



รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ลูกหยีด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อน
ร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการพัฒนากลุ่มอุตสาหกรรม
ขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้

Development of Velvet Tamarind Drying Process by Combined
Infrared-Solar Dryer for SMEs in Three Southern Border Provinces

โดย นายชากี นิเซ็งและคณะ

มีนาคม พ.ศ. 2561

สัญญาเลขที่ RDG5950121

รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ลูกหยีด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อน
ร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรม
ขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้

Development of Velvet Tamarind Drying Process by Combined
Infrared-Solar Dryer for SMEs in Three Southern Border Provinces

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. นายซากิ นิเซ็ง	มหาวิทยาลัยฟาฏอนี
2. ผศ.ชูโฮมิน เจ๊ะมะลี	มหาวิทยาลัยฟาฏอนี

ชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม” ปีงบประมาณ 2559

สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย วช. - สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร

พื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้ ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยกระบวนการทำแห้งมักจะใช้การตากแดด ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์จากปลา กุ้ง ข้าวเกรียบ ลูกหยี และอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งด้วยวิธีนี้เป็นการใช้แหล่งพลังงานที่ใหญ่ที่สุดและถูกที่สุด แต่การอบแห้งด้วยวิธีนี้มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถทำได้หากสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่ค่อยคงที่หรือสม่ำเสมอ กล่าวคือ หากสภาพภูมิอากาศไม่เอื้ออำนวย เกษตรกรก็ไม่สามารถผลิตสินค้าได้ (สุทธิชัย, 2550) โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ จะมีสภาพอากาศที่มีปริมาณน้ำฝนมากเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวให้สามารถแปรรูปได้อย่างต่อเนื่องตลอดปีจึงนำวิธีการแผ่รังสีมาใช้ร่วม เพื่อเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้น การอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดเป็นการแผ่รังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดจากแหล่งพลังงานความร้อนมาตกกระทบบนผิวของวัสดุ แล้วรังสีเข้าไปในวัสดุทำให้พลังงานส่วนหนึ่งของการแผ่รังสีถูกวัสดุดูดกลืนเอาไว้ และทำให้โมเลกุลของวัสดุเกิดการสั่นสะเทือนแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนขึ้นในวัสดุ ดังนั้นน้ำที่อยู่ในโมเลกุลก็จะได้รับความร้อน และเกิดการแพร่ไปยังบริเวณผิวของวัสดุ ช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี (Tulasidas et al., 1995; Sharma et al., 2005; Varith et al., 2007; Kathiravan et al., 2008) เช่นเดียวกันกับ (Nowak and Lewicki ., 2004) ที่กล่าวไว้ว่า ประโยชน์ของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเป็นวิธีการที่สามารถอบแห้งด้วยระยะเวลาที่รวดเร็ว และง่ายต่อการควบคุมอุณหภูมิและได้ใช้แหล่งโลหะที่บรรจุสาร ไฮโดรเจน พาราฟินแว็กซ์ Paraffin Wax ที่มีสมบัติค่าคงที่ความร้อนแฝงสูงที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวสะสมความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งได้อีก 5-6 ชั่วโมงหลังจากที่ปริมาณแสงแดดได้ลดลงแล้วโครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมโดยศึกษากระบวนการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลเศรษฐศาสตร์และถ่ายทอดเทคโนโลยีต่อกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้การศึกษาหาสภาวะในการอบแห้งที่ดีที่สุดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดทดลองซึ่งมีการตรวจวัดคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการตรวจวัดทางกายภาพพบว่าสภาวะในการอบแห้งที่ดีที่สุดคือใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสภายในเวลาหนึ่งชั่วโมงโดยที่ได้ผลลูกหยีอบแห้งที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับการตากแดดของเกษตรกรทั่วไปแล้วจึงได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์โดยขยายขนาดเพื่อเป็นเครื่องต้นแบบและสามารถควบคุมปัจจัยในการอบแห้งโดยใช้สภาวะเดียวกันคือใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและสามารถประหยัดเวลาในการอบแห้งให้ลดลงมาเพียงแค่หนึ่งชั่วโมงต่อการผลิตลูกหยีอบแห้ง 6 กิโลกรัมผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของลูกหยีที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพบว่าคุณภาพด้านสีความกรอบกลิ่นความเปรี้ยวรสชาติเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมมี

ความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีคะแนนการยอมรับที่ใกล้เคียงกับการตากแดดของเกษตรกรทั่วไปตามที่ผู้ประกอบการต้องการการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของลูกหยีที่ผ่านการตากแดดและอบแห้งที่อุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียสพบว่า ค่าสีของเนื้อลูกหยีมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยที่เนื้อลูกหยีที่ผ่านการอบแห้งมีค่าความสว่างน้อยกว่าเนื้อลูกหยีสด คุณสมบัติค่าhardness (N) ของลูกหยีที่ผ่านการตากแดดและอบแห้งที่อุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียสพบว่า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกับการตากแดด และที่สภาวะอุณหภูมิที่ต่ำลงค่าจะลดลง เพราะผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงกว่า ซึ่งค่าสอดคล้องกับค่า a_w ที่สูง เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ระหว่างการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมและเครื่องอบแห้งลมร้อน พบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจะได้ค่าที่ต่ำกว่าเช่นค่าไฟฟ้าทั้งหมดkWh , เงินลงทุนในการสร้างประกอบเครื่องอบแห้งรายปี, มูลค่าซากรายปี, ค่าบำรุงรักษา, ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารายปี, ระยะเวลาคืนทุนและค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิตส่วนค่าจ้างแรงงานรายปีค่าต้นทุนวัตถุดิบรายปีและผลตอบแทนรายปีที่คิดเท่ากันและทำให้ผลกำไรสุทธิรายปีที่สูงกว่าโดยความต่างนี้จะมีมากขึ้น เพราะในการคำนวณจะใช้สมมุติฐานกรณีเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมใช้ความร้อนจากหลอดรังสีอินฟราเรดตลอดเวลาในการแปรรูป แต่ในความเป็นจริงจะขึ้นอยู่กับสภาวะภูมิอากาศที่เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจะไม่ทำงานตลอดการแปรรูปในวันที่มีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของสภาพอากาศที่สูง

บทคัดย่อภาษาไทย

การพัฒนากระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ลูกหยีด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้สารพาราฟินแว็กซ์เก็บความร้อนเพื่อพัฒนากลุ่มอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมโดยศึกษากระบวนการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลเศรษฐศาสตร์และถ่ายทอดเทคโนโลยีต่อกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้การศึกษาหาสภาวะในการอบแห้งที่ดีที่สุดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดทดลองซึ่งมีการตรวจวัดคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการตรวจวัดทางกายภาพพบว่าสภาวะในการอบแห้งที่ดีที่สุดคือใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสภายในเวลาหนึ่งชั่วโมงโดยที่ได้ผลลูกหยีอบแห้งที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับการตากแดดของเกษตรกรทั่วไปแล้วจึงได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์โดยขยายขนาดเพื่อเป็นเครื่องต้นแบบและสามารถควบคุมปัจจัยในการอบแห้งโดยใช้สภาวะเดียวกันคือใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและสามารถประหยัดเวลาในการอบแห้งให้ลดลงมาเพียงแค่นึ่งชั่วโมงต่อการผลิตลูกหยีอบแห้ง 6 กิโลกรัมผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของลูกหยีที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งโดยตัวแทนจากผู้ประกอบการทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ 9- point Hedonic scaleการอบด้วยตู้อบลมร้อนทั่วไป, การอบใช้พลังงานความร้อนจากอินฟราเรดร่วมแสงอาทิตย์, การใช้อินฟราเรดอย่างเดียวและการตากแดดพบว่าคุณภาพด้านสีความกรอบกลิ่นความเปรี้ยวรสชาติเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีคะแนนการยอมรับที่ใกล้เคียงกับการตากแดดของเกษตรกรทั่วไปตามที่ผู้ประกอบการต้องการการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของลูกหยีที่ผ่านการตากแดดและอบแห้งที่อุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าสีของเนื้อลูกหยีมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยที่เนื้อลูกหยีที่ผ่านการอบแห้งมีค่าความสว่างน้อยกว่าเนื้อลูกหยีสด คุณสมบัติค่า hardness (N) ของลูกหยีที่ผ่านการตากแดดและอบแห้งที่อุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียสพบว่า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกับการตากแดด และที่สภาวะอุณหภูมิที่ต่ำลงค่าจะลดลง เพราะผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงกว่า ซึ่งค่าสอดคล้องกับค่า a_w ที่สูง เมื่อเปรียบเทียบเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ระหว่างการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมและเครื่องอบแห้งลมร้อน พบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจะได้ค่าที่ต่ำกว่า เช่นค่าไฟฟ้าทั้งหมด kWh , เงินลงทุนในการสร้างประกอบเครื่องอบแห้งรายปี, มูลค่าซากรายปี, ค่าบำรุงรักษา, ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารายปี, ระยะเวลาคืนทุนและค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิตส่วนค่าจ้างแรงงานรายปี ค่าต้นทุนวัตถุดิบรายปีและผลตอบแทนรายปีที่คิดเท่ากันและทำให้ผลกำไรสุทธิรายปีที่สูงกว่าโดยความแตกต่างนี้จะมากยิ่งขึ้น เพราะในการคำนวณจะใช้สมมติฐานกรณีเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมใช้ความร้อนจากหลอดรังสีอินฟราเรดตลอดเวลาในการแปรรูป แต่ในความเป็นจริงจะขึ้นอยู่กับสภาวะภูมิอากาศที่

เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจะไม่ทำงานตลอดการแปรรูปในวันที่มีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของสภาพอากาศที่สูง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

Development of Velvet Tamarind drying process by combined infrared-solar dryer using paraffin wax as heat capacitor for small and medium enterprise in three southern border provinces, with objectives for develop combined infrared-solar dryer by finding optimum drying conditions, comparison of processing economy and technology transfer to small and medium enterprise in three southern border provinces. The optimum drying conditions of combined infrared-solar dryer had studied by experimental size dryer that can provide the quality of drying dried fruit quality similar to the conventional farmers drying, with sensory and physical measurements. The optimum drying conditions were 60 ° C and the drying time was one hour. Then developed combined infrared-solar dryer with scale up size for prototype and controllable of drying factors, by using same condition 60 ° C and the drying time was reduced to just one hour for 6 kilograms batch production. The 9-Point Hedonic Scale sensory evaluation of dried product from drying processing found that the qualities of color, crispness, odor, taste, texture and overall liking there was a significant different ($p \leq 0.05$) as combined infrared-solar dryer at 60 ° C which was similar to that of conventional farmers drying. Analysis of physical properties of conventional farmers drying and combined infrared-solar dryer at 45, 50, 55 and 60 ° C showed that the color was a significant different ($p \leq 0.05$) as dried fruit has less light than fresh fruit. Properties of hardness (N) of conventional farmers drying and combined infrared-solar dryer at 45, 50, 55 and 60 ° C showed that combined infrared-solar dryer at 60 ° C which was similar to that of conventional farmers drying and at lower temperatures, the value will decrease because of the product has a higher moisture content as correlated to the high value of a_w . The comparison analysis of engineering economy values found that the combined infrared-solar dryer has lower values, such as the total electricity kWh, annual investment in dryer, annual carcasses, maintenance costs, annual electricity costs, payback period and cost per unit of production. But annual wage, annual cost of raw materials and the annual return was same. This resulted in a higher net profit margin. This difference is even greater because of the calculation based on hypothesis that the combined infrared-solar dryer uses infrared radiation at all times in processing but in reality, it is depend on the climatic conditions, the

combined infrared-solar dryer will not work throughout the day on a sunny day and high temperatures.

สารบัญ

หัวข้อ		หน้า
บทสรุปผู้บริหาร		III
บทคัดย่อภาษาไทย		V
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		VII
สารบัญ		IX
สารบัญตาราง		XII
สารบัญภาพ		XIII
บทที่ 1	บทนำ	
1.1	ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	2
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	7
1.3	ขอบเขตของการวิจัย	8
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	8
1.5	กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัย	8
บทที่ 2	ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1	การแปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกหยี	10
2.2	ทฤษฎีการอบแห้ง	10
2.3	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	16
2.4	การอบแห้งโดยการแผ่รังสีอินฟราเรด	18
2.5	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง	19
2.6	การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง	20
2.7	น้ำในอาหาร	21
2.8	ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (วอเตอร์แอกทิวิตี)	22
2.9	คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุอบแห้ง	25
2.10	งานวิจัยการอบแห้งด้วยพลังงานร่วมกับรังสีอินฟราเรด	26
2.11	ข้อมูลเกี่ยวกับผลของรังสีอินฟราเรดต่อคุณสมบัติทางโภชนาการ	28

หัวข้อ		หน้า
และการประหยัดพลังงาน		
2.12	การประยุกต์ใช้ พาราฟินแว็กซ์ Paraffin Wax	29
2.13	การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมและการตัดสินใจ เกี่ยวกับการประดิษฐ์เครื่องมืออุปกรณ์ในกระบวนการการแปร รูปวัตถุดิบทางการเกษตรและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย		
3.1	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งด้วยเครื่อง อบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรด ขนาดทดลอง	36
3.2	การศึกษาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม แสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดขนาดต้นแบบ	36
3.3	สร้างเครื่องอบแห้งที่มีขนาดจริงโดยทำการทดลองจนสามารถ ควบคุมการแปรรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และคำนวณกำลัง การผลิตของเครื่องเพื่อการสาธิตต่อเกษตรกร	37
3.4	การคำนวณพลังงานและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	38
3.5	แผนงานโครงการ	39
บทที่ 4 ผลการดำเนินการ		
4.1	การประชุมหารือความร่วมมือกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกหยีระดับ อุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดน ภาคใต้	41
4.2	ประดิษฐ์เครื่องอบแห้ง	43
4.3	ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งด้วยเครื่อง อบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรด	45
4.4	การปรับปรุงพัฒนาเครื่องอบแห้งเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การทำงานให้ได้กำลังการผลิตสูงสุด	50
4.5	การคำนวณพลังงานและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	54
4.6	การสาธิตและทดสอบใช้จากสถานประกอบการ และ การ	62

หัวข้อ		หน้า
ถ่ายทอดผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมายในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้		
บทที่ 5	บทสรุป	
	บทสรุป	70
บรรณานุกรม		
	บรรณานุกรม	72
ภาคผนวก (ประกอบด้วย)		
ก	รายละเอียดเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์	76
ข	วิธีการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์.	77
ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ		
	ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์กิจกรรมที่วางแผนไว้และ กิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ	79
ตารางเปรียบเทียบ Output ที่เสนอในข้อเสนอโครงการและได้จริง		
	ตารางเปรียบเทียบOutput ที่เสนอในข้อเสนอโครงการและได้จริง	81

สารบัญตาราง

	หัวข้อ	หน้า
บทที่ 1		
ตารางที่	1.1 สถิติปริมาณฝนณสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดนราธิวาสพ.ศ.2545 - 2557	3
ตารางที่	1.2 สถิติปริมาณฝนณสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดปัตตานีพ.ศ.2545 - 2557	3
ตารางที่	1.3 สถิติปริมาณฝนณสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดสงขลาพ.ศ.2545 - 2557	4
ตารางที่	1.4 สถิติความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเป็นร้อยละของประเทศไทยในช่วงฤดูกาลต่างๆ	5
ตารางที่	1.5 ตารางเปรียบเทียบโอกาสในการพัฒนาถ้ามีการแปรรูปโดยใช้เครื่องอบที่ใช้พลังงานความร้อนร่วม	6
บทที่ 2		
ตารางที่	2.1 ผลของรังสีอินฟราเรดต่อคุณภาพของอาหาร	29
บทที่ 3		
บทที่ 4		
ตารางที่	4.1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสลูกหยีที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีการต่างๆ	49
	การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของลูกหยีสดและลูกหยีที่ผ่านการ	50
ตารางที่	4.2 อบแห้ง	
ตารางที่	4.3 การสรุปเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการใช้เครื่องอบแห้งลมร้อน	61
	และเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมรังสีอินฟราเรดและพลังงาน	
	แสงอาทิตย์	
บทที่ 5		

สารบัญภาพ

	หัวข้อ	หน้า
บทที่ 1		
ภาพที่ 1.1	ภาพตัวอย่างเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนผสมและสามารถควบคุมสภาวะอากาศได้	2
ภาพที่ 1.2	ภาพแผนที่แสดงปริมาณน้ำฝนในภาคใต้ของประเทศ	5
บทที่ 2		
ภาพที่ 2.1	แสดงการถ่ายเทมวลและความร้อนในการอบแห้ง	11
ภาพที่ 2.2	แสดงการลดลงของความชื้นในการอบแห้งผลิตภัณฑ์เกษตรทั่วไป	12
ภาพที่ 2.3	แสดงอัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์เกษตรระหว่างการอบแห้ง	13
ภาพที่ 2.4	แสดงการสูญหายของรังสี	19
ภาพที่ 2.5	Sorption isotherm	24
ภาพที่ 2.6	ผลของวอเตอร์แอกติวิตีต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์เอนไซม์และเคมีในอาหาร	25
ภาพที่ 2.7	การกระจายของอุณหภูมิภายในและภายนอกเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แห้งพาราฟิน	30
บทที่ 3		
ภาพที่ 3.1	แบบของเครื่องอบแห้งต้นแบบ	37
บทที่ 4		
ภาพที่ 4.1	รูปภาพการลงพื้นที่พบผู้ประกอบการ	42
ภาพที่ 4.2	ภาพแสดงเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดขนาดทดลอง	43
ภาพที่ 4.3	ภาพเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากแสงแดดร่วมพลังงานรังสีอินฟราเรด	44
ภาพที่ 4.4	ภาพผลลูกหยีก่อนและหลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม	44
ภาพที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบต่อปริมาณความชื้นที่ลดลง	45
ภาพที่ 4.6	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในการอบแห้งลูกหยีด้วยการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดและการอบแห้งด้วยพลังงานจากรังสีอินฟราเรดอย่างเดียวที่อุณหภูมิ 60	46

	หัวข้อ	หน้า
	องศาเซลเซียส	
ภาพที่ 4.7	กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาและความชื้นของการอบแห้งระหว่างการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสกับการตากแห้งแบบเกษตรกรทั่วไป	47
ภาพที่ 4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในของเครื่องอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	48
ภาพที่ 4.9	วงจรควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ต่อพ่วงกับพัดลมระบายอากาศ	51
ภาพที่ 4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความชื้นแสงอาทิตย์กับอุณหภูมิภายนอกเครื่องอบแห้งที่เวลาการอบแห้งต่างๆ	52
ภาพที่ 4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกเครื่องอบแห้งกับอุณหภูมิภายในและภายนอกเครื่องอบแห้งที่เวลาการอบแห้งต่างๆ	53
ภาพที่ 4.12	ภาพกิจกรรมในการถ่ายทอดผลการวิจัยและการสาธิตการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงแดดกับรังสีอินฟราเรด	62
ภาพที่ 4.13	ภาพกิจกรรมการประสานกับองค์กรที่เกี่ยวข้องในพื้นที่พัฒนาให้เป็น“การวิจัยเชิงพื้นที่และชุมชน : ห่วงโซ่มูลค่าของลูกหยี”	63
ภาพที่ 4.14	ภาพกิจกรรมความร่วมมือกับคน.ยะรังในการพัฒนากระบวนการผลิตและเป็นแหล่งเรียนรู้ในพื้นที่โดยมีเครื่องกระเทาะเปลือกลูกหยีและเครื่องอบแห้งลูกหยีพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์	64
ภาพที่ 4.15	ภาพการเข้าร่วมกิจกรรมพัฒนาโจทย์วิจัยสกว. (ฝ่าย4 วิจัยชุมชนและสังคม) ร่วมกับมูลนิธิมันพัฒนา	65
ภาพที่ 4.16	Time line : การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกหยี	66
ภาพที่ 4.17	วงจรห่วงโซ่มูลค่าของลูกหยี	66
ภาพที่ 4.18	แสดงภาพบอระเพ็ดที่ผ่านการอบแห้งและการบดเก็บบรรจุใส่ในแคปซูล	67
ภาพที่ 4.19	ผลิตภัณฑ์ตะไคร้และข้าวอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม	68

บทที่ 5

บทที่ 1

บทนำ

1.1ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการวิจัยและพัฒนากระบวนการอบแห้งอย่างต่อเนื่องจนสามารถปรับสภาวะให้สามารถควบคุมให้มีการถ่ายโอนมวลได้ตามต้องการ ด้วยการอบแห้งที่มีระบบผสมไม่ว่าจะเป็น แสงแดด ลมร้อน ไมโครเวฟ อินฟราเรด ไอน้ำร้อนยิ่งยวด และควบคุมความดันอากาศ แต่เทคโนโลยีที่ต้องใช้ต้นทุนในการแปรรูปจึงไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวิสาหกิจชุมชนในระดับชาวบ้านได้



ภาพที่ 1.1 ภาพตัวอย่างเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนผสมและสามารถควบคุมสภาวะอากาศได้

จากการสำรวจในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้ ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยกระบวนการทำแห้งมักจะใช้การตากแดด ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์จากปลา กุ้ง ข้าวเกรียบ ลูกหยี และอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งด้วยวิธีการนี้เป็นการใช้แหล่งพลังงานที่ใหญ่ที่สุดและถูกที่สุด แต่การอบแห้งด้วยวิธีนี้มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถทำได้หากสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่ค่อยคงที่หรือสม่ำเสมอ กล่าวคือ หากสภาพภูมิอากาศไม่เอื้ออำนวย เกษตรกรก็ไม่สามารถผลิตสินค้าได้ (สุทธิชัย, 2550) โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ จะมีสภาพอากาศที่มีปริมาณน้ำฝนมากและมีความชื้นสูง ดังข้อมูลภาพที่ 1.2 และตารางที่ 1.1-1.4

ตารางที่ 1.1 สถิติปริมาณฝน ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดนราธิวาส พ.ศ.2545 - 2557

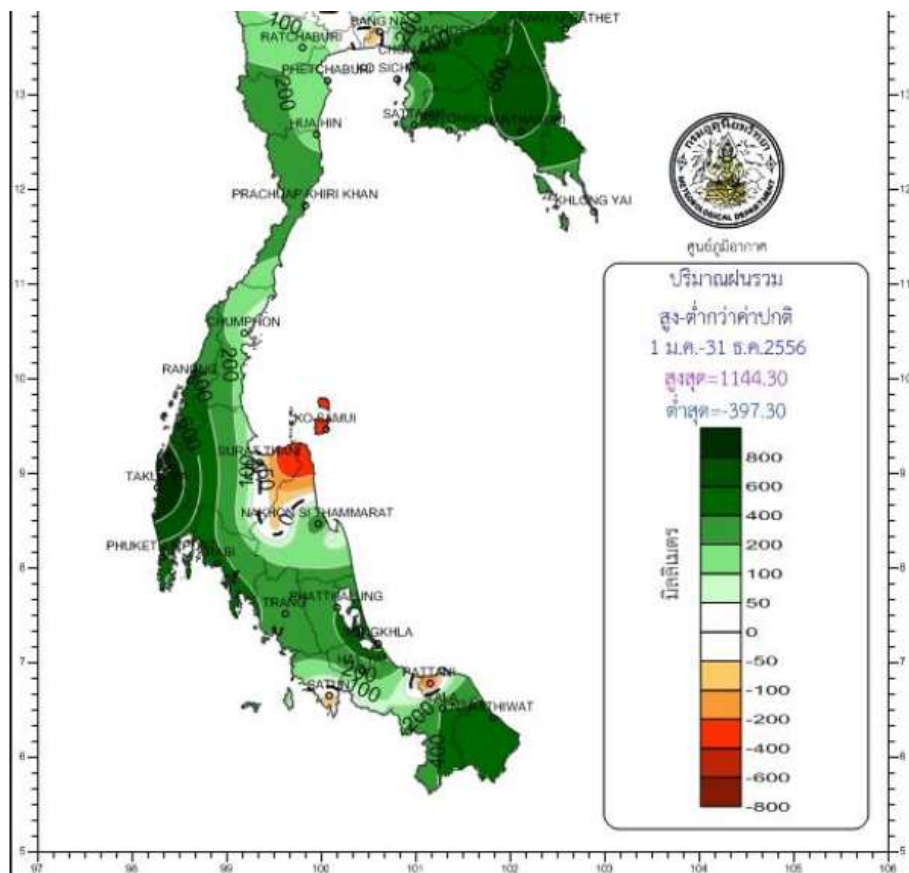
รายการ	2550 (2007)	2551 (2008)	2552 (2009)	2553 (2010)	2554 (2011)	2555 (2012)	2556 (2013)	2557 (2014)
ฝนรวม (มิลลิเมตร)	2,006.2	3,268.6	2,935.1	2,571.6	4,001.8	2,938.8	2,995.6	2,377.8
จำนวนวันฝนตก (วัน)	173.0	172	178.0	177	197	165	152	150
ฝนสูงสุด (มิลลิเมตร)	74.5	399.0	159.5	198.2	395.9	229.8	164.0	203.3

ตารางที่ 1.2 สถิติปริมาณฝน ณ สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดปัตตานี พ.ศ.2545 - 2557

รายการ	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557
ฝนรวม (มิลลิเมตร)	1,841.2	2,598.6	1,562.7	2,081.7	2,290.3	1,666.3	1,625.8	2,013.9
จำนวนวันฝนตก (วัน)	152	154	140	147	179	139	148	134
ฝนสูงสุด (มิลลิเมตร)	117.9	135.2	158.7	274.3	162.2	75.9	124.8	143.9

ตารางที่ 1.3 สถิติปริมาณฝน ณ สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดสงขลา พ.ศ.2545 - 2557

รายการ	2550 (2007)	2551 (2008)	2552 (2009)	2553 (2010)	2554 (2011)	2555 (2012)	2556 (2013)	2557 (2014)
สถานีอุตุนิยมวิทยาสงขลา Songkhla Meteorology Station								
ฝนรวม (มิลลิเมตร)	1,861.6	2,816.5	2,119.3	2,805.7	2,966.1	2,483.4	2,793.6	1,943.0
จำนวนวันฝนตก (วัน)	165	173	153	170	176	156	196	146
ฝนสูงสุด (มิลลิเมตร)	182.0	111.6	178.8	358.0	148.4	268.3	290.5	76.7
สถานีอุตุนิยมวิทยาสะเดา Sa Dao Meteorology Station								
ฝนรวม (มิลลิเมตร)	1,590.5	1,055.4	1,113.1	1,436.0	937.3	1,241.6	1,256.9	984.8
จำนวนวันฝนตก (วัน)	124.0	100	95.0	127	86	104	125	96
ฝนสูงสุด (มิลลิเมตร)	163.6	56.2	91.4	174.7	73.0	171.8	80.2	85.7
สถานีอุตุนิยมวิทยาสนามบินหาดใหญ่ Hat Yai Airport Meteorology Station								
ฝนรวม (มิลลิเมตร)	1,958.1	1,977.3	1,839.2	2,001.8	2,188.8	1,343.3	1,968.4	1,753.0
จำนวนวันฝนตก (วัน)	160	156.0	141	155.0	164.0	150	177	172
ฝนสูงสุด (มิลลิเมตร)	95.9	109.8	201.4	208.0	104.6	99.2	95.6	109.0



ภาพที่ 1.2 ภาพแผนที่แสดงปริมาณน้ำฝนในภาคใต้ของประเทศ

ตารางที่ 1.4 สถิติความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเป็นร้อยละ ของประเทศไทยในช่วงฤดูกาลต่างๆ

ภาค	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ตลอดปี
เหนือ	73	62	81	74
ตะวันออกเฉียงเหนือ	69	65	80	72
กลาง	71	69	79	73
ตะวันออก	71	74	81	76
ใต้ฝั่งตะวันออก	81	77	78	79
ใต้ฝั่งตะวันตก	77	76	84	80

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวให้สามารถแปรรูปได้อย่างต่อเนื่องตลอดปีจึงนำวิธีการแผ่รังสีมาใช้ร่วม เพื่อเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้น การอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดเป็นการแผ่รังสีในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดจากแหล่งพลังงานความร้อนมาตกกระทบลงบนผิวของวัสดุ แล้วรังสีเข้าไปในวัสดุทำให้พลังงานส่วนหนึ่งของการแผ่รังสีถูกวัสดุดูดกลืนเอาไว้ และทำให้โมเลกุลของวัสดุเกิดการสั่นสะเทือนแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนขึ้นในวัสดุ ดังนั้นน้ำที่อยู่ในโมเลกุลก็จะได้รับความร้อน และเกิดการแพร่ไปยังบริเวณผิวของวัสดุ ช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพดี

(Tulasidas et al., 1995; Sharma et al., 2005; Varith et al., 2007; Kathiravan et al., 2008) เช่นเดียวกันกับ (Nowak and Lewicki ., 2004) ที่กล่าวไว้ว่า ประโยชน์ของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด เป็นวิธีการที่สามารถอบแห้งด้วยระยะเวลาที่รวดเร็ว และง่ายต่อการควบคุมอุณหภูมิ

และในการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม อินฟราเรด และแสงอาทิตย์แบบกระจาย อากาศร้อนโดยมีแหล่งสะสมความร้อน ได้ใช้แนวคิดที่พัฒนาจากการศึกษาวิจัยของ Dilip Jain และ PratibhaTewari (2015) ซึ่งได้ใช้แหล่งโลหะที่บรรจุสาร ไชเทียน พาราฟิน แวกซ์ Paraffin Wax [CAS: 8002-74-2] เป็นแวกซ์ที่ได้มาจากกากส่วนที่เหลือ (byproduct) ที่ได้จากระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ (Crude oil) และมีสมบัติค่าคงที่ความร้อนแฝงสูงที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวสะสมความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งได้อีก 5-6 ชั่วโมงหลังจากที่แสงแดดได้ลดลงแล้ว

จึงคาดว่าจะสามารถพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม อินฟราเรด และแสงอาทิตย์แบบกระจายอากาศร้อนโดยมีแหล่งสะสมความร้อนในการแปรรูประดับวิสาหกิจชุมชนขนาดกลางและขนาดย่อมได้

ตารางที่ 1.5 ตารางเปรียบเทียบโอกาสในการพัฒนาถ้ามีการแปรรูปโดยใช้เครื่องอบที่ใช้พลังงานความร้อนร่วม

การอบแห้งโดยการใช้แสงแดด	การอบแห้งโดยใช้ความร้อนร่วมกับแสงแดด
ข้อดี • ต้นทุนในการผลิตต่ำ ข้อเสีย • ไม่สามารถดำเนินการผลิตในสถานะที่ไม่มีแดด • ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้แปรรูป	ข้อดี • สามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ • สามารถทำการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีกำลังการผลิตสูง ใช้เวลาน้อย ข้อเสีย • มีต้นทุนในการแปรรูปเพิ่ม แต่สามารถคืนทุนได้เร็ว เพราะราคาเครื่องไม่ได้แพงมาก

ลูกหยีมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง (สุวลี โลวีรกรณ์, 2549) และเป็นพืชเศรษฐกิจที่สามารถทำรายได้แก่เกษตรกรเป็นอย่างดีมีมากในภาคใต้ของประเทศไทย (นิตดาและทวีทอง, 2550) โดยเฉพาะในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้คือ ปัตตานี ยะลา และนราธิวาส โดยมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ลูกหยีกวน ลูกหยีฉาบ ลูกหยี

ทรงเครื่อง ลูกหีไม่มีเมล็ดน้ำผลไม้ เป็นต้น จากการลงพื้นที่เพื่อสำรวจความต้องการของกลุ่มเกษตรกรผู้แปรรูปลูกหี ทำให้ทราบถึงกระบวนการผลิต และความต้องการในการพัฒนา จึงสมควรหาทางสนับสนุนพัฒนาให้มีกระบวนการผลิตที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งทุกผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจะมีการตากผลของลูกหีเพื่อให้ผลแห้งก่อนนำไปแปรรูป และกระบวนการที่ใช้อยู่ นั้น บางแห่งจะใช้ตู้อบลมร้อน แต่บางแห่งยังคงใช้การตากแดด เพราะต้องการลดต้นทุน ไม่อยากจะใช้ตู้อบที่ต้องจ่ายค่าไฟฟ้าสูง

ดังนั้นการอบแห้งที่ได้รับความนิยมในแต่ละพื้นที่คือการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งด้วยวิธีนี้เป็นการใช้แหล่งพลังงานที่ใหญ่ที่สุดและถูกที่สุด แต่การอบแห้งด้วยวิธีนี้มีข้อจำกัด คือไม่สามารถทำได้หากสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่ค่อยคงที่หรือสม่ำเสมอ กล่าวคือหากสภาพภูมิอากาศไม่เอื้ออำนวย เกษตรกรก็ไม่สามารถผลิตสินค้าได้ (สุทธิชัย, 2550) เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงนำวิธีการแผ่รังสีมาใช้ร่วม เพื่อเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้น ซึ่งในปัจจุบันการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดในการอบแห้งผลิตภัณฑ์เป็นที่นิยมและมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดเป็นการแผ่รังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดจากแหล่งพลังงานความร้อนมาตกกระทบลงบนผิวของวัสดุ แล้วรังสีเข้าไปในวัสดุทำให้พลังงานส่วนหนึ่งของการแผ่รังสีถูกวัสดุดูดกลืนเอาไว้ และทำให้โมเลกุลของวัสดุเกิดการสั่นสะเทือนแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนขึ้นในวัสดุ ดังนั้นน้ำที่อยู่ในโมเลกุลก็จะได้รับความร้อน และเกิดการแพร่ไปยังบริเวณผิวของวัสดุ ช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี (Tulasidas *et al.*, 1995; Sharma *et al.*, 2005; Varith *et al.*, 2007; Kathiravan *et al.*, 2008) เช่นเดียวกับกับ (Nowak and Lewicki ., 2004) ที่กล่าวไว้ว่า ประโยชน์ของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเป็นวิธีการที่สามารถอบแห้งด้วยระยะเวลาที่รวดเร็วและง่ายต่อการควบคุมอุณหภูมิ

1.2วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับการแปรรูปลูกหีอบแห้ง
2. ศึกษากระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่องอบแห้งขนาดทดลอง
3. พัฒนาเครื่องอบแห้งขนาดต้นแบบและศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลเศรษฐศาสตร์ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งลมร้อน

4. ถ่ายทอดเทคโนโลยีต่อกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้

5. พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ลูกหยีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัตถุดิบการเกษตรอื่นๆได้

1.3ขอบเขตของการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยจะใช้ตัวอย่างลูกหยีจากกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ และทดลองอบแห้งในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องขนาดจำลองเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสม แล้วจึงพัฒนาสร้างเป็นเครื่องต้นแบบเพื่อถ่ายทอดให้กับเกษตรกร

1.4ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

จะได้เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมอินฟราเรดและแสงอาทิตย์สำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกหยีทำให้เกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัตถุดิบการเกษตรอื่นๆได้อีกด้วย

1.5กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัย

การอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมกับแสงอาทิตย์ที่สามารถเลือกแหล่งความร้อนอื่นเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต หรือเมื่อสภาพอากาศไม่เอื้อจะสามารถเพิ่มศักยภาพให้กับกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ได้

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกหยี

จากการได้ศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการอบแห้งโดยรังสีอินฟราเรด จะให้ผลผลิตที่ไม่แตกต่างจากการอบแห้งด้วยแสงแดด ทั้งสี กลิ่น และรสชาติโดยการแปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกหยีมีกระบวนการขั้นตอนการผลิต (คมชัดลีออนไลน์, 2554, ฐานข้อมูลข่าวจังหวัดชายแดนภาคใต้, 2554, สำนักประชาสัมพันธ์เขต 4, 2556, ศูนย์ข้อมูลกลางทางวัฒนธรรม กระทรวงวัฒนธรรม, 2555) คือ

1. ลูกหยีสด (ดำ) ตากแดด 1-2 วัน จนแห้ง
2. กะเทาะเปลือกและแคะเปลือกที่ค้างออกให้หมด ตากแดดจนแห้ง(ลูกหยีแดง)
3. แปรรูปเป็นลูกหยีทรงเครื่อง
4. แคะเมล็ดออกให้หมด แปรรูปเป็นลูกหยีกวน
5. บรรจุหีบห่อ จัดจำหน่าย

2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง

2.2.1.1 การอบแห้ง (Drying) คือ กระบวนการลดความชื้นของวัสดุรูปแบบหนึ่ง ส่วนใหญ่จะใช้หลักการถ่ายโอนความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย ซึ่งกำหนดด้วยวิธีการถ่ายโอนความร้อน ได้แก่ การพา (Convection) การนำ (Conduction) และการแผ่รังสี (Radiation) ทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนและมวลน้ำของวัสดุกับอากาศแวดล้อม การถ่ายโอนความร้อน (Heat Transfer) อาจเกิดจากการถ่ายโอนความร้อน แบบการพา การนำและการแผ่รังสีความร้อน หรือผสมกันทั้ง 3 แบบก็ได้ ขึ้นกับการออกแบบเครื่องอบแห้ง (Dryer) โดยความร้อนจะถ่ายโอนสู่ผิวของวัสดุ เพื่อระเหยน้ำที่ผิวออกไปและจะถ่ายโอนต่อไปยังภายในวัสดุ เพื่อเพิ่มความดันไอน้ำภายในวัสดุต่อไป ส่วนการถ่ายโอนมวลน้ำ (Mass Transfer) จะขึ้นอยู่กับกลไก 2 ลักษณะ คือ การเคลื่อนย้ายของมวลน้ำภายในวัสดุเนื่องจากปัจจัยภายใน ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพและความชื้นภายในวัสดุ และการเคลื่อนย้ายของไอน้ำจากผิวของวัสดุเนื่องจากปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นของอากาศ อัตราการไหลของอากาศและพื้นที่ผิวของวัสดุ (สมชาติ, 2540 : Brooker et al. 1981) การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งวัสดุมีค่าชี้วัดที่สำคัญหลายประการซึ่งจะแตกต่างกันและเป็นสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด (สมชาติ, 2540 ; Bala, 1997)

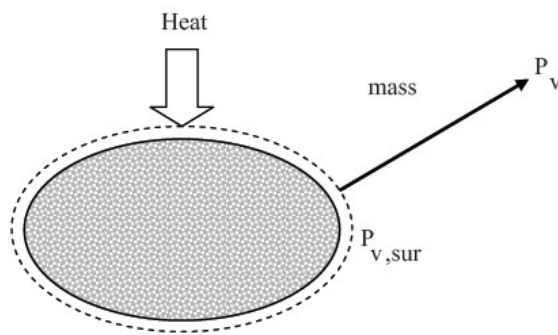
การอบแห้ง เป็นการแยกน้ำออกจากวัตถุดิบ (moist material) โดยการทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอโดยอาศัยความร้อน สำหรับการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่เป็นการอบแห้งแบบการพาความร้อน (convective drying) โดยผลิตผลที่เป็นวัตถุดิบจะถูกเป่าด้วยอากาศร้อน ความร้อนจากอากาศ

จะถ่ายเทไปยังวัตถุทำให้วัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้น น้ำในวัตถุจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำและระเหยออกมา การถ่ายเทมวลของน้ำจากวัตถุขึ้นไปยังอากาศจะหยุดเมื่อความดันไอน้ำที่ผิววัตถุเท่ากับความดันไอน้ำในอากาศหรือ

$$P_{v,sur} = P_v$$

เมื่อ $P_{v,sur}$ = ความดันของไอน้ำที่ผิววัตถุ

P_v = ความดันไอน้ำในอากาศ



ภาพที่ 2.1 แสดงการถ่ายเทมวลและความร้อนในการอบแห้ง

ที่มา: Sodha M.S. (1987)

การเคลื่อนตัวของน้ำจากภายในวัตถุขึ้นออกมาที่ผิว เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและขึ้นกับโครงสร้างของวัตถุนั้น ตัวอย่างกระบวนการเหล่านี้ได้แก่ การแพร่ (diffusion) การไหลภายในท่อเล็กในโครงสร้างของวัตถุ (capillary flow) การไหลจากความดันออสโมติก (osmotic pressure) และการไหลเนื่องจากแรงโน้มถ่วง เป็นต้น การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายกระบวนการเหล่านี้มีความซับซ้อนมากในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร การลดลงของความชื้นและอัตราการแห้ง (drying rate) โดยทั่วไปจะมีลักษณะ ดังภาพที่ 2 และ 3

โดยทั่วไปอัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์การเกษตรจะแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (constant-rate regime) ซึ่งเป็นช่วงแรกของการอบแห้ง และช่วงอัตราการแห้งลดลง (falling-rate regime) ซึ่งต่อจากช่วงแรก

ในช่วงอัตราการแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น น้ำจะเกาะอยู่ที่ผิวของวัสดุเป็นจำนวนมาก เมื่อเพิ่มความเร็วลมที่ไหลผ่านวัสดุจะทำให้ฟิล์มอากาศนิ่งมีความ

หนาลดลง เป็นผลให้ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนและมวลลดลงด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศรอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างที่ผิววัสดุและของกระแสอากาศที่ไหล อย่างอิสระมีมากขึ้น เป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น (สุทธิชัย, 2550) เราสามารถเขียนอัตราการแห้งในช่วงเวลานี้เป็นรูปสมการได้ดังนี้

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

เมื่อ dM / dt = อัตราการแห้งคงที่ [kg/s]

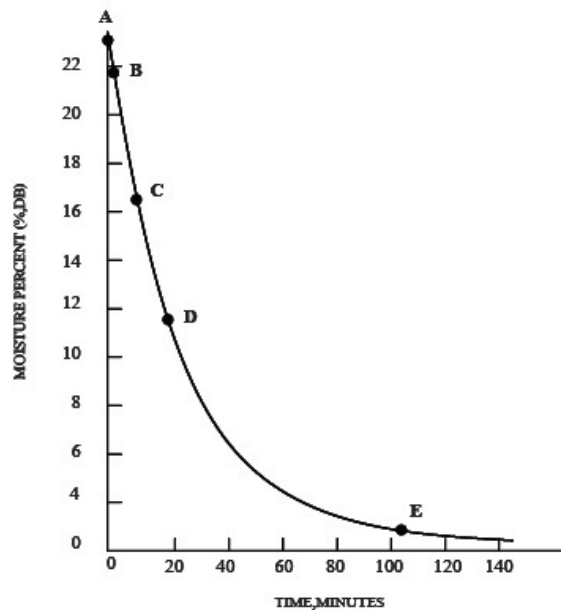
h_c = การนำความร้อนของฟิล์มอากาศที่อยู่เหนือผิวผลผลิต [$W/m^2 \cdot K$]

A = พื้นที่ผิวของผลผลิต [m^2]

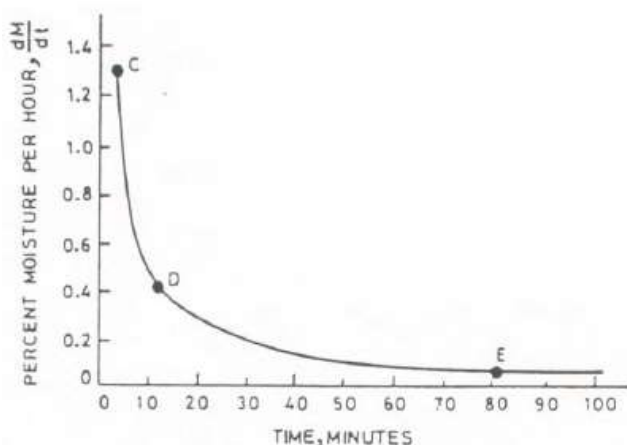
L = ความร้อนแฝงของน้ำในผลผลิต [J/kg]

T_a = อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง [$^{\circ}C$]

T_{sur} = อุณหภูมิที่ผิวของผลผลิต [$^{\circ}C$]



ภาพที่ 2.2 แสดงการลดลงของความชื้นในการอบแห้งผลผลิตการเกษตรทั่วไป (Sodha M.S., 1987)



ภาพที่2.3แสดงอัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์การเกษตรระหว่างการอบแห้ง (Sodha M.S., 1987)

สำหรับช่วงที่อัตราการแห้งลดลง (falling-rate regime) การถ่ายเทความร้อนและมวล จะไม่จำกัดอยู่เฉพาะที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นภายในผิวและเนื้อวัสดุด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิมีมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลให้สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย (คิวะ และสมชาติ, 2533) เมื่อลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง จะเป็นผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแล้ว จะเป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วจะพบว่าความหนาของฟิล์มอากาศนี้มีค่าลดลงเป็นผลให้ความต้านทานลดลงเนื่องจากความต้านทานที่ฟิล์มอากาศมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความต้านทานตัวอื่น ดังนั้นจึงไม่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลมากนัก (สุทธิชัย, 2550) โดยทั่วไปเราสามารถเขียนอัตราการแห้งในรูปสมการได้ดังนี้

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

เมื่อ M_e = ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ของผลผลิต

M = ความชื้นของผลิตภัณฑ์

k = ค่าคงที่การอบแห้ง (drying constant)

2.2.1.2 ผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการลดลงของความชื้นของวัสดุได้แก่

2.2.1.2.1 อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าสูง อัตราการแห้ง (drying rate) จะมีค่าสูงกว่ากรณีของอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ

2.2.1.2.2 ความเร็วอากาศที่ไหลผ่านวัตถุขึ้น ถ้าความเร็วอากาศมีค่าสูงความชื้นจากวัตถุจะถ่ายเทออกมาสู่อากาศได้ดีกว่ากรณีอากาศที่อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ

2.2.1.2.3 ความชื้นสัมพัทธ์ อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะสามารถรับความชื้นที่ถ่ายเทจากวัตถุขึ้นได้มากกว่ากรณีที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง

2.2.1.3 ประเภทของการอบแห้ง

การอบแห้งแบบพาความร้อน โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

2.2.1.3.1 การอบแห้งชั้นบาง (thin layer drying)

การอบแห้งแบบนี้ วัตถุขึ้นจะเรียงเป็นชั้นบางๆ หรือเพียงหนึ่งชั้นของเมล็ดพืช กรณีที่การอบเมล็ดพืชการลดลงของความชื้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{[M_t - M_e]}{[M_i - M_e]} = \exp(-kt) \quad (2.10)$$

เมื่อ M_t = ความชื้นขณะเวลา t

M_e = ความชื้นสมดุล

M_{in} = ความชื้นเริ่มต้น

k = ค่าคงที่การอบแห้ง

2.2.1.3.2 การอบแห้งชั้นหนา

เป็นการอบแห้งที่วัตถุวางซ้อนกันหลายชั้น การทดลองความชื้นต้องคำนวณจากชุดสมการ ที่อธิบายการถ่ายเทความร้อนและมวลของแต่ละชั้น ตัวอย่างเช่น การอบแห้งข้าว ในเครื่องอบแห้งใช้อากาศแวดล้อม (in-bin drying) สำหรับในการคำนวณการทดลองของความชื้นในเครื่องอบแห้งโดยทั่วไปจะพิจารณาว่า การอบแห้งชั้นหนาประกอบด้วย การอบแห้งชั้นบางหลาย ๆ ชั้น เรียงซ้อนกันและทำการหาสมการสมดุลของมวลและพลังงานที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น (Bakker Arkemar, 1974)

2.2.1.4 เทคโนโลยีการลดความชื้น

เทคโนโลยีการลดความชื้นเริ่มต้นจากวิธีการง่ายๆ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการลดความชื้นในระดับอุตสาหกรรม มีปัญหาการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง แผลง และเชื้อรา นอกจากนี้ยังมีปัญหาฝนตกซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการผลิต จึงมีการนำเทคโนโลยีการลดความชื้นมาใช้ โดยอาจมีการรวมวิธีการลดความชื้นตั้งแต่หนึ่งวิธีขึ้นไปเข้าด้วยกันก็ได้เพื่อเพิ่มอัตราการลดความชื้นให้เร็วขึ้น เช่น การลดความชื้นแบบลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ และอาจมีการลดความชื้นทั้งภายใต้สภาวะบรรยากาศและสภาวะสุญญากาศ (ระวิน, 2556)

2.2.1.5 เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ และแนวทางการพัฒนา

แนวทางในการพัฒนาและส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีเครื่องอบแห้งด้วยอาทิตย์ในประเทศไทยพบว่าสามารถแบ่งตามวิธีการรับรังสีอาทิตย์ได้ 3 แบบคือรับรังสีอาทิตย์โดยตรง, โดยอ้อมและแบบผสมมีลักษณะการหมุนเวียนอากาศภายใน 2 ลักษณะคือหมุนเวียนตามธรรมชาติ(passive system) และหมุนเวียนแบบบังคับ(active system) โดยปัจจัยหลักของการเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ คือ อุณหภูมิ, ความเร็วและความชื้นของอากาศในระบบ รวมถึงการพัฒนากระบวนการให้มีความสม่ำเสมอและเพิ่มระยะเวลาการอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ เป็นแนวทางที่ส่งเสริมให้รังสีอาทิตย์มีความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์มากขึ้นตามลำดับโดยการประยุกต์ใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ที่มีถังสะสมน้ำร้อนทำงานร่วมกับโรงเรือนกระจก เป็นแนวทางที่ควรศึกษาเพื่อพัฒนาการผลิตอากาศร้อนในกระบวนการอบแห้งแบบ Mixed active solar drying และ Mixed passive solar drying ตามลำดับ โดยอุณหภูมิที่สามารถผลิตได้แปรผันตามสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละชนิด โดยใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางสะสมความร้อน หรือทำงานร่วมกับระบบฮีตปั๊มตามความเหมาะสมของวัสดุอบแห้งชนิดต่างๆ (จารุวัฒน์, 2012)

2.2.2. การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (solar dryer)(อัจฉราพร, 2552)

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นวิธีการถนอมอาหารที่เก่าแก่วิธีหนึ่ง เป็นวิธีการถนอมอาหารที่มีต้นทุนต่ำ ใช้พลังงานน้อยและเป็นวิธีที่ใช้อยู่จนทุกวันนี้แม้ว่าวิธีนี้จะใช้มาเป็นพันๆ ปีแล้วก็ตาม แต่การศึกษาอย่างจริงจังถึงปรากฏการณ์อย่างแท้จริงที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ได้เริ่มขึ้นเพียงทศวรรษที่แล้วมานี้เอง (Thisyamondol, 1965) การศึกษานี้ได้รับแรงกระตุ้นจากวิกฤตการณ์ทางน้ำมันของโลก ผลผลิตทางการเกษตรโดยเฉพาะธัญพืช ผักและผลไม้ สัตว์น้ำชนิดต่างๆ จะทำแห้งโดยการตากแดด ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ นอกจากการบริโภคภายในประเทศแล้ว ยังสามารถส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้ การทำแห้งโดยการตากแดดนอกจากจะมีความสำคัญต่อประเทศไทยแล้ว ประเทศออสเตรเลียและประเทศอื่นๆ ในแถบเอเชีย แอฟริกา ยังใช้วิธีนี้ในการถนอมอาหารอยู่ (Yaciuk, 1982) แม้ว่าการตากแห้งด้วยแสงแดดจะเป็นวิธีที่เสีย

ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไม่ถูกสุขลักษณะนัก เพราะมีการปนเปื้อนจากแมลง ฝุ่น และจุลินทรีย์ รวมทั้งคุณค่าทางอาหารบางอย่าง เช่น สี กลิ่น รส อาจสูญเสียไป (จรรยาและพิพัฒน์, 2523) และไม่สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพต่ำ ไม่ได้มาตรฐานตามที่ตลาดต้องการ นอกจากนี้ ปัญหาในการตากยังขึ้นอยู่กับฤดูกาล จากปัญหาเหล่านี้จึงต้องใช้เครื่องมือตากแห้งที่มีประสิทธิภาพมาทดแทนวิธีการตากแบบพื้นบ้าน (Shirmer *et al*, 1995) มีการปรับปรุงวิธีการตากแห้งโดยใช้แสงแดด โดยอาศัยหลักการเกี่ยวกับวัตถุที่มีสี ซึ่งสามารถสะสมความร้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุที่มีสีดำสามารถดูดและเก็บความร้อนได้ดีมาก ส่วนการตากแห้งในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เวลาน้อย เพราะอุณหภูมิภายในตู้เป็นการป้องกันการเจริญเติบโตของพวกจุลินทรีย์ได้ดี คือ ไม่เกิดการเน่าเสียในระหว่างการตาก ไม่มีการปนเปื้อนจาก ฝุ่น แมลง นก แม้ว่าจะมีไข่แมลงหรือแมลงเล็ดรอดเข้าไปก็ไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้จึงสะอาดและสะดวกกว่า โดยไม่จำเป็นต้องเก็บเมื่อฝนตกจึงเป็นการประหยัดแรงงาน และยังเป็นประหยัดเชื้อเพลิงหรือไฟฟ้าด้วย (จรรยาและพิพัฒน์, 2523)

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นกระบวนการที่อาศัยหลักการของปรากฏการณ์เรือนกระจก ซึ่งเป็นรูปแบบการเก็บกักความร้อนแบบหนึ่ง โดยมีการจัดการให้ความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศมาให้ความอบอุ่นยังพื้นโลก แต่จะไม่ให้ความร้อนสะท้อนจากพื้นผิวโลกกลับไปยังชั้นบรรยากาศได้ เนื่องจากความร้อนที่ผ่านมายังพื้นผิวโลกจะแตกต่างกับความร้อนที่กลั้อออกไปจากพื้นผิวโลก เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ก็นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในการอบแห้งในลักษณะดังกล่าว (วิจิตร, 2524) และ Szulmayer (1971) ได้ให้นิยามการอบแห้งด้วยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ว่า เป็นกระบวนการผสมผสานระหว่างการตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์กับการควบคุมอุณหภูมิ และควบคุมการไหลของกระแสลมซึ่งการทำเช่นนี้จะเป็นการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์แล้ว ยังเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการการทำแห้งอีกด้วย

การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการอบแห้งผลผลิตโดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อระเหยน้ำจากผลผลิต โดยทั่วไปจะอาศัยการพาความร้อน (convection heat transfer) โดยทั่วไปสามารถแบ่งการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนได้เป็น 2 แบบคือ แบบการไหลตามธรรมชาติ (natural convection circulation) ซึ่งอาศัยแรงลอยตัวเนื่องจากการพาความร้อนและแบบการไหลเป็นแบบบังคับอากาศ (forced-convection circulation) ซึ่งอาศัยแรงดันจากพัดลมในการพาความร้อนไปยังผลผลิต

2.3. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เป็นเครื่องอบแห้งที่มีการพัฒนาโดยอาศัยหลักการการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบตู้ โดยใช้แสงแดดเป็นพลังงานความร้อนให้กับตู้อบ ซึ่งมีความเหมาะสมกับประเทศไทย ทำให้ไม่ต้องเสียต้นทุนพลังงาน ปัจจุบันได้มีการพัฒนาการใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับตู้อบแสงอาทิตย์ สามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้มากและรวดเร็วขึ้น เช่น เครื่องอบแห้งระบบ Active เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ และ เครื่องอบแห้งระบบ Hybrid เป็นต้น (สมบัติ, 2544)

2.3.1 หลักการทำงาน

พลังงานที่ต้องการสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่างๆ สามารถตรวจสอบได้จาก ปริมาณความชื้นเริ่มต้น และความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด อัตราการอบแห้งและการใช้อุณหภูมิแตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ พลังงานที่เหมาะสมต่อการอบแห้งเพื่อง่ายต่อการคำนวณพื้นที่ของ solar panel ที่ต้องการเพื่อผลิตความร้อนอย่างเพียงพอ เพื่อทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ใช้อบแห้ง ซึ่งใส่ตัวอย่างที่ต้องการอบแห้ง และส่วนที่เป็นตัวรับรังสีดวงอาทิตย์เพื่อทำให้อากาศร้อน นอกจากนี้อาจมีส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น พัดลม

แผงรับรังสีเป็นอุปกรณ์รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยดูดพลังงานแสงอาทิตย์ และแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน และแผงรับแสงอาทิตย์เป็นแผ่นแบนราบ (flat plate collector) ทำหน้าที่เป็นตัวดูดพลังงาน (absorber plate) โดยรับพลังงานจากแสงอาทิตย์และแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนให้กับอากาศ เพื่อประสิทธิภาพในการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์จึงทำแผ่นดูดพลังงานด้วยสีดำด้าน ทำให้มีค่าการดูดรังสีสูงที่ความยาวคลื่นของรังสีต่ำ แต่ให้การส่งออก (emissivity) ต่ำที่ความยาวคลื่นรังสีสูง และเพื่อเป็นการป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ เพื่อให้ความร้อนกระจายภายในจึงต้องมีแผ่นกั้นด้านบน (top cover) เป็นแผ่นพลาสติกใส (อีเธอร์และคณะ, 2532)

การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของระดับที่จุดเข้า ออกของเครื่องอบแห้ง ความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศภายนอกและภายในเครื่องอบแห้ง การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบบที่ 2 คือ แบบการไหลของอากาศเป็นแบบบังคับ ซึ่งโดยทั่วไปใช้พัดลมเป็นตัวสร้างความแตกต่างของความดันรวมระหว่างทางเข้า และทางออกของเครื่องอบแห้ง

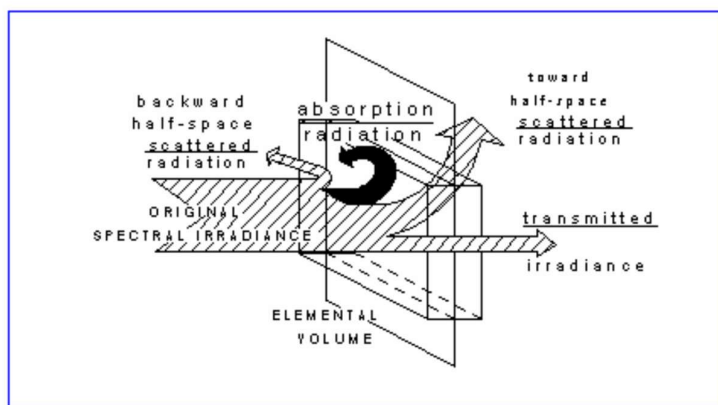
การอบแห้งแบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ เหมาะกับงานขนาดเล็กในไร่นาหรืออุตสาหกรรมขนาดเล็กทั้งนี้เพราะเครื่องอบแห้งแบบนี้มีราคาถูก สร้างได้ง่าย ส่วนการอบแห้งแบบการไหลของอากาศเป็นแบบบังคับเหมาะกับการอบแห้งทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ ต้องลงทุนมากขึ้น (วินัส, 2542)

2.4. การอบแห้งโดยการแผ่รังสีอินฟราเรด

แท่งอินฟราเรดมีคุณสมบัติในการกระจายรังสีพลังงาน ทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน มีความทนทานต่ออุณหภูมิที่สูง เหมาะในการใช้งานติดต่อกันเป็นเวลานาน ถ่ายเทความร้อนได้ดี แผ่ความร้อนได้สม่ำเสมอ แข็งแรงทนทาน บำรุงรักษาง่าย ซึ่งวัสดุจะถูกทำให้ร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากแท่งอินฟราเรดสามารถเจาะทะลุเข้าถึงเนื้อภายในวัสดุ โดยขนาดความลึกที่เจาะเข้าไปได้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ และความยาวคลื่นที่แผ่ออกไปซึ่งรังสีอินฟราเรดจะมีความยาวคลื่นในช่วง 0.78 – 1000 ไมโครเมตรโดยแบ่งย่อยได้เป็น 3 ระดับ คือ รังสีอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared, NIR) ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.75 – 3 ไมโครเมตร รังสีอินฟราเรดกลาง (Middle Infrared, Mid-IR) ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 3-25 ไมโครเมตร และ รังสีอินฟราเรดไกล (Far Infrared, FIR) ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 25-100 ไมโครเมตร โดยที่คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เจาะทะลุเข้าไปในวัสดุ จะไปกระตุ้นโมเลกุลน้ำภายในวัสดุให้สั่น และเกิดความร้อนขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว นอก จุดเด่นตรงนี้สามารถลดปัญหาการเกิดรอยเหี่ยวย่นและรอยไหม้ภายนอกผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดยังทำให้อุณหภูมิ ภายในเนื้อวัสดุกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งช่วยแก้ปัญหาที่เกิดในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยวิธีนี้จึงมีคุณภาพดี

2.4.1 กลไกการแผ่รังสีอินฟราเรด

เมื่อรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบและแพร่กระจาย (propagate) ผ่านวัสดุ ทำให้เกิดการสูญหายของรังสี (extinction of radiation) เนื่องจากรังสีบางส่วนจะถูกวัสดุดูดกลืน(absorption) และเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานความร้อนภายในตัววัสดุ บางส่วนเกิดการกระเจิง (scattering) ทำให้รังสีมีทิศทางแตกต่างจากทิศทางของรังสีจากแหล่งกำเนิด (นัสตยา และภาวดี, 2555)



ภาพที่ 2.4 แสดงการสูญหายของรังสี (สุทธิชัย,2550)

2.5. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

ในการทำแห้งอาหารทั่ว ๆ ไป มีปัจจัยหลายประการที่ทำให้การอบแห้งนั้นเกิดได้เร็วและช้า ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

2.5.1 ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุนมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งเร็ว นอกจากนั้นพื้นที่ผิวของอาหารก็จะมีผลต่ออัตราการอบแห้งมาก อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากๆ การอบแห้งก็จะทำได้เร็ว

2.5.2 ขนาดและรูปร่างของอาหาร ส่วนใหญ่จะคำนึงถึงเฉพาะความหนาของอาหารเนื่องจากอัตราการอบแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร ยิ่งอาหารมีความหนามากขึ้นการอบแห้งจะเกิดได้ช้าลง

2.5.3 ปริมาณอาหาร อาหารที่ใส่ในเครื่องอบแห้งและการจัดเรียงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่ง การใส่ปริมาณอาหารมากเกินไปในเครื่องอบแห้งจะทำให้การอบแห้งทำได้ไม่ทั่วถึงโดยเฉพาะบริเวณช่วงกลางๆ น้ำจะระเหยออกได้ไม่ดี ความร้อนเข้าไปไม่ค่อยถึง ยิ่งถ้าจัดเรียงไม่ดีแล้ว จะทำให้อัตราการอบแห้งเกิดได้ช้ามาก

2.5.4 ปริมาณความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) เมื่อทำการอบแห้งโดยใช้อากาศที่สภาวะคงที่ ความชื้นของผลผลิตจะลดต่ำลงจนถึงจุดๆ หนึ่ง ซึ่งผลผลิตมีค่าความชื้นคงที่หรือความชื้นในผลผลิตมีความดันไอของอากาศที่อยู่รอบๆ เรียกความชื้นนี้ว่า “ปริมาณความชื้นสมดุล” ค่าปริมาณความชื้นสมดุลจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลผลิต อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

2.5.5 คุณสมบัติอากาศชื้น อากาศชื้นประกอบด้วย อากาศแห้งและไอน้ำ โดยปกติจะใช้เป็นตัวกลางในกระบวนการอบแห้ง ส่วนอากาศที่ไม่มีไอน้ำอยู่ เรียกว่า “อากาศแห้ง”

2.5.6 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ความชื้นของอากาศเป็นสิ่งสำคัญ การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศ และความเร็วลม

2.5.7 ความดันที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากที่ความดันต่ำๆ น้ำจะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น (นิธิยา, 2543)

2.6. การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง

การอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหารและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งดังนี้ คือ

2.6.1. การหดตัว การเสียน้ำทำให้เซลล์หดตัวจากผิวนอกส่วนที่แข็งจะคงสภาพอยู่ได้ส่วนที่อ่อนกว่าจะเว้าลงไปอาหารที่มีน้ำมากจะหดตัวแล้วบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้า ๆ

2.6.2. การเปลี่ยนสี อาหารที่ผ่านการทำแห้งมักมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมี การเกิดสีน้ำตาลอุณหภูมิและเวลาที่อาหารมีความชื้น 10 – 20% มีผลต่อความเข้มของสี จึงควรหลีกเลี่ยงอุณหภูมิสูงในช่วงความชื้นนี้

2.2.6.3 การเกิดเปลือกแข็ง เป็นลักษณะการแข็งที่ผิวอาหารเปลือกหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งเกิดจากในช่วงแรกให้น้ำระเหยเร็วเกินไปน้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน หรือมีสารละลายของน้ำตาลโปรตีนเคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว สามารถหลีกเลี่ยงโดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงและใช้อากาศที่มีความชื้นสูง เพื่อไม่ให้ผิวอาหารแห้งก่อนเวลาอันควร

2.6.4. การเสียความสามารถในการคืนสภาพ อาหารแห้งบางชนิดต้องนำมาคืนสภาพแต่การคืนสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่ได้สภาพเหมือนเดิม เพราะเซลล์อาหารเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์และโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำ อาหารที่ทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็งจะมีความสามารถในการคืนสภาพดีที่สุด เพราะไม่ได้ให้ความร้อนที่จะทำให้ลายผนังเซลล์หรือเปลี่ยนโครงสร้างของโปรตีน

2.6.5. การเสียคุณค่าอาหารและสารระเหย เกิดจากการเสื่อมสลายของวิตามินซีและแคโรทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันไรโบฟลาวินจากแสงโทเคมีนจากความร้อน ยิ่งใช้เวลาทำแห้งนานการสูญเสียก็ยิ่งมาก

โปรตีนมีการสูญเสียบางส่วนด้วยความร้อนเช่นกัน การสูญเสียสารระเหยเนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นของอาหารแห้งลดน้อยลงหรือแตกต่างไปจากเดิม

2.6.6. การเกิดสีน้ำตาลหรือความเสียหายเนื่องจากความร้อน ปัญหาที่สำคัญและเห็นได้ชัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบแห้งก็คือ การเปลี่ยนแปลงสี ซึ่งเรียกชื่อต่างกัน เช่น การเกิดสีน้ำตาล การเกิดสีไหม้หรือความเสียหายอันเนื่องจากความร้อน การเปลี่ยนแปลงนี้บางครั้งเป็นความต้องการ เช่น การเกิดสีน้ำตาลไหม้บนผิวหน้าขนมปัง แต่ในแง่ของการอบแห้งถือว่าเป็นตำหนิต่างคุณภาพ ถ้าการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้นมากจะทำให้กลิ่น รส ความสามารถในการคืนตัวและปริมาณกรดแอสคอร์บิกถูกกระทบกระเทือนไปด้วย อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความเสียหายในลักษณะนี้มักจะเป็นปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาเช่น อาหารที่มีความไวต่ออุณหภูมิอาจจะทนอุณหภูมิได้สูงถึง 33 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่านี้ได้ เพียง 2 – 3 วินาทีโดยไม่เกิดความเสียหาย แต่สามารถสังเกตเห็นสีน้ำตาลนี้ได้ถ้าหากใช้เวลา 8 – 10 ชั่วโมง ที่ 49 องศาเซลเซียส อัตราการเกิดสีน้ำตาลยังขึ้นกับปริมาณความชื้นในอาหารปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในระบบที่ซับซ้อนที่มีสารละลายอย่างเจือจาง แต่ถ้าสารละลายนี้เข้มข้นขึ้นอันเนื่องมาจากการอบแห้งปฏิกิริยา ก็จะเกิดอย่างรวดเร็ว ในกระบวนการอบแห้งอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะสูงสุดที่ความชื้นอยู่ระดับปานกลางคือ ในช่วงระหว่าง 15 – 20% เมื่ออาหารมีลักษณะแห้งอย่างสมบูรณ์การเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ การอบแห้งที่มีความชื้นประมาณ 1 – 2% จะสามารถเก็บได้เป็นเวลานานแม้ว่า จะเก็บที่อุณหภูมิสูงแต่ตัวปฏิกิริยาการเสื่อมเสียอื่น ๆ เช่นการเกิดกลิ่นหืนจะกลายเป็นปัจจัยจำกัดของการเก็บอาหารนี้ (สุทธิชัย, 2550)

2.7. น้ำในอาหาร

น้ำเป็นสารประกอบที่มีอยู่ในอาหารธรรมชาติทั่วไป คือมีอยู่ระหว่างร้อยละ 70-95 น้ำที่มีอยู่ในอาหารมักเรียกว่า “ความชื้น” น้ำเป็นส่วนประกอบหลักของอาหารทุกชนิดโดยอยู่ในรูปอิสระ (free water) และเกาะเกี่ยวกับสารอื่น (bound water) น้ำอิสระเป็นน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างอาหารอาจมีการเกาะตัวกับองค์ประกอบของอาหารบ้าง ด้วยแรงที่ไม่แข็งแรงมากนัก มีคุณสมบัติเหมือนน้ำปกติ สามารถเป็นตัวทำละลายได้ มีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี และจุลินทรีย์สามารถนำน้ำไปใช้ในการดำรงชีวิตได้ แต่น้ำส่วนนี้ก็ยังมีความสมบัติไม่เหมือนกับน้ำอิสระในธรรมชาติอย่างแท้จริงจึงนิยมเรียกน้ำอิสระนี้ว่า “แอคทีฟวอเตอร์” (active water) ซึ่งหมายถึงน้ำที่ยังคงรักษาคุณสมบัติของน้ำอิสระไว้ได้ (ณรงค์, 2538) ส่วนน้ำที่เกาะเกี่ยวกับสารอื่นเป็นน้ำที่เกาะติดกับอาหารด้วยพันธะที่แข็งแรงมาก อาจเป็นพันธะโควาเลนต์หรือพันธะอื่น ๆ ไม่มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย ไม่มีส่วนในปฏิกิริยาเคมีและจุลินทรีย์ ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Duckworth, 1972) ในอาหารมีองค์ประกอบที่ละลายน้ำ หรือเกิดคอลลอยด์กับน้ำได้หลายชนิด องค์ประกอบเหล่านี้จะสร้างพันธะกับน้ำ น้ำซึ่งอยู่ในสถานะเกาะเกี่ยวกับพันธะอื่น ส่วนที่เหลือเป็นน้ำอิสระ น้ำอาจถูกดูดซับด้วยสารคอลลอยด์

และอยู่ในสภาพของเจลที่พองตัวเนื่องจากคุณสมบัติการมีขั้วของน้ำ น้ำชนิดนี้เรียกว่า น้ำของไฮเดชัน นอกจากนั้นน้ำอาจจับตัวกับเกลือบางชนิดซึ่งสามารถไล่ออกไปได้ด้วยวิธีการแปรรูปธรรมดา ถ้าองค์ประกอบของอาหารหรืออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลต่อน้ำอิสระโดยทางอ้อม จึงทำให้ปริมาณน้ำอิสระไม่คงที่ อาหารต่างชนิดกันซึ่งมีความชื้นเท่ากันจึงไม่จำเป็นต้องมีน้ำอิสระเท่ากัน ถ้าอาหารมีน้ำอิสระมากจะเน่าเสียง่าย เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ การทราบปริมาณน้ำอิสระในอาหารจึงสำคัญมากในการคาดคะเนว่า อาหารจะเกิดการเสื่อมเสียโดยจุลินทรีย์หรือไม่ (ณรงค์, 2538)

2.8. แอกติวิตีของน้ำ (Water Activity)

ค่าแอกติวิตีของน้ำ/ค่ากิจกรรมของน้ำหรือWater Activity (a_w) หมายถึงอัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหาร(P) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์(PO) ที่อุณหภูมิเดียวกันหรือความดันไอสัมพัทธ์ หรือความชื้นสัมพัทธ์/100 ค่า a_w (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2554)มีพื้นฐานมาจากหลักการทางฟิสิกส์เกี่ยวกับศักย์ของน้ำ(Water potential) ซึ่งมีหน่วยเป็น"bars" หรือ"kilo pascals" และใช้แทนพลังงานที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการแยกโมเลกุลของน้ำออกจากระบบที่สนใจความสัมพันธ์ระหว่าง a_w และค่าศักย์ของน้ำแทนด้วยสมการเคลวินดังนี้คือ

$$\text{Water potential} = RT / M \ln (a_w)$$

เมื่อR คือค่าคงที่ของก๊าซT คืออุณหภูมิมีหน่วยเป็นองศาเคลวินM คือค่ามวลโมเลกุลของน้ำและ a_w คือแอกติวิตีของน้ำหรือค่าความชื้นสัมพัทธ์ /100 (ตัวอย่างเช่นที่ความชื้นสัมพัทธ์100% a_w มีค่าเท่ากับ1.00ซึ่งเป็นจุดที่น้ำมีความเครียดเป็นศูนย์ (Zero tension) ซึ่งหมายถึงไม่ต้องใช้พลังงานในการแยกน้ำออกจากระบบที่สนใจหรือโมเลกุลของน้ำทั้งหมดเป็นอิสระ)เพื่อช่วยให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ของน้ำและ a_w มากขึ้นให้ลองคิดว่าในอาหารประกอบด้วยโมเลกุลจำนวนมากทั้งที่เป็นโมเลกุลเดี่ยวๆที่สามารถแตกตัวออกเป็นไอออนและกลุ่มโมเลกุลหรืออนุภาคที่มีและไม่มีประจุต่างๆทั้งที่ละลายและไม่ละลายน้ำโมเลกุลหรืออนุภาคเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อ a_w ของอาหารที่สนใจในลักษณะที่แตกต่างกันดังนี้คือ

(1) โมเลกุลหรืออนุภาคที่ละลายน้ำ(เช่นเกลือหรือน้ำตาล) เมื่อเกิดการละลายไอออนหรืออนุภาคเหล่านี้จะเกิดพันธะกับโมเลกุลของน้ำ(Ionic, dipole-dipole, hydrogen bonds) ทำให้ต้องใช้พลังงานในการดึงโมเลกุลของน้ำออกมาจากอาหารมากขึ้นส่งผลให้ a_w มีค่าลดลง

(2) โมเลกุลหรืออนุภาคที่ไม่ละลายน้ำ(เช่นแป้งโปรตีนหรือไขมัน) เมื่ออยู่ในระบบที่มีน้ำจะเกิดSurface interaction ระหว่างโมเลกุลของน้ำและChemical groups ของโมเลกุลหรืออนุภากดังกล่าว(Dipole-dipole, ionic bonds (H_3O^+ หรือ OH^-), van der waals force (hydrophobic bonds), hydrogen

bonds) หรือการที่โมเลกุลน้ำจะต้องแข่งขันกับโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำเพื่อแย่งโอกาสของการหลุดพ้นทำให้ออกใช้พลังงานในการดึงโมเลกุลของน้ำออกมาจากอาหารมากขึ้น a_w จึงมีค่าลดลง

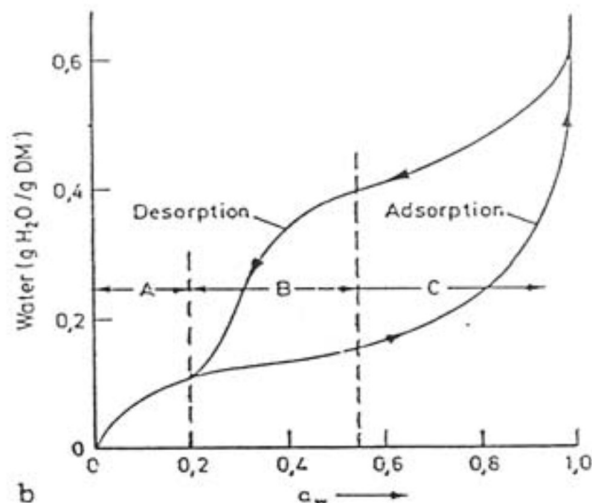
(3) ในอาหารที่เป็นของแข็งโมเลกุลของน้ำที่แทรกอยู่ในชั้นอาหารจะมีCapillary effect ซึ่งเกิดจากแรงยึดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับช่องเล็กๆของชั้นอาหารทำให้ต้องใช้พลังงานในการดึงโมเลกุลของน้ำออกมาจากอาหารมากขึ้น a_w จึงมีค่าลดลง

นอกจากนี้สถานะของอาหารที่เปลี่ยนไปยังมีผลทำให้ค่า a_w ของอาหารเปลี่ยนไปด้วยซึ่งปัจจัยที่มีผลให้อาหารเปลี่ยนแปลงสถานะคืออุณหภูมิเพราะอุณหภูมิจะไปมีผลโดยตรงต่อการยึดเกาะการเกิดพันธะและการละลายของน้ำและโมเลกุลหรืออนุภาคต่างๆในอาหารดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนก็จะมีผลต่อค่า a_w ของอาหารด้วยแต่การเปลี่ยนแปลงของค่า a_w เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะเป็นลักษณะเฉพาะของอาหาร กล่าวคืออาหารบางชนิดอาจมีค่า a_w สูงขึ้นในขณะที่อาหารบางชนิดอาจมีค่า a_w ต่ำลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w และความชื้นของอาหารสามารถนำเสนอได้ในรูปของโค้งดูดซับความชื้น (sorption curve) คุณลักษณะโค้งดูดซับความชื้นของอาหารที่อุณหภูมิเดียวกันเรียกว่าsorption isotherm การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและsorption isotherm จะให้คุณประโยชน์ในด้าน

- (1) ความยากง่ายของกระบวนการลดความชื้นหรือการทำเข้มข้นเมื่อเทียบกับค่า a_w ที่ต้องการ
- (2) การประเมินความเสถียรของอาหาร
- (3) การยืดอายุอาหารเมื่อต้องการเก็บเป็นระยะเวลายาวนานเพื่อจัดจำหน่าย

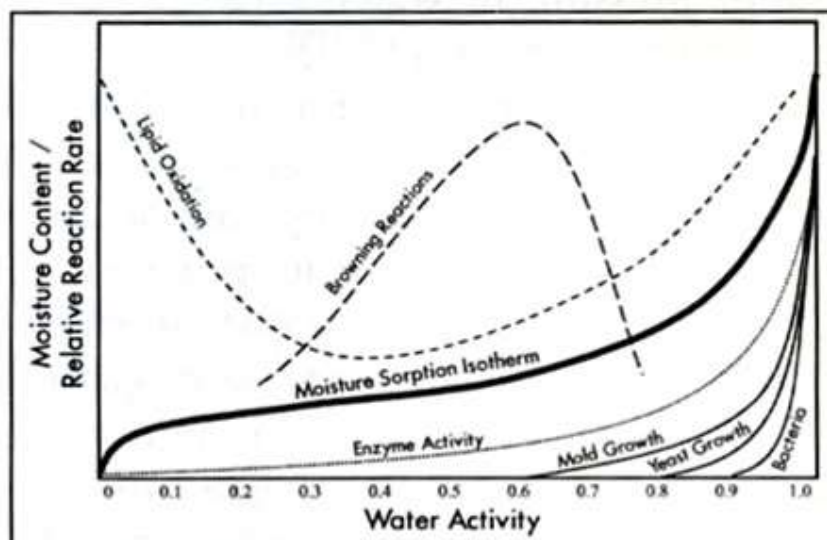
Sorption isotherm จะมีลักษณะเป็นรูปซิกมอยด์(Sigmoidal shape) สามารถแบ่งเป็น2 แบบคือ desorption และ adsorption isotherm กระบวนการdesorption คือกระบวนการลดความชื้นในขณะที่กระบวนการadsorption คือกระบวนการเพิ่มความชื้นโดยปกติแล้วกระบวนการทั้งสองจะไม่สามารถย้อนกลับได้(irreversible process) จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์ ฮิสเตอร์เรซิส(hysteresis) ดังในภาพที่2.5



ภาพที่ 2.5 Sorption isotherm ที่มา : Fennema (1996)

อาหารที่มีแอกติวิตีของน้ำต่ำจะทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ช้าลง ลดปฏิกิริยาของเอนไซม์จึงลดการเกิดสีน้ำตาล และลดการเหม็นหืน ดังนั้นอาหารที่มีค่า a_w ต่ำจึงมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าอาหารที่มีค่า a_w สูง อาหารที่สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุดคือ มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.2-0.4 ดังภาพ 2.6

การทำงานร่วมกันระหว่าง a_w กับอุณหภูมิ pH ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ หรือสารเคมีที่ช่วยในการเก็บรักษาอาหาร มีผลสำคัญต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สภาวะแวดล้อมซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ การลด a_w จะมีผลต่อการเจริญยิ่งขึ้น เป็นผลให้มีการใช้กลไกการควบคุมการเจริญซึ่งไม่รุนแรงนักหลายๆ กลไกมารวมกัน ทำให้สามารถเก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น โดยรักษาคุณค่าทางโภชนาการหรือคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสให้มากที่สุดอย่างไรก็ตามแม้ว่าจะปรับหรือควบคุมค่า a_w ให้ต่ำแล้วก็ตาม อาหารก็เสื่อมได้เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ที่เป็นไปอย่างช้าๆ ในอาหาร



ภาพที่ 2.6 ผลของเอกติวิติของน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์ เอนไซม์และเคมีในอาหาร (Labuza, 1971)

2.9. คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุอบแห้ง (สมชาติ, 2540)

คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุอบแห้ง มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการอบแห้ง ซึ่งในการวิเคราะห์การอบแห้งจำเป็นต้องใช้ค่าคุณสมบัติทางความร้อนมาเป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณแต่คุณสมบัติบางอย่างมีผลกระทบน้อยจึงไม่สามารถนำมาพิจารณาได้ คุณสมบัติทางความร้อนที่จะกล่าวถึงในที่นี้ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ และความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำภายในวัสดุ

2.9.1 ความร้อนจำเพาะ

ความร้อนจำเพาะ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้วัสดุหนึ่งหน่วยมวลมีอุณหภูมิสูงขึ้นหนึ่งองศา ที่ความดันหรือปริมาตรคงที่ โดยส่วนใหญ่แล้วในกระบวนการอบแห้งมักเกี่ยวข้องกับความดันคงที่มากกว่าปริมาตรคงที่ วิธีการหาค่าความร้อนจำเพาะมีหลายแบบ แต่วิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ วิธีผสม โดยการใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า แคลอรีมิเตอร์ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวทำด้วยโลหะหุ้มฉนวนอย่างดี และมีแท่งกวนของผสมให้เข้ากันระหว่างวัสดุที่ต้องการหาค่าความร้อนจำเพาะกับของเหลวซึ่งโดยมากใช้น้ำ ส่วนวิธีที่ใช้การคำนวณหานั้นจะพิจารณาให้ตัวแคลอรีมิเตอร์และของผสมอยู่ภายในนั้นเป็นระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์

2.9.2 ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำในวัสดุ

ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ หมายถึง ความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของสารจากของเหลวให้เป็นไอที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ในกระบวนการอบแห้งจะมีการระเหยน้ำจากภายในวัสดุ และความร้อนแฝงในการระเหยน้ำในวัสดุนี้มีค่าสูงกว่าน้ำที่อยู่อย่างอิสระโดยเฉพาะเมื่อความชื้นในวัสดุยังมีค่าต่ำลง การระเหยน้ำก็จะเป็นไปได้ยากขึ้นและต้องใช้พลังงานมากขึ้นนั้น คือความร้อนแฝงของน้ำในวัสดุจะมีค่าใกล้เคียงกับที่อยู่อย่างอิสระด้วย

2.10. งานวิจัยการอบแห้งด้วยพลังงานร่วมกับรังสีอินฟราเรด

สุทธิชัย (2550) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งปลานิลด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรด ซึ่งประกอบไปด้วยหลอดอินฟราเรด ชุดควบคุมอุณหภูมิ และตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ การควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งใช้การปิด-เปิดหลอดอินฟราเรดด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิแบบระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์PID controllerซึ่งเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวางซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการค่าตัวแปรของPID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบอุณหภูมิที่ทำการศึกษามี 3 ระดับ คือ 50 60 และ 70 C ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งเนื้อปลานิลด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดมีอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการอบแห้ง ทำให้เวลาในการอบแห้งสั้นลงเมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยเครื่องพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรด และการอบแห้งวิธีอื่นๆ ที่อุณหภูมิ 70 C พบว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดใช้เวลาในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมชุดให้ความร้อนแบบแผ่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเดียว และการอบแห้งโดยใช้แสงแดดโดยตรงตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 60 C คุณภาพด้านสี การหดตัว และค่าความแข็ง ของเนื้อปลานิลอบแห้ง ไม่แตกต่างจากเนื้อปลานิลที่ได้จากการตากแดดโดยตรง จึงสรุปได้ว่าที่อุณหภูมิ 60 C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งเมื่อพิจารณาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้ง

ชากี (2558) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งบอระเพ็ดเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรและอาหารเสริมเพื่อสุขภาพบอระเพ็ดผงอัดแคปซูล ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรด โดยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดขนาดสามิต ทดลองอบแห้งบอระเพ็ดหนา 3 มิลลิเมตร น้ำหนักรวม 300กรัมและแยกเป็นกองๆละ 10 กรัม เพื่อให้ความชื้นได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนคือ ร้อยละ 80 มาตรฐานเปียก ควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในห้องอบที่ 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าที่ช่วงอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการอบแห้ง 77 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่ใช้

เวลาน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 55, 50 และ 45 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อศึกษาเปรียบเทียบ การอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากรังสีอินฟราเรดอย่างเดียวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส, การตากแห้งแบบเกษตรกรทั่วไป และการศึกษาปัจจัยขนาดความหนาเพิ่มเป็น 5 มิลลิเมตร พบว่าใช้เวลาในการอบแห้งทั้งสิ้น 92, 256 และ 178 นาที ตามลำดับ ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยภายในสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของสิ่งแวดล้อมอยู่ประมาณ 22 องศาเซลเซียส และมีการศึกษาวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปพบว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E.coli* และ เชื้อ *S.aureus* ได้

สุวรรธณ และคณะ (2012) ได้ศึกษาปัจจัยของสภาวะในการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์ และคุณภาพของขนุนแห้งสายพันธุ์ทองประเสริฐ ด้วยสภาวะการทดลองอบแห้งที่แตกต่างกัน 4 เงื่อนไข ได้แก่ การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด การอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมระหว่างรังสีอินฟราเรดและลมร้อน การอบแห้งแบบสองขั้นตอนด้วย ไมโครเวฟและลมร้อน และสุดท้ายคือการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว โดยในทุกการทดลองที่อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดจะใช้กำลังเท่ากับ 1,000 W และกำลังของไมโครเวฟที่ 90 W (โดยใช้เวลาอบแห้ง 3 นาที) สำหรับกรณีที่ใช้ลมร้อนจะใช้ความเร็วของอากาศเท่ากับ 1.1 m/s และทุกเงื่อนไขของการอบแห้ง จะทดลองอบแห้งขนุนในช่วงอุณหภูมิ 40-60°C โดยมีค่าความชื้นเริ่มต้นของขนุนอยู่ในช่วง 300-400% dry-basis (d.b.) และอบแห้งจนค่าความชื้นสุดท้ายของขนุนอยู่ในช่วง 12-19% dry-basis จากผลการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งขนุนขึ้นกับอุณหภูมิอบแห้งอย่างมากเมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง สำหรับการศึกษากลศาสตร์ของการอบแห้งชั้นบางของขนุน พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งขนุนแบบชั้นบางโดยใช้สมการแบบ Logarithmic, Approximation of Diffusion และ Modified Page สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมการ อบแห้งขนุนด้วยรังสีอินฟราเรด การอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมระหว่างรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอนด้วยคลื่นไมโครเวฟกับลมร้อนได้เป็นอย่างดี ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแหล่งพลังงานที่ใช้ พบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานอื่นๆ นอกจากนี้ พบว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอบแห้งที่สูงจะมีความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่ากรณีการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การหัดตัว สี และความยอมรับในการบริโภคพบว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE^*) เพิ่มขึ้น ในทางตรงข้าม พบว่าค่าความเป็นสีแดง (a^*) และการหัดตัวมีค่าลดลง นอกจากนี้ การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการชิมและความยอมรับได้ในการบริโภคในแต่ละสภาวะอบแห้ง พบว่าขนุนอบแห้งทุกเงื่อนไขการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดย ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิอบแห้ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) และร้อยละของการหัดตัวของผลิตภัณฑ์

อัจฉรา และคณะ (2013) ได้ศึกษาปัจจัยของสภาวะในการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพการอบแห้งพริกไทย โดยกระบวนการอบแห้งแบบ 1 ขั้นตอน ด้วยการพาความร้อนของลมร้อน การแผ่รังสีอินฟราเรดและกระบวนการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน ด้วยการแผ่รังสีของไมโครเวฟร่วมการพาความร้อนด้วยลมร้อน และการอบแห้ง 2 ขั้นตอนด้วยไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรด โดยความชื้นเริ่มต้นของเม็ดพริกไทยสดและความชื้นสุดท้ายของเม็ดพริกไทยแห้งอยู่ในช่วงร้อยละ 300-400 ของมูลฐานแห้งและร้อยละ 12-16 ของมูลฐานแห้ง ตามลำดับ ผลทดลองพบว่า การอบแห้งพริกไทยเกิดขึ้นในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง โดยอุณหภูมิอบแห้งมีผลโดยตรงต่ออัตราการอบแห้งและระยะเวลาอบแห้ง นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การอบแห้งด้วยอุณหภูมิอบแห้งสูงทุกแหล่งพลังงานความร้อนจะมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่ากรณีอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ และที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเพียงอย่างเดียวมีอัตราการอบแห้งและค่าสัมประสิทธิ์ การแพร่ยังผลสูงที่สุด ในกรณีการสร้างแบบจำลองทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ด้วยวิธีการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น สรุปได้ว่า แบบจำลองของ Page สามารถ ทำนายผลจลนพลศาสตร์การอบแห้งพริกไทยด้วยรังสีอินฟราเรดทั้งแบบขั้นตอนเดียว การอบแห้งด้วยลมร้อนแบบขั้นตอนเดียว และ การอบแห้ง 2 ขั้นตอนด้วยไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดได้ดีที่สุด ส่วนกรณีการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน โดยใช้ไมโครเวฟกับลมร้อน ผลการทดลองอัตราส่วนความชื้นจะมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับผลการทำนายด้วยแบบจำลองลอการิทึม (Logarithmic model) และ จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพได้แก่ การหาค่าสีในระบบ CIE-lab ในเทอมของความสว่าง (L^*) ความเป็นสีแดง (a^*) และความเป็นสีเหลือง (b^*) และร้อยละของการหดตัว สรุปได้ว่า ที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำ (อัตราการอบแห้งต่ำ) การหดตัวของพริกไทยมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งสูง (อัตราการอบแห้งสูง) และค่าความสว่าง (L^*) ของพริกไทยภายหลังการอบแห้ง ที่อุณหภูมิต่ำ มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง การอบแห้งด้วยลมร้อนนั้นค่าความสว่างลดลงกว่ากรณีเงื่อนไขอบแห้งอื่นๆ โดยอุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีผลต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ ($p < 0.05$) และผลิตภัณฑ์พริกไทยดำอบแห้งสำหรับทุกสภาวะการทดลองเป็นที่ยอมรับในการบริโภค สำหรับการหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ สรุปได้ว่าการอบแห้งโดยการแผ่รังสีความร้อนจากรังสีอินฟราเรด และการใช้แหล่งพลังงานความร้อนร่วมไมโครเวฟและรังสีอินฟราเรดมีค่าความสิ้นเปลือง พลังงานจำเพาะต่ำเมื่อเทียบกับสภาวะการอบแห้งอื่นๆ ในการอบแห้งพริกไทยดำที่อุณหภูมิอบแห้งในช่วง 50-80°C

2.11. ข้อมูลเกี่ยวกับผลของรังสีอินฟราเรดต่อคุณสมบัติทางโภชนาการและการประหยัดพลังงาน

คุณสมบัติทางโภชนาการจะมีการเปลี่ยนแปลงไป และสารต้านอนุมูลอิสระในวัตถุดิบทางการเกษตรจะสลายไปพร้อมกับการแปรรูปที่ใช้ความร้อนหรือการสัมผัสแสงอาทิตย์ดังตารางต่อไปนี้ (Kathiravan, K et al., 2008)

ตารางที่ 2.1 ผลของรังสีอินฟราเรดต่อคุณภาพของอาหาร

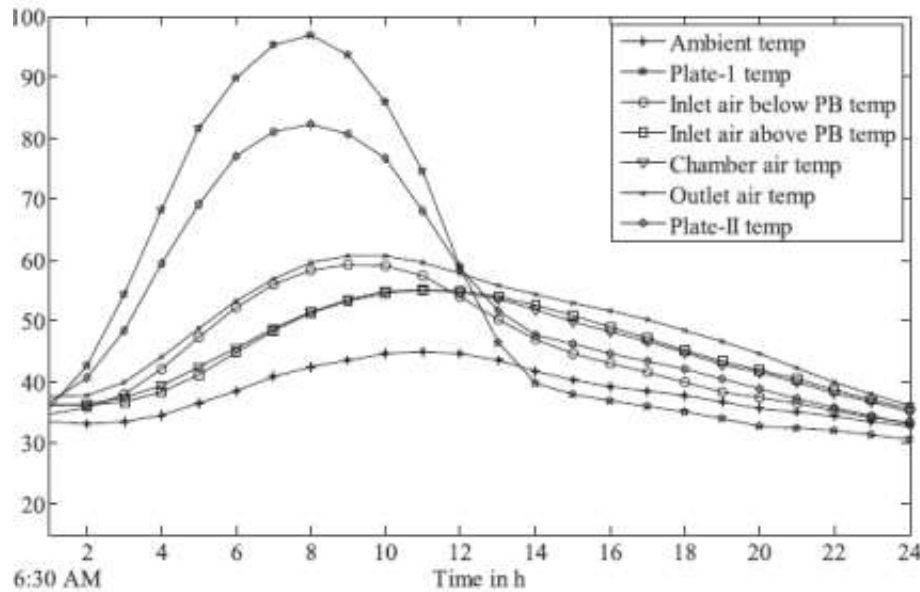
Food product	Parameters effecting nutritional quality	Effect of treatment	Reference
Barley	Germination rate at 55 °C	25% increase by combination of IR heating and convectional heating	Afzal and others (1999)
Wheat	Germination rates (heat treatment for 63 s each)	Convectional heating: 90% to 97% Intermittent IR heating: 80% to 86% Continuous IR heating: 78% to 85%	Uchino and others (2000)
Lentils	Phytic acid content	Untreated: 2.34% High density IR heating (170 °C): 1.06%	Arntfield and others (2001)
Full fat soybeans	Protein solubility	Infrared heating: 84% Spouted bed drying: 82% Extrusion: 73%	Wiriyumpaiwong and others (2004)
Lentils	Protein solubility	Untreated: 74.7% High-density IR heating (170 °C): 50.9%	Arntfield and others (2001)
Soymilk	Protein digestibility	Untreated: 83.2% IR heat treated (110 to 115 °C): 86.5%	Metussin and others (1992)
Crude canola oil	Phosphorus content	Untreated canola seeds: 46 ppm IR heat treated (123 °C): 273 ppm	McCurdy (1992)
	Sulfur content	Untreated canola seeds: 1.4 ppm IR heat treated (123 °C): 4.4 ppm	McCurdy (1992)
Soymilk	Available lysine content	Untreated: 4.64 g/16 g N IR heat treated (110 to 115 °C): 6.14 g/16 g N	Metussin and others (1992)
Fried chicken	Thiamine retention	Reheated by IR heating: 81% to 84% Convection heating: 86% to 96%	Ang and others (1978)
Orange juice	D values for vitamin C degradation at 75 °C	Convectional heating: 27.02 min Ohmic heating: 23.72 min Infrared heating: 23.76 min	Vikram and others (2005)
Full fat soybeans	Reduction in urease activity at 140 °C and 28% moisture (d.b.)	Infrared heating: 53% Spouted bed drying: 30%	Wiriyumpaiwong and others (2004)
Peanut hulls	Antioxidant activities (total phenolic compounds in water extract, after 60 min)	FIR irradiation: 141.6 µM FIR heating: 90.3 µM	Lee and others (2006)
	Radical scavenging activities	FIR irradiation: 48.83% FIR heating: 23.69%	

และเนื่องจากการทำให้แห้งด้วยรังสีอินฟราเรดจะทำให้กระบวนการอบแห้งใช้ระยะเวลาน้อยกว่ากระบวนการอื่นจึงทำให้ต้นทุนด้านพลังงานจะถูกกว่าดังรายงานวิจัยที่ยืนยันจำนวนมาก Dostie and others (1989), Sakai and Hanzawa (1994), Afzal and others (1999), Hebbar and others (2004), Lin and others (2005)

2.12 การประยุกต์ใช้ พาราฟินแว็กซ์ Paraffin Wax

จากการศึกษาวิจัยของ Dilip Jain และPratibhaTewari (2015) ซึ่งได้ใช้แท่งโลหะที่บรรจุสาร ไฮเทียน พาราฟิน แวกซ์ Paraffin Wax [CAS: 8002-74-2] เป็นแว็กซ์ที่ได้มาจากกากส่วนที่เหลือ (byproduct) ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ (Crude oil) โดยกระบวนการกลั่นน้ำมันแบบหากลั่นลำดับส่วน (Fractional Distillation) ไฮหรือกากแว็กซ์ที่ได้จากการกลั่นนี้ เรียกว่า สแลก แวกซ์ (Slack wax)ซึ่งยังมีปริมาณน้ำมันในแว็กซ์สูง โดยนำสแลก แวกซ์ (Slack wax) ที่ได้ มาผ่านกระบวนการการสกัดน้ำมันออกจากแว็กซ์ (Sweating Purification) เพื่อให้ได้พาราฟิน แวกซ์ ที่มีปริมาณน้ำมันในแว็กซ์ (Oil content) ตาม

ค่ามาตรฐานของพาราฟิน แวกซ์ที่สามารถนำมาใช้ทำเทียน และใช้ประโยชน์กับกับอุตสาหกรรมอื่นๆและมีสมบัติค่าคงที่ความร้อนแฝงสูงที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวสะสมความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งได้อีก 5-6 ชั่วโมงหลังจากที่แสงแดดได้ลดลงแล้ว ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การกระจายของอุณหภูมิภายในและภายนอกเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แท่งพาราฟิน Dilip Jain และPratibhaTewari (2015)

2.13 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมและการตัดสินใจเกี่ยวกับการประดิษฐ์เครื่องมือ อุปกรณ์ในกระบวนการการแปรรูปวัตถุดิบทางการเกษตรและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการตัดสินใจเลือกโครงการหรือเครื่องจักรอุปกรณ์โดยวิศวกร นักวิเคราะห์พลังงาน ของกิจการ ประชานบริษัท ผู้บริหาร หรือผู้มีอำนาจในการตัดสินใจ จำเป็นต้องมีเครื่องมือหรือเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ โดยส่วนใหญ่มักจะเป็นการตัดสินใจเลือกทางเลือกใดทางเลือกหนึ่ง จากหลายๆ ทางเลือกเสมอ ดังนั้นบุคคลที่ตัดสินใจเลือกจึงจำเป็นต้องมีความรู้ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมอย่างเพียงพอ ที่จะทำการเลือกโครงการที่มีผลตอบแทนมากที่สุด มีความสามารถที่จะจัดการกับเงินทุนที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดด้วย และต้องมั่นใจว่าสามารถเพิ่มมูลค่าของเงินทุน (Value Adding) ได้อย่างสูงสุดด้วย สำหรับปัจจัยในการเลือก ทางเลือกในการลงทุนนั้นอาจมีทั้งปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ และปัจจัยอื่นที่ไม่เกี่ยวกับเศรษฐศาสตร์เลยก็ได้ ซึ่ง ปัจจัยนี้อาจเป็นปัจจัยที่เป็นด้านนามธรรม เช่น ความสะดวกสบาย ความสัมพันธ์ส่วนบุคคล เป็นต้น ดังนั้น การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมจึงการใช้หลักเกณฑ์ ทฤษฎี หรือสูตรคำนวณมาทำการประมาณค่า และประเมินผลลัพธ์ทางเศรษฐศาสตร์ หรืออาจเป็นการใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์มาช่วยทำให้การตัดสินใจ

เปรียบเทียบทางเลือกในการลงทุนให้ง่ายขึ้นในความเป็นจริงแล้วกระบวนการตัดสินใจที่แท้จริง ไม่ใช่เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องมือต่าง ๆ หรือสมการทางคณิตศาสตร์ แต่เป็นคนเป็นผู้ที่ทำการตัดสินใจ ดังนั้นเทคนิคและเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมจึงเป็นเพียงเครื่องมือที่ช่วยให้คนมีการตัดสินใจที่เหมาะสมและง่ายขึ้นซึ่งการตัดสินใจนี้จะเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลักที่สำคัญ 3 ประการคือกระแสเงินสด (Cash Flow) เวลาที่เกิดขึ้น (Time of Occurrence) และอัตราดอกเบี้ย (Interest Rate) ซึ่งการประมาณค่านี้จะเป็นการประมาณค่าที่เกิดขึ้นในอนาคตซึ่งอาจจะไม่เป็นจริงเสมอไปดังนั้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำและใกล้เคียงมากที่สุดกระบวนการตัดสินใจ (Decision Making) จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งโดยควรมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เข้าใจปัญหาให้ถ่องแท้และเริ่มตั้งวัตถุประสงค์ของการตัดสินใจ
2. เก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด
3. วิเคราะห์ทางเลือกที่เป็นไปได้ในการแก้ปัญหาและทำการประมาณค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องเช่นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นรายรับ ฯลฯ
4. ระบุเกณฑ์ในการตัดสินใจโดยอาจมีเกณฑ์มากกว่า 1 เกณฑ์
5. เลือกทางเลือกที่ดีที่สุด
6. ทำตามแผนที่ได้กำหนดไว้และติดตามผล

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Assessment of Economic Value) ไพบูลย์(2548) ในการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์หรือระบบใช้การทำงานมักจะพิจารณาโดยการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยพิจารณาจากผลตอบแทนที่ได้รับมากที่สุดหรือค่าใช้จ่ายต่ำสุดหรือระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดวิธีการต่างๆที่นิยมใช้ในการประเมินได้แก่

- ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คือ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสม จากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับมูลค่าในการลงทุนทั้งหมด ระยะเวลาคืนทุนที่นิยมใช้จะเป็นแบบวิธีระยะคืนทุนแบบง่าย (Simple Payback Period : SPB) ซึ่งเป็นวิธีคิดง่ายๆ โดยคำนวณจาก

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{มูลค่าในการลงทุนรวม}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิสะสมรายปี}}$$

- การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลบวกของรายรับทั้งหมดและรายจ่ายทั้งหมดที่ได้จากโครงการโดยการปรับทุกค่ามาที่เวลาปัจจุบัน โครงการที่มี NPV มีค่าเป็นบวก + แสดงว่าน่าสนใจในการลงทุน และโครงการที่มี NPV สูงๆ จะถูกเลือกค่า NPV สามารถคำนวณจากสมการ

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} - TIC$$

หรือสามารถเขียนได้เป็น

$$NPV = PVNCF - TIC$$

เมื่อ

R_n = ผลตอบแทนในปีที่ n

C_n = ค่าใช้จ่ายในปีที่ n

N = ระยะเวลาโครงการ

i = อัตราส่วนลด (Discount Rate) หรือ อัตราดอกเบี้ย (Interest)

TIC = เงินลงทุนทั้งหมด ณ เวลาปัจจุบัน Total Investment Cost

- การประเมินค่ารายปี (Annual Cost Method)

วิธีประเมินค่ารายปีหรือมูลค่าเทียบเท่ารายปี (Annual Worth Analysis: AW) วิธีนี้เป็นการประเมินค่าใช้จ่ายรายปีของอุปกรณ์ หรือระบบต่างๆ และนำมาเปรียบเทียบกับเพื่อเลือกขนาดอุปกรณ์ หรือประเภทของอุปกรณ์ที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด ค่าใช้จ่ายรายปีที่นิยมนำมาพิจารณาประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง ค่าใช้จ่ายในการดูแลอุปกรณ์ ในบางครั้งการพิจารณาผลตอบแทนสุทธิรายปี ซึ่งเป็นผลตอบแทนที่ได้ และหักออกด้วยค่าใช้จ่ายทั้งหมด โดยค่าเหล่านี้ พิจารณาเป็นค่ารายปี อุปกรณ์หรือระบบที่ให้ ค่าตอบแทนสุทธิรายปีสูงสุดจะถูกเลือก สมการที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย 3 สมการคือ

$$A = P \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)$$

ค่าในวงเล็บจากสมการ เรียกว่า เป็นค่าตัวประกอบการระดมทุน หรือ Capital Recovery Factor (CRF) หรือ A/P Factor เป็นการหาค่า A ที่มี ค่าเท่ากันตลอดช่วงเวลา n ที่พิจารณาที่อัตราดอกเบี้ยทบต้น $i\%$ โดยทราบค่ามูลค่า P

$$A = F \left(\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right)$$

ค่าในวงเล็บที่มาจากสมการ เรียกว่า ตัวประกอบต้นทุนจม (Sinking Fund Factor, A/F Factor) ใช้ในการหาอนุกรมมูลค่าเทียบเท่ารายปี (A) เมื่อทราบมูลค่าของเงินในอนาคต (F)

$$A = \frac{G}{i} \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} - \frac{n}{(1+i)^n} \right] \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

$$A = G \left[\frac{1}{i} - \frac{n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad \text{หรือ} \quad (A / G, i, n)$$

ตัวประกอบ Cash Flow ที่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงในขนาดที่เท่ากันทุกช่วงเวลา (Arithmetic Gradient Factor, P/G และ A/G Factor) Arithmetic Gradient Factor เป็นชุดของ Cash Flow ที่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงในปริมาณที่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งอาจเป็นได้ ทั้ง Cash flow ในแดนบวกหรือในแดนลบ ซึ่งปริมาณที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลานี้ เรียกว่าเป็น “Gradient (G)”

- อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return)

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) ในการลงทุนโครงการขนาดใหญ่มีการใช้เงินลงทุนสูงจึงจำเป็นที่ผู้ลงทุนต้องคำนวณหาอัตราผลตอบแทนที่คุ้มค่ากับการลงทุน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่สามารถตอบสนองความพึงพอใจ (Minimum Attractive Rate of Return: MARR)

ค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) คือ อัตราผลตอบแทนการลงทุนหรืออัตราส่วนลด (Discount Rate) หรืออัตราดอกเบี้ย (Interest: i) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมดหรืออาจกล่าวได้ว่า อัตราผลตอบแทนภายในคืออัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธินี้ได้จากค่าตอบแทนการลงทุนมีค่าเป็นศูนย์นั่นคือ ค่า IRR คือค่า i ที่ทำให้ NPV = 0 สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} - TIC = 0 \quad \text{หรือ} \quad NPV = PVNCF - TIC = 0$$

- การวิเคราะห์ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit/Cost Analysis)

$$B / C \text{ ratio} = \frac{\text{Benefit}}{\text{Cost}}$$

ผลประโยชน์ (Benefit) คือ สิ่งที่เป็นประโยชน์ซึ่งได้รับเพิ่มขึ้นทั้งในด้านทรัพย์สินและสวัสดิการจากการลงทุน

เงินลงทุน (Cost) คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ต้องชำระตลอดการดำเนินงานตามการลงทุน

ข้อมูลต่างๆ ที่สามารถใช้ในการประกอบการตัดสินใจ เช่น ค่าไฟฟ้าทั้งหมด kWh , เงินลงทุนในการสร้างประกอบเครื่องอบแห้งรายปี, มูลค่าซากรายปี, ค่าบำรุงรักษา, ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารายปี, ค่าจ้างแรงงานรายปี, ค่าต้นทุนวัตถุดิบรายปี, รวมต้นทุนรายปี, ผลตอบแทนรายปี, กำไรสุทธิรายปี, ระยะเวลาคืนทุน และ ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิต เป็นต้น ดังที่ปรากฏในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไปนี้

เทวรัตน์ (2555) ได้ศึกษาการทดสอบอบแห้งผักด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนสามารถทำการอบแห้งผักเพื่อใช้เป็นส่วนผสมของอาหารกึ่งสำเร็จรูป อย่างเช่น แครอท และหอมสับได้ดี เมื่อประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งรวมทั้งสิ้น 339.68 โดยแบ่งออกเป็นต้นทุนค่าเครื่องอบแห้ง 28.59 บาทต่อกิโลกรัมแครอทแห้งค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า 30.63 บาทต่อกิโลกรัมแครอทแห้งค่าบำรุงรักษารายปี 10.18 บาทต่อกิโลกรัมแครอทแห้ง ค่าจ้างแรงงาน 270.27 บาทต่อกิโลกรัมแครอทแห้ง ซึ่งจะพบว่าค่าจ้างแรงงานเป็นต้นทุนที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับต้นทุนอื่น แต่เนื่องจากกำลังการผลิตที่ต่ำดังนั้นแรงงานนี้อาจนำไปใช้ประโยชน์อื่นในระหว่างทำการอบแห้งก็จะยังทำให้เกิดความคุ้มค่ามากขึ้น

ธเนศ และคณะ (2558) ได้ทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เครื่องอบแห้งพลังงานร่วม (ชีวมวล-แสงอาทิตย์) สำหรับการแปรรูปกล้วยโดยพิจารณา 2 กรณีคือการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และการอบแห้งโดยใช้ความร้อนร่วมจากพลังงานแสงอาทิตย์และชีวมวลในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ไม่ได้พิจารณาในกรณีของการอบแห้งโดยใช้ความร้อนจากชีวมวลเพราะเนื่องจากหากพิจารณากรณีนี้ผู้ใช้ต้องทำงานเฉพาะในเวลากลางคืน ซึ่งไม่เหมาะสมในการทำงาน และการพิจารณาทั้ง 2 กรณีจะพิจารณาเฉพาะการทำงานในช่วงเวลากลางวันเท่านั้น ทั้งนี้ค่าประกอบการวิเคราะห์พบว่าจะได้กำไรต่อครั้งเท่ากับ 493.69 บาท กรณีการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และเท่ากับ 1,056.21 บาท กรณีการอบแห้งโดยใช้พลังงานร่วมแสงอาทิตย์กับชีวมวล การวิเคราะห์ค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าในการอบแห้งกล้วยโดยใช้พลังงานความร้อนร่วม จะสามารถคืนทุนได้ภายในการอบแห้งจำนวน 20 ครั้ง หรือคิดเป็น 0.65 ปี ส่วนการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนแสงอาทิตย์จะคืนทุนภายในการอบแห้ง 7 ครั้ง คิดเป็น 0.58 ปี จะเห็นว่าระยะเวลาคืนทุนในกรณีการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าน้อยกว่าการอบแห้งโดยใช้ความร้อนร่วมเนื่องจากราคาค่าลงทุนที่ต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าทางเศรษฐศาสตร์ ค่าอื่นๆ คือ อัตราการคืนผลเฉลี่ย (ARR), อัตราส่วนระหว่างผลตอบแทนและต้นทุน (BCR) และ อัตราส่วนระหว่างผลตอบแทนและต้นทุนสุทธิ (NBCR) ของการอบแห้งด้วยพลังงานร่วม จะมีค่าที่ดีกว่าการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เพราะค่าทางเศรษฐศาสตร์เหล่านี้เป็นค่าที่พิจารณาจากผลกำไรสุทธิไม่ใช้จากรายรับ ซึ่งผลกำไรสุทธิของการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนร่วมมีค่าสูงกว่าการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 2 เท่า

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม แสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดขนาดทดลอง

3.1.1 สร้างเครื่องอบแห้งขนาดทดลองด้วยพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรด ขนาดห้องอบแห้งประมาณ 35 x 76 x 68 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และหลอด รังสีอินฟราเรด 1 หลอด ขนาด 220 โวลต์ 350 วัตต์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และพัดลมดูดอากาศจำนวน 4 ตัว ขนาด 12 โวลต์ 0.18 แอมแปร์ ช่องลม 2.2 นิ้ว ทำการทดลอง เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมนำผลลูกหยีที่เก็บได้ตามพื้นที่ใกล้เคียงนำมากะเทาะเปลือกแล้วชั่งน้ำหนักให้ได้ 1,000 กรัม จากนั้นแยกเป็นกองๆละ 100 กรัม นำไปวางในตู้อบแห้งพลังงานความร้อนร่วม จากนั้นอบแห้ง ภายใต้อุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ บันทึกน้ำหนักทุกๆ 10 นาที แล้ววิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงความชื้นในรูปของความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

3.1.2 การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรด, การอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอินฟราเรดอย่างเดียว และการตากแห้งแบบเกษตรกรทั่วไป โดยการตรวจวัดคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการตรวจวัดทางกายภาพคือ การวัดค่าสี ค่าความแข็ง และค่า aw เป็นข้อมูลในการเลือกสภาวะที่ดีที่สุดของการอบแห้ง

3.1.3 การทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสด้านรสชาติ สี กลิ่น และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบตัวแทนวิสาหกิจชุมชน จำนวน 30 คน ด้วยวิธี 9-point hedonic scale (ระดับคะแนน 1=ไม่ชอบอย่างยิ่ง, 9= ชอบอย่างยิ่ง) (Meilgaard *et al*, 2007)

3.2. การศึกษาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรด ขนาดต้นแบบ

3.2.1. พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดขนาดต้นแบบ ตามแบบที่กำหนดไว้ เพื่อศึกษาทดลองตามสภาวะที่ดีที่สุดจากเครื่องอบแห้งขนาดทดลองและศึกษาประสิทธิภาพในการแปรรูปจริง

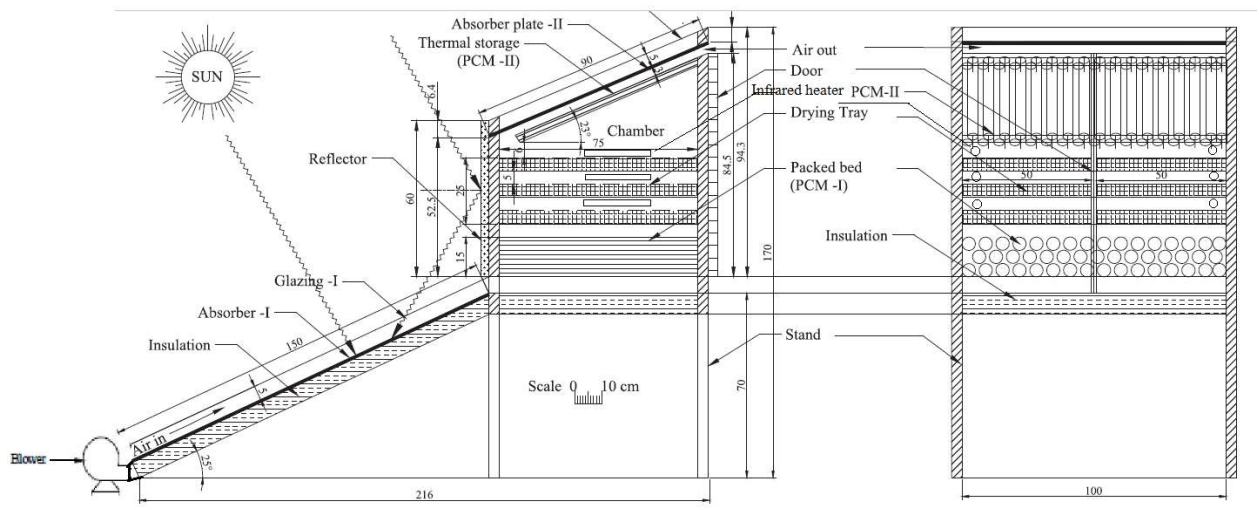
3.2.2. การศึกษาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดขนาดต้นแบบ โดยวัดตัวแปรที่ส่งผลต่อการอบแห้งคือ ความแตกต่างของความชื้นภายในและภายนอกเครื่อง การกระจายตัวของอุณหภูมิในเครื่อง อุณหภูมิภายนอกเครื่อง การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิภายในเครื่องเมื่อพัดลมทำงานเพิ่มขึ้นหลายตัว และข้อมูลความเข้มของแสงแดด

3.2.3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบกระบวนการแปรรูปด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดและเครื่องอบแห้งลมร้อน

3.3.สร้างเครื่องอบแห้งที่มีขนาดจริงโดยทำการทดลองจนสามารถควบคุมการแปรรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และคำนวณกำลังการผลิตของเครื่องเพื่อการสาธิตต่อเกษตรกร

เครื่องอบแห้งถูกหยาด้วยพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและแสงอาทิตย์แบบกระจายอากาศร้อนโดยมีแท่งสะสมความร้อน

Mix Infrared and Indirect Solar Air Collector Heat System with Packed Bed of PCM Dryer



ภาพที่ 3.1 แบบของเครื่องอบแห้งต้นแบบ

- ใช้สเตนเลสเกรดอาหาร stainless steel เกรด 306
- สามารถอบได้ 6 ถาดๆละ 50x50 ซม.
- มีหลอดอินฟราเรด 3หลอด
- มีแท่งพาราฟิน แวกซ์ ช่วยเก็บความร้อน
- สามารถควบคุมเวลา อุณหภูมิและความชื้นได้โดยมีพัดลมช่วยควบคุมความเร็วลมภายในตู้ที่ทำงานสัมพันธ์กับ อินฟราเรด และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

3.4การคำนวณพลังงานและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

1. โดยการคำนวณหน่วยไฟฟ้าจากสูตร

$$\text{จำนวนหน่วย [หน่วย]} = \text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{เวลา [ชั่วโมง]} / 1,000$$

2. คัดคำนวณต้นทุนและกำไร ระยะเวลาการคืนทุน

3.5แผนงานโครงการ

กิจกรรม	เดือนที่											
	พค	มิย	กค	สค	กย	ตค	พย	ธค	มค	กพ	มีค	เมย
1. การประชุมหารือความร่วมมือกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกหยีระดับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้												
2. ประดิษฐ์เครื่องอบแห้ง												
3. ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรด												
4. การวิเคราะห์หาค่าความชื้นต่อเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้ง, การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งที่ประดิษฐ์ขึ้น, การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานแยกและนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัส												
5. นำข้อมูลมาคำนวณพลังงานและข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์												
6. สร้างเครื่องอบแห้งที่มีขนาดจริงโดยทำการทดลองจนสามารถควบคุมการแปรรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและคำนวณกำลังการผลิตของเครื่องเพื่อการสาธิตต่อเกษตรกร												
7. ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีและผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย คือ กลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกหยีระดับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้												
8. วิเคราะห์และสรุปรายงานเป็นรูปเล่ม												

บทที่ 4

ผลการดำเนินการ

4.1 การประชุมหรือความร่วมมือกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกหยีระดับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้

คณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่เพื่อทำการสำรวจ สัมภาษณ์ และหารือกับผู้ประกอบการถึงแนวทางในการพัฒนากระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกหยีจากผู้ประกอบการระดับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในจังหวัดปัตตานี ยะลา และนราธิวาส จำนวน 9 ราย ในเขตจังหวัดปัตตานี 6 ราย นราธิวาส 2 และยะลา 1 ราย พบว่า สามารถจำแนกผู้ประกอบการ เป็นสามประเภทคือ

ผู้ประกอบการขนาดใหญ่ คือมีการรับซื้อลูกหยีดำ (ยังไม่ได้กระเทาะเปลือก) และลูกหยีแดง (ที่ผ่านการกระเทาะเปลือกและตากแดดแล้ว) นำไปเก็บเพื่อสะสมไว้หรือนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทันที โดยมีจำนวนปริมาณที่เก็บสะสมและนำไปแปรรูปเป็นจำนวนมาก

ผู้ประกอบการขนาดเล็กหรือรายย่อย คือรับซื้อลูกหยีดำหรือเก็บจากต้น แล้วนำไปตากแดดหนึ่งวัน แล้วกระเทาะเปลือก แล้วตากแดดอีกครั้งจนแห้ง แล้วนำไปจำหน่ายให้กับผู้ประกอบการที่รับซื้อต่อไป

ผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชน คือจัดตั้งเป็นกลุ่มโดยผ่านการจดทะเบียนถูกต้อง โดยสมาชิกจะมีการรวมกลุ่มในการประกอบการแปรรูปผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่รับซื้อลูกหยีดำ นำไปตากแดดเป็นลูกหยีแดง แล้วนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นโดยสมาชิกของกลุ่ม

นอกจากนี้ มีผู้ประกอบการระดับใหญ่และวิสาหกิจชุมชนจะมีเครื่องอบแห้งลมร้อน และหรือโรงอบแห้งแบบโดมจากการสนับสนุนของกระทรวงพลังงานแล้วบ้าง แต่เมื่อสอบถามแล้ว ก็พบว่า ยังไม่สามารถแก้ปัญหากรณีที่ฤดูเก็บผลลูกหยี เนื่องจากพื้นที่ตากแดดไม่เพียงพอต่อปริมาณที่รับซื้อเข้ามา โดยทยอยเอามาตากแดด บางวันก็มีฝนตก ไม่สามารถตากแดดได้ เครื่องอบแห้งก็มีไม่เพียงพอ หรือมีบางครั้งลูกหยีที่รับซื้อมาโดนน้ำฝนทำให้เปียกชื้นไม่ทันที่จะนำไปตากแดด

หลังจากที่ได้พูดคุยหารือกับผู้ประกอบการระดับใหญ่และวิสาหกิจชุมชนทุกราย เห็นพ้องตรงกันว่า ถ้ามีเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นก็จะช่วยแก้ไขปัญหาได้ และยินดีที่จะให้ความร่วมมือกับคณะผู้วิจัยที่จะสนับสนุนในการทดลองวิจัย และสนใจที่จะนำเครื่องอบแห้งที่ได้พัฒนาเอาไปใช้ในการแปรรูปจริงถ้ามีประสิทธิภาพคุ้มค่าต่อราคาเครื่องและผลในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่น่าสนใจ ซึ่งคณะผู้วิจัยก็ได้ตกลงในความร่วมมือนี้



ภาพที่ 4.1 รูปภาพการลงพื้นที่พบผู้ประกอบการ

4.2 ประดิษฐ์เครื่องอบแห้ง

ได้ดำเนินการสั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องอบแห้งขนาดทดลองและทำการทดลองเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสม โดยห้องอบแห้งประมาณ $35 \times 76 \times 68$ ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และหลอด รังสีอินฟราเรด 1 หลอด ขนาด 220 โวลต์ 350 วัตต์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และพัดลมดูดอากาศจำนวน 4 ตัว ขนาด 12 โวลต์ 0.18 แอมแปร์ ช่องลม 2.2 นิ้ว



ภาพที่ 4.2 ภาพแสดงเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดขนาดทดลอง

ส่วนเครื่องอบแห้งต้นแบบได้ดำเนินการประกอบสร้างเครื่องเสร็จดังภาพต่อไปนี้





ภาพที่ 4.3 ภาพเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากแสงแดดร่วมพลังงานรังสีอินฟราเรด
ผลการอบแห้งของลูกหอย

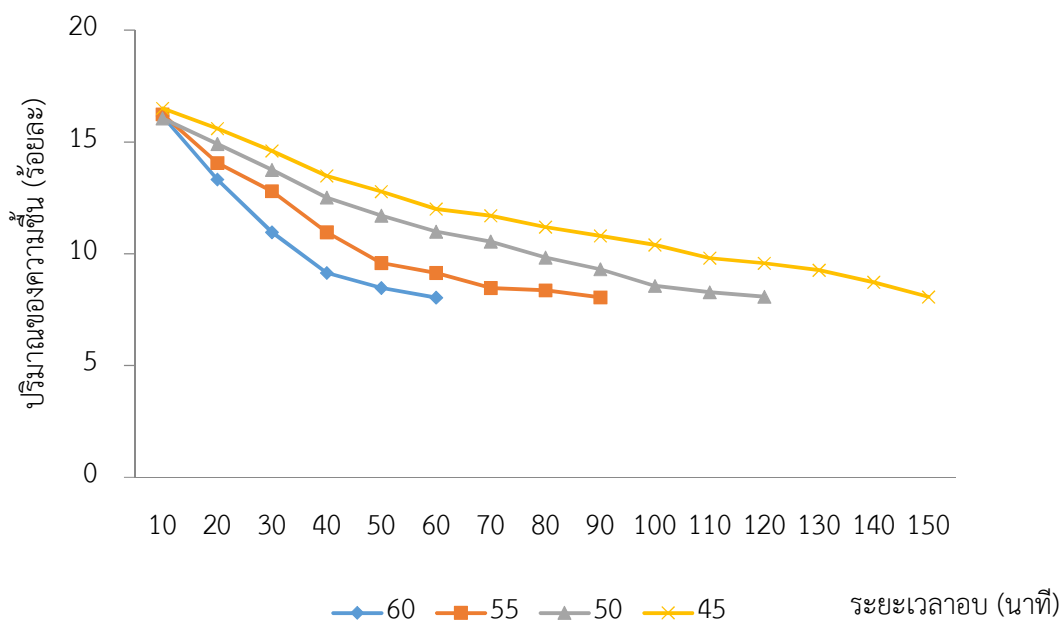


ภาพที่ 4.4 ภาพผลลูกหอยก่อนและหลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม

4.3สถานะที่เหมาะสมในการอบแห้งลูกหยีจากพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรด

4.3.1 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรด

การศึกษานี้ศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพในการอบแห้งในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ โดยใช้หลักการพิจารณาลดปริมาณของความชื้นในตัวอย่างลูกหยีให้เร็วที่สุดโดยการลดปริมาณความชื้นที่ใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นของลูกหยีแห้งที่ผู้ประกอบการเก็บรักษาได้ระยะเวลานาน นามาวีเคราะห์ ซึ่งมีปริมาณของความชื้นประมาณร้อยละ 8 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งโดยอุณหภูมิการอบแห้งที่ 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้อุณหภูมิการอบลูกหยีที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาที่ 60 นาที (ภาพที่ 4.5) เพราะว่าเป็นช่วงที่ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด

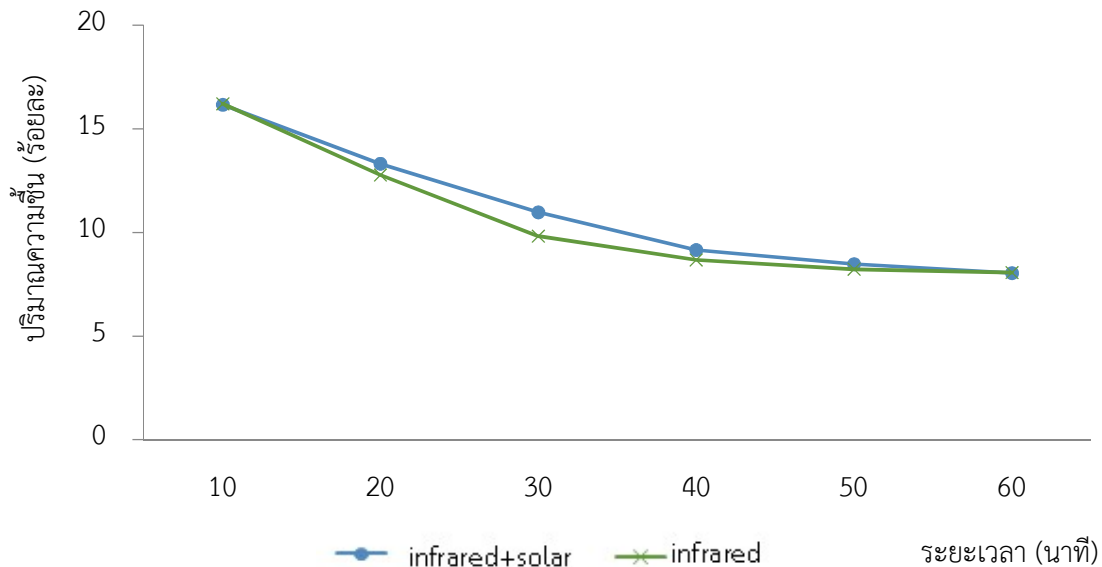


ภาพที่ 4.5ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบต่อปริมาณความชื้นที่ลดลง

4.3.2 ศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งลูกหยีระหว่างการอบแห้งลูกหยีด้วยพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดกับการอบแห้งลูกหยีด้วยพลังงานจากรังสีอินฟราเรดอย่างเดียว

การศึกษานี้ศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดอย่างเดียวในการรองรับการทำงานกรณีที่สภาวะภูมิอากาศไม่มีแสงแดดหรือแดดอ่อนหรือฝนตกเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องภายในการทำงานแหล่งกำเนิดความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดอย่างเดียว และมีการทำงานร่วมกับ

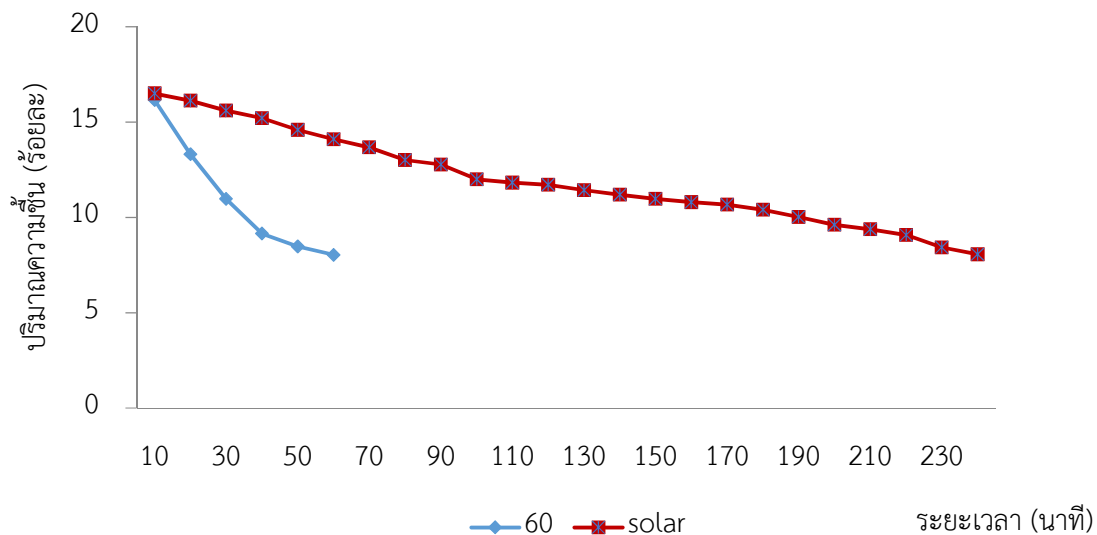
พลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรด โดยการปรับอุณหภูมิการทำงานที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเพราะช่วยในการลดปริมาณของความชื้นในลูกหยีเร็วที่สุด จากการศึกษาพบว่าการใช้รังสีอินฟราเรดอย่างเดียวช่วยในการลดปริมาณของความชื้นได้ดีกว่า ในช่วงเวลานาทีที่ 10 ถึง 50 ทั้งนี้เพราะแท่งอินฟราเรดฮีตเตอร์ได้แผ่ความร้อนอย่างคงที่ที่ทำให้สภาพอุณหภูมิสม่ำเสมอจึงทำให้การถ่ายโอนมวลได้ดี (ภาพที่ 4.6) แต่จะใช้ปริมาณของกระแสไฟฟ้าสูงกว่าการใช้อินฟราเรดอย่างเดียวร่วมแสงอาทิตย์ ดังนั้นการศึกษาใช้พลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์จะประหยัดค่าไฟฟ้าและให้ผลผลิตของลูกหยีที่ได้จากการอบมีคุณภาพใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.6การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในการอบแห้งลูกหยีด้วยการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดและการอบแห้งด้วยพลังงานจากรังสีอินฟราเรดอย่างเดียวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

4.3.3 การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดกับการตากแห้งแบบเกษตรกรทั่วไป

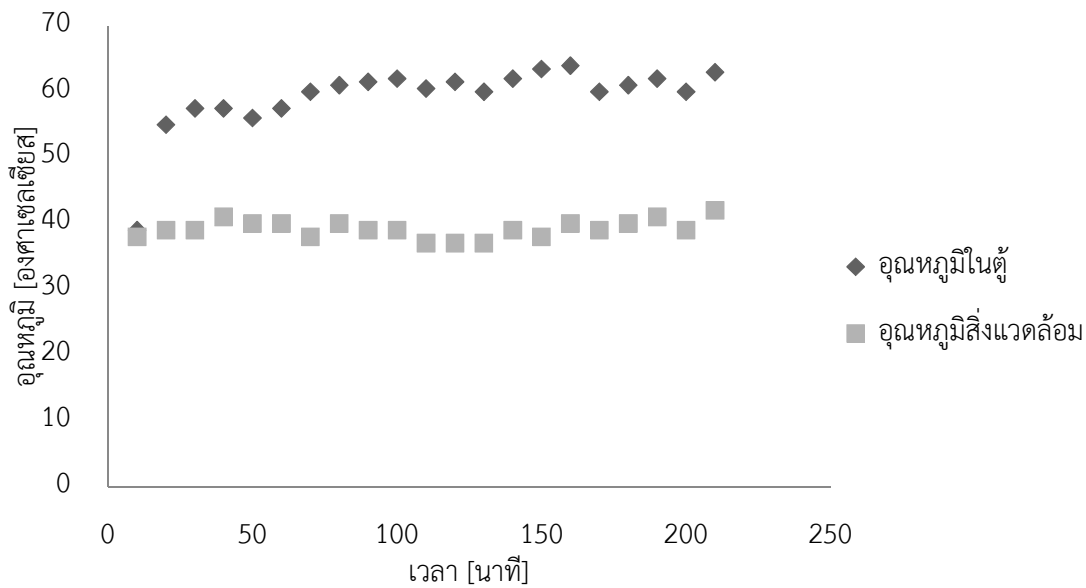
การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของเครื่องอบแห้งและกระบวนการอบแห้งของเกษตรกรทั่วไป จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งจะช่วยประหยัดระยะเวลาในการตากแดดลดลง โดยการใช้เครื่องอบใช้เวลาเพียง 1 ชั่วโมง (ภาพที่ 4.7) โดยมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณความชื้นได้เร็วกว่าและลดการปนเปื้อนของเศษหิน และฝุ่นละอองจากอากาศเป็นต้น



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาและความชื้นของการอบแห้งระหว่างการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสกับการตากแห้งแบบเกษตรกรทั่วไป

4.3.4 การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งที่ผลิตขึ้นและการตากแห้งแบบเกษตรกรทั่วไป

การควบคุมคุณภาพของเครื่องโดยการศึกษาคงค่าความสม่ำเสมอของอุณหภูมิภายในเครื่องโดยเปรียบเทียบกับผลการตากแดดของเกษตรกรทั่วไปจากการศึกษาความสม่ำเสมอโดยทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเครื่องมีความสม่ำเสมอมากกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมนอกเครื่องต้อบ ดังนั้นประสิทธิภาพในการควบคุมสภาวะอุณหภูมิของเครื่องอบและสามารถในการอบผลิตภัณฑ์ลูกหยีมีความคงที่ของอุณหภูมิมีคุณภาพและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.8ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในของเครื่องอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

4.3.5 ลักษณะคุณภาพ (quality attribute) ตามที่ผู้ประกอบการแนะนำ

การประเมินทางประสาทสัมผัสของลูกหยีที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งโดยตัวแทนจากผู้ประกอบการทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ 9- point Hedonic scale การอบใช้พลังงานความร้อนจากอินฟราเรดร่วมแสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียสและการตากแดด พบว่า คุณภาพด้าน สี ความกรอบ กลิ่น ความเปรี้ยว รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีคะแนนการยอมรับที่ใกล้เคียงกับการตากแดดของเกษตรกรทั่วไปตามที่ผู้ประกอบการต้องการ ทั้งนี้เป็นเพราะเป็นสภาวะที่สามารถทำให้การถ่ายโอนมวลและการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่ใกล้เคียงกัน และที่สภาวะอุณหภูมิอื่นๆ ยิ่งอุณหภูมิในการอบแห้งต่ำลง ก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติทั้งคุณภาพด้าน สี ความกรอบ กลิ่น ความเปรี้ยว รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มีค่าน้อยลงไปด้วย เพราะว่า สภาวะที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลน้อยซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพของลูกหยีที่มีสภาพไม่ตรงกับลักษณะที่ผู้ประกอบการต้องการ (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสลูกหอยที่ผ่านการอบแห้งด้วยพลังงานร่วมที่อุณหภูมิต่างๆ เปรียบเทียบกับการตากแดด

การทดสอบทางประสาทสัมผัส	ชุดการทดลอง				
	45	50	55	60	ตากแดด
สี	4.33±0.61 ^d	5.26±0.77 ^c	6.10±0.61 ^b	8.33±0.56 ^a	8.23±0.62 ^a
ความกรอบ	5.86±0.67 ^d	5.63±0.76 ^c	7.56±0.71 ^b	8.10±0.56 ^a	8.13±0.63 ^a
กลิ่น	4.30±0.73 ^d	5.43±0.87 ^c	7.10±0.67 ^b	8.13±0.71 ^a	8.13±0.73 ^a
ความเปรี้ยว	4.50±0.87 ^d	5.40±1.03 ^c	6.86±1.05 ^b	7.30±0.85 ^a	7.26±0.88 ^a
รสชาติ	4.43±1.12 ^d	5.26±1.09 ^c	5.86±1.17 ^b	7.93±1.14 ^a	7.83±1.26 ^a
เนื้อสัมผัส	4.73±0.59 ^d	5.50±0.51 ^c	7.00±0.64 ^b	7.70±0.49 ^a	7.96±0.56 ^a
ความชอบโดยรวม	4.46±0.63 ^d	5.03±0.74 ^c	6.56±0.52 ^b	8.70±0.63 ^a	8.70±0.56 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3.6 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของลูกหอยสดและลูกหอยที่ผ่านการอบแห้ง

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของลูกหอยที่ผ่านการตากแดดและอบแห้งที่อุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าสีของเนื้อลูกหอยมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยที่เนื้อลูกหอยที่ผ่านการอบแห้งมีค่าความสว่างน้อยกว่าเนื้อลูกหอยสด เนื่องจากลูกหอยที่ผ่านการอบแห้งมีผลจากการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างและสีจากการตากแดดของลูกหอย ลูกหอยจะมีลักษณะสีแดงเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง โดยการเปลี่ยนแปลงของสีในเนื้อลูกหอยเกิดจากสารสีที่มีอยู่ในลูกหอยและเมื่อทำการตากแดดและอบแห้งทำให้น้ำระเหยออกทำให้ลูกหอยมีสีภาวะความเป็นกรดและสารมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นการแสดงออกของสารนี้เห็นได้ชัดเจนมากขึ้น รวมทั้งมีปฏิกิริยาเมลลาร์ดและการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ (Marty-Audouin, C., Rocha-Mier, 1999) คุณสมบัติค่า hardness (N) ของลูกหอยที่ผ่านการตากแดดและอบแห้งที่อุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียสพบว่า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกับการตากแดด และที่สภาวะอุณหภูมิที่ต่ำลงค่าจะลดลง เพราะผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงกว่า ซึ่งค่าสอดคล้องกับค่า a_w ที่สูง (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของลูกหยีสดและลูกหยีที่ผ่านการอบแห้ง

การวิเคราะห์	ชุดการทดลอง					
	สด	45	50	55	60	ตากแดด
L^*	41.58±0.74 ^a	31.00±0.01 ^b	27.31±1.03 ^c	29.58±0.49 ^d	23.28±1.01 ^e	23.05±1.02 ^e
a^*	12.41±0.15 ^d	12.18±0.41 ^d	13.55±0.29 ^c	14.19±0.05 ^b	15.37±0.01 ^a	15.43±0.02 ^a
b^*	16.27±0.57 ^a	9.26±0.43 ^d	10.37±0.59 ^c	9.36±0.04 ^d	13.27±0.02 ^b	13.14±0.09 ^b
ค่า hardness (N)	1.07±0.01 ^e	1.13±0.005 ^d	1.45±0.01 ^c	1.85±0.07 ^b	2.28±0.01 ^a	2.19±0.04 ^a
ค่า a_w	0.62±0.006 ^a	0.53±0.02 ^b	0.48±0.006 ^c	0.44±0.02 ^d	0.40±0.02 ^d	0.42±0.06 ^d

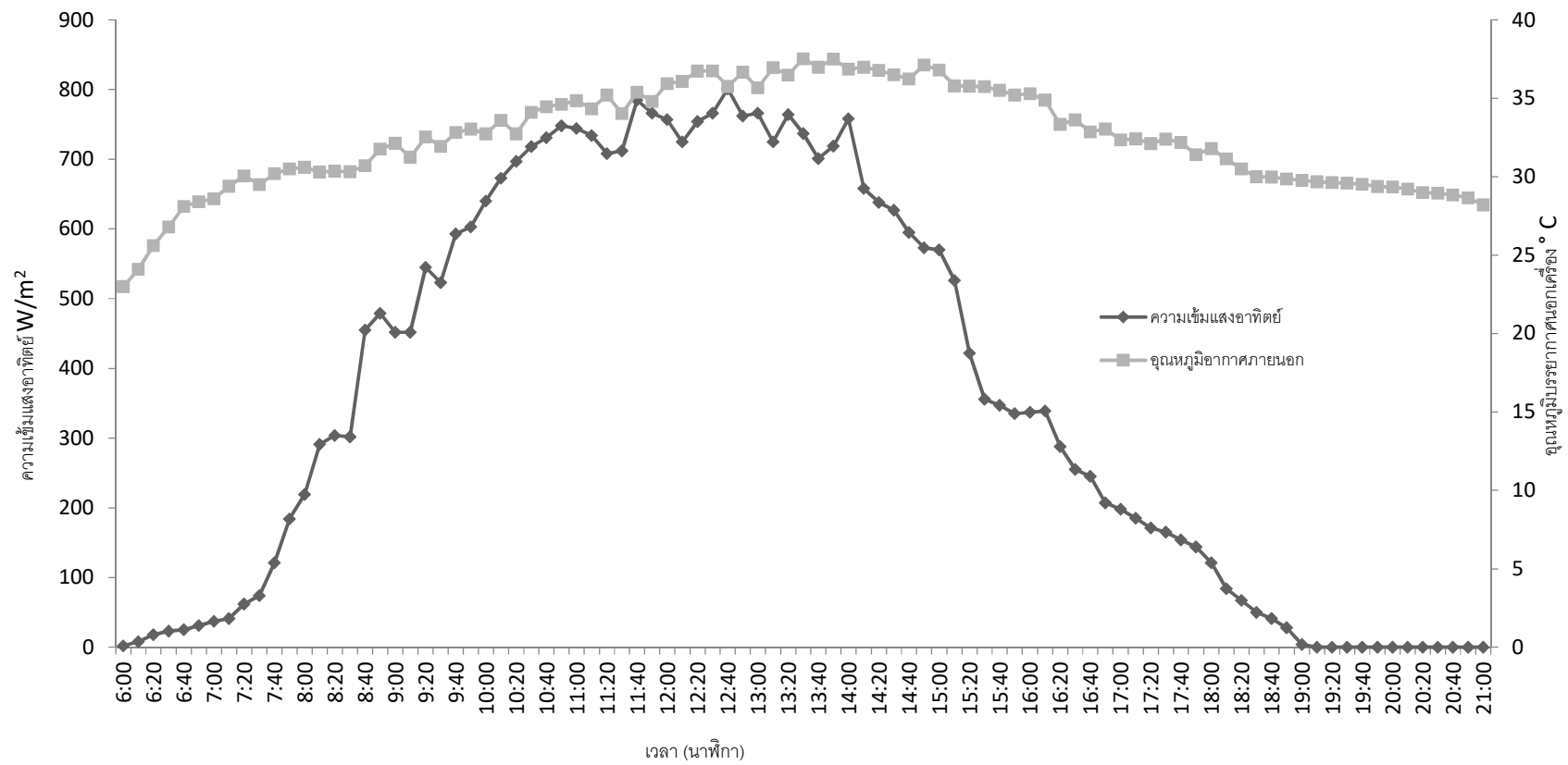
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.4 การปรับปรุงพัฒนาเครื่องอบแห้งเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ได้กำลังการผลิตสูงสุด

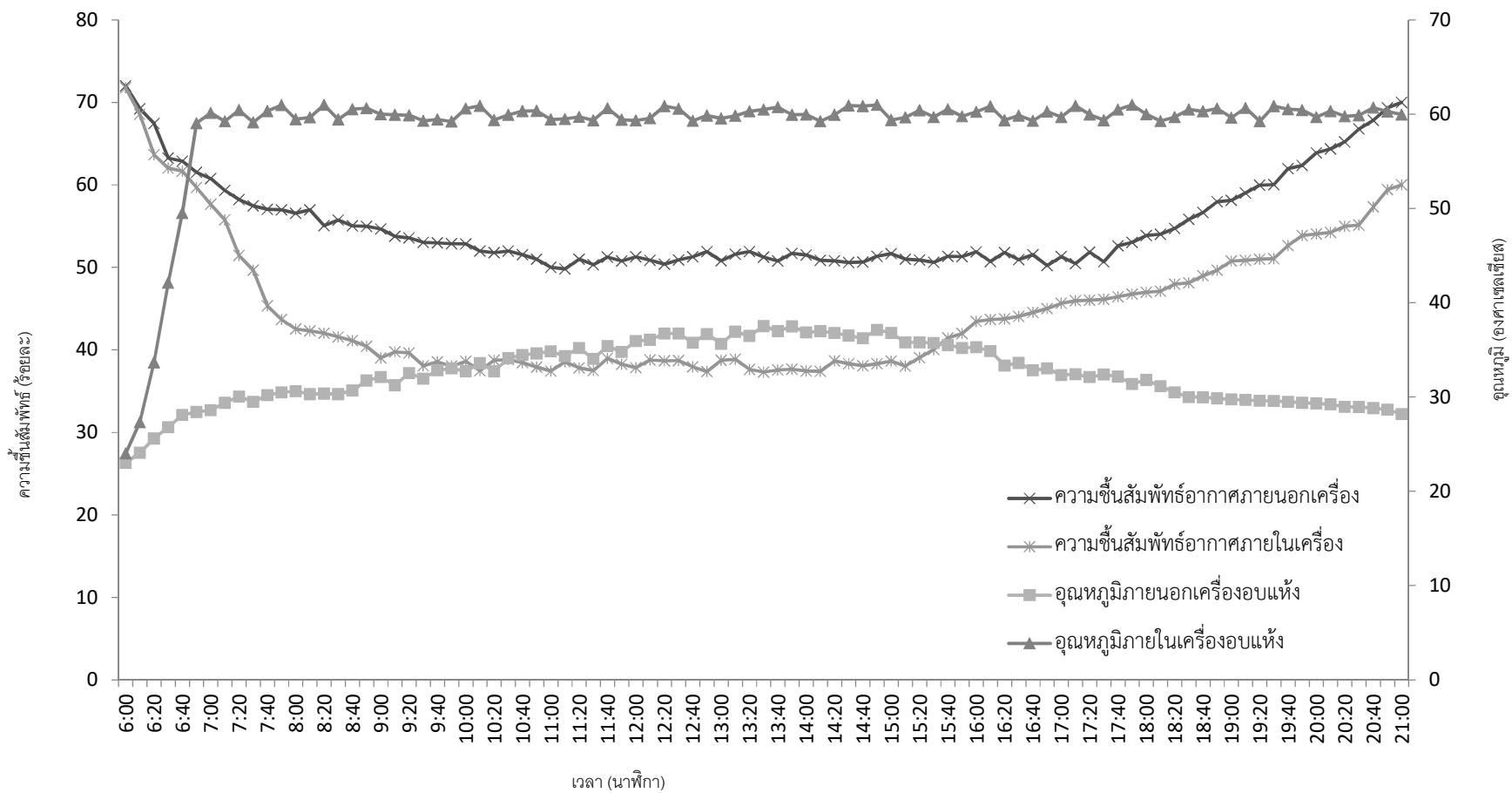
จากการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งซึ่งได้สภาวะที่ดีที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนั้น เพื่อให้เครื่องอบแห้งมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงได้ปรับปรุงและพัฒนาการทำงานโดยใช้วงจรควบคุมเพิ่มเติมคือ วงจรควบคุมอุณหภูมิ 4 จุด วงจรควบคุมความชื้นภายในและภายนอกเครื่องอบแห้ง และเพิ่มจำนวนพัดลมในการระบาย (ความเร็วลมเฉลี่ยภายในเครื่องอบแห้ง 1,800 รอบต่อนาที) โดยกลไกที่ใช้ไม่ซับซ้อนคือ วงจรควบคุมอุณหภูมิจะควบคุมการทำงานของแท่งอินฟราเรดซึ่งจะตัดไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิถึง 60 องศาเซลเซียส ส่วนวงจรควบคุมความชื้นจะเปิดไฟฟ้าให้พัดลมทำงานเมื่อความชื้นภายในตู้สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้คือที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 55 และในการอบแห้งจะมีการเกลี่ยผลลูกหยีเพื่อกลับผลเมื่อทำการอบแห้งไปแล้ว 35 นาที แล้วจึงทำการอบต่อรวมเวลาที่ดำเนินการทดสอบทั้งหมดเป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยมีผลการวัดตัวแปรที่ส่งผลต่อการอบแห้งคือ ความแตกต่างของความชื้นภายในและภายนอกเครื่อง การกระจายตัวของอุณหภูมิในเครื่อง อุณหภูมิภายนอกเครื่อง การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิภายในเครื่องอบเมื่อพัดลมทำงานเพิ่มขึ้นหลายตัว และมีข้อมูลความเข้มของแสงแดดประกอบในการศึกษาอีกด้วย



ภาพที่ 4.9 วงจรควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ต่อพ่วงกับพัดลมระบายอากาศ



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มแสงอาทิตย์กับอุณหภูมิภายนอกเครื่องอบแห้งที่เวลาการอบแห้งต่างๆ



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในและภายนอกเครื่องอบแห้งกับอุณหภูมิภายในและภายนอกเครื่องอบแห้งที่เวลาการอบแห้งต่างๆ

4.5.การคำนวณพลังงานและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรด และพลังงานแสงอาทิตย์ที่สภาวะที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในการอบแห้งใช้เวลาในการอบแห้ง 1 ชั่วโมง ต่อรอบการผลิต แต่ในทางปฏิบัติแล้ว เครื่องจะทำงานและใช้ไฟฟ้าไม่ได้เต็มชั่วโมงจริงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะ อากาศด้านความชื้นความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิของอากาศ ดังนั้นจึงคำนวณโดยประมาณกรณีที่เครื่อง ทำงานตลอดหนึ่งชั่วโมงการใช้งาน สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้คือ

- ต้นทุนการสร้างเครื่องประมาณ 70,000 บาท
- สามารถอบแห้งลูกหยีได้ครั้งละ 6 กิโลกรัม โดยคือน้ำหนักหลังการอบแห้งได้ 5.52 กิโลกรัม (จากความชื้นเริ่มต้น 16%wb ลดเหลือ 8%wb)
- ราคาลูกหยีดำ (ยังไม่กะเทาะเปลือกและเอาเมล็ดออก) เฉลี่ย 100 บาทต่อกิโลกรัม
- ราคาลูกหยีอบแห้ง (กะเทาะเปลือกแต่ยังไม่เอาเมล็ดออกแล้ว) 200 บาทต่อกิโลกรัม
- ใช้เวลาในการอบแห้งครั้งละหนึ่งชั่วโมงซึ่งในหนึ่งวันสามารถดำเนินการแปรรูปได้ประมาณ 8 ชั่วโมง
- ประมาณวันทำการแปรรูป 200 วัน
- การคำนวณต้นทุนการใช้ไฟฟ้า

$$\text{จำนวนหน่วย [หน่วย kWh]} = \text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{เวลา [ชั่วโมง]} / 1,000$$

จะได้หน่วยไฟฟ้างานนี้

1. แท่งรังสีอินฟราเรด (3×350 วัตต์ $\times$ 1 ชั่วโมง/1000) คิดเป็น 1.050
2. พัดลมดูดอากาศ (3ตัว $\times$ ขนาด 12 โวลต์ $\times$ 0.18 แอมแปร์ $\times$ 1 ชั่วโมง/1000) คิดเป็น 0.00648

ดังนั้นใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 1.05648 หน่วย

(หมายเหตุ วงจรควบคุมกินไฟน้อยมากจึงไม่นำมาคำนวณ)

- อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 9.75%
- เครื่องอบแห้งมีอายุใช้งาน 10 ปี
- มูลค่าซากคิดเป็น 10% ของต้นทุน

- ค่าบำรุงรักษารายปีคิดเป็น 5% ของต้นทุน

- ค่าไฟฟ้าราคา 2.78 บาท/kWh

- ค่าแรงคนงานต่อวัน 300 บาท

จากเงินลงทุนสามารถคิดเป็นเงินลงทุนรายปีได้ดังนี้

1. เงินลงทุนในการสร้างประกอบเครื่องอบแห้งรายปี

$$\begin{aligned} &= 70,000 \text{ CRF } (9.75\%, 10) \\ &= \frac{70,000(i(1+i)^n)}{(1+i)^n - 1} \\ &= \frac{70,000(0.0975(1+0.0975)^{10})}{(1+0.0975)^{10} - 1} \\ &= 11,270.12 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

2. มูลค่าซากรายปี

$$\begin{aligned} &= 7,000 \text{ SFF } (9.75\%, 10) \\ &= 7,000 \left(\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right) \\ &= 7,000 \left(\frac{0.0975}{(1+0.0975)^{10} - 1} \right) \\ &= 444.51 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

3. ค่าบำรุงรักษา 5% ของต้นทุน

$$= 70,000 \times 0.05 = 3,500 \text{ บาท/ปี}$$

4. ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารายปี

$$\begin{aligned} &= \text{ชั่วโมงทำงานรวม} \times \text{อัตราการใช้ไฟฟ้า} \times \text{ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย} \\ &= 200 \times 8 \times 1.06 \times 2.78 \\ &= 4,714.88 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

5. ค่าจ้างแรงงานรายปี

$$= \text{ค่าจ้างรายวัน} \times \text{วันทำการ}$$

$$= 300 \times 200 = 60,000 \text{ บาท/ปี}$$

6. ค่าต้นทุนวัตถุดิบรายปี

$$= \text{วันทำการ} \times \text{จำนวนกิโลกรัม} \times \text{ราคาต่อกิโลกรัม}$$

$$= 200 \times 48 \times 100 = 960,000 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมต้นทุนรายปี} = 11,270.12 - 444.51 + 3,500 + 4,714.88 + 60,000 + 960,000$$

$$= 1,039,040.49 \text{ บาท/ปี}$$

ผลตอบแทนรายปี

$$= \text{น้ำหนักหลังการอบแห้ง} \times \text{จำนวนครั้งในการอบต่อวัน} \times \text{วันทำการ} \times \text{ราคาลูกหยีอบแห้ง}$$

$$= 5.52 \times 8 \times 200 \times 200$$

$$= 1,766,400.00 \text{ บาท/ปี}$$

กำไรสุทธิรายปี

$$= 1,766,400.00 - 1,039,040.49$$

$$= 727,359.51 \text{ บาท/ปี}$$

ระยะเวลาคืนทุน

$$= 70,000.00 / 727,359.51$$

$$= 0.096238516 \text{ ปี}$$

ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิต

1. เงินลงทุนในการสร้างประกอบเครื่องอบแห้ง

$$= 11,270.12 / (200 \times 5.52 \times 8)$$

$$= 1.28 \text{ บาท/กิโลกรัมผลผลิตแห้ง}$$

2. ค่าไฟฟ้า

$$= 4,714.88 / (200 \times 5.52 \times 8)$$

$$= 0.53 \text{ บาท/กิโลกรัมผลผลิตแห้ง}$$

3. ค่าบำรุงรักษา

$$= 3,500 / (200 \times 5.52 \times 8)$$

$$= 0.40 \text{ บาท/กิโลกรัมผลผลิตแห้ง}$$

4. ค่าจ้างแรงงาน

$$= 60,000 / (200 \times 5.52 \times 8)$$

$$= 6.79 \text{ บาท/กิโลกรัมผลผลิตแห้ง}$$

รวมค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิต คือ 9.00 บาท/กิโลกรัมผลผลิตแห้ง

หากเปรียบเทียบกับกรอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน 5000 W

- ต้นทุนการสร้างเครื่องประมาณ 100,000 บาท
- สามารถอบแห้งลูกหยีได้ครั้งละ 6 กิโลกรัม โดยคือน้ำหนักหลังการอบแห้งได้ 5.52 กิโลกรัม (จากความชื้นเริ่มต้น 16%wb ลดเหลือ 8%wb)
- ราคาลูกหยีดำ (ยังไม่กะเทาะเปลือกและเอาเมล็ดออก) เฉลี่ย 100 บาทต่อกิโลกรัม
- ราคาลูกหยีอบแห้ง (กะเทาะเปลือกแต่ยังไม่เอาเมล็ดออกแล้ว) 200 บาทต่อกิโลกรัม
- ใช้เวลาในการอบแห้งครั้งละหนึ่งชั่วโมงซึ่งในหนึ่งวันสามารถดำเนินการแปรรูปได้ประมาณ 8 ชั่วโมง
- ประมาณวันทำการแปรรูป 200 วัน
- การคำนวณต้นทุนการใช้ไฟฟ้า

จำนวนหน่วย [หน่วย kWh] = กำลังไฟฟ้า x เวลา [ชั่วโมง] / 1,000

จะได้หน่วยไฟฟ้างดังนี้

แท่งฮีตเตอร์ (5000 วัตต์ x 1 ชั่วโมง / 1000) คิดเป็น 5.00

ดังนั้นใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 5.00 หน่วย

(หมายเหตุ วงจรควบคุมกินไฟน้อยมากจึงไม่นำมาคำนวณ)

- อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 9.75%
- เครื่องอบแห้งมีอายุใช้งาน 10 ปี
- มูลค่าซากคิดเป็น 10% ของต้นทุน
- ค่าบำรุงรักษารายปีคิดเป็น 5% ของต้นทุน
- ค่าไฟฟ้าราคา 2.78 บาท/kWh
- ค่าแรงงานต่อวัน 300 บาท

จากเงินลงทุนสามารถคิดเป็นเงินลงทุนรายปีได้ดังนี้

1. เงินลงทุนในการสร้างประกอบเครื่องอบแห้งรายปี

$$= 100,000 \text{ CRF } (9.75\%, 10)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{100,000(i(1+i)^n)}{(1+i)^n - 1} \\
&= \frac{100,000(0.0975(1+0.0975)^{10})}{(1+0.0975)^{10} - 1} \\
&= 16,100.17 \text{ บาท/ปี}
\end{aligned}$$

2. มูลค่าซากรายปี

$$\begin{aligned}
&= 10,000 \text{ SFF } (9.75\%, 10) \\
&= 10,000 \left(\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right) \\
&= 10,000 \left(\frac{0.0975}{(1+0.0975)^{10} - 1} \right) \\
&= 635.02 \text{ บาท/ปี}
\end{aligned}$$

3. ค่าบำรุงรักษา

$$= 100,000 \times 0.05 = 5,000 \text{ บาท/ปี}$$

4. ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารายปี

$$\begin{aligned}
&= \text{ชั่วโมงทำงานรวม} \times \text{อัตราการใช้ไฟฟ้า} \times \text{ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย} \\
&= 200 \times 8 \times 5 \times 2.78 \\
&= 22,240.00 \text{ บาท/ปี}
\end{aligned}$$

5. ค่าจ้างแรงงานรายปี

$$= 300 \times 200 = 60,000 \text{ บาท/ปี}$$

6. ค่าต้นทุนวัตถุดิบรายปี

$$= 200 \times 48 \times 100 = 960,000 \text{ บาท/ปี}$$

$$\begin{aligned}
\text{รวมต้นทุนรายปี} &= 16,100.17 - 635.02 + 5,000 + 22,240.00 + 60,000 + 960,000 \\
&= 1,062,705.15 \text{ บาท/ปี}
\end{aligned}$$

ผลตอบแทนรายปี

$$= 5.52 \times 8 \times 200 \times 200$$

$$= 1,766,400.00 \text{ บาท/ปี}$$

กำไรสุทธิรายปี

$$= 1,766,400.00 - 1,062,705.15$$

$$= 703,694.85 \text{ บาท/ปี}$$

ระยะเวลาคืนทุน

$$= 100,000 / 703,694.85$$

$$= 0.142107051 \text{ ปี}$$

ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิต

1. เงินลงทุนในการสร้างประกอบเครื่องอบแห้ง

$$= 16,100.17 / (200 \times 5.52 \times 8)$$

$$= 1.82 \text{ บาท/กิโลกรัมผลผลิตแห้ง}$$

2. ค่าไฟฟ้า

$$= 22,240.00 / (200 \times 5.52 \times 8)$$

$$= 2.52 \text{ บาท/กิโลกรัมผลผลิตแห้ง}$$

3. ค่าบำรุงรักษา

$$= 5,000 / (200 \times 5.52 \times 8)$$

$$= 0.57 \text{ บาท/กิโลกรัมผลผลิตแห้ง}$$

4. ค่าจ้างแรงงาน

$$= 60,000 / (200 \times 5.52 \times 8)$$

$$= 6.79 \text{ บาท/กิโลกรัมผลผลิตแห้ง}$$

รวมค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิต คือ 11.70 บาท/กิโลกรัมผลผลิตแห้ง

จึงสามารถสรุปเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการใช้เครื่องอบแห้งทั้งสองโดยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจะได้ค่าที่ต่ำกว่า เช่นค่าไฟฟ้าทั้งหมดkWh , เงินลงทุนในการสร้างประกอบเครื่องอบแห้งรายปี, มูลค่าซากรายปี, ค่าบำรุงรักษา, ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารายปี, ระยะเวลาคืนทุนและค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิตส่วนค่าจ้างแรงงานรายปีค่าต้นทุนวัตถุดิบรายปีและผลตอบแทนรายปีที่คิดเท่ากัน และทำให้ผลกำไรสุทธิรายปีที่สูงกว่าโดยความแตกต่างนี้จะมากยิ่งขึ้น เพราะในการคำนวณจะใช้สมมุติฐานกรณีเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมใช้ความร้อนจากหลอดรังสีอินฟราเรดตลอดเวลาในการแปรรูป แต่ในความเป็นจริงจะขึ้นอยู่กับสภาวะภูมิอากาศที่เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจะไม่ทำงานตลอดการแปรรูปในวันที่มีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของสภาพอากาศที่สูงดังตารางที่ 4.3 (ใช้วิธีคำนวณของ เทวรัตน์, 2555)

ตารางที่ 4.3การสรุปเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการใช้เครื่องอบแห้งลมร้อนและเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์

รายละเอียด	เครื่องอบแห้งลมร้อน	เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม
ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดkWh	5.00 หน่วย	1.05648 หน่วย
เงินลงทุนในการสร้างประกอบเครื่องอบแห้งรายปี	16,100.17 บาท/ปี	11,270.12 บาท/ปี
มูลค่าซากรายปี	635.02 บาท/ปี	444.51 บาท/ปี
ค่าบำรุงรักษา	5,000 บาท/ปี	3,500 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารายปี	22,240.00 บาท/ปี	4,714.88 บาท/ปี
ค่าจ้างแรงงานรายปี	60,000 บาท/ปี	60,000 บาท/ปี
ค่าต้นทุนวัตถุดิบรายปี	960,000 บาท/ปี	960,000 บาท/ปี
รวมต้นทุนรายปี	1,062,705.15 บาท/ปี	1,039,040.49 บาท/ปี
ผลตอบแทนรายปี	1,766,400.00 บาท/ปี	1,766,400.00 บาท/ปี
กำไรสุทธิรายปี	1,586,894.85 บาท/ปี	1,610,559.51 บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.142107051 ปี	0.096238516 ปี
ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิต	11.70 บาท/กิโลกรัมผลผลิตแห้ง	9.00บาท/กิโลกรัมผลผลิตแห้ง

4.6 การสาธิตและทดสอบใช้จากสถานประกอบการ และ การถ่ายทอดผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมายในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้

จากการนำเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงแดดร่วมกับรังสีอินฟราเรดไปสาธิตแก่ผู้ประกอบการที่มีการผลิตลูกหยีแห้งในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนนั้น ผู้ประกอบการเห็นตรงกันว่าสามารถทำการอบแห้งได้ดีเท่ากับการตากแดดแบบทั่วไปของเกษตรกร และยังสามารถประหยัดเวลาได้ดีกว่าอีกด้วย การใช้งานก็ไม่ยุ่งยาก แต่เนื่องจากปีนี้จำนวนผลผลิตของลูกหยีมีไม่มากพอ ซึ่งสามารถทำการตากแดดได้ทันผู้ประกอบการจึงเห็นว่า ยังไม่พร้อมที่จะลงทุนกับการใช้เครื่องอบแห้ง แต่ได้สนใจนำเอกสารแบบการประกอบเครื่องไปศึกษาและสนใจจะลงทุนเครื่องถ้าสามารถจัดหาลูกหยีให้ได้มากขึ้นในอนาคต



ภาพที่ 4.12 ภาพกิจกรรมในการถ่ายทอดผลการวิจัยและการสาธิตการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงแดดกับรังสีอินฟราเรด

นอกจากมีการถ่ายทอดแก่ผู้ประกอบการในพื้นที่แล้วได้ดำเนินการประสานกับองค์กรที่เกี่ยวข้องในพื้นที่พัฒนาให้เป็น “การวิจัยเชิงพื้นที่และชุมชน : ห่วงโซ่มูลค่าของลูกหยี” ซึ่งเชื่อมโยงกับแผนพัฒนาจังหวัดปัตตานี : พ.ศ. ๒๕๖๑- ๒๕๖๔ ลูกหยีเป็นอัตลักษณ์ของพื้นที่อำเภอยะรังจึงมีแผนอนุรักษ์ต้นและผลิตภัณฑ์จากลูกหยีโดยให้เกิดเป็นความร่วมมือเชิงพื้นที่จากเวทีประชาสังคมชายแดนใต้SMEs จังหวัดปัตตานีความร่วมมือกับกศน.ยะรังในการร่วมเป็นแหล่งเรียนรู้ให้กับชุมชน และวิสาหกิจชุมชนอำเภอยะรังที่จะต่อยอดผลิตภัณฑ์ใหม่ๆที่หลากหลายเจาะตลาดเก่าและสร้างตลาดใหม่ที่เป็นกลุ่มเป้าหมายเฉพาะ (Niche Market) โดยได้ร่วมกิจกรรมพัฒนาโจทย์วิจัยเชิงพื้นที่และชุมชน : สกว. (ฝ่าย4 วิจัยชุมชนและสังคม) ร่วมกับมูลนิธิมันพัฒนา

และจากเวทีประชาสังคมชายแดนใต้SMEs จังหวัดปัตตานีผู้ประกอบการรายใหญ่ไม่ยอมลงทุนเพิ่มเพราะต้องหมุนเวียนเงินในกิจการ (ซื้อลูกหยีเก็บแปรรูปรายปียอดเงิน 5 ล้านบาทโดยมีการแข่งรับซื้อแบบตัดราคา) และยังไม่ยอมไปลงทุนทำผลิตภัณฑ์ใหม่เพิ่ม (มีแนวคิดเปิดตัวผลิตภัณฑ์ใหม่อยู่แล้ว) ทำให้ผู้ประกอบการรายย่อยหน้าใหม่เกิดขึ้นมาแข่งขัน (นโยบายประชารัฐSMEs และแก้ปัญหายายแดนใต้) และกล้าที่จะลองผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ๆจำหน่ายเพื่อลองตลาด



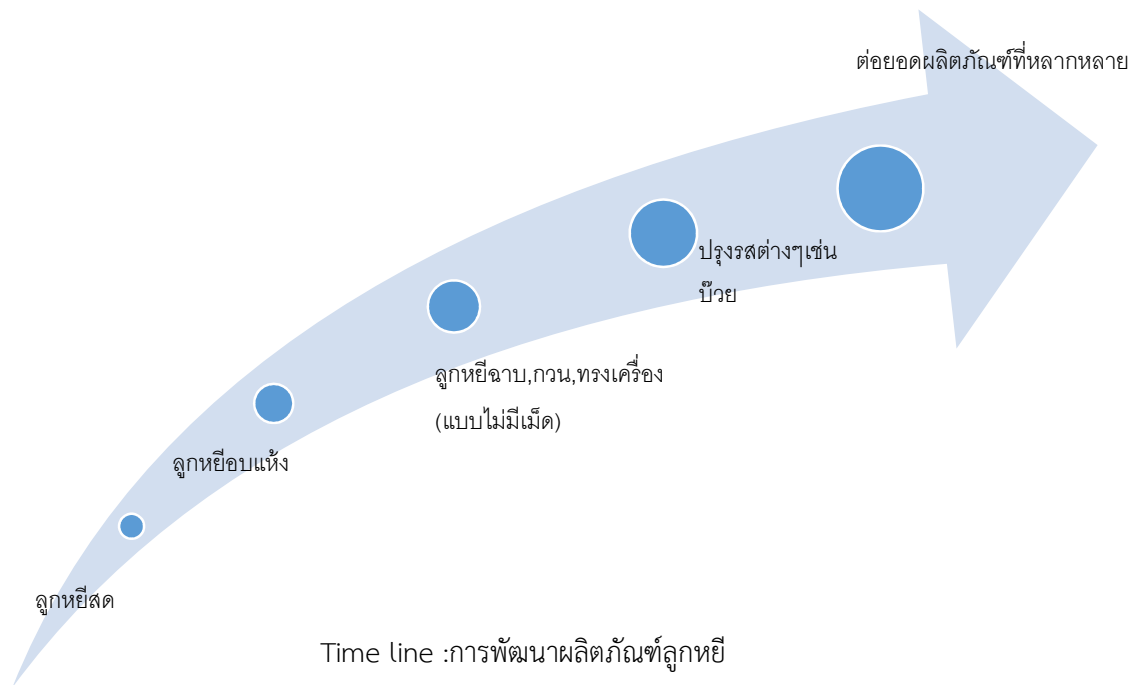
ภาพที่ 4.13 ภาพกิจกรรมการประสานกับองค์กรที่เกี่ยวข้องในพื้นที่พัฒนาให้เป็น “การวิจัยเชิงพื้นที่และชุมชน : ห่วงโซ่มูลค่าของลูกหยี”



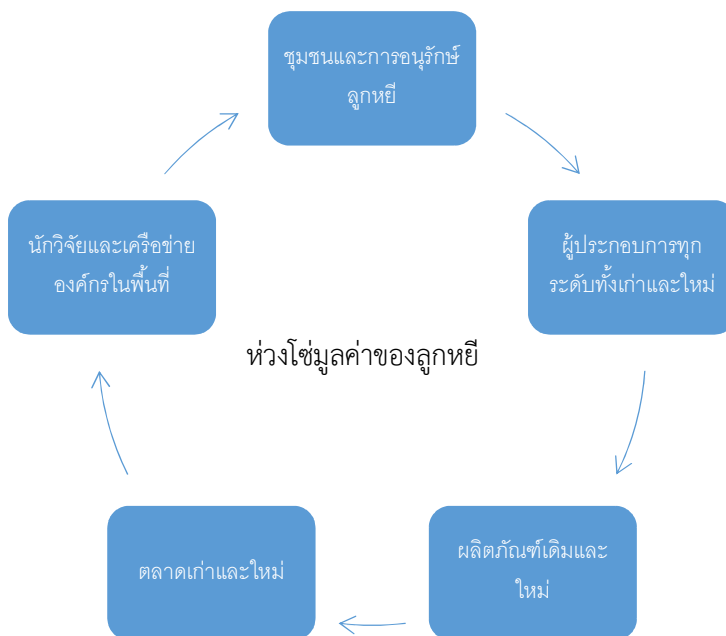
ภาพที่ 4.14 ภาพกิจกรรมความร่วมมือกับกศน.ยะรังในการพัฒนากระบวนการผลิตและเป็นแหล่งเรียนรู้ในพื้นที่ โดยมีเครื่องกระเทาะเปลือกลูกหยี และเครื่องอบแห้งลูกหยีพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 4.15 ภาพการเข้าร่วมกิจกรรมพัฒนาโจทย์วิจัยสกว. (ฝ่าย4 วิจัยชุมชนและสังคม) ร่วมกับมูลนิธิมันพัฒนา



ภาพที่ 4.16 Time line : การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกหยี



ภาพที่ 4.17 วงจรห่วงโซ่มูลค่าของลูกหยี

การประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อทำการแปรรูปอบแห้งบอระเพ็ดแล้ว สามารถอบแห้งได้เร็วกว่าการตากแดดทั่วไปโดยสอดคล้องกับการทดลองที่เคยศึกษาแล้ว ซากิ (2558) และจากการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรวจเชื้อซึ่งสอดคล้องกับ ปีโยรส และคณะ (2547) ที่ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับปริมาณและชนิดของสารชีวโมเลกุลและทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดน้ำจากบอระเพ็ดด้วยวิธีการต้ม ซึ่งสกัดจากบอระเพ็ดแห้งสดโดยตรง จากการศึกษาความสามารถในการต้านเชื้อโดยใช้วิธี disc diffusion assay และ broth dilution พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E.coli* และ เชื้อ *S.aureus* ได้



ภาพที่ 4.18 แสดงภาพบอระเพ็ดที่ผ่านการอบแห้งและการบดเก็บบรรจุใส่ในแคปซูล

และได้ทดลองแปรรูปตะไคร้ และข่า ซึ่งผลผลิตที่ได้มีคุณภาพดีใช้ระยะเวลาในการอบแห้งได้เร็วกว่าการตากแดดโดยทั่วไปเช่นกัน



ภาพที่ 4.19ผลิตภัณฑ์ตะไคร้และข้าวอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม

บทที่ 5

บทสรุป

โครงการการพัฒนากระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ลูกหยีด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้สารพาราฟินแว็กซ์เก็บความร้อนเพื่อพัฒนากลุ่มอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมโดยศึกษากระบวนการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลเศรษฐศาสตร์และถ่ายทอดเทคโนโลยีต่อกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้การศึกษาหาสภาวะในการอบแห้งที่ดีที่สุดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดทดลองซึ่งมีการตรวจวัดคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการตรวจวัดทางกายภาพพบว่าสภาวะในการอบแห้งที่ดีที่สุดคือใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสภายในเวลาหนึ่งชั่วโมงโดยที่ได้ผลลูกหยีอบแห้งที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับการตากแดดของเกษตรกรทั่วไปแล้วจึงได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์โดยขยายขนาดเพื่อเป็นเครื่องต้นแบบและสามารถควบคุมปัจจัยในการอบแห้งโดยใช้สภาวะเดียวกันคือใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและสามารถประหยัดเวลาในการอบแห้งให้ลดลงมาเพียงแค่นึ่งชั่วโมงต่อการผลิตลูกหยีอบแห้ง 6 กิโลกรัมผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของลูกหยีที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งโดยตัวแทนจากผู้ประกอบการทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ 9- point Hedonic scaleการอบด้วยตู้อบลมร้อนทั่วไป, การอบใช้พลังงานความร้อนจากอินฟราเรดร่วมแสงอาทิตย์, การใช้อินฟราเรดอย่างเดียวและการตากแดดพบว่าคุณภาพด้านสีความกรอบกลิ่นความเปี้ยวรสชาติเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีคะแนนการยอมรับที่ใกล้เคียงกับการตากแดดของเกษตรกรทั่วไปตามที่คุณประกอบการต้องการการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของลูกหยีที่ผ่านการตากแดดและอบแห้งที่อุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าสีของเนื้อลูกหยีมีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยที่เนื้อลูกหยีที่ผ่านการอบแห้งมีค่าความสว่างน้อยกว่าเนื้อลูกหยีสด คุณสมบัติค่า hardness (N) ของลูกหยีที่ผ่านการตากแดดและอบแห้งที่อุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียสพบว่า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกับการตากแดด และที่สภาวะอุณหภูมิที่ต่ำลงค่าจะลดลง เพราะผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงกว่า ซึ่งค่าสอดคล้องกับค่า a_w ที่สูง เมื่อเปรียบเทียบเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ระหว่างการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมและเครื่องอบแห้งลมร้อน พบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจะได้ค่าที่ต่ำกว่า เช่นค่าไฟฟ้าทั้งหมด kWh , เงินลงทุนในการสร้างประกอบเครื่องอบแห้งรายปี, มูลค่าซากรายปี, ค่าบำรุงรักษา, ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารายปี, ระยะเวลาคืนทุนและค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิตส่วนค่าจ้างแรงงานรายปี ค่าต้นทุนวัตถุดิบรายปีและผลตอบแทนรายปีที่คิดเท่ากันและทำให้ผลกำไรสุทธิรายปีที่สูงกว่าโดยความแตกต่างนี้จะมากยิ่งขึ้น เพราะในการคำนวณจะใช้สมมติฐานกรณีเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมใช้ความ

ร้อนจากหลอดรังสีอินฟราเรดตลอดเวลาในการแปรรูป แต่ในความเป็นจริงจะขึ้นอยู่กับสภาวะภูมิอากาศที่
เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจะไม่ทำงานตลอดการแปรรูปในวันที่มีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของสภาพ
อากาศที่สูง

บรรณานุกรม

- คมชัดลึกออนไลน์. 2554. ลูกหยีะรังผลิตภัณฑิตดาวอาชีพร่างรายได้ชาวสะตาวา (ออนไลน์) สืบค้นได้จาก <http://www.komchadluek.net/detail/20110225/89862/ลูกหยีะรังผลิตภัณฑิตดาวอาชีพร่างรายได้ชาวสะตาวา.html> [13 สิงหาคม 2558]
- จรรยา วัฒนทวีกุล และ พิพัฒน์ พันพาไพร. 2523. การตากแห้งโดยใช้ตู้อบแสงแดด. อาหาร, 12(1) : 60-65.
- จารุวัฒน์ เจริญจิต. เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ และแนวทางการพัฒนา. KKU Res. J. 2012; 17(1): (110-124)
- ซากิ นิเซ็ง. 2558. ผลการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรดในการแปรรูปบอระเพ็ดอัดแคปซูล. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 เรื่อง การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อพัฒนาท้องถิ่นสู่ประชาคมอาเซียน.
- ฐานข้อมูลข่าวจังหวัดชายแดนภาคใต้. 2554. ลูกหยีะรังผลิตภัณฑิตดาวอาชีพร่างรายได้ชาวสะตาวา (ออนไลน์) สืบค้นได้จาก http://wbns.oas.psu.ac.th/shownews.php?news_id=101466 [13 สิงหาคม 2558]
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของอาหาร. บริษัทฟอร์แมท.
- ณัฐยา คนชื่อ. 2544. การพัฒนากระบวนการผลิตมะม่วงแก้วอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 256 หน้า.
- ธนศไชยชนะ, ศุภลักษณ์อำลวย, สุประดิษฐ์ยวนทอง, ชีรเดชใหญ่บกและปราณีหนูทองแก้ว. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการเครื่องอบแห้งพลังงานร่วม (ชีวมวล-แสงอาทิตย์) สำหรับการแปรรูปกล้วย. มหาวิทยาลัยทักษิณ
- ธีระชัย ไชยศิริ บุญยงค์ วัฒนาโดชัย และ วิโรจน์ โรจนวิสูตร. 2532. เครื่องอบแห้งกล้วยน้ำว้าพลังงานแสงอาทิตย์. โครงการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นัสตยา โยเหลา, ภาวดี พันนาม, และชลลดา ศรีทวีภาศ. 2555. การศึกษาหาแนวทางการวัดความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรดด้วยเทอร์โมมิเตอร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- นิดดา สกุลครูและทวีทอง หงส์วิวัฒน์. 2550. หยีนผลไม้ 111 ชนิด: คุณค่าอาหารและการกิน. กรุงเทพฯ. หน้า 255.
- นิธิยา รัตนปณนธ์. 2543. ปฏิบัติการเกิดสีน้ำตาลในเคมีอาหาร. หน้า 307-322. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ระวิน สืบคำ. 2556. เทคโนโลยีการลดความชื้น. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 23 (2):

500-512.

- วิไล รังสาดทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร
คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- วิจิตร คงมูล. 2524. พลังงานกับชีวิต. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพมหานคร.
- วิวัฒน์หวั่งเจริญ. 2554. แอ็กติวิตีของน้ำและการศึกษาอายุการเก็บรักษาของอาหารแห้ง. วารสารอาหาร.
40(4): 277-293
- วินัส ทัดเนียม. 2542. การอบแห้งผักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้น้ำเป็นพลังงานเสริมระดับ
อุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะ
พลังงานและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ศูนย์ข้อมูลกลางทางวัฒนธรรม กระทรวงวัฒนธรรม. 2555. การทำลูกหยีกวน (ออนไลน์) สืบค้นได้จาก
[http://www.m-culture.in.th/moc_new/album/157521/การทำลูกหยีกวน-นางรอกีเยาะ-ดอ
กา/](http://www.m-culture.in.th/moc_new/album/157521/การทำลูกหยีกวน-นางรอกีเยาะ-ดอ
กา/) [13 สิงหาคม 2558]
- สมชาติ โสภณธฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าธนบุรี.
- สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2544. การใช้ตู้อบแห้ง Tray dryer และตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ในหลักสูตรการ
อบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องเทคโนโลยีการผลิตอาหารแห้ง สำหรับสถาบันราชภัฏ ระหว่างวันที่ 5-9
มีนาคม พ.ศ. 2544 จัดโดยศูนย์พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะ
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุทธิชัย ภมรสมิต. 2550. การศึกษาการอบแห้งเนื้อปลานิลด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วม
รังสีอินฟราเรด. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีพลังงาน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- สุภวรรณ ฐิระวนิชย์กุล, สากีนา ลาแมปะ และยุธนา ฐิระวนิชย์กุล. 2012. การอบแห้งขนุนด้วยพลังงาน
ความร้อนร่วมของรังสีอินฟราเรด/ไมโครเวฟ และลมร้อน : จลนพลศาสตร์ คุณภาพและการทดสอบ
ประสาทสัมผัส. Burapha Sci. J. 17 (2012) 1 : 117-129.
- สุลาลี โลวีกรณ. (2549). อาหารต้านอนุมูลอิสระกับสุขภาพ. วารสารศูนย์บริการวิชาการ. 14(30), 17-22.
- สำนักประชาสัมพันธ์เขต 4. 2556. ผลิตภัณฑ์แปรรูปจังหวัดปัตตานี (ออนไลน์) สืบค้นได้จาก
http://region4.prd.go.th/ewt_news.php?nid=33672&filename=index [13 สิงหาคม 2558]
- อัจฉราพร อภิวงศ์งาม. 2552. การศึกษาเปรียบเทียบอบแห้งใบโรสแมรี่ ดอกลาเวนเดอร์และกลีบดอก
กุหลาบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดและเครื่องอบแห้ง
ไมโครเวฟสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อัจฉรา แซ่ไคว้, สุภวรรณ ฐิระวนิชย์กุลและ ยุธนา ฐิระวนิชย์กุล. 2013. ปัจจัยของการอบแห้งด้วยแหล่ง

- พลังงานความร้อนแบบการพาและการแผ่รังสีความร้อนที่มีต่อจลนพลศาสตร์ และคุณภาพของ
พริกไทยดำ. Burapha Sci. J. 18 (2013) 1 : 166-180.
- เทวรัตน์ ทิพย์นิล. 2555. รายงานการวิจัยเรื่องการคงคุณภาพผักอบแห้งซึ่งสำเร็จรูปด้วยเทคนิคการอบแห้ง
แบบป้อนความร้อน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ไพบูลย์แย้มผื่อน. 2548. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. ซีเอ็ดดูเคชั่น. กรุงเทพฯ.
- Afzal TM, Abe T, Hikida Y. 1999. Energy and quality aspects of combined FIR-convection
drying of barley. J Food Eng 42:177–82.
- Bakker-Arkema, F.W. and Hall, C.W., (1974). Drying Cereal Grains. AVT, Westport,
Connecticut.
- Dilip Jain and Pratibha Tewari, Renewable Energy 80 (2015) 244-250.
- Dostie M, Seguin JN, Maure D, Tonthat QA, Chatingy R. (1989). Preliminary measurements on
the drying of thick porous materials by combinations of intermittent infrared and
continuous convection heating. In: Mujumdar AS, Roques MA, editors. Drying'89. New
York: Hemisphere Press.
- Duckworth, R. B. (1972). J. Food Technol., 6, 317.
- Fennema, R.O. (1996). Food Chemistry. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Hebbbar HU, Vishwanathan KH, Ramesh MN. 2004. Development of combined infrared and
hot air dryer for vegetables. J Food Eng 65:557–63.
- Kathiravan, K., Harpreet K, K., Soojin, J., Joseph, I., & Ali, D., Eds. (2008). Infrared heating
in food processing: an overview. Food Science and Food Safety.
- Labuza, T.P. and Dugan Jr., L.R. (1971) Kinetics of Lipid Oxidation in Foods. Critical Reviews in
Food Science & Nutrition, 2, 355-405.
- Lin YP, Tsen JH, King An-Erl V. 2005. Effects of far-infrared radiation on the freeze-drying of
sweet potato. J Food Eng 68:249–55.
- Marrae, R., R. K. Robinson, and M. J. Sadler. (1993). Encyclopedia of Food Science
Food Technology and Nutrition. Academic Press, Limited, London.
- Marty-Audouin, C., Rocha-Mier, A.L. et al., 1999, Influence of Drying on the Colour of Plant
Products, pp. 207-233, in A.S. Mujumdar, S. Sirikayala (Eds.), Developments in
Drying Food dehydration (Vol. 1), Bangkok, Kasetsart University Press, Thailand.
- Nathakaranakul, A., Jaiboon, P., & Soponronnarit, S. (2010). Far-infrared radiation
assisted drying of longan fruit. Journal of Food Engineering, 100(4), 662-668.
- Nowak, D. and Lewicki P. (2004). Infrared drying of apple slices. Innovative Food

- Science and Emerging Technologies, 5(3), 353-360.
- Sakai N, Hanzawa T. 1994. Applications and advances in far-infrared heating in Japan. Trends Food Sci Technol 5:357-62.
- Shirmer, P., Janjai, S., Esper, A., Smitabhindu, R. and Muhlbauer, W. (1995). Experimental investigation of the performance of the solar tunnel dryer for drying bananas. Renewable Energy, 7(2), 119-129.
- Sharma, G. P., Verma, R. C., & Pathare, P. B. (2005). Thin-layer Infrared radiation drying of onion slices. Journal of Food Engineering, 67, 361-366.
- Sodha, M.S., (1987). Solar Crop Drying. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Szulmayer, W. (1971). From sun drying to solar dehydration. I. Method and equipment. Food technology in Australia. 23, 440-443.
- Thisyamondol, Pantum, V Arromdee and M.F. Long. (1965). Agricultural Credit in Thailand Theory Data, Policy. Bangkok: Kasetsart University.
- Tulasidas, T. N., Raghavan, G. S. V., & Mujumdar, A. S. (1995). Microwave drying of grapes in a single mode at 2450 MHz-II and energy aspect. Drying Technology, 13, 1973-1992.
- Varith, J., Dijkanarukkul, P., Achariyaviriya, A., & Achariyaviriyab, S. (2007). Combined microwave hot air drying of peeled longan. Journal of Food Engineering, 81, 459-466.
- Yaciuk, Gordon, Ed. (1982). Food Drying : Proceedings of a Workshop held at Edmonton Alberta, 6-9 July 1981. Ottawa, International Development Research Centre.

ภาคผนวก ก.

รายละเอียดเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์.

ส่วน Absorber	แป้นสี่เหลี่ยมซิงค์ 1.1/2 inch. x 1.2 mm. เหล็กแผ่น 3 mm.ขนาด 150 x 110 ระจกใส 2 mm. ขนาด 150 x 110 ล้อย่นล่อน มีเบรก 2.1/2 inch จำนวน 2 ตัว พัดลมดูดอากาศจำนวน 6 ตัว ขนาด 12 โวลต์ 0.18 แอมแปร์ ช่องลม 2.2 inch. ฉนวนกันความร้อน ขนาด 150 x 110
ส่วน Chamber	แป้นสี่เหลี่ยมซิงค์ 1.1/2 inch. x 1.2 mm. เหล็กฉาก 1.1/2 inch. x 2.3 mm. สแตนเลสแผ่น เกรดอาหาร 2 mm. ปิดรอบห้องอบ ฉนวนกันความร้อน รอบตู้อบ ประตูเปิดสองบานปิดสนิทมีที่ล็อกประตู แท่งอินฟราเรด 3 หลอด ขนาด 220 โวลต์ 350 วัตต์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 mm. ยาว 30 cm. ล้อย่นล่อน มีเบรก 2.1/2 inch จำนวน 4 ตัว
ส่วน Packed bed	ท่อสแตนเลส บรรจุสารพาราฟิน 1.2 mm. x 75 cm.16 แท่ง
ส่วน Drying Tray	ถาดตะแกรงสแตนเลสแผ่น เกรดอาหาร 2 mm.ขนาด 60 x 50 cm จำนวน 6 ถาด
ตู้ควบคุม	ระบบควบคุมอุณหภูมิ การเปิดพัดลม ตั้งเวลาเชื่อมต่อสายไฟยาว 8 m.

ภาคผนวก ข.

วิธีการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์.

1. ทำการประกอบอุปกรณ์ของเครื่องอบให้ครบสมบูรณ์ทั้งส่วนของ ส่วนAbsorber,Chamber ,Packed bed และDrying Trayดังรูป



2. เสียบปลั๊กสายไฟ และเปิดกล่องควบคุม แล้วตั้งค่า อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส และที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 55



3. เมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องอบถึง 60 องศาเซลเซียส ที่ตั้งค่าไว้แล้ว ชั่งน้ำหนักลูกหยีที่กะเพาะเปลือกแล้วใส่ในถาด ๆ ละ หนึ่งกิโลกรัม แล้วนำเข้าเครื่องอบ ปิดเครื่องและรอนครบ 35 นาที แล้วเปิดเครื่องเพื่อเกลี่ยลูกหยีในแต่ละถาด แล้วนำเข้าเครื่องอบอีกครั้งจนครบหนึ่งชั่วโมง แล้วนำออกมาเก็บเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไป



ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์โครงการ	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
1. พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม อินฟราเรด และแสงอาทิตย์สำหรับลูกหยี	1. การประชุมหารือความร่วมมือกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกหยีระดับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้	1. การประชุมหารือความร่วมมือกลุ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกหยีระดับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้	1. ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม อินฟราเรด และแสงอาทิตย์สำหรับลูกหยี
2. ศึกษากระบวนการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วม อินฟราเรด และแสงอาทิตย์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์	2. ประดิษฐ์เครื่องอบแห้ง 3. ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรด	2. ประดิษฐ์เครื่องอบแห้ง 3. ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรด	2. ได้ศึกษากระบวนการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วม อินฟราเรด และแสงอาทิตย์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์
3. ศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลเศรษฐศาสตร์ในการอบแห้งด้วยพลังงานจากรังสีอินฟราเรด เพียงอย่างเดียว และกรณีใช้ร่วมกัน	4. การวิเคราะห์หาค่าความขึ้นต่อเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้ง, การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิภายในและภายนอกของเครื่องอบแห้งที่ประดิษฐ์ขึ้น, การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานแยกและนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัส	4. การปรับปรุงพัฒนาเครื่องอบแห้งเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ได้กำลังการผลิตสูงสุด	3. ได้ศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลเศรษฐศาสตร์ในการอบแห้งด้วยพลังงานจากรังสีอินฟราเรด เพียงอย่างเดียว และกรณีใช้ร่วมกัน

4. ถ่ายทอดเทคโนโลยีต่อ
กลุ่มอุตสาหกรรมขนาดกลางและ
ขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดน
ภาคใต้

5. พัฒนาเครื่องอบแห้ง
พลังงานความร้อนร่วม อินฟราเรด
และแสงอาทิตย์ที่มีแผงควบคุม
สามารถกำหนดเวลาและอุณหภูมิ
ในการอบแห้งได้เพื่อนำไป
ประยุกต์ใช้กับวัตถุดิบการเกษตร
อื่นๆได้

5. นำข้อมูลมาคำนวณพลังงานและ
ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์

6. สร้างเครื่องอบแห้งที่มีขนาดจริงโดย
ทำการทดลองจนสามารถควบคุมการ
แปรรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและ
คำนวณกำลังการผลิตของเครื่องเพื่อการ
สาธิตต่อเกษตรกร

7. ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีและ
ผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย คือ กลุ่ม
แปรรูปผลิตภัณฑ์ลูกหยีระดับ
อุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม
ในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้

8. วิเคราะห์และสรุปรายงานเป็นรูปเล่ม

5. นำข้อมูลมาคำนวณพลังงานและ
ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์

6. การสาธิตและทดสอบใช้จากสถาน
ประกอบการ และ การถ่ายทอด
ผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมายในสาม
จังหวัดชายแดนภาคใต้

7. วิเคราะห์และสรุปรายงานเป็นรูปเล่ม

4. ได้ถ่ายทอดเทคโนโลยี
ต่อกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดกลาง
และขนาดย่อมในสามจังหวัด
ชายแดนภาคใต้

5. ได้พัฒนาเครื่องอบแห้ง
พลังงานความร้อนร่วม อินฟราเรด
และแสงอาทิตย์ที่มีแผงควบคุม
สามารถกำหนดเวลาและอุณหภูมิ
ในการอบแห้งได้เพื่อนำไป
ประยุกต์ใช้กับวัตถุดิบการเกษตร
อื่นๆได้

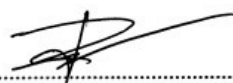
สัญญาเลขที่ RDG5950121

ชื่อโครงการวิจัย การพัฒนากระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ลูกหยีด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมจาก
 รังสีอินฟราเรดและพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในสาม
 จังหวัดชายแดนภาคใต้
 สรุปรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 3 (รอบ 12 เดือน)

ตารางเปรียบเทียบผลผลิต(Output)ที่เสนอในข้อเสนอโครงการและที่ดำเนินการได้จริงในรอบ12 เดือน

ผลผลิต (Output)		ในกรณีล่าช้า (ผลสำเร็จไม่ถึง 100%) ให้ท่าน ระบุสาเหตุและการแก้ไขที่ท่านดำเนินการ
กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ/หรือจากการ ปรับเปลี่ยน	ผลสำเร็จ (%)	
1.ประชุมหารือความร่วมมือกลุ่มแปรรูป ผลิตภัณฑ์ลูกหยีระดับอุตสาหกรรมขนาด กลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดน ภาคใต้	100	
2. ประดิษฐ์เครื่องอบแห้ง	100	
3. ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดใน การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความ ร้อนร่วมแสงอาทิตย์กับรังสีอินฟราเรด	100	
4. การวิเคราะห์หาค่าความชื้นต่อเวลาที่ เหมาะสมในการอบแห้ง, การวิเคราะห์หาค่า อุณหภูมิภายในและภายนอกของเครื่อง อบแห้งที่ ประดิษฐ์ขึ้น , การศึกษา เปรียบเทียบการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงาน แยกและนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบ คุณภาพด้านประสาทสัมผัส	100	
5. นำข้อมูลมาคำนวณพลังงานและข้อมูล ทางเศรษฐศาสตร์	100	
6. สร้างเครื่องอบแห้งที่มีขนาดจริงโดยทำ การทดลองจนสามารถควบคุมการแปรรูปให้ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและคำนวณกำลัง	100	

การผลิตของเครื่องเพื่อการสาธิตต่อ เกษตรกร		
7. ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีและ ผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย คือ กลุ่มแปรรูป ผลิตภัณฑ์ลูกหยีระดับอุตสาหกรรมขนาด กลางและขนาดย่อมในสามจังหวัดชายแดน ภาคใต้	100	
8. วิเคราะห์และสรุปรายงานเป็นรูปเล่ม	100	

ลงนาม 

(นายซากี นิเซ็ง)

(หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน)

วันที่ 30 เมษายน 2560

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ต่อ สกว.

ลงนาม 
(นายชากี นิเซ็ง)
(หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน)
วันที่ 30 เมษายน 2560