กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2555 อีกทั้งได้รับความกรุณาจาก รศ.ดร.วิจิตร วังใน รศ.ดร.สุพจน์ เฟื่องฟูพงศ์ และ ผอ.สุนันทา สมพงษ์ ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้ รวมถึงได้รับความร่วมมืออย่างดีในการให้ความข้อมูล ความรู้ รวมถึงสถานที่สำหรับการวิจัยครั้งนี้ จากผู้ประกอบการกล้วยตากและหน่วยงานราชการในอำเภอบางระกำ และอำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก

คณะผู้วิจัย

การวิจัยและพัฒนาการผลิตกล้วยตากเชิงพาณิชย์

บุญส่ง แสงอ่อน[1] สุชาติ แย้มเม่น[2] พีระศักดิ์ ฉายประสาท[1]
ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์[2] พัชรี สุริยะ[3] พุทธพงษ์ สร้อยเพชรเกษม[1]

[1]คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
[3]คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

โครงการวิจัยนี้ ได้ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบหรือตู้อบกล้วยน้ำว้าที่ควบคุมการกระจายลมร้อนและอุณหภูมิในห้องอบผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อใช้ผลิตอากาศร้อนบริสุทธิ์ป้อนเข้าสู่ห้องอบกล้วยน้ำว้าโดยที่อากาศจะรับการถ่ายโอนความร้อนจากน้ำร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งน้ำร้อนที่ได้รับมาจากการถ่ายโอนความร้อนของการเผาไหม้ด้วยก๊าซแอลพีจีและน้ำร้อนที่ได้รับมาจากการถ่ายโอนความร้อนของท่อฮีทไปป์ด้วยแผงตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ จากผลการทดลองอบกล้วยน้ำว้าดิบ 76.3 kg ด้วยการควบคุมค่าอุณหภูมิตั้งไว้ที่ 55 $^{\circ}$C ในช่วงเวลา 9.00 น - 17.00 น. ของวันแรก และในช่วงเวลา 9.00 น. - 15.00 น. ของวันที่สอง พบว่าเครื่องอบที่พัฒนาสามารถผลิตลมร้อนในห้องอบได้อุณหภูมิเฉลี่ย 57.0 $^{\circ}$C และ 56.8 $^{\circ}$C ในวันที่หนึ่งและสอง ตามลำดับด้วยค่าความผิดพลาดสมบูรณ์ 1.9 $^{\circ}$C และใช้พลังงานจำเพาะเพียง 10.0 MJ/kg ซึ่งน้อยกว่าการใช้พลังงานจำเพาะ (14.1 MJ/kg) ในการอบกล้วยของเครื่องอบจากผู้ประกอบการ อีกทั้งต้นแบบเครื่องอบกล้วยน้ำว้าแบบควบคุมการกระจายอุณหภูมิโดยการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนในระบบพลังงานร่วมจากแสงอาทิตย์และก๊าซปิโตรเลียมเหลวในการผลิตกล้วยตาก ยังผ่านมาตรฐาน GMP เพราะวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบเครื่องต้นแบบมาจากอลูมิเนียม ไม่เกิดสนิม และปลอดภัยต่อผู้บริโภคแม้อาหารหรือผลิตภัณฑ์ไปสัมผัสระหว่างกระบวนการผลิต เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งให้ผู้ผลิตกล้วยตากหันมาสนใจการผลิตกล้วยตากที่มีคุณภาพและผ่านมาตรฐาน GMP มากขึ้น เพื่อเป็นการยกระดับและคุณภาพสินค้าที่ดีออกจำหน่ายสู่ท้องตลาด

การผลิตกล้วยตากในเขตพื้นที่อำเภอบางระกำ และอำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก มีทั้งหมด 4 รูปแบบ คือ 1) การตากแบบกลางแจ้ง 2) การตากแบบใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม 3) อบด้วยตู้อบลมร้อนด้วยก๊าซปิโตเลียมเหลว (LPG) เพียงอย่างเดียว 4) ตากด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดม โดยใช้ระยะเวลาการอบประมาณ 4-5 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และช่วงแสงในแต่ละวัน การตากด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม หรือการตากด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดม ระยะเวลา 4 วัน แล้วอบต่อด้วยตู้อบลมร้อนด้วยก๊าซปิโตเลียมเหลว (LPG) เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง คุณภาพกล้วยตากที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับกล้วยตากของผู้ประกอบการมากที่สุด ทั้งทางด้าน สี ความแน่นเนื้อ และค่า water activity การอบด้วยตู้อบลมร้อนด้วยก๊าซปิโตเลียมเหลว (LPG) เพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิ 60 ระยะเวลา 14 ชั่วโมง มีคุณภาพกล้วยตากที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับกล้วยตากของผู้ประกอบการมากที่สุด ทั้งทางด้าน สี ความแน่นเนื้อ และค่า water activity การบรรจุผลิตภัณฑ์กล้วยตากด้วยถุงสุญญากาศมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านกายภาพน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการบรรจุด้วยถุงไนล่อน ถุงฟอยด์ และบรรจุภัณฑ์แบบดั้งเดิม (ถาด PVC) และยังพบว่าจากกลุ่มตัวอย่างผู้ชิมมีความชอบการบรรจุภัณฑ์ด้วยถุงสุญญากาศมากกว่า

ถุงไนล่อน ถุงฟอยด์ และบรรจุภัณฑ์แบบดั้งเดิม (ถาด PVC) ทั้งในด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส สี และความชอบโดยรวม ดังนั้นจึงสามารถแนะนำให้ผู้ผลิตกล้วยตากนำเครื่องอบกล้วยน้ำว้าแบบควบคุมการกระจายอุณหภูมิโดยการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนในระบบพลังงานร่วมจากแสงอาทิตย์และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) คณะผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น โดยใช้เวลาในการอบกล้วย 14 ชั่วโมง ไปใช้แทนตู้อบลมร้อนด้วยก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ที่ผู้ผลิตใช้อยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนสูงกว่า และคุณภาพของกล้วยตากที่ได้ยังปลอดภัยจากสารพิษจากการเผาไหม้ของก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เนื่องจากใช้อากาศบริสุทธิ์ร้อนในการอบกล้วย ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่สะอาดและสีสวยงาม อีกทั้งยังให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้งานโดยเครื่องอบกล้วยที่พัฒนาขึ้นมานี้สามารถควบคุมการกระจายลมร้อนและอุณหภูมิโดยอัตโนมัติ ให้อุณหภูมิภายในเครื่องอบสม่ำเสมอกันทุกชั้น โดยไม่ต้องใช้แรงงานคนสลับชั้นเหมือนตู้อบลมร้อนด้วยก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)

Research and Development of Dried Banana in Commercial Scale

Boonsong Saeng-on[1] Suchart Yammen[2] Peerasak Chaiprasart[1]
Piyanun Charoensawan[2] Patcharee Suriya[3] Puttapong Sroypatkasam[1]

[1]Faculty of Agriculture Natural Resources and Enviroment, Naresuan University
[2]Faculty of Engineering, Naresuan University
[3] Faculty of Agriculture, Khon Kaen University

This research project has designed and built a banana dryer which controls hot air distribution and temperature in the drying cupboard through a heat exchanger. The heat exchanger produces hot air which enters the drying cupboard. The hot air is obtained from hot water derived from the heat transfer from either a heating pipe in a solar panel or from an LPG gas heater. Testing results were derived from drying 76.3 kg of raw bananas at a temperature of 55 ^{0}C from 9 am to 5 pm on the first day and subsequently 9 am to 3 pm on the second day. The results showed that the developed dryer can produce hot air within the drying cupboard at temperatures of 57 ^{0}C and 56.8 ^{0}C on both days, with an absolute error of 1.9 ^{0}C and with a specific energy of 10.0 MJ/kg. The specific energy from the dryer is less than that of a dryer commonly used by SME's at the moment (which is 14.1 MJ/Kg).

Dried banana processing at Bang rakam and Bang krathum district, Phitsanulok province consisted of 4 methods; original sun drying, sun drying oven, hot air oven, parabola dome. All methods were 4-5 days depend on the environmental condition such as temperature, humidity, daylight period, The comparison among treatments found that original sun drying, parabola dome for 4 days and followed by hot air oven for 2-3 hours at 60°c and hybrid system oven at 60°c for 14 hours showed the similar qualities such as color, firmness, water activity. The suitable packaging found that the vacuum packaging showed the best results on and maintaining the qualities and flavor for 60 days when compared with nylon, foil and polyvinyl chloride (PVC) packaging. From this results it can be recommended the dried banana producer use the hybrid oven that designed and built a banana oven which control hot water distribution and temperature in drying cupboard through a heat exchanger. This method used only 14 hours. This hybrid oven can be replaced the hot air oven using LPG due to economic value of the investment and good qualities of dried banana Those dried banana were attractive color and free of toxic from the burning of LPG due to clean hot air from the hybrid system oven. Moreover, the producer feels convenient due to automatic controller for hot air and temperature within the oven and no labor cost for moving the shelf of dried banana every 2 hours as hot air oven with LPG.

คำสำคัญ

การผลิตกล้วยตาก การแปรรูปกล้วยน้ำว้า เครื่องอบแห้งกล้วยน้ำว้า การควบคุมการกระจายลมร้อนและอุณหภูมิ ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง LPG เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ง
คำสำคัญ	จ
สารบัญเรื่อง	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญตาราง (ภาคผนวก ข)	ฑ
สารบัญภาพ	ด
สารบัญภาพ (ภาคผนวก ค)	ท
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย	ป
บทนำรวม	1
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
3. รายละเอียดความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยย่อย	3
4. สรุปการวิจัย	3
5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
6. หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	4
โครงการย่อยที่ 1 เครื่องอบกล้วยน้ำว้าแบบควบคุมการกระจายอุณหภูมิโดยการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนในระบบพลังงานร่วมจากแสงอาทิตย์และก๊าซปิโตรเลียมเหลว	**5**
บทคัดย่อ	6
Abstract	7
บทที่ 1 บทนำ	8
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	8
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	8
1.3 ขอบเขตของการวิจัยตลอดทั้งโครงการ	9
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	10
2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	10

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย	23
3.1 ศึกษาทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	23
3.2 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานการแปรรูปด้วยการอบกล้วยน้ำว้า	23
3.3 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานระบบแผงของฮีทไปป์รับรังสีแสงอาทิตย์เพื่อผลิตน้ำร้อน	25
3.4 ศึกษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อผลิตลมร้อนเข้าสู่ตู้อบกล้วย	26
3.5 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบระบบอบกล้วยน้ำว้าแบบควบคุมการกระจายอุณหภูมิด้วยกลุ่มท่อความร้อนในระบบพลังงานร่วมจากแสงอาทิตย์และก๊าซปิโตรเลียมเหลว	28
3.6 ออกแบบระบบควบคุมการทำงานของเครื่องต้นแบบระบบอบกล้วยน้ำว้าแบบควบคุมการกระจายลมร้อนและอุณหภูมิด้วยกลุ่มท่อความร้อนในระบบพลังงานร่วมจากแสงอาทิตย์และก๊าซปิโตรเลียมเหลว	33
บทที่ 4 ผลการวิจัย	35
4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบกล้วยน้ำว้าของผู้ประกอบการจากร้านเจ๊ม่วย	36
4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบกล้วยน้ำว้าที่คณะผู้วิจัยพัฒนาขึ้น	37
4.3 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลพารามิเตอร์ในการอบกล้วยของตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	42
4.4 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลทางกายภาพและเคมีของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	43
บทที่ 5 อภิปรายและวิจารณ์ผล	46
5.1 อภิปรายและวิจารณ์ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบกล้วยน้ำว้าของผู้ประกอบการจากร้านเจ๊ม่วย	46
5.2 อภิปรายและวิจารณ์ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบกล้วยน้ำว้าที่คณะผู้วิจัยพัฒนาขึ้น	46
5.3 อภิปรายและวิจารณ์ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	47
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	49

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
โครงการย่อยที่ 2 การวิจัยและพัฒนาการผลิตกล้วยตากเชิงพาณิชย์อย่างยั่งยืนในจังหวัดพิษณุโลก	51
บทคัดย่อ	52
Abstract	53
บทที่ 1 บทนำ	54
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	54
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	54
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	55
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	55
1.5 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	55
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	56
2.1 ขอบข่าย	56
2.2 บทนิยาม	56
2.3 คุณลักษณะที่ต้องการ	56
2.4 สุขลักษณะในการทำกล้วยอบ	57
2.5 การบรรจุ	58
2.6 เครื่องหมายและฉลาก	58
2.7 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน	58
2.8 การทดสอบ	59
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	63
3.1 การทดลองที่ 1 การสำรวจเทคโนโลยีการผลิตกล้วยตากในพื้นที่อำเภอบางระกำและบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	63
3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษากรรมวิธีการแปรรูปกล้วยตากมะลิอ่อง	63
3.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาภาชนะบรรจุที่เหมาะสมของกล้วยตาก	63
3.4 การทดลองที่ 4 การทดสอบเทคโนโลยีการผลิตกล้วยตากแบบเกษตรกรมีส่วนร่วม	64
3.5 การทดลองที่ 5 การศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนในการใช้เครื่องอบกล้วยน้ำว้าแบบควบคุมการกระจายอุณหภูมิโดยการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนในระบบพลังงานร่วมจากแสงอาทิตย์และก๊าซปิโตรเลียมเหลวในการผลิตกล้วยตาก	64
3.6 สถานที่ทำการวิจัย	65

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	66
4.1 การทดลองที่ 1 การสำรวจเทคโนโลยีการผลิตกล้วยตากในพื้นที่อำเภอบางระกำและบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	66
4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษากรรมวิธีการแปรรูปกล้วยตากมะลิอ่อง	72
4.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาภาชนะบรรจุที่เหมาะสมของกล้วยตาก	73
4.4 การทดลองที่ 4 การทดสอบเทคโนโลยีการผลิตกล้วยตากแบบเกษตรกรมีส่วนร่วม	74
4.5 การทดลองที่ 5 การศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนในการใช้เครื่องอบกล้วยน้ำว้าแบบควบคุมการกระจายอุณหภูมิโดยการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนในระบบพลังงานร่วมจากแสงอาทิตย์และก๊าซปิโตรเลียมเหลวในการผลิตกล้วยตาก	75
บทที่ 5 อภิปรายและวิจารณ์ผล	109
5.1 การทดลองที่ 1 การสำรวจเทคโนโลยีการผลิตกล้วยตากในพื้นที่อำเภอบางระกำและบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	109
5.2 การทดลองที่ 2 การศึกษากรรมวิธีการแปรรูปกล้วยตากมะลิอ่อง	111
5.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาภาชนะบรรจุที่เหมาะสมของกล้วยตาก	112
5.4 การทดลองที่ 4 การทดสอบเทคโนโลยีการผลิตกล้วยตากแบบเกษตรกรมีส่วนร่วม	112
5.5 การทดลองที่ 5 การศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนในการใช้เครื่องอบกล้วยน้ำว้าแบบควบคุมการกระจายอุณหภูมิโดยการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนในระบบพลังงานร่วมจากแสงอาทิตย์และก๊าซปิโตรเลียมเหลวในการผลิตกล้วยตาก	113
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	114
6.1 การทดลองที่ 1 การสำรวจเทคโนโลยีการผลิตกล้วยตากในพื้นที่อำเภอบางระกำและบางกระทุ่มจังหวัดพิษณุโลก	114
6.2 การทดลองที่ 2 การศึกษากรรมวิธีการแปรรูปกล้วยตากมะลิอ่อง	114
6.3 การทดลองที่ 3 การศึกษาภาชนะบรรจุที่เหมาะสมของกล้วยตาก	114
6.4 การทดลองที่ 4 การทดสอบเทคโนโลยีการผลิตกล้วยตากแบบเกษตรกรมีส่วนร่วม	114
6.5 การทดลองที่ 5 การศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนในการใช้เครื่องอบกล้วยน้ำว้าแบบควบคุมการกระจายอุณหภูมิโดยการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนในระบบพลังงานร่วมจากแสงอาทิตย์และก๊าซปิโตรเลียมเหลวในการผลิตกล้วยตาก	115

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	116
ภาคผนวก ก	118
ภาคผนวก ข	121
ภาคผนวก ค	145
ภาคผนวก ง	181
ภาคผนวก จ	185
ภาคผนวก ฉ	186
ภาคผนวก ช	187
ภาคผนวก ซ	189
ภาคผนวก ฌ	191
ภาคผนวก ญ	194

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

โครงการย่อยที่ 1 เครื่องอบกล้วยน้ำว้าแบบควบคุมการกระจายอุณหภูมิโดยการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนในระบบพลังงานร่วมจากแสงอาทิตย์และก๊าซปิโตรเลียมเหลว

2.1 ผลการทดสอบการอบกล้วยแบบ SNCD, LPGD และ SFCD+LPG 18
2.2 ผลการคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์การอบกล้วยแบบ SNCD, LPGD และ SFCD+LPG 18
3.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิน้ำร้อน 28
3.2 ผลลัพธ์การคำนวณหาผลต่างอุณหภูมิแผงที่ 1 28
3.3 ผลลัพธ์การคำนวณหาผลต่างอุณหภูมิแผงที่ 2 29
4.1 ปริมาณอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้รับจากการอบกล้วยของผู้ประกอบการ 37
4.2 ผลการบันทึกข้อมูลปริมาณมวลกล้วยและค่าพลังงานที่ใช้กับเครื่องอบกล้วยของผู้ประกอบการ 37
4.3 ปริมาณอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้รับจากการอบกล้วยของคณะผู้วิจัยกรณีที่หนึ่ง 39
4.4 ผลการบันทึกข้อมูลปริมาณมวลกล้วยและค่าพลังงานที่ใช้กับเครื่องอบกล้วยที่พัฒนาขึ้นกรณีที่หนึ่ง 40
4.5 ปริมาณอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้รับจากการอบกล้วยของคณะผู้วิจัยกรณีที่สอง 41
4.6 ผลการบันทึกข้อมูลปริมาณมวลกล้วยและค่าพลังงานที่ใช้กับเครื่องอบกล้วยที่พัฒนาขึ้นกรณีที่สอง 41
4.7 การเปรียบเทียบข้อมูลพารามิเตอร์ในการอบกล้วยของตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ 42
4.8 การเปรียบเทียบขนาดความกว้างของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ 43
4.9 การเปรียบเทียบขนาดความยาวของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ 43
4.10 การเปรียบเทียบน้ำหนักของกล้วยตาก (กรัม/ลูก) ที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ 43
4.11 การเปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ 44
4.12 การเปรียบเทียบค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือเขียว (a*) ของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ 44
4.13 การเปรียบเทียบค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b*) ของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ 44
4.14 การเปรียบเทียบค่าความสว่าง (L*) ของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ 44

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.14 การเปรียบเทียบค่าความสว่าง (L*) ของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	44
4.15 การเปรียบเทียบปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (^{o}brix) ของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	45
4.16 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	45
4.17 การเปรียบเทียบค่า Water Activity (AW) ของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	45
โครงการย่อยที่ 2 การวิจัยและพัฒนาการผลิตกล้วยตากเชิงพาณิชย์อย่างยั่งยืนในจังหวัดพิษณุโลก	
2.1 หลักเกณฑ์การให้คะแนน (ข้อ 8.1.3)	59
2.2 มอก. 586-2528 กล้วยอบ	60
4.1 ลักษณะประชากรศาสตร์ของผู้ประกอบการผลิตกล้วยตาก	75
4.2 ลักษณะประชากรศาสตร์ของผู้ประกอบการผลิตกล้วยตาก	76
4.3 จำนวนที่ดิน ราคาที่ดิน มูลค่าที่ดิน ค่าปรับปรุงที่ดิน และค่าเช่าที่ดิน จำแนกตามวิธีการผลิตกล้วยตาก	78
4.4 จำนวนและราคาเฉลี่ยต่อหน่วยของสินทรัพย์ดำเนินงาน จำแนกตามวิธีการผลิตกล้วยตาก	79
4.5 การใช้แรงงานและต้นทุนค่าแรงงานในการผลิตกล้วยตาก จำแนกตามวิธีการผลิตกล้วยตาก	82
4.6 จำนวนวัตถุดิบและผลผลิตกล้วยตาก จำแนกตามวิธีการผลิต	83
4.7 ต้นทุนการผลิตและรายได้จากการผลิตกล้วยตากโดยวิธีการตากกลางแจ้งตามธรรมชาติ ในปี 2555	85
4.8 ต้นทุนการผลิตและรายได้จากการผลิตกล้วยตากโดยวิธีการตากในโดมพาราโบลาร์ในปี 2555	87
4.9 ต้นทุนการผลิตและรายได้จากการผลิตกล้วยตากโดยวิธีการตากในโดมพาราโบลาร์ร่วมกับการอบด้วยตู้อบก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ในปี 2555	88
4.10 ต้นทุนการผลิตและรายได้จากการผลิตกล้วยตากโดยวิธีการอบด้วยตู้อบก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ในปี 2555	90
4.11 กำไรสุทธิต่อกิโลกรัม กำไรสุทธิต่อปี ยอดขายต่อปี และอัตราส่วนกำไรสุทธิของการผลิตกล้วยตาก ในปี 2555 จำแนกตามวิธีการผลิต	92
4.12 การเปรียบเทียบข้อมูลพารามิเตอร์ในการอบกล้วยของเครื่องอบกล้วยน้ำว้าที่คณะนักวิจัยพัฒนาขึ้น และตู้อบก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)	94
4.13 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของกิจการผลิตกล้วยตากจำแนกตามปี	96

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.14 ต้นทุนการผลิตกล้วยตาก กรณีที่ 1: การผลิตกล้วยตากโดยใช้ตู้อบก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยใช้เวลาในการอบกล้วย 24 ชั่วโมง	98
4.15 รายได้จากการผลิตกล้วยตาก กรณีที่ 1: การผลิตกล้วยตากโดยใช้ตู้อบก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยใช้เวลาในการอบกล้วย 24 ชั่วโมง	99
4.16 ประมาณการงบกระแสเงินสดในการผลิตกล้วยตาก กรณีที่ 1: การผลิตกล้วยตากโดยใช้ตู้อบก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยใช้เวลาในการอบกล้วย 24 ชั่วโมง	100
4.17 รายละเอียดการวิเคราะห์ทางการเงินของการผลิตกล้วยตากกรณีที่ 1: การผลิตกล้วยตากโดยใช้ตู้อบก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยใช้เวลาในการอบกล้วย 24 ชั่วโมง	102
4.18 ประมาณการงบกระแสเงินสดกรณีผลิตกล้วยตาก กรณีที่ 2: การผลิตกล้วยตากโดยใช้เครื่องอบกล้วยน้ำว้าที่คณะนักวิจัยพัฒนาขึ้น โดยใช้เวลาในการอบ กล้วย 26 ชั่วโมง	104
4.19 รายละเอียดการวิเคราะห์ทางการเงินของการผลิตกล้วยตากกรณีผลิตกล้วยตากโดยใช้เครื่องอบกล้วยที่คณะผู้วิจัยพัฒนาขึ้น โดยใช้เวลาในการอบ 26 ชั่วโมง	105
4.20 ประมาณการงบกระแสเงินสดกรณีผลิตกล้วยตาก ประมาณการงบกระแสเงินสดกรณีผลิตกล้วยตาก กรณีที่ 3: การผลิตกล้วยตากโดยใช้เครื่องอบกล้วยน้ำว้า ที่คณะนักวิจัยพัฒนาขึ้น โดยใช้เวลาในการอบกล้วย 14 ชั่วโมง	107
4.21 รายละเอียดการวิเคราะห์ทางการเงินของการผลิตกล้วยตากกรณีผลิตกล้วยตากโดยใช้เครื่องอบกล้วยที่คณะผู้วิจัยพัฒนาขึ้น โดยใช้เวลาในการอบ 14 ชั่วโมง	108

สารบัญตาราง (ภาคผนวก ข)

ตาราง	หน้า
1 เพศของเกษตรกรผู้ผลิตกล้วยตาก	121
2 อายุของเกษตรกรผู้ผลิตกล้วยตาก	121
3 สถานภาพของเกษตรกรผู้ผลิตกล้วยตาก	121
4 วุฒิการศึกษาของเกษตรกรผู้ผลิตกล้วยตาก	121
5 ลักษณะกระบวนการผลิตกล้วยตาก	122
6 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักส่วนประกอบกล้วยสุกต่อหวี	122
7 อุณหภูมิและเวลาในการอบกล้วยตากต่อด้วยตู้อบก๊าซของผู้ผลิตในอำเภอบางกระทุ่ม และอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก	122
8 ชนิดและจำนวนจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์กล้วยตาก ในจังหวัดพิษณุโลก	123
9 การปนเปื้อนของแบคทีเรีย เชื้อราและยีสต์ ของกล้วยตากในจังหวัดพิษณุโลก จำนวน 14 ตัวอย่าง	124
10 การปนเปื้อนของแบคทีเรียในกล้วยตากจังหวัดพิษณุโลก จำนวน 14 ตัวอย่าง	125
11 รายละเอียดผลิตภัณฑ์และลักษณะการเน่าเสีย	125
12 ค่า AW และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกล้วยตากมะลิอ่องที่บรรจุในซองอลูมิเนียมที่เกิดการเน่า	125
13 ชนิดและจำนวนจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์กล้วยตากบรรจุซองอลูมิเนียมที่เน่าเสียซึ่งผ่านกระบวนการผลิตโดยใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ และผ่านการอบด้วยตู้อบที่ใช้ก๊าซ ในอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2555 - มกราคม 2556	126
14 ผลการตรวจสอบความสะอาดของอุปกรณ์และอากาศบริเวณแหล่งผลิตผลการตรวจความสะอาดของเครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่ผลิตกล้วยตากในเขตอำเภอบางกระทุ่ม ด้วยเทคนิค Clean machine test ช่วงเดือนมีนาคม 2556	126
15 สรุปผลการสำรวจและประเมิน GMP ณ แหล่งผลิตกล้วยตากของกลุ่มผู้ผลิตกล้วยตาก อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 9 แหล่งผลิต	127
16 ขนาดความกว้างของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	128
17 ขนาดความยาวของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	128
18 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	129
19 ความแน่นเนื้อของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	129
20 ค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือเขียว (a*) ของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	130
21 ค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b*) ของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	131
22 ค่าความสว่าง (L*) ของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	132
23 ค่าสี H° ของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	133
24 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	133

สารบัญตาราง (ภาคผนวก ข) (ต่อ)

ตาราง	หน้า
25 Water Activity (AW) ของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	134
26 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	134
27 ขนาดความกว้างของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	135
28 ขนาดความยาวของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	135
29 ความแน่นเนื้อของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	135
30 การเปลี่ยนแปลงค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือเขียว (a*) ของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	136
31 การเปลี่ยนแปลงค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b*) ของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	136
32 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	136
33 การเปลี่ยนแปลงค่าสี H° ของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	137
34 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	137
35 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Water Activity (AW) ของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	137
36 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาทีอุณหภูมิห้อง	138
37 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	138
38 ผลการการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 0 วัน	138
39 ผลการการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 15 วัน	139
40 ผลการการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 30 วัน	139
41 ผลการการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 45 วัน	139
42 ผลการการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 60 วัน	140
43 การเปรียบเทียบขนาดความกว้างของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	140

สารบัญตาราง (ภาคผนวก ข) (ต่อ)

ตาราง	หน้า
44 การเปรียบเทียบขนาดความยาวของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	140
45 การเปรียบเทียบน้ำหนักของกล้วยตาก (กรัม/ลูก) ที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	140
46 การเปรียบเทียบค่าความแน่นเนื้อของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	140
47 การเปรียบเทียบค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือเขียว (a*) ของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	141
48 การเปรียบเทียบค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b*) ของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	141
49 การเปรียบเทียบค่าความสว่าง (L*) ของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	141
50 การเปรียบเทียบค่าสี H° ของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	141
51 การเปรียบเทียบปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ($^{\circ}$brix) ของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	142
52 การเปรียบเทียบค่า Water Activity (AW) ของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	142
53 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกล้วยตากที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	142
54 การเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ผ่านกระบวนการอบด้วยตู้อบที่พัฒนาขึ้นกับตู้อบของผู้ประกอบการ	142
55 ชนิดและจำนวนจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ผ่านกระบวนการผลิตโดยใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์และผ่านการอบด้วยตู้อบที่ใช้แก๊ส ในจังหวัดพิษณุโลก ระหว่างเดือน มีนาคม 2556	143
56 มอก. 586-2528 กล้วยอบ	144

สารบัญภาพ

ภาพ **หน้า**

โครงการย่อยที่ 1 เครื่องอบกล้วยน้ำว้าแบบควบคุมการกระจายอุณหภูมิโดยการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนในระบบพลังงานร่วมจากแสงอาทิตย์และก๊าซปิโตรเลียมเหลว

2.1 ประเภทเครื่องอบแห้งจากการประยุกต์ใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ 10
2.2 เครื่องอบแห้งชนิดกล่องสะสมอากาศร้อนจากแสงอาทิตย์ [Bolaji B.O. (2005)] 11
2.3 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อาศัยหลักการไหลเวียนลมร้อนตามธรรมชาติ 11
2.4 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม (a) ส่วนประกอบ และ (b) ขนาดของตู้อบ 12
2.5 ตู้อบแห้งและกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน 12
2.6 เครื่องอบแห้งผลแอปริคอตที่มีห้องอบแห้งเป็นรูปทรงกระบอกที่สามารถหมุน (RCCD) โดยมีตัวกักเก็บอากาศร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ 13
2.7 เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์สำหรับผลผลิตทางการสินค้าเกษตร 14
2.8 เครื่องอบแห้งผักและผลไม้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ 15
2.9 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยประยุกต์ใช้สารดูดความชื้นมาใช้ในกระบวนการอบแห้ง 16
2.10 เครื่องอบอุณหภูมิต่ำด้วยการใช้ระบบทำน้ำร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ 16
2.11 เครื่องอบกล้วยแบบการพาความร้อนจากธรรมชาติ (Solar natural convection dryer: SNCD) 17
2.12 เครื่องอบกล้วยแบบพาความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG natural convection dryer: LPGD) 17
2.13 เครื่องอบกล้วยแบบผสมผสานกันระหว่างการพาความร้อนจากธรรมชาติร่วมกับก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Solar forced convection dryer with LPG as stand-by auxiliary : SFCD + LPG) 17
2.14 เครื่องอบไฮบริดจ์ พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า 19
2.15 เครื่องอบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ 20
2.16 โครงสร้างและขนาดของโรงอบแห้งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ 20
2.17 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีปั๊มเคมีความร้อนมาช่วยในการอบแห้ง 21
2.18 โครงสร้างระบบลดความชื้นพลังงานแสงอาทิตย์ 22
3.1 การคัดเลือกและปลอกกล้วยน้ำว้า 24
3.2 กล้วยน้ำว้าที่ผ่านการปลอกเปลือกแล้วนำมาจัดวางลงบนถาดรองรับกล้วย 24
3.3 การกลับกล้วยน้ำว้าด้วยมือคน 24
3.4 โครงสร้างภายในของฮีทไปป์ 25
3.5 โครงสร้างการต่อฮีทไปป์จำนวน 30 หลอดแก้วสุญญากาศเป็นแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ 26
3.6 การจัดเรียงของกลุ่มท่อ 26

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
3.7 การต่อร่วมกันระหว่างแผงของฮีทไปป์กับตัวแลกเปลี่ยนความร้อน	27
3.8 การต่อร่วมกันระหว่างแผงของฮีทไปป์ทั้งสองแผง	29
3.9 ขนาดโครงสร้างของตู้อบกล้วยน้ำว้าต้นแบบ	30
3.10 ลักษณะการไหลเวียนอากาศร้อนของตู้อบกล้วยน้ำว้า	31
3.11 แผนผังระบบแผงของฮีทไปป์รับรังสีแสงอาทิตย์เพื่อผลิตน้ำร้อนหมุนเวียนแบบธรรมชาติ	31
3.12 แผนผังระบบผลิตน้ำร้อนด้วยก๊าซปิโตรเลียมเหลวร่วมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและปั๊มน้ำ	32
3.13 แผนผังระบบตู้อบกล้วยน้ำว้าด้วยการใช้พลังงานความร้อนร่วมจากแสงอาทิตย์และก๊าซปิโตเลียมเหลว	32
3.14 แผนผังระบบควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบกล้วยน้ำว้า	33
3.15 แผนผังขั้นตอนการควบคุมการทำงานของระบบห้องอบกล้วยน้ำว้า	34
4.1 เครื่องอบกล้วยน้ำว้าแบบเผาตรงด้วยก๊าซปิโตรเลียมเหลวของผู้ประกอบการจากร้านเจ๊ม่วย	35
4.2 เครื่องอบกล้วยน้ำว้าแบบควบคุมการกระจายอุณหภูมิโดยการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนในระบบพลังงานร่วมแสงอาทิตย์และก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ได้พัฒนาขึ้น	35
4.3 ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบกล้วยน้ำว้าของผู้ประกอบการในแต่ละวัน	36
4.4 ค่าของความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบกล้วยน้ำว้าของผู้ประกอบการในแต่ละวัน	36
4.5 ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบกล้วยน้ำว้าในแต่ละวันของเครื่องอบที่พัฒนาขึ้นกรณีที่หนึ่ง	38
4.6 ค่าของความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบกล้วยน้ำว้าในแต่ละวันของเครื่องอบที่พัฒนาขึ้นกรณีที่หนึ่ง	38
4.7 ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบกล้วยแต่ละวันของเครื่องอบที่พัฒนาขึ้นกรณีที่หนึ่ง	39
4.8 ค่าของอุณหภูมิภายในตู้อบกล้วยน้ำว้าในแต่ละวันของเครื่องอบที่พัฒนาขึ้นกรณีที่สอง	40
4.9 ค่าของความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบกล้วยน้ำว้าในแต่ละวันของเครื่องอบที่พัฒนาขึ้นกรณีที่สอง	40
4.10 ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบกล้วยแต่ละวันของเครื่องอบที่พัฒนาขึ้นกรณีที่สอง	41
โครงการย่อยที่ 2 การวิจัยและพัฒนาการผลิตกล้วยตากเชิงพาณิชย์อย่างยั่งยืนในจังหวัดพิษณุโลก	
4.1 เปรียบเทียบซองบรรจุกล้วยตากแบบปกติและซองบรรจุกล้วยตากที่เกิดอาการการเน่าเสียของกล้วยตากที่บรรจุอยู่ในซองอลูมิเนียม ซองบรรจุมีลักษณะการบวม	71

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
4.2 โดมพาราโบลาร์	80
4.3 ตู้อบก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ขนาดเล็ก	81
4.4 ตู้อบก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ขนาดใหญ่	81
4.5 ตู้อบก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)	93
4.6 เครื่องอบกล้วยน้ำว้าแบบควบคุมการกระจายอุณหภูมิโดยการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนในระบบพลังงาน ร่วมจากแสงอาทิตย์และก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่พัฒนาโดยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มแม่น และคณะ	94

สารบัญภาพ (ภาคผนวก ค)

ภาพ	หน้า
1 การตากกล้วยตากในตู้อบกล้วยตากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเดิมขนาดเล็ก	145
2 กล้วยที่ผ่านกระบวนการอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเดิมขนาดเล็ก	145
3 การบรรจุหีบห่อ	146
4 กล้วยตากมีลักษณะสีขาวและแข็งกระด้าง	146
5 เศษจุกกล้วยและเนื้อกล้วยที่เหลือจากการตัดแต่ง	147
6 กล้วยตากที่ถูกอบด้วยตู้อบก๊าซแบบกลมและแบบแบน	147
7 กล้วยตากหลังจากอบเสร็จ จะถูกบรรจุลงถุงพลาสติกหรือกล่องเพื่อส่งจำหน่ายต่อไป	148
8 สัดส่วนน้ำหนักของส่วนประกอบต่างๆ ของกล้วยสุกทั้งหวี	148
9 อุณหภูมิกลางตู้กล้วยตากระหว่างกระบวนการอบกล้วยด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์	149
10 อุณหภูมิด้านข้างในตู้ตากกล้วยตากระหว่างกระบวนการอบกล้วยด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์	149
11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการตากกล้วยด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กแบบดั้งเดิม ณ อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ระหว่างเดือนมีนาคม 2556	150
12 ขนาดความกว้างและยาวของกล้วยตากระหว่างกระบวนการอบกล้วยตากด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์และการอบต่อด้วยตู้อบแก๊ส	150
13 การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อของกล้วยตากระหว่างกระบวนการอบกล้วยด้วยตู้อบ พลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์และการอบต่อด้วยตู้อบแก๊ส	151
14 การเปลี่ยนแปลงค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือเขียว (a*) ของกล้วยตากระหว่างกระบวนการอบกล้วยด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์และการอบต่อด้วยตู้อบแก๊ส	151
15 การเปลี่ยนแปลงค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b*) ของกล้วยตากระหว่างกระบวนการอบกล้วยด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์และการอบต่อด้วยตู้อบแก๊ส	152
16 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของกล้วยตากระหว่างกระบวนการอบกล้วยด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์และการอบต่อด้วยตู้อบแก๊ส	152
17 การเปลี่ยนแปลงสีของค่า H° ของกล้วยตากระหว่างกระบวนการอบกล้วยด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์และการอบต่อด้วยตู้อบแก๊ส	153
18 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ($^{\circ}$Brix) ของกล้วยตากระหว่างกระบวนการอบกล้วยตากด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์และการอบต่อด้วยตู้อบแก๊ส ณ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ระหว่างเดือนมีนาคม 2556	153
19 การเปลี่ยนแปลงค่า Water Activity (AW) ของกล้วยตากระหว่างกระบวนการอบกล้วยตากด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์และการอบต่อด้วยตู้อบแก๊ส	154

สารบัญภาพ (ภาคผนวก ค) (ต่อ)

ภาพ	หน้า
20 การเปลี่ยนแปลงค่า Water Activity (AW) ของกล้วยตากระหว่างกระบวนการอบกล้วยตากด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์	154
21 การเปลี่ยนแปลงค่า dry wt. ของกล้วยตากระหว่างกระบวนการอบกล้วย ด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์และการอบต่อด้วยตู้อบแก๊ส	155
22 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของกล้วยตากระหว่างกระบวนการอบกล้วยตากด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์และการอบต่อด้วยตู้อบแก๊ส	155
23 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ของกล้วยตากระหว่างกระบวนการอบกล้วยตากด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์	156
24 การเปลี่ยนแปลงจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ของกล้วยตากระหว่างกระบวนการอบกล้วยตากด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์	156
25 เปอร์เซ็นต์ความชื้น (dry wt.) ของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	157
26 ค่า Water Activity (AW) ของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	157
27 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Log cfu/g) ของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	158
28 จำนวนยีสต์และรา (Log cfu/g) ของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	158
29 จำนวน Staphylococcus aureus (Log cfu/g) ของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	159
30 โคลิฟอร์ม (MPN/g) ของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	159
31 *Escherichia coli*. (MPN/g) ของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	160
32 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ($^{\circ}$Brix) ของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	160
33 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	161
34 ค่าความแน่นเนื้อ (kg/cm^2) ของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	161
35 ขนาดความกว้างของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	162
36 ขนาดความยาวของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	162
37 ขนาดความหนาของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	163
38 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	163
39 การเปลี่ยนแปลงค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือเขียว (a*) ของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	164
40 การเปลี่ยนแปลงค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b*) ของกล้วยตากจาก 14 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดพิษณุโลก	164
41 ผลการวิเคราะห์แก๊สจากกล้วยตากที่เน่าเสียด้วยเครื่อง GC	165

สารบัญภาพ (ภาคผนวก ค) (ต่อ)

ภาพ	หน้า
42 การสำรวจระบบ GMP ของเกษตรกรผู้ผลิตกล้วยตาก อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ในเดือนมีนาคม 2556	165
43 ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (total plate count) ในอากาศในกระบวนการผลิตกล้วยตาก ณ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	166
44 ปริมาณเชื้อยีสต์และรา(Yeast and Molds) ในอากาศในกระบวนการผลิตกล้วยตาก ณ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	166
45 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (total plate count) ในอากาศภายในและนอกตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์ จากแหล่งผู้ผลิตรายที่ 1	167
46 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (total plate count) ในอากาศภายในและนอกตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์ จากแหล่งผู้ผลิตรายที่ 2	167
47 ปริมาณเชื้อยีสต์และรา (Yeast and Molds) ในอากาศภายในและนอกตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์ จากแหล่งผู้ผลิตรายที่ 1 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	168
48 ปริมาณเชื้อยีสต์และรา (Yeast and Molds) ในอากาศภายในและนอกตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมพาราโบลาร์ จากแหล่งผู้ผลิตรายที่ 2 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	168
49 ขนาดความกว้างของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	169
50 ขนาดความยาวของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	169
51 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	170
52 ความแน่นเนื้อของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	170
53 ค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือเขียว (a*) ของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	171
54 ค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b*) ของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	171
55 ค่าความสว่าง (L*) ของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	172
56 ค่าสี H° ของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	172
57 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ($^{\circ}$Brix) ได้ของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	173
58 Water Activity (AW) ของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	173
59 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของกล้วยตากเมื่อผ่านกรรมวิธีการแปรรูป	174
60 กล้วยตากที่บรรจุภาชนะชนิดต่างๆ	174
61 กล้วยตากที่บรรจุภาชนะชนิดต่างๆ	174
62 ขนาดความกว้างของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	175
63 ขนาดความยาวของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	175
64 ความแน่นเนื้อของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	176
65 การเปลี่ยนแปลงค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือเขียว (a*) ของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	176

สารบัญภาพ (ภาคผนวก ค) (ต่อ)

ภาพ	หน้า
66 การเปลี่ยนแปลงค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b*) ของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	176
67 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	177
68 การเปลี่ยนแปลงค่าสี H° ของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	177
69 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	177
70 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Water Activity (AW) ของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	178
71 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	178
72 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	179
73 ผลการการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 0 วัน	179
74 ผลการการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 15 วัน	179
75 ผลการการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 30 วัน	180
76 ผลการการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 45 วัน	180
77 ผลการการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกล้วยตากที่บรรจุในภาชนะต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 60 วัน	180

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

(List of Abbreviations)

d.b. = มาตรฐานแห้ง

COP = สัมประสิทธิ์สมรรถนะ

SF = เศษส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์

η_p = ประสิทธิภาพการกักเก็บ

ΔH_r = เอนทัลปีของการเกิดปฏิกิริยาเคมีสำหรับปั๊มเคมีร้อน

N_L = จำนวนแถวแนวตั้ง

N_T = จำนวนแถวแนวนอน

S_L = ระยะพิตช์ตามยาว

S_T = ระยะพิตช์ตามขวาง

S_D = ระยะพิตช์ตามแนวทแยงมุม

T_s = อุณหภูมิผิวท่อคงที่

$T_{\infty 1}$ = อุณหภูมิของไหลเข้ากลุ่มท่อ

$T_{\infty 2}$ = อุณหภูมิของไหลออกกลุ่มท่อ

N = จำนวนท่อ

L = ความยาวของท่อ

$\dot{Q}$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดระหว่างท่อกับของไหล

$\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวลทั้งหมด

c_p = ความจุความร้อนจำเพาะของของไหล

h_m = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

Q_{max} = ค่าประสิทธิผลสูงสุด

C_{min} = ผลคูณของอัตราการไหลเชิงมวลกับความจุความร้อนจำเพาะของของไหล [W/K]

ΔT_{max} = ผลต่างของอุณหภูมิสูงสุด [K]

ε = ประสิทธิผลของกลุ่มท่อ

Q_{solar} = อัตราการไหลเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์

T_o = อุณหภูมิออก

T_i = อุณหภูมิเข้า