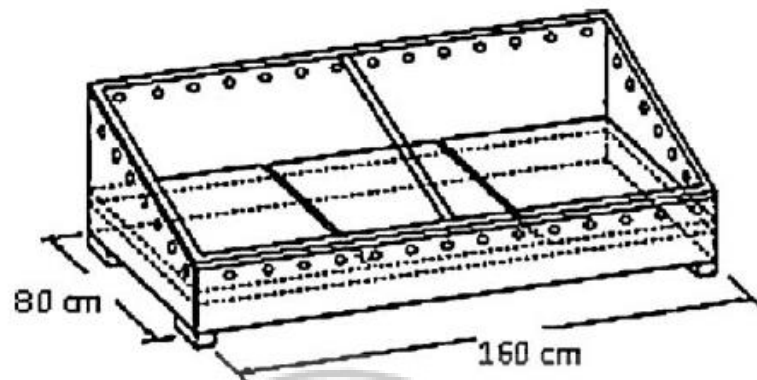
ต้นทุนผันแปร หมายถึง ต้นทุนที่ขึ้นอยู่กับจำนวนหน่วยที่ผลิต ดังนั้นถ้าผลิตมากก็จะเสียต้นทุนประเภนี้มาก ถ้าทำการผลิตน้อยจะเสียต้นทุนประเภนี้น้อย เช่นค่าแรงทางตรง ค่าวัตถุดิบ ค่าการตลาด เป็นต้น

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จารุวัฒน์ (2555: 110) ศึกษาเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีเครื่องอบแห้งด้วยอาทิตย์ในประเทศไทย พบว่า สามารถแบ่งตามวิธีการรับรังสีอาทิตย์ได้ 3 แบบ คือ รับรังสีอาทิตย์โดยตรง, โดยอ้อม และแบบผสม มีลักษณะการหมุนเวียนอากาศภายใน 2 ลักษณะ คือ หมุนเวียนตามธรรมชาติ (passive system) และ หมุนเวียนแบบบังคับ (active system) โดยปัจจัยหลักของการเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ คือ อุณหภูมิ, ความเร็ว และความชื้นของอากาศในระบบ รวมถึงการพัฒนาระบบให้มีความสม่ำเสมอ และเพิ่มระยะเวลาการอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ เป็นแนวทางที่ส่งเสริมให้รังสีอาทิตย์มีความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์มากขึ้น ตามลำดับ

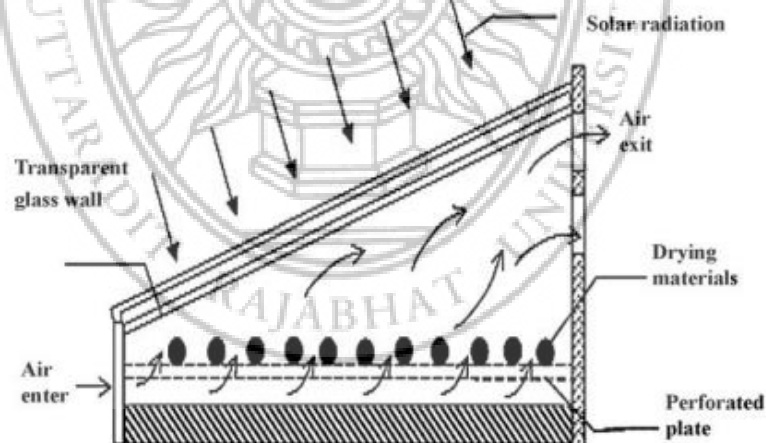
ณัฐพล (2547: 38) ศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้รางพาราโบลิคร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบบเปลี่ยนเฟส พบว่าประสิทธิภาพช่วงของรางรับรังสีพาราโบลิคจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวรับรังสีและเพิ่มอัตราการไหลของอากาศภายในตู้อบแห้ง พบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของถังกักเก็บพลังงานความร้อนในช่วงการประจุความร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.37 kW/C และในช่วงการดึงความร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.35 kW/C ในการคำนวณเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะกำหนดเงื่อนไขการอบแห้งดังต่อไปนี้ อุณหภูมิในการอบกล้วยคือ 55-60 °C ในช่วงเวลากลางวัน พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์อบแห้งสามารถละลายพาราฟอนในถังกักเก็บพลังงานความร้อนได้หมดพอดีและในช่วงเวลากลางคืนความร้อนจากพาราฟอนในถังเก็บกักความร้อนสามารถดึงมาใช้ได้หมดพอดี พบว่าขนาดของเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมคือขนาดถังเก็บกักพลังงานความร้อนขนาด 100 kg พื้นที่พาราโบลิค 2 x 2.31 m² จำนวน 2 ราง พื้นที่ช่องท่อในการแลกเปลี่ยนความร้อน 4 m² อัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสม 0.13 kg/s ทั้งนี้สามารถอบกล้วยได้ครั้งละ 45 kg จากการวิเคราะห์หารจุดคุ้มทุนสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 1.33 ปี

Fudholi et al. (2009: 1) ศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีอาทิตย์ โดยตรงพบว่าอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 80-85 องศาเซลเซียส และสามารถรับวัสดุที่จะอบแห้งต่อถาดไม้ประมาณ 20 กิโลกรัม โดยมีอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ประมาณ 45-50 องศาเซลเซียสในการอบแห้งข้าวสาลี โดยอุณหภูมิภายนอกอยู่ประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส ลักษณะของเครื่องอบแห้งแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ลักษณะเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรง
ที่มา: Fudholi et al. 2009: 1

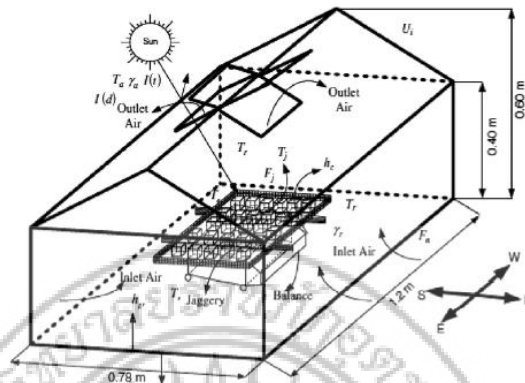
Sharma et.al (2009: 1185) ศึกษาเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยได้กล่าวว่าการเครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ โครงสร้างง่ายไม่ซับซ้อน สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย เหมาะกับการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรที่มีขนาดเล็ก เช่น ผลไม้ หรือ พืชผัก เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีอาทิตย์โดยตรงมีลักษณะดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ลักษณะเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงของ Sharma และคณะ
ที่มา: Sharma et.al 2009: 1185

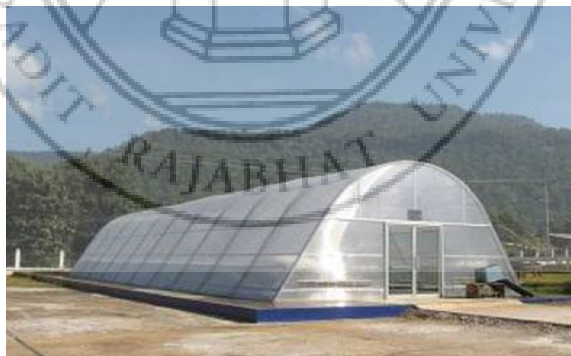
Prakash และ Kumar (2014: 905) ศึกษาโรงเรือนอบแห้งแบบเรือนกระจกเนื่องจากปัจจุบันได้รับความนิยมในการนำมาอบแห้งโดยโรงอบแห้งประเภทนี้จะอาศัยการเก็บความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ในวัสดุและสะท้อนความร้อนออกมาให้กับวัสดุที่ต้องการอบแห้งซึ่งมีลักษณะแสดงดัง

ภาพที่ 2.9 จากการศึกษาพบว่าโรงเรือนอบแห้งแบบเรือนกระจกเหมาะที่จะใช้ในการอบแห้งพืชที่มีความชื้นสูงๆ



ภาพที่ 2.9 ลักษณะโรงเรือนอบแห้งแบบเรือนกระจกของ Prakash และ Kumar
ที่มา: Prakash and Kymar. 2014: 905

JanJai และ Bala (2012: 16) ศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีการอบแห้งพบว่า สำหรับโรงเรือนอบแห้งแบบเรือนกระจกทรงที่เหมาะสมในการรับและสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้เหมาะสม และประหยัดต้นทุนในการก่อสร้างคือโรงเรือนรูปทรงพาราโบล่า และต้องติดตั้งพัดลมเพื่อใช้ในการระบายความชื้นออกจากโรงเรือน ซึ่งมีลักษณะแสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 แสดงลักษณะของโรงเรือนอบแห้งแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก
ที่มา: JanJai and Bala. 2012: 16

จรัญ และคณะ (2557: 28) ศึกษาการพัฒนาโรงอบแห้งสับปรดโดยใช้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ร่วม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอบทำให้กระบวนการอบสามารถทำได้อย่างต่อเนื่องทั้ง

กลางวัน และกลางคืน โดยทำการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่ม โดยจะจ่ายไฟฟ้าให้กับหลอดไฟในการให้ความร้อนในโรงอบแห้งแบบเรือนกระจก จากผลการตรวจสอบระยะเวลาในการอบแห้งพบว่า เวลาในการอบแห้งหลังการปรับปรุงเหลือ 36 ชั่วโมง และอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 70–80 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งสูงขึ้น นอกจากนี้ กระบวนการอบแห้งยังทำได้ต่อเนื่องทั้งในกลางวันและกลางคืน โดยลักษณะโรงเรือนอบแห้งที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 ลักษณะโรงเรือนแบบเรือนกระจกในการอบแห้งสับปะรดด้วยแสงอาทิตย์
ที่มา: จรรย์ และคณะ 2557: 28

จรรย์ และคณะ(2557) ศึกษาการพัฒนาโรงอบแห้งสับปะรดโดยใช้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ร่วม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอบทำให้กระบวนการอบสามารถทำได้อย่างต่อเนื่องทั้งกลางวัน และกลางคืน โดยทำการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่ม โดยจะจ่ายไฟฟ้าให้กับหลอดไฟในการให้ความร้อนในโรงอบแห้งแบบเรือนกระจก จากผลการตรวจสอบระยะเวลาในการอบแห้งพบว่าเวลาในการอบแห้งหลังการปรับปรุงเหลือ 36 ชั่วโมง และอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 70 – 80 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งสูงขึ้น นอกจากนี้กระบวนการอบแห้งยังทำได้ต่อเนื่องทั้งในกลางวันและกลางคืน โดยลักษณะโรงเรือนอบแห้งที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะโรงเรือนแบบเรือนกระจกในการอบแห้งสับปะรดด้วยแสงอาทิตย์
ที่มา: จรรย์ และคณะ (2557):67

มารีนา น้อยหมิม และคณะ (2536: 79) ศึกษาหาแนวทางการอบแห้งสับปะรดแช่ฮีม โดยทำการทดลองอบแห้งในตู้อบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งจากการเปรียบเทียบผลการทดลองและจากแบบจำลอง พบว่าอัตราการอบแห้งจากการคำนวณใกล้เคียงกับอัตราจากการทดลอง จากการหาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสม โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกับผลการทดลอง โดยพิจารณาจากคุณภาพ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงาน พบว่าสภาวะที่อบแห้งควรมีอุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศจำเพาะ 11 กิโลกรัม/อากาศแห้งต่อชั่วโมง กิโลกรัมสับปะรดแห้งและสัดส่วนการนำเอาอากาศที่ใช้ออบแห้งแล้วมาใช้ใหม่ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ

วันไชย คำเสน และคณะ (2560: 122) ได้ศึกษาแปรรูปสับปะรดแช่ฮีมอบแห้งด้วยรังสีแสงอาทิตย์ โดยมีกรด ๓ ส่วน คือ 1) พัฒนาระบบการแปรรูปสับปะรดแช่ฮีมอบแห้งและทดสอบการท ๓ แห่งโดยใช้ตู้อบลมร้อนและโรงเรือนอบแห้งด้วยรังสีแสงอาทิตย์ 2) ออกแบบและสร้างโรงเรือนอบแห้งด้วยรังสีแสงอาทิตย์ให้สามารถถอดประกอบได้ และใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตเป็นส่วนรับรังสีแสงอาทิตย์โดยระบบการทำงานของโรงเรือนอบแห้งด้วยรังสีแสงอาทิตย์มี 2 ระบบ คือ ระบบธรรมดา เป็นการอบแห้งสับปะรดแช่ฮีมจะใช้รังสีแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวในการอบแห้ง และระบบอัตโนมัติ เป็นการใช้รังสีแสงอาทิตย์และรังสีอินฟราเรดจากหลอดไฟฟ้าในการอบแห้งและ 3) ศึกษาต้นทุนการแปรรูปสับปะรดแช่ฮีมอบแห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อนและโรงเรือนอบแห้งด้วยรังสีแสงอาทิตย์ ผลการทดสอบการอบแห้งสับปะรดแช่ฮีมด้วยโรงเรือนอบแห้งด้วยรังสีแสงอาทิตย์ มีคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีด้านปริมาณความชื้นมีค่าที่ดีกว่า การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งความชื้นสุดท้ายของสับปะรดไม่เกินร้อยละ 10 ข้อจำกัดด้านการดำเนินงานคือ ปัญหาด้านแสงแดดและฤดูที่จะสามารถใช้เครื่องอบแห้งได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาคู่มือแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์แบบขึ้นสำหรับการ
อบแห้งสับปะรดห้วยมุ่น ในจังหวัดอุดรดิตถ์ เป็นการศึกษาเชิงทดลองซึ่งมีขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

- 3.1 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 3.2 กลุ่มตัวอย่างและประชากร
- 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.4 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือการวิจัย
- 3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล
- 3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อดำเนินการวิจัย มีดังนี้

1. ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่ใช้ใน
การอบแห้งสับปะรด
2. ศึกษาขั้นตอนการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ รูปแบบการทดลองและการ
วิเคราะห์ผลการทดลอง

3.2 กลุ่มตัวอย่างและประชากร

ในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดกลุ่มตัวอย่างการทดลองอบแห้งคือสับปะรดห้วยมุ่นเนื้อ 2
จากตำบลห้วยมุ่น อำเภอน้ำปาด จังหวัดอุดรดิตถ์ ทำการปลูกเปลือกหั่นเป็นชิ้น โดยมีความหนา
ประมาณ 1 เซนติเมตร วางเต็มถาดประมาณ ถาดละ 2 กิโลกรัม วางทั้งหมด 3 ชั้นเพื่อทำการ
วิเคราะห์ความแตกต่างของความชื้นต่อระยะเวลาการอบแห้ง

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องอบแห้งพลังแสงอาทิตย์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบการอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่น โดยแบ่งโครงสร้างของเครื่องมือวิจัยออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การทดลองอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่นด้วยพลังแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น ได้แก่

1. เครื่องอบแห้งแบบบั้งรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น
2. เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์
3. เครื่องวัดอุณหภูมิ
4. เครื่องวัดความชื้น

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์คุณภาพสับปะรดห้วยมุ่นหลังอบแห้ง ใช้วิธีการคัดกรองข้อมูลที่ได้มา สุ่มตัวอย่างวิเคราะห์หาคุณภาพด้วยเครื่องมือได้ดังนี้

1. เครื่องวิเคราะห์สี
2. เครื่องวิเคราะห์ความชื้น
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.4 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามลำดับขั้นตามเครื่องเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยโดยได้แบ่งรายละเอียดดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 การทดลองอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่นด้วยพลังแสงอาทิตย์แบบชั้น

1. เตรียมสับปะรดห้วยมุ่นเพื่อใช้ในการทดสอบ โดยอนุमानว่ามีความชื้นเริ่มต้นเท่ากัน เนื่องจากมาจากแหล่งวัตถุดิบเดียวกัน

2. แบ่งสับปะรดห้วยมุ่นหั่นตามขนาดที่ต้องการแล้วออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 2 ถาด ถาดละ 1 กิโลกรัม

3. นำถาดสับปะรดห้วยมุ่นที่หั่นเตรียมไว้แล้วเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบชั้น ชั้นละ 2 ถาด แบ่งเป็นชั้น บน กลาง และล่าง

4. ชั่งน้ำหนักทุกๆ 1 ชั่วโมง

5. เริ่มเก็บข้อมูลเวลา 8.00 น. และหยุดเก็บข้อมูลเวลาประมาณ 18.00 น. ของทุกวัน จนสับปะรดห้วยมุ่นมีความชื้นต่ำกว่า 10 %

6. ทำการทดลองใหม่โดยมีลำดับการทดลองเหมือนข้อ 1-5 แต่เพิ่มการสลับชั้นวางสับปะรดห้วยมุ่น ทุก 3 ชั่วโมง

7. การวางตู้อบแห้งในการทดลองวางเครื่องอบแห้งในแนวทิศเหนือ-ใต้เพื่อให้ได้รับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งสภาวะแวดล้อมจากภายนอกจะคล้ายกันซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อค่าที่ได้จากการทดลอง

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์คุณภาพของสับปะรดห้วยมุ่นหลังอบแห้ง

1. การวิเคราะห์สี ใช้เครื่อง Precision Colormeter รุ่น NR110: วิเคราะห์ค่าองค์ประกอบสีของสับปะรดห้วยมุ่นในรูปของค่า L^* a^* b^* ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 Precision Colormeter รุ่น NR110

2. เครื่องวิเคราะห์ความชื้น ใช้ในการตรวจวัดความชื้นของสับปะรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้เครื่องวิเคราะห์ความชื้น Kett รุ่น FD-660 ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น Kett FD-660

3. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล แสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ทำการเก็บวัดน้ำหนักและความชื้นสับปะรดห้วยมุ่นจากการทดลองอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่นจากเครื่องอบแห้งแบบรังสีแสงอาทิตย์แบบชั้น ทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00-18.00น.
2. ทำการเก็บวัด อุณหภูมิภายในและความชื้นอากาศในเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ชนิด และวัดความชื้นแสงอาทิตย์ ทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 8.00-18.00น.

3. ให้ผู้เชี่ยวชาญที่ทำงานประจำเป็นผู้แนะนำในการตรวจดูความชื้นของสับปะรดห้วยมุ่น และเก็บตัวอย่างที่อบแห้งแล้วไปทดสอบหาความชื้น และสี
4. ทำการจัดประชุมรายงานผลการอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่นจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบชื้น
5. วิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถาม และผลการทดลอง หาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พร้อมเขียนรายงานผลการวิจัย

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากการเก็บข้อมูลจากการทดลองได้ตามเป้าหมายแล้ว จะได้ข้อมูลจากการทดลอง (ตอนที่ 1) และข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพของสับปะรดห้วยมุ่น (ตอนที่ 2) โดยนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลในเชิงสถิติเพื่อหาค่าระดับทางสถิติและความสัมพันธ์ต่างๆ ของข้อมูล

3.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความชื้นของสับปะรดห้วยมุ่น

ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อ น้ำหนักวัสดุแห้ง ซึ่งคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ดังสมการ

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

ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อ น้ำหนักวัสดุ ซึ่งคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ดังสมการ

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

- โดยที่
- M_d คือ % ความชื้นมาตรฐานแห้ง
 - M_w คือ % ความชื้นมาตรฐานเปียก
 - w คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชิ้น (kg)
 - d คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง (kg)

อัตราการระเหยน้ำจากการอบแห้ง คือ อัตราส่วนของน้ำที่หายไปเทียบกับเวลา

$$\dot{m}_w = \frac{m_w}{t}$$

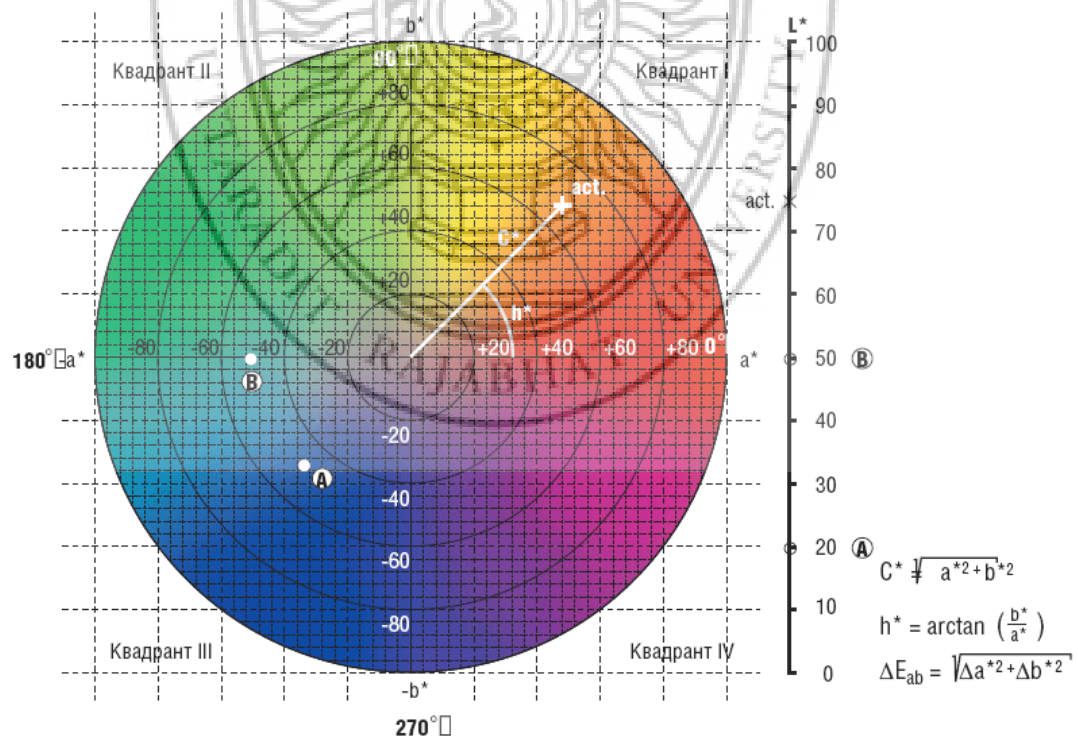
โดยที่ \dot{m}_w คือ อัตราการระเหยน้ำ (kg.water/h)

m_w คือ น้ำหนักน้ำที่ระเหย (kg)

T คือ เวลา (h)

3.6.2 การวิเคราะห์สีของสับปะรดห้วยมุ่นหลังอบแห้ง

ลักษณะการบรรยายสีของ CIE ระบบ $L^* a^* b^*$ ซึ่งเป็นระบบบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่างจากค่า $+L^*$ แสดงถึงแสงสีขาวไปจนถึง $-L^*$ ที่เป็นแสงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากสีเขียว $-a^*$ ไปจนถึงสีแดง $+a^*$ ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีน้ำเงิน $-b^*$ ไปเหลือง $+b^*$ ลักษณะการบรรยายสีของ CIE แสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 การบรรยายสีในระบบ CIE

ที่มา จุฑารัตน์ บุญปัญญา 2553: 22

3.6.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง ซึ่งสามารถคำนวณหาสมรรถนะของระบบอบแห้งได้จากพลังงานความร้อนที่ระเหยออกจากวัสดุทั้งหมดต่อปริมาณความร้อนอากาศอบแห้ง (ทเนจ และคณะ, 2558, ญัฐวุฒิ, 2549) ดังสมการ

$$\eta = \frac{mC_p\Delta T}{AW}$$

เมื่อ η = ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง
 m = ปริมาณน้ำที่ระเหยออก, kg
 ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิ, °C
 A = พื้นที่รับแสง, m²
 W = ความเข้มแสงอาทิตย์, W/m²

3.6.4 การวิเคราะห์ระยะเวลาการลงทุนของเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์ โดยตรงและแบบเรือนกระจก

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) เป็นตัวแปรชีวิตที่สำคัญในการลงทุนสร้างและใช้ ถ้าเครื่องอบแห้งมีระยะเวลาคืนทุนที่สั้น เครื่องอบแห้งนั้นยังมีความน่าใช้งานสูง โดยมีสมการการคำนวณดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{ต้นทุนผันแปร}}$$

โดยที่

ต้นทุนคงที่ หมายถึง ต้นทุนที่ไม่ขึ้นกับจำนวนหน่วยที่ผลิต

ต้นทุนผันแปร หมายถึง ต้นทุนที่ขึ้นอยู่กับจำนวนหน่วยที่ผลิต ดังนั้นถ้าผลิตมากก็จะเสียต้นทุนประเภทนี้มาก ถ้าทำการผลิตน้อยจะเสียต้นทุนประเภทนี้น้อย เช่นค่าแรงทางตรง ค่าวัตถุดิบ ค่าการตลาด เป็นต้น

3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล มีดังนี้

3.7.1 ค่าร้อยละ (Percentage)

$$\text{ค่าร้อยละ} = \frac{\text{ความถี่ของรายการนั้น} \times 100}{\text{ความถี่ทั้งหมด}}$$

3.7.2 ค่าเฉลี่ย (Average)

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

เมื่อ \bar{X} = ค่าเฉลี่ย
 $\sum X$ = ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
 n = จำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม

3.7.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: S.D.)

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{j=0}^N (x_j - \bar{x})^2}{N}}$$

โดยที่ \bar{x} = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล
 N = จำนวนข้อมูล x
 $S.D.$ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 x_i = ข้อมูล

สำหรับการบูรณาการในการเรียนการสอนรายวิชาพลังงานและการแปรรูปพลังงานและเทคโนโลยีพลังงานทดแทน จะสามารถนำนักศึกษาปี 3 สาขาวิศวกรรมการจัดการพลังงานมาศึกษาดูงานการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในด้านการอบแห้งได้ต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้นสำหรับการอบแห้งสับปรดห่วยมุ่น ในจังหวัดอุดรดิติถ์ เป็นการวิจัยเชิงทดลองและสำรวจ ซึ่งมีผลการวิจัยดังนี้

4.1 การทดลองการอบแห้งสับปรดห่วยมุ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การทดลองเป็นการทดสอบการอบแห้งสับปรดห่วยมุ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงแบบ ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 โดยเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น ทำจากเหล็ก และสังกะสี และใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตเป็นตัวรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งสามารถอบสับปรดห่วยมุ่นได้ประมาณครั้งละ 20 กิโลกรัม สามารถสร้างเองได้ง่าย ราคาถูก



ภาพที่ 4.1 ลักษณะเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น



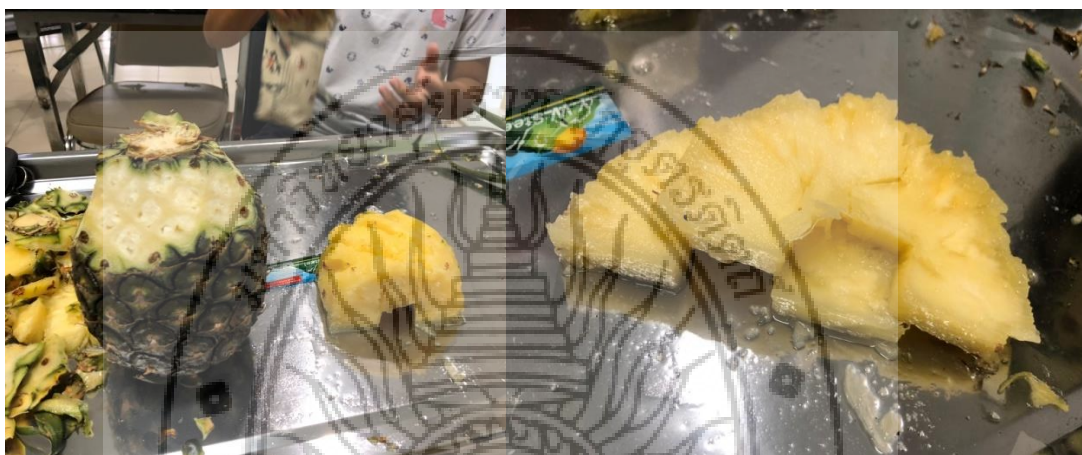
ภาพที่ 4.2 ลักษณะภายในเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น

ในการทดลองได้ติดตั้งเครื่องอบแห้งไว้ในบริเวณที่สามารถรับแสงแดดไว้ได้ทั้งวันไม่มีอะไรบังแสง และวางเครื่องอบแห้งในแนวเหนือ-ใต้ เพื่อให้รับแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน มีพื้นที่รับแสงอาทิตย์ 1.5 ตารางเมตร แสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการทดลอง

สำหรับตัวอย่างสับประรดห่วยมุ่นที่ใช้ในการอบแห้งเลือกใช้สับประรดห่วยมุ่นเนื้อ 2 ซึ่งจะมีลักษณะที่มีความเปรี้ยวอบหวาน และได้รับความนิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อเนื่องจากมีราคาถูก นำสับประรดห่วยมุ่นมาปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้น ๆ ครึ่งวงกลม ลักษณะดังภาพที่ 4.4 และทำการจัดวางใส่ถาดถาดละประมาณ 1 กิโลกรัม โดยวางในตู้อบแห้งชั้นละ 2 ถาด ใช้ทั้งหมด 6 ถาด 3 ชั้น แสดงดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.4 แสดงการหั่นสับประรด



ภาพที่ 4.5 แสดงการจัดวางถาดสับประรดห่วยมุ่นในเครื่องอบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้น

ทำการตรวจอุณหภูมิ ความชื้น ภายในห้องอบวัตน้ำหนักของสับประรดห่วยมุ่นทุก ๆ ชั่วโมงเพื่อนำมาหาการลดลงของความชื้นของสับประรดที่ลดลง โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยตรงแบบชั้น

เวลา	อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	ความเข้มแสง W/m ²	ความชื้น		
			ชั้นบน	ชั้นกลาง	ชั้นล่าง
วันที่ 1					
9:15	32.4	261.7	87.56	86.85	89.17
10:15	37.3	283.8	83.91	84.26	85.73
11:15	44.4	1050	77.27	78.67	79.40
12:15	50	904.8	68.96	70.92	71.33
13:15	53.2	818.7	58.13	60.57	60.99
14:15	53.7	766.5	47.16	48.32	48.97
15:15	57.1	406	40.95	41.50	42.67
16:15	42.5	222.8	37.48	38.10	39.20
17:15	38.5	250.6	36.24	36.11	37.42
วันที่ 2					
9:15	34.5	488.7	26.86	33.14	35.30
10:15	45.2	432	15.38	28.23	33.03
11:15	52.6	818	14.64	27.24	31.44
12:15	50.2	1090	14.20	26.12	28.98
13:15	55.1	818	14.18	23.73	26.38
14:15	56.7	872	13.82	21.78	24.38
15:15	55.3	560	13.56	19.73	22.56
16:15	43.7	453	13.43	18.56	20.99
17:15	40.6	368	13.38	17.62	19.82

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของการอบแห้งภายในเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้นมีค่าสูงสุดที่ 57.1 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 15.15 น. โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงสุดที่ 35.9 องศาเซลเซียส ความเข้มแสงมีค่า 406 W/m² ที่ จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าความชื้นของสับปะรดห้วยมุ่นที่ผ่านการอบแห้งชั้นบนสุดจะมีความชื้นต่ำกว่าชั้นกลางและชั้นล่าง โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 2 วัน จึงจะมีความชื้นอยู่ที่ 13.38 ในถาดบน 17.62 ในถาดกลาง และ 19.82 ในถาดล่างสุด ซึ่งความชื้นสับปะรดในถาดบนมีค่าน้อยเกินไปทำให้สับปะรดมีความแห้งและแข็ง

ไม่เหมาะสมต่อการรับประทุกันซึ่งความชื้นที่เหมาะสมต่อการอบแห้งอยู่ที่ประมาณ 20 % มีอัตราการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งอยู่ที่ 0.45 g/s และมีประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบชั้นคือ 2.42 %

ซึ่งจากการทดลองที่ 1 จึงได้ทำการทดลองอีกครั้งโดยมีการสลับถาดจากบนลงล่างและล่างขึ้นบนทุก ๆ 2 ชั่วโมง แสดงในตารางที่ 4.2 จะมีการสลับถาดทั้งหมด 4 ครั้ง โดยผลการทดลองที่ได้พบว่าความชื้นลดลงเร็วขึ้นกว่าเดิมและแต่ละชั้นมีความสม่ำเสมอของความชื้นที่ลดลงและใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 8 ชั่วโมง ที่จะทำให้ความชื้นของสับปะรดห้วยมุ่นลดลงอยู่ที่ประมาณ 20 % มีอัตราการระเหยน้ำ 0.85 g/s ซึ่งมากกว่าแบบไม่สลับถาดอยู่ 0.4 g/s และมีประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง 3.93 % มากกว่าแบบไม่สลับถาดอยู่ที่ 1.51 %

ตารางที่ 4.2 แสดงการอบแห้งแบบสลับถาด

เวลา	ความเข้มแสง W/m ²	ความชื้น					
		ถาดบน		ถาดกลาง		ถาดล่าง	
8:20	459.7	86.55	±1.80	86.84	±1.01	87.36	±2.20
9:20	831.9	67.80	±1.91	75.07	±4.86	83.18	±1.96
10:20	965	41.62	±4.15	64.58	±1.14	74.43	±2.03
11:20	1036.3	36.94	±4.49	52.38	±4.97	64.60	±0.57
12:20	1189.2	32.97	±0.69	48.35	±2.47	57.14	±1.89
13:20	1290.8	29.02	±1.15	40.88	±3.09	52.87	±1.79
14:20	861.3	27.46	±1.36	33.52	±0.27	46.00	±2.27
15:20	875.2	24.45	±1.34	28.77	±0.58	37.37	±0.89
16:20	741.2	21.87	±1.01	24.77	±0.48	26.93	±1.51
17:20	686.7	19.07	±0.98	20.67	±0.53	21.88	±0.11

สำหรับความเข้มแสงอาทิตย์ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการส่งผลต่ออุณหภูมิในเครื่องอบแห้ง โดยการทดลองการอบแห้งสับปะรดแบบสลับถาดมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดทั้งวันสูงกว่าวันที่ทำการอบแห้งอย่างเดียว อาจเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งลดลง แต่อย่างไรก็ตาม การหมุนวนขึ้นในการอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่นช่วยลดการเสียหายเนื่องจากการลดลงของความชื้นที่ลดลงมากเกินไปทำให้สับปะรดแข็ง มีสีและลักษณะที่ไม่น่ารับประทานได้ อีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งจาก 2 วันเหลือเพียง 1 วันได้ โดยสับปะรดที่ได้มีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือมีความชื้นไม่เกิน 20 %

4.2 การวิเคราะห์คุณภาพสัปดาห์ประรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้ง

4.2.1 การวิเคราะห์สีสัปดาห์ประรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้ง

การวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบสีของสัปดาห์ประรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้งใน ลักษณะการบรรยายสีของ CIE ระบบ $L^* a^* b^*$ ซึ่งเป็นระบบบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่างจากค่า $+L^*$ แสดงถึงแสงสีขาวไปจนถึง $-L^*$ ที่เป็นแสงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากสีเขียว $-a^*$ ไปจนถึงสีแดง $+a^*$ ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีน้ำเงิน $-b^*$ ไปเหลือง $+b^*$ ลักษณะสีของสัปดาห์ประรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้งแบบชั้นแสดงในตารางที่ 4.3 และมีการหมุนสลับภาคแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะสีของสัปดาห์ประรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้ง

	L^*		a^*		b^*	
ถาดบน	46.39	± 6.98	12.38	± 2.03	28.35	± 3.48
ถาดกลาง	38.95	± 7.39	8.58	± 2.21	19.27	± 3.12
ถาดล่าง	60.23	± 5.14	8.00	± 1.00	24.56	± 1.88

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะสีของสัปดาห์ประรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้งที่มีการหมุนสลับภาค

	L^*		a^*		b^*	
ถาดบน	45.57	± 4.13	9.30	± 1.10	25.38	± 2.68
ถาดกลาง	42.85	± 3.28	8.82	± 2.11	23.45	± 3.32
ถาดล่าง	50.64	± 2.18	9.68	± 1.02	28.12	± 2.68

จากตารางที่ 4.3 สัปดาห์ประรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้งจะมีลักษณะสีที่เข้มขึ้นออกสีเหลือง เข้มอมน้ำตาลในชั้นบนสุด โดยชั้นกลางและชั้นล่างมีความเข้มของสีลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจาก ถาดบนสุดมีการรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงกว่าถาดกลางและล่าง จึงทำให้สีของสัปดาห์ประรดเข้มที่สุด และเมื่อมีการทดลองแบบสลับภาคดังแสดงผลในตารางที่ 4.4 พบว่า สัปดาห์ประรดที่ได้หลังการอบแห้งมีสีที่ใกล้เคียงกันทุกภาคเนื่องจากการสลับให้มารับพลังงานแสงอาทิตย์โดยทั่วถึง โดยจะมีการสลับภาคทุก ๆ 2 ชั่วโมง ทั้งนี้ค่าแสดงความเข้มของสีของสัปดาห์ประรดแสดงในค่า $L^* a^* b^*$

4.2.2 การหัดตัวของสับประรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้ง

จากการทดลองการอบแห้งสับประรดที่ได้หลังการอบแห้งพบว่ามีการหัดตัวของสับประรดแบบสลับลาดเนื่องจากการลดลงของความชื้นที่สม่ำเสมอและมีสีใกล้เคียงกัน พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การหัดตัวประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ในทุก ๆ ถาด แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงการหัดตัวของสับประรดหลังการอบแห้งแบบชั้นโดยมีการสลับลาด

	เปอร์เซ็นต์การหัดตัว
ถาดบน	61.67 ±3.51
ถาดกลาง	60.67 ±2.51
ถาดล่าง	58.67 ±3.05

4.3 การวิเคราะห์แบบสอบถาม

4.3.1 การออกแบบสอบถาม

ในงานวิจัยนี้ได้การใช้แบบสอบถามในการสอบถามความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้น โดยได้กำหนดข้อคำถามในแบบสอบถาม 10 คำถาม และได้ผ่านการวิเคราะห์ตรวจสอบความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC) จากผู้ทรง 3 ท่าน ได้แก่อาจารย์ นักศึกษา และผู้ประกอบการ

ค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถามแสดงในตารางที่ 4.6 โดยข้อคำถามมีค่ามากกว่า 0.5 ถือว่ามีความเที่ยงตรงสามารถนำมาเป็นประเด็นคำถามได้

จากการตรวจสอบค่าความเที่ยงตรงของข้อคำถามพบว่า ข้อคำถามความสะดวกในการใช้งานเครื่องอบแห้ง ความเหมาะสมด้านค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้ง ความง่ายต่อการดูแลรักษาซ่อมบำรุงเครื่องอบแห้ง ผลกระทบต่อสุขภาพผู้ใช้งานเครื่องอบแห้งในระยะยาว และความเหมาะสมของระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจำเป็นที่จะต้องมีการปรับแก้หัวข้อคำถามใหม่โดยแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 แสดงข้อความแบบสอบถามและค่าความเที่ยงตรง (IOC)

ข้อความ	ค่าความเที่ยงตรง
1. ความสะดวกในการใช้งานเครื่องอบแห้ง	1
2. ความเหมาะสมของขนาดเครื่องอบแห้งต่อปริมาณสับปะรดที่ต้องการอบแห้ง	0.33
3. ความเหมาะสมด้านค่าใช้จ่ายเริ่มต้นในการสร้างเครื่องอบแห้ง	0.33
4. ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา	1
5. ความง่ายต่อการดูแลรักษาและซ่อมบำรุงเครื่องอบแห้ง	0.33
6. ความปลอดภัยในการดำเนินงานกับเครื่องอบแห้ง	1
7. ผลกระทบต่อสุขภาพผู้ใช้งานเครื่องอบแห้งในระยะยาว	0
8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง	0.33
9. ความเหมาะสมของระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	0.67
10. คุณภาพของสับปะรดอบแห้งที่ได้จากการอบแห้ง	1

ตารางที่ 4.7 แสดงข้อความแบบสอบถามและค่าความเที่ยงตรง (IOC) ปรับแก้

ข้อความ	ค่าความเที่ยงตรง
1. ความง่ายต่อการใช้งานเครื่องอบแห้ง	1
2. ความเหมาะสมของขนาดเครื่องอบแห้งต่อปริมาณสับปะรดที่ต้องการอบแห้ง	1
3. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นในการสร้างเครื่องอบแห้ง	0.67
4. ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา	1
5. การดูแลรักษาและซ่อมบำรุงเครื่องอบแห้ง	0.67
6. ความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องอบแห้ง	1
7. การเคลื่อนย้ายและนำไปใช้ในพื้นที่อื่น ๆ	0.67
8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง	0.67
9. ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสับปะรด	1
10. คุณภาพของสับปะรดที่ได้จากการอบแห้ง	1

การทดสอบค่าความน่าเชื่อถือของสเกลด้วยการหาค่าสถิติสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาช (Cronbach's Alpha) มีค่า 0.863 ดังตารางที่ 4.8 แสดงว่าแบบสอบถามมีความน่าเชื่อถือ (ค่า Alpha ที่ชี้ว่าสเกลน่าเชื่อถือควรมีค่ามากกว่า 0.7)

ตารางที่ 4.8 ความน่าเชื่อถือของแบบสอบถาม

Cronbach's Alpha	จำนวนแบบสอบถาม (ชุด)
0.863	30

4.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 30 คน พบว่าส่วนใหญ่การสำรวจในครั้งนี้เป็นเพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 83.0 และเพศชายคิดเป็นร้อยละ 17.0

จากตารางที่ 4.10 พบว่ากลุ่มตัวอย่างผู้ให้ข้อมูลช่วงอายุตั้งแต่ 41 ถึง 50 ปี มีมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 40 ของจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด และกลุ่มตัวอย่างที่มีช่วงอายุตั้งแต่ 20-30 ปีมีน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 13.33 ของจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลเพศของผู้ตอบแบบสอบถาม

เพศ	จำนวนแบบสอบถาม (ชุด)	ร้อยละ
ชาย	5	17
หญิง	25	83
รวม	30	100

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม

อายุ (ปี)	ความถี่	ร้อยละ
20-30	4	13.33
31-40	6	20.00
41-50	12	40.00
51 ปีขึ้นไป	8	26.67
รวม	30	100.0

4.3.3 การวิเคราะห์ข้อความที่มีผลต่อความพอใจในการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงและแบบชั้นในการอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่น

จากการสอบถามข้อความที่มีผลต่อความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องอบแห้งทั้งสองแบบพบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีโดยตรงมีการกระจายคะแนนความถี่ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้นแสดงในตารางที่ 4.12 สำหรับการเปรียบเทียบผลการประเมินระหว่างทั้ง 2 เครื่องอบแห้งแสดงในตารางที่ 4.13 โดยภาพรวมจากผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์แบบชั้นสูงกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงชั้นเดียว

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงความถี่ของการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง ในการอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่น

ข้อความถาม	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. ความง่ายต่อการใช้งานเครื่องอบแห้ง	16.67	56.67	26.67	0.00	0.00
2. ความเหมาะสมของขนาดเครื่องอบแห้งต่อปริมาณสับปะรดที่ต้องการอบแห้ง	10.00	10.00	80.00	0.00	0.00
3. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นในการสร้างเครื่องอบแห้ง	0.00	16.67	36.67	46.67	0.00
4. ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา	0.00	6.67	83.33	6.67	3.33
5. การดูแลรักษาและซ่อมบำรุงเครื่องอบแห้ง	0.00	16.67	73.33	6.67	3.33
6. ความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องอบแห้ง	0.00	33.33	63.33	3.33	0.00
7. การเคลื่อนย้ายและนำไปใช้ในพื้นที่อื่นๆ	0.00	56.67	23.33	16.67	3.33
8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง	0.00	6.67	26.67	63.33	6.67
9. ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสับปะรด	3.33	26.67	63.33	6.67	0.00
10.คุณภาพของสับปะรดที่ได้จากการอบแห้ง	0.00	23.33	76.67	0.00	0.00

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงความถี่ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น

ข้อความคำถาม	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. ความง่ายต่อการใช้งานเครื่องอบแห้ง	33.33	66.67	0.00	0.00	0.00
2. ความเหมาะสมของขนาดเครื่องอบแห้งต่อปริมาณ สับปะรดที่ต้องการอบแห้ง	43.33	50.00	6.67	0.00	0.00
3. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นในการสร้างเครื่องอบแห้ง	36.67	10.00	53.33	0.00	0.00
4. ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา	3.33	16.67	60.00	20.00	0.00
5. การดูแลรักษาและซ่อมบำรุงเครื่องอบแห้ง	0.00	26.67	50.00	23.33	0.00
6. ความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องอบแห้ง	26.67	46.67	23.33	3.33	0.00
7. การเคลื่อนย้ายและนำไปใช้ในพื้นที่ยื่นๆ	16.67	56.67	16.67	10.00	0.00
8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง	10.00	13.33	20.00	46.67	10.00
9. ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสับปะรด	50.00	36.67	13.33	0.00	0.00
10.คุณภาพของสับปะรดที่ได้จากการอบแห้ง	36.67	63.33	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงระดับความพึงพอใจเปรียบเทียบระหว่างเครื่องอบแห้งทั้ง 2 แบบ

ข้อความคำถาม	ระดับความพึงพอใจ	
	แบบรับรังสี แสงอาทิตย์ โดยตรง	แบบชั้น
1. ความง่ายต่อการใช้งานเครื่องอบแห้ง	มาก	มาก
2. ความเหมาะสมของขนาดเครื่องอบแห้งต่อปริมาณสับปะรดที่ ต้องการอบแห้ง	ปานกลาง	มาก
3. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นในการสร้างเครื่องอบแห้ง	น้อย	ปานกลาง
4. ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา	ปานกลาง	ปานกลาง
5. การดูแลรักษาและซ่อมบำรุงเครื่องอบแห้ง	ปานกลาง	ปานกลาง
6. ความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องอบแห้ง	มากที่สุด	มาก
7. การเคลื่อนย้ายและนำไปใช้ในพื้นที่ยื่นๆ	มาก	มาก
8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง	น้อย	น้อย
9. ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสับปะรด	ปานกลาง	มากที่สุด
10.คุณภาพของสับปะรดที่ได้จากการอบแห้ง	ปานกลาง	มาก

จากการทำแบบสอบถามสาเหตุที่ทำให้ระดับความพึงพอใจของเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้นมีความพึงพอใจสรุปเป็นข้อคำถามได้ดังนี้

1. ความง่ายต่อการใช้งานเครื่องอบแห้ง เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้นมีขนาดเล็กสามารถทำงานโดยง่ายไม่แตกต่างจากเครื่องเดิมที่มีอยู่เพียงชั้นเดียว
2. ความเหมาะสมของขนาดเครื่องอบแห้งต่อปริมาณสับปะรดที่ต้องการอบแห้งมีความเหมาะสมต่อการใช้งานในครัวเรือน และอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เช่น กลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้ และขนาดขนาดสามารถที่จะปรับเปลี่ยนตามปริมาณความต้องการอบแห้งในแต่ละกลุ่มธุรกิจ ชุมชน และครอบครัวได้
3. ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้นมีราคาสูงกว่าแบบชั้นเดียว ประมาณ 1,000-1,500 บาท โดยมีราคาในการก่อสร้างเริ่มต้นตั้งแต่ 3,000-5,000 บาทต่อเครื่อง
4. ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์ทำมาจากเหล็กและสังกะสีเป็นส่วนใหญ่จึงมีราคาถูกและเปลี่ยนจากกระจกเป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนตซึ่งมีความทนทานและไม่ก่อให้เกิดการแตกหรือเสียหายเนื่องจากการขนย้ายได้ง่าย
5. การดูแลรักษาและซ่อมบำรุงเครื่องอบแห้งในส่วนเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงไม่มีอุปกรณ์ซับซ้อนอีกทั้งยังมีขนาดเล็กสามารถเช็คทำความสะอาดได้ง่าย
6. ความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้นเป็นการทำงานที่ปรับปรุงจากเครื่องอบแห้งเดิมซึ่งแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ทำมาจากกระจกซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายจากการใช้งานง่ายกว่าแผ่นโพลีคาร์บอเนต จึงทำให้มีความปลอดภัยในการใช้งานมากกว่าเดิม
7. การเคลื่อนย้ายและนำไปใช้ในพื้นอื่นๆ เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น มีขนาดเล็กสามารถเคลื่อนย้ายไปในพื้นที่ต่างๆ ได้ ซึ่งไม่แตกต่างกับเครื่องอบแห้งแบบเดิม
8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรง มีขนาดเล็กสามารถย้ายไปวางได้ทุกๆ สถานที่ไม่จำเป็นต้องปรับสภาพผิวดิน เพื่อเทปูน และต้องตัดต้นไม้บริเวณใกล้เคียง
9. ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสับปะรด เนื่องจากอุณหภูมิในเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงสูงถึง 55-60 องศาเซลเซียส ทำให้เวลาในการอบแห้งสับปะรดแบบชั้นมีความจำเป็นต้องสลับชั้น จึงจะทำให้การอบแห้งได้อย่างทั่วถึง ซึ่งมีความยุ่งยากมากกว่าแบบเดิมแต่แลกกับได้ปริมาณในการอบแห้งที่มากกว่าถึง 3 เท่า และลดระยะเวลาจากเดิม 2 วัน เป็น 1 วัน

10. คุณภาพของสับปะรดที่ได้จากการอบแห้ง คุณภาพของสับปะรดที่ได้จากทั้งสองแบบ เครื่องอบแห้งมีความแตกต่างกันในด้านของสี และระยะเวลาในการอบแห้งซึ่งแบบชั้นเดียวใช้เวลาในการอบแห้ง 2 วันซึ่งอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนและเกิดเชื้อราได้ง่ายกว่าการตากแห้งเพียงวันเดียว อีกทั้งคุณสมบัติด้านความชื้นของการอบแห้งทั้ง 2 เครื่องไม่แตกต่างกัน และการหัดตัวที่ใกล้เคียงกัน

4.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เป็นการหาความคุ้มค่าในด้านการลงทุนโดยเปรียบเทียบงบประมาณในการลงทุนสร้างและราคาสับปะรดอบแห้งที่จำหน่าย โดยกำหนดพื้นที่หรือปริมาณสับปะรดที่ใช้อบแห้งมีปริมาณเท่ากัน

เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรง มีขนาดพื้นที่ 1.5 ตารางเมตร งบประมาณ 5,000 บาท อบได้ 7-8 กิโลกรัม ได้สับปะรดแห้งประมาณ 2.5 กิโลกรัม ต่อครั้ง คิดเป็นมูลค่าประมาณ 500 บาท

เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น มีขนาดพื้นที่ 1.5 ตารางเมตร งบประมาณ 5,000 บาทเท่ากัน อบได้ 21-28 กิโลกรัม ได้สับปะรดแห้งประมาณ 8.2 กิโลกรัม ต่อครั้ง คิดเป็นมูลค่าประมาณ 1,640 บาท

กำหนดราคาสับปะรดหลังอบแห้งแล้วราคาประมาณ 200 บาทต่อกิโลกรัม โดยมูลค่าสับปะรดที่ได้จากเครื่องอบแห้งทั้ง 2 แบบ แตกต่างกัน 1,140 ต่อครั้ง ราคากำไรนี้ได้หักลดค่าเชื้อเพลิง ค่าแรงต่างๆ อีก 40 % โดย เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงจะได้กำไร 300 บาทต่อการอบ 1 ครั้ง สามารถอบได้สูงสุด 15 ครั้งต่อเดือน เนื่องจากในการอบ 1 ครั้ง ใช้เวลาประมาณ 2 วัน คิดเป็น $300 \times 15 = 4,500$ บาทต่อเดือน สำหรับเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น สามารถอบแห้งได้มากที่สุด 30 ครั้งต่อเดือน คิดเป็น $984 \times 30 = 29,520$ บาทต่อเดือน

ดังนั้น

เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรง คือ $5,000/4,500 = 1.11$ เดือน

เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น มีระยะเวลาคืนทุนคือ $5,000/29,520 = 0.17$ เดือน

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้นมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และมีระยะเวลาคืนทุนคือ 0.17 เดือน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้นสำหรับการอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่น ในจังหวัดอุดรธานี ซึ่งเป็นงานวิจัยเชิงทดลองและสำรวจ

5.1 สรุปผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

จากการทดลองสับปะรดห้วยมุ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่ 8.00-17.00 ทุกๆ ชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิในเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงสูงสุดประมาณ 57.1 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15.15 น และ ความเข้มแสงมีค่า 406 W/m^2 ในขณะที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีค่าสูงสุดประมาณ 35.9 องศาเซลเซียส

การอบแห้งเพื่อลดความชื้นของสับปะรด โดยมีความชื้นเริ่มต้นหลังการลอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้นมีค่าประมาณ 88.56 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง โดยเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้นใช้เวลาในการอบแห้ง 2 วัน โดยไม่สลับถาด และเมื่อมีการสลับถาดทุกๆ 2 ชั่วโมง สามารถลดระยะเวลาเหลือเพียง 1 วัน และมีความสม่ำเสมอของสับปะรดที่ตากแห้ง ที่ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง มีอัตราการระเหยของน้ำ 0.85 กรัมต่อวินาที ซึ่งมีความมากกว่าแบบไม่สลับถาดอยู่ 0.4 กรัมต่อวินาที และมีประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งอยู่ที่ 3.93 % ซึ่งมากกว่าแบบไม่สลับถาด 1.51 %

5.2 การวิเคราะห์คุณภาพของสับปะรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้ง

5.2.1 การวิเคราะห์สีของสับปะรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้ง

สับปะรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้งจะมีลักษณะสีที่เข้มขึ้นออกสีเหลืองเข้มอมน้ำตาลในชั้นบนสุด โดยชั้นกลางและชั้นล่างมีความเข้มของสีลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากถาดบนสุดมีการรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงกว่าถาดกลางและล่าง จึงทำให้สีของสับปะรดเข้มที่สุด และเมื่อมีการทดลองแบบสลับถาดดังแสดงผลในตารางที่ 4.4 พบว่า สับปะรดที่ได้หลังการอบแห้งมีสีที่ใกล้เคียงกันทุกถาดเนื่องจากการสลับให้มารับพลังงานแสงอาทิตย์โดยทั่วถึง โดยจะมีการสลับถาดทุก ๆ 2 ชั่วโมง

5.2.2 การวิเคราะห์การหดตัวของสับปะรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้ง

จากการทดลองการอบแห้งสับปะรดที่ได้หลังการอบแห้งพบว่ามี การหดตัวของสับปะรดแบบสลับลาดเนื่องจากการลดลงของความชื้นที่สม่ำเสมอและมีสีใกล้เคียงกัน พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การหดตัวประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ในทุก ๆ ถาด

5.2.3 อัตราการระเหยน้ำจากการอบแห้ง

เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบไม่สลับลาด มีอัตราการระเหยน้ำ 0.45 g.water/s

เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบสลับลาด 0.85 g.water/s

พิจารณาจากกลุ่มตัวอย่างที่ทำการอบแห้งทั้งหมด 6 กิโลกรัม ในแต่ละการทดลอง

5.3 การวิเคราะห์แบบสอบถาม

5.3.1 การออกแบบสอบถาม

งานวิจัยนี้ได้ใช้แบบสอบถามในการสอบถามความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องอบแห้ง 2 แบบ ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบเดิมชั้นเดียวและ เครื่องอบแห้งแบบที่พัฒนาขึ้นมาใหม่มี 3 ชั้น โดยได้กำหนดข้อความคำถามทั้งหมด 10 ข้อคำถาม และผ่านการวิเคราะห์ตรวจสอบค่า IOC จากผู้เชี่ยวชาญจำนวนทั้งหมด 3 ท่านและมีค่าความเที่ยงของข้อคำถามไม่ต่ำกว่า 0.5 และได้มีการทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบสอบถามโดยการหาค่าสถิติแอลฟาของครอนบาช โดยใช้แบบสอบถามจำนวน 30 ชุด ได้ค่าแอลฟาของครอนบาช 0.863 ซึ่งมีความมากกว่า 0.7 มีความน่าเชื่อถือ

5.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของแบบสอบถาม

ผู้ตอบแบบสอบถามมีทั้งหมด 30 คน แบ่งออกเป็นเพศชาย 5 คน เพศหญิง 25 คน โดยอายุของผู้ที่ทำงานอยู่ในช่วง 41-50 ปี เป็นส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละ 40 เปอร์เซ็นต์

5.3.3 การวิเคราะห์ข้อคำถามที่มีผลต่อความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงและแบบเรือนกระจก ในการอบแห้งมะม่วงหิมพานต์

1. ความง่ายต่อการใช้งานเครื่องอบแห้ง เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้นมีขนาดเล็กสามารถทำงานโดยง่ายไม่แตกต่างจากเครื่องเดิมที่มีอยู่เพียงชั้นเดียว
2. ความเหมาะสมของขนาดเครื่องอบแห้งต่อปริมาณสับปะรดที่ต้องการอบแห้งมีความเหมาะสมต่อการใช้งานในครัวเรือน และอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เช่น กลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้ และขนาดขนาดสามารถที่จะปรับเปลี่ยนตามปริมาณความต้องการอบแห้งในแต่ละกลุ่มธุรกิจ ชุมชน และครอบครัวได้

3. ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้นมีราคาสูงกว่าแบบชั้นเดียว ประมาณ 1,000-1,500 บาท โดยมีราคาในการก่อสร้างเริ่มต้นตั้งแต่ 3,000-5,000 บาทต่อเครื่อง

4. ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์ทำมาจากเหล็กและสังกะสีเป็นส่วนใหญ่จึงมีราคาถูกและเปลี่ยนจากกระจกเป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนตซึ่งมีความทนทานและไม่ก่อให้เกิดการแตกหรือเสียหายเนื่องจากการขนย้ายได้ง่าย

5. การดูแลรักษาและซ่อมบำรุงเครื่องอบแห้งในส่วนเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงไม่มีอุปกรณ์ซับซ้อนอีกทั้งยังมีขนาดเล็กสามารถเช็คทำความสะอาดได้ง่าย

6. ความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้นเป็นการทำงานที่ปรับปรุงจากเครื่องอบแห้งเดิมซึ่งแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ทำมาจากกระจกซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายจากการใช้งานง่ายกว่าแผ่นโพลีคาร์บอเนต จึงทำให้มีความปลอดภัยในการใช้งานมากกว่าเดิม

7. การเคลื่อนย้ายและนำไปใช้ในพื้นที่ยื่นๆ เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น มีขนาดเล็กสามารถเคลื่อนย้ายไปในพื้นที่ต่างๆ ได้ ซึ่งไม่แตกต่างกับเครื่องอบแห้งแบบเดิม

8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรง มีขนาดเล็กสามารถย้ายไปวางได้ทุกๆ สถานที่ไม่จำเป็นต้องปรับสภาพผิวดิน เพื่อเทปูน และต้องตัดต้นไม้บริเวณใกล้เคียง

9. ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสับปะรด เนื่องจากอุณหภูมิในเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงสูงถึง 55-60 องศาเซลเซียส ทำให้เวลาในการอบแห้งสับปะรดแบบชั้นมีความจำเป็นต้องสลับชั้น จึงจะทำให้การอบแห้งได้อย่างทั่วถึง ซึ่งมีความยุ่งยากมากกว่าแบบเดิมแต่แลกกับได้ปริมาณในการอบแห้งที่มากกว่าถึง 3 เท่า และลดระยะเวลาจากเดิม 2 วัน เป็น 1 วัน คุณภาพของสับปะรดที่ได้จากการอบแห้ง คุณภาพของสับปะรดที่ได้จากทั้งสองแบบเครื่องอบแห้งมีความแตกต่างกันในด้านของสี และระยะเวลาในการอบแห้งซึ่งแบบชั้นเดียวใช้เวลาในการอบแห้ง 2 วันซึ่งอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนและเกิดเชื้อราได้ง่ายกว่าการตากแห้งเพียงวันเดียว อีกทั้งคุณสมบัติด้านความชื้นของการอบแห้งทั้ง 2 เครื่องไม่แตกต่างกัน และการหัดตัวที่ใกล้เคียงกัน

5.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น และมีการสลับถาดมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และมีระยะเวลาคืนทุนคือ 0.17 เดือนต่อการอบแห้งมากที่สุด 30 ครั้งต่อเดือน

5.5 อภิปรายผล

เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น สามารถนำมาใช้ในการอบแห้งสับปะรดห้วยมุ่นได้ โดยเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น ถ้าจะให้มีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นและลดระยะเวลาในการอบแห้งได้จำเป็นต้องมีกาสลับถาดทุก 2 ชั่วโมง จึงจะทำให้สับปะรดแห้งเร็วและมีคุณภาพที่ดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศในวันที่ทำการทดลองด้วยว่ามีความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ ในด้านคุณภาพของสับปะรดห้วยมุ่นหลังการอบแห้งหลังใช้เวลาในการอบแห้ง 1 วัน และมีการสลับถาดทุกๆ 2 ชั่วโมง พบว่ามีสีที่สม่ำเสมอ ไม่เข้มเกินไปและอ่อนเกินไป มีการหดตัวของเนื้อสับปะรดประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการระเหยน้ำ 0.85 กรัมต่อวินาที สำหรับการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้ใช้งานพบว่ามีความพึงพอใจมาก ถึงมากที่สุด เนื่องจากง่ายต่อการใช้งาน ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพไม่มีการปนเปื้อนของฝุ่นละออง สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้มากกว่าเดิมถึง 3 เท่า และเมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 0.17 เดือน ซึ่งมีความน่าลงทุนในการสร้างและใช้ในครัวเรือน วิสาหกิจชุมชน เป็นอย่างมาก

5.6 ข้อเสนอแนะ

5.6.1 ข้อเสนอแนะจากการทำวิจัย

(1) ตำแหน่งการวางเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จำเป็นต้องหันไปในทิศทางเหนือ-ใต้ เพื่อให้สามารถรับรังสีแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน โดยในงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงองศามุมรับรังสีแสงอาทิตย์ในแนวเหนือ-ใต้ แล้ว

(2) การอบแห้งโดยทดลองใช้สับปะรดห้วยมุ่นน้ำ 2 จำนวน 6 กิโลกรัม อาจทำให้ไม่สามารถประเมินประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งได้เต็ม 100%

(3) ในช่วงเวลาที่ทำการทดลองอยู่ในช่วงต้นเดือน สิงหาคม ถึง กันยายน ซึ่งมีฝนและมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง ทั้งนี้ถ้าทำการทดลองในช่วงฤดูอื่น อาจมีการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการอบแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้

(4) การทำความสะอาดเครื่องอบแห้งโดยเฉพาะพื้นผิวที่ต้องรับแสงอาทิตย์ให้สะอาดมีความจำเป็นอย่างมากเพื่อให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบแห้งทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

5.6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

(1) การพัฒนาปรับปรุงเครื่องอบแห้งให้มีการระบายความชื้นที่เหมาะสมจะส่งผลต่อการรักษาอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งไม่ให้ต่ำจนเกินไปได้

(2) การพัฒนาวัสดุดูดซับความร้อนภายในห้องอบแห้ง



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม, [ออนไลน์]. (2558). “การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์”
แหล่งที่มา: <http://www.mnre.go.th> [วันที่เข้าถึง 25 พฤศจิกายน 2558]
- คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, “รายงานสถานการณ์พลังงานจังหวัดอุตรดิตถ์” โครงการ
บูรณาการแผนยุทธศาสตร์พลังงานระดับกลุ่มจังหวัดตามยุทธศาสตร์ประเทศ, กระทรวง
พลังงาน, แหล่งที่มา <http://www.thaienergydata.in.th>, วันสืบค้น 12 มีนาคม 2558.
- จรรย์ คนแรง, อัญชญา อุประภูถ, วิลาสินี ศรีสุวรรณ และวิภพ ใจแข็ง. 2557. “โครงการบูรณาการ
วิชาการแก่สังคมเพื่อพัฒนาการเรียนการสอน การวิจัยต่อบัณฑิตประรดอบแห้งโดยใช้
พลังงานแสงอาทิตย์ของชุมชนนางแลจังหวัดเชียงราย”, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.
33.
- จารุวัฒน์ เจริญจิต, (2555), “เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยรังสีแสงอาทิตย์และแนวทางการพัฒนา”,
วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 17(1), pp.110-124.
- จุฑารัตน์ บุญปัญญา. (2553) “อิทธิพลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนที่มีผลต่อ
จลนพลศาสตร์การอบกล้วยน้ำว้า”, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ณัฐพล รุ่งประแสง, (2547), “การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์
ร่วมกับระบบกักเก็บความร้อน”, กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้า
ธนบุรี. 38-47
- ณัฐวุฒิ ดุษฎี. (2546), “การอบแห้งผลิตภัณฑ์เกษตรกรด้วยพลังงานทดแทน”. มหาวิทยาลัยแม่โจ้,
เอกสารประกอบการสอน,
- ณัฐวุฒิ ดุษฎี, (2549), “พร.409 การอบแห้งผลิตภัณฑ์เกษตรด้วยพลังงานทดแทน”, เอกสาร
ประกอบการสอน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, (2547), “การอบแห้ง” หน่วยวิจัยระบบทางอุณหภาพ. สถาบันวิจัยและ
พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,
- ทเนจ นาคปนคำ, ทวีวัฒน์ สุภารส, สุจินต์ จิระชีวะนันท์, สุภาณี จอมคำสิงห์, ศุภชัย ปัญญาวิโร,
(2558). “การอบแห้งกุ้งด้วยพลังงานจากแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานความ
ร้อน”, การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยกรุงเทพ, แหล่งที่มา
<http://proceedings.bu.ac.th/index.php>, [วันสืบค้น 12 มีนาคม 2558].

- ประชาชาติธุรกิจออนไลน์, (2560), ชาวสวนเผาสับปะรดห้วยมุ่นประทัด หลังราคาตกเหลือโลละ 50 สต. วอน "บิ๊กตู" ช่วย, สืบค้นวันที่ 1 ตุลาคม 2560 จาก https://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1497866341.
- มารีนา น้อยหมิม สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และ บุชยา บุณนาค. (2536), แนวทางการอบแห้งสับปะรดแช่เย็นที่เหมาะสมที่สุด, วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย์.) 27, หน้า 79-90.
- วันไชย คาเสน, อานาจ ผัดวัง, ชูธง สัมมัตตะ, จิรพนธ์ ทาแกง, พงศกร สุรินทร์, สรายุทธ มาลัยพันธ์ุ, สุมิตรา สุป็นราช, ณีฎวาลินคณ เศรษฐปราโมทย์, ปิยะมาสฐ์ ตันท์เจริญรัตน์, ชณิชา จินาการ, ปัญญาพร ศรีชญาพันธ์ และวิชญ์ ช่างเนียม. (2560), การแปรรูปสับปะรดแช่เย็นอบแห้งด้วยรังสีแสงอาทิตย์, Naresuan University Journal: Science and Technology, (25)2, p 122-130.
- วิลาวลัย มีอินธา, (2553), “การพัฒนาเศรษฐกิจชุมชน:กรณีศึกษา อำเภอท่าปลาจังหวัดอุตรดิตถ์” โครงการวิจัย คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วิลัย รังสาดทอง, (2545). “เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร”. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้ารัตนครเหนือ
- วิวัฒน์ ตันตะพานิชย์กุล. (2529). “อุปกรณ์การอบแห้งในอุตสาหกรรม”, พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- หิรัรักษ์ ควรประดิษฐ์. (2556). “การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีแสงอาทิตย์แบบจางรวมรังสีในกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร”, บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สำนักงานเกษตรจังหวัดอุตรดิตถ์, (2560), ข้อมูลการปลูกพืชเศรษฐกิจจังหวัดอุตรดิตถ์ 2559/2560, สืบค้นวันที่ 1 ตุลาคม 2560 จาก <http://www.uttaradit.doae.go.th>.
- สำนักนโยบายและวางแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, (2557), “ส่องทิศทางการนโยบายความมั่นคงพลังงานไทย”, นโยบายพลังงาน, 104.
- สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, “การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์”. [ออนไลน์]. (2558). แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th>. [วันที่เข้าถึง 30 พฤศจิกายน 2558]
- Duffie, J.A. and W.A. Beckman, (1980), “Solar engineering of thermal processes”. John Wiley and Sons. New York,
- Funholi A., Sopian K., Ruslan M.H., Alghoul M.A. and Sulaiman M.Y., (2010), “Review of solar dryers for agricultural and marine products”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 1–30

- George, D., & Mallery, P. (2003). **SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference. 11.0 update** (4th ed.). Boston: Allyn & Bacon.
- Janjai S. and Bala B.K., (2012), “**Solar Drying Technology**”, Food Engineering Reviews, 4, 16-54.
- Prakash O. and Kumar A., (2014), “**Solar Greenhouse Drying: A Review**”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 29, 905–910.
- Sharma A., Chen C.R., Vu Lan N. (2009) “**Solar-energy drying systems**”, A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 1185–1210





ภาคผนวก

ตอนที่ 1 แบบสอบถามความพึงพอใจ

แบบสอบถามความพึงพอใจ การใช้งานเครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้น

เพศ ชาย หญิง

อายุ ต่ำกว่า 20 ปี 20 - 30 ปี 31 - 40 ปี 41 - 50 ปี 51 ปีขึ้นไป

คำชี้แจง จงกรอกข้อมูลต่อไปนี้ให้สมบูรณ์ และทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง “ระดับความพึงพอใจ”

ข้อความ	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบชั้นเดียว					
1. ความง่ายต่อการใช้งานเครื่องอบแห้ง					
2. ความเหมาะสมของขนาดเครื่องอบแห้งต่อปริมาณสับปะรดที่ต้องการอบแห้ง					
3. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นในการสร้างเครื่องอบแห้ง					
4. ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา					
5. การดูแลรักษาและซ่อมบำรุงเครื่องอบแห้ง					
6. ความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องอบแห้ง					
7. การเคลื่อนย้ายและนำไปใช้ในพื้นที่ยื่นๆ					
8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง					
9. ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสับปะรด					
10. คุณภาพของสับปะรดที่ได้จากการอบแห้ง					
เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงแบบหลายชั้น					
1. ความง่ายต่อการใช้งานเครื่องอบแห้ง					
2. ความเหมาะสมของขนาดเครื่องอบแห้งต่อปริมาณสับปะรดที่ต้องการอบแห้ง					
3. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นในการสร้างเครื่องอบแห้ง					
4. ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา					
5. การดูแลรักษาและซ่อมบำรุงเครื่องอบแห้ง					
6. ความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องอบแห้ง					
7. การเคลื่อนย้ายและนำไปใช้ในพื้นที่ยื่นๆ					
8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง					
9. ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสับปะรด					
10. คุณภาพของสับปะรดที่ได้จากการอบแห้ง					

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

