



การศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตข้าวฮางอกแบบต่อเนื่อง

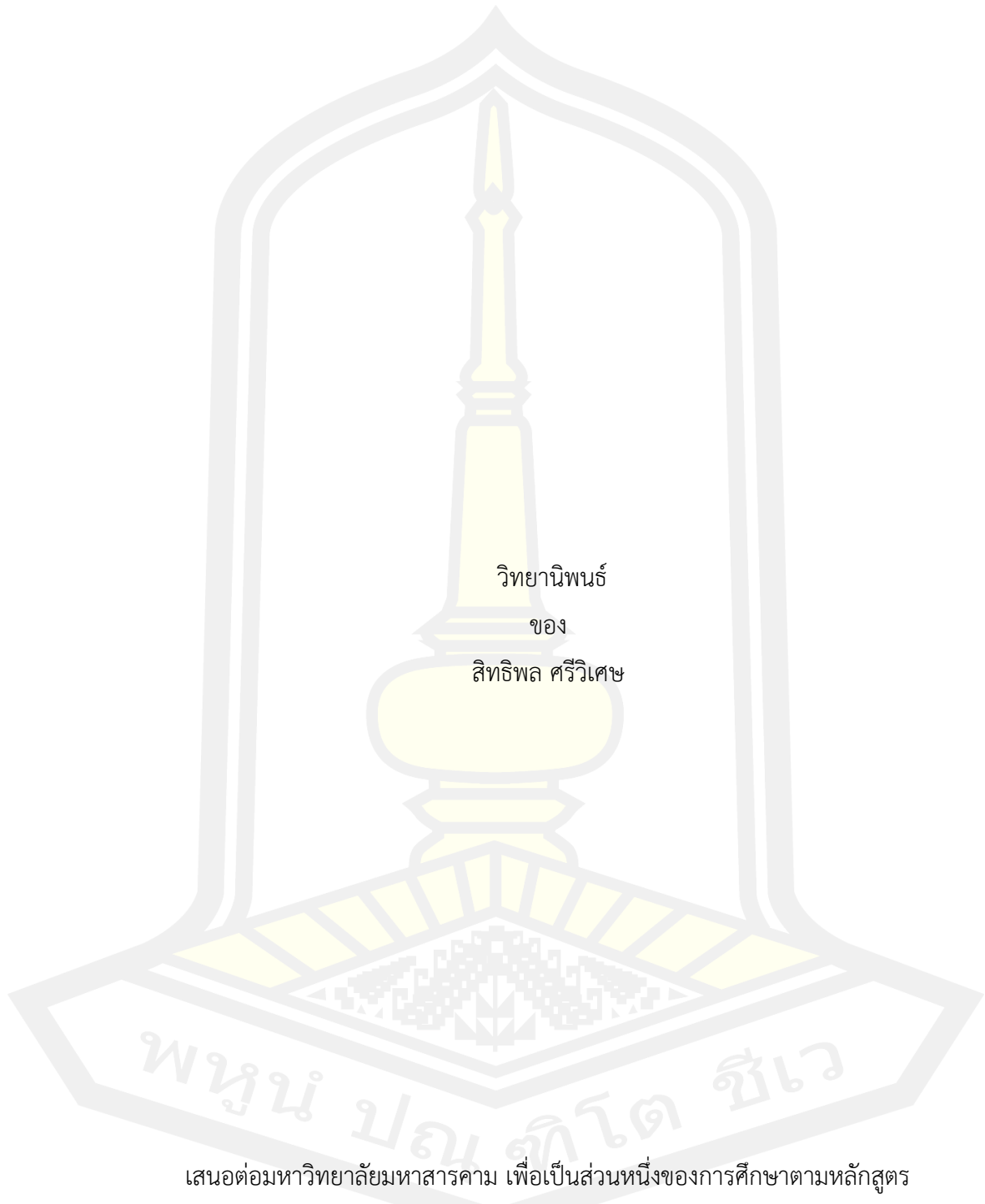
วิทยานิพนธ์
ของ
สิทธิพล ศรีวิเศษ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ธันวาคม 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตข้าวฮางอกแบบต่อเนื่อง

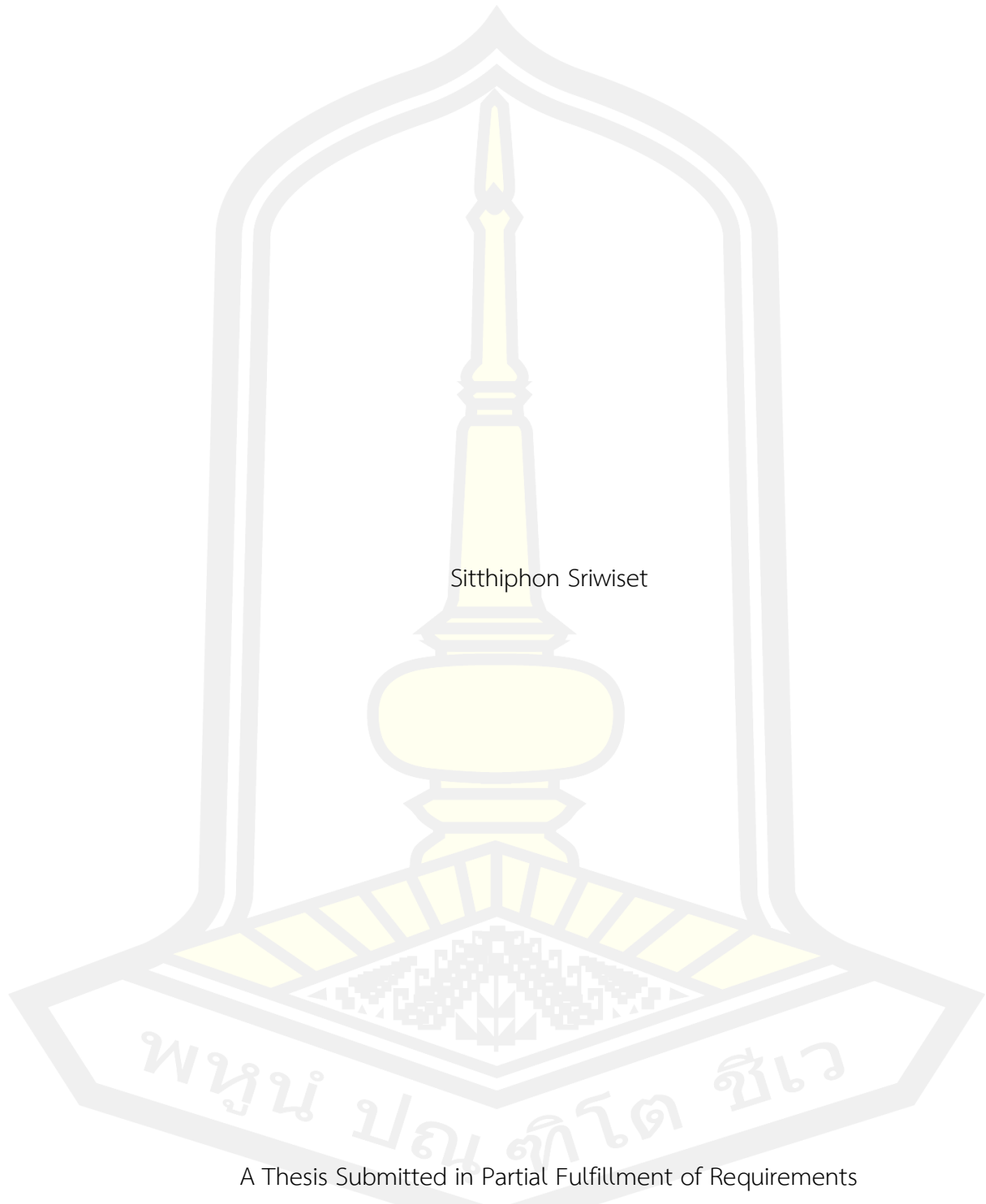


เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ธันวาคม 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Comparison study on continuous Hang rice process production



Sitthiphon Sriwiset

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Mechanical Engineering)

December 2021

Copyright of Maharakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายสิทธิพล ศรีวิเศษ แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. เสรี วงศ์พิเชษฐ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. จักรมาส เลหาวิช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผศ. ดร. เชิดพงษ์ เขียวชาญวัฒนา)

.....กรรมการ

(รศ. ดร. สุพรรณ ยั่งยืน)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. อนุรักษ์ ภูมิสะอาด)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตข้าวฮางอกแบบต่อเนื่อง		
ผู้วิจัย	สิทธิพล ศรีวิเศษ		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. จักรมาส เลหาวิช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เชิดพงษ์ เชี่ยวชาญวัฒนา		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้าสำหรับนำไปเสริมใช้ในกระบวนการผลิตข้าวฮาง โดยทดสอบเปรียบเทียบกระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือกฮางของกลุ่มเกษตรกรโดยใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนเพียงชั้นตอนเดียว กับการใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนต่อเนื่องด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า เครื่องอบแห้งที่ออกแบบมีขนาดถังอบแห้ง 120×50×40 เซนติเมตร (กว้าง×ยาว×สูง) สามารถอบแห้งข้าวเปลือกแบบต่อเนื่องได้ 240 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยจากการศึกษาระดับอนุภูมิภาคของข้าวเปลือกภายในถังอบระหว่างทำการอบแห้งพบว่าสามารถอธิบายโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในรูปสมการพหุนามกำลังสอง (Quadratic Polynomial Equation) ที่มีค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนอง (R^2) เมื่อวัดค่าอนุภูมิภาคที่ชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่างของถังอบ โดยมีค่าอยู่ที่ 78.84% 75.57 % และ 71.18 % ตามลำดับ สำหรับการทดสอบเปรียบเทียบกระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือกฮางด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน ได้ใช้เงื่อนไขการทำงานของเกษตรกรจำนวน 2 รอบการอบแห้ง ใช้อนุภูมิภาคกำหนดเงื่อนไขรังสีอินฟราเรดที่ 750 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบโดยอบแห้งต่อเนื่องร่วมกับการใช้เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้าที่อุณหภูมิลมร้อน 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่าการใช้เครื่องอบแห้งทั้งสองเครื่องต่อเนื่องกัน สามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าการใช้เครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดถังหมุนเพียงอย่างเดียว และสามารถลดระยะเวลาการผลิตในช่วงฤดูฝนจาก 3-4 วันเหลือเพียง 2-3 วันต่อรอบการผลิต อีกทั้งมีเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหักน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

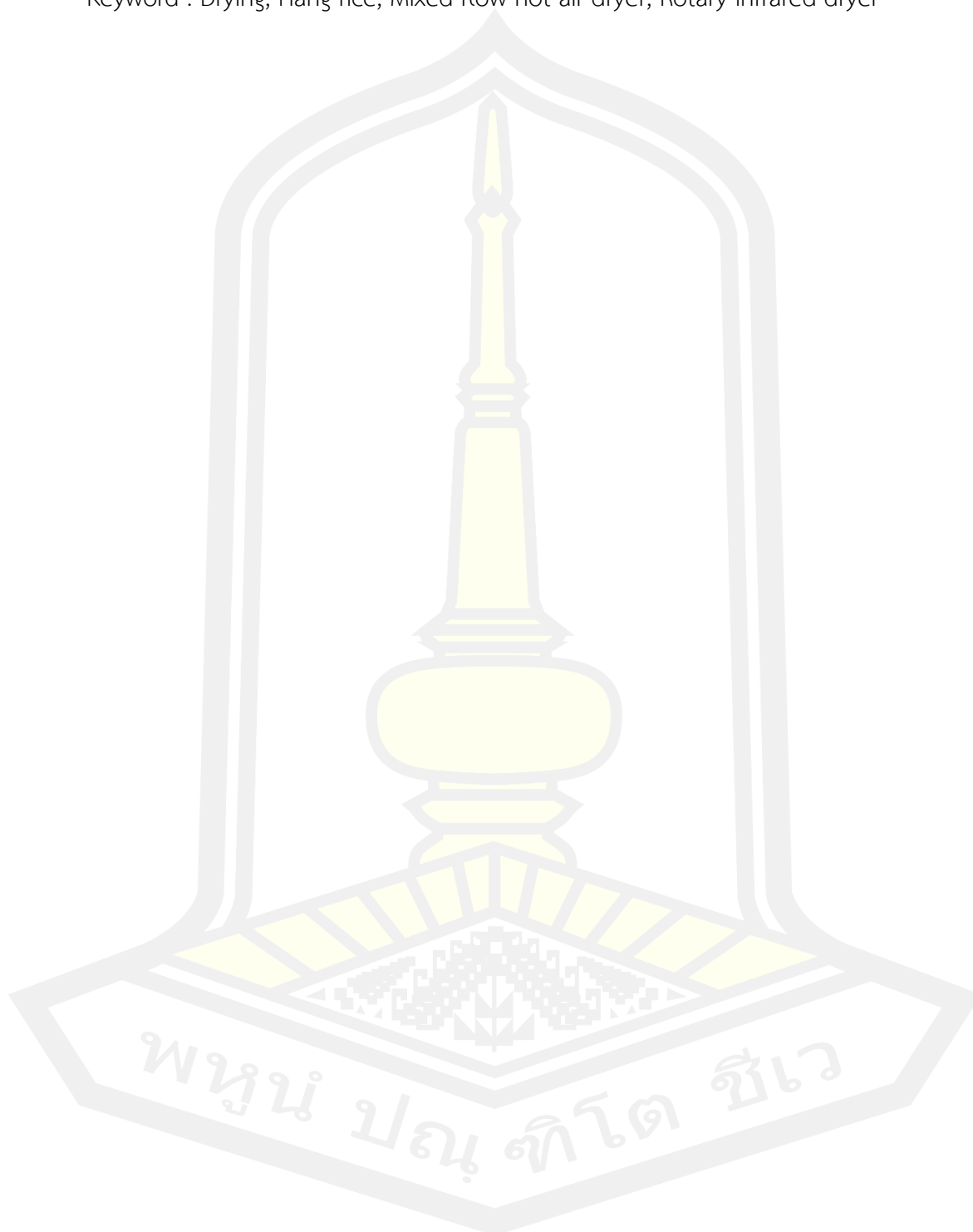
คำสำคัญ : การอบแห้ง, เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน, เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า, ข้าวฮาง

TITLE	Comparison study on continuous Hang rice process production		
AUTHOR	Sitthiphon Sriwiset		
ADVISORS	Associate Professor Juckamas Laohavanich , Ph.D. Assistant Professor Cherdpong Chiawchanwattana , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Mechanical Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2021

ABSTRACT

The objective of this research is to design a mixed flow hot air dryer for use in rice production. The experiment was carried out with the conventional method of farmer's group for drying Hang rice by using a single stage infrared rotary dryer compared to a continuous infrared rotary dryer with a mixed flow hot air dryer. The dryer designed with a drying chamber size of 120×50×40 centimeters (width × length × height) can continuously dry 240 kilograms of paddy per hour. The study of the temperature of paddy in the drying chamber during the drying process revealed that it could be explained by a mathematical equation in the form of quadratic polynomial equation with the variation of the response variable (R^2). The temperature on the top, middle and bottom floors of the drying chamber were measured with values of 78.84%, 75.57% and 71.18%, respectively. For the drying process test, the farmers' working conditions were used by drying with two cycles of infrared rotary dryers at 750 °C infrared burner. Then, the comparative test was carried out by continuous drying with a mixed flow hot air dryer. The test factors were hot air temperatures of 50, 60 and 70 degrees Celsius, respectively. The results showed that the production process using the two dryers in sequence reduced the drying faster than the process using only the rotary drum infrared dryer. As a result, the production time during the rainy season can be reduced from the usual 3-4 days of production time to only 2-3 days per production cycle. Finally, this also resulted in a statistically significant reduction in the percentage of broken rice grains in Hang rice yield

Keyword : Drying, Hang rice, Mixed flow hot air dryer, Rotary infrared dryer



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนวิจัย จาก โครงการทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและ
อุตสาหกรรมเกษตร ประจำปี 2564

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก รอง
ศาสตราจารย์ ดร.จักรมาส เลาหวนิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชิดพงษ์
เชี่ยวชาญวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาให้ความรู้คำแนะนำตลอดทั้ง
กำลังใจแก่ผู้วิจัยจนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจึงขอขอบคุณโอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี วงษ์พิเชษฐ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รอง
ศาสตราจารย์ ดร. สุพรรณ ยั่งยืน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูมิ
สะอาด กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาตรวจแก้วิทยานิพนธ์ตลอดจนให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อ
การจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นิสิตปริญญาเอก และ นิสิตปริญญาโท สาขา
วิศวกรรมเครื่องกลตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้างการทดสอบและอุปกรณ์ในการทดสอบจนทำ
ให้วิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคุณแม่และครอบครัวที่คอยให้กำลังใจเอาใจใส่ดูแลและสนับสนุนทุกสิ่ง
อย่างจนทำให้วิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

หากเนื้อหาและข้อมูลต่างๆ ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจศึกษาและทำการวิจัยอื่นๆ
ผู้จัดทำขอขอบคุณความดีทั้งหลายนี้ให้แก่บุคคลทุกท่านที่กล่าวมา ทำดีที่สุดหากวิทยานิพนธ์เล่มนี้มี
ข้อผิดพลาดบกพร่องประการใดผู้ขอผู้จัดทำขอกราบอภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สิทธิพล ศรีวิเศษ

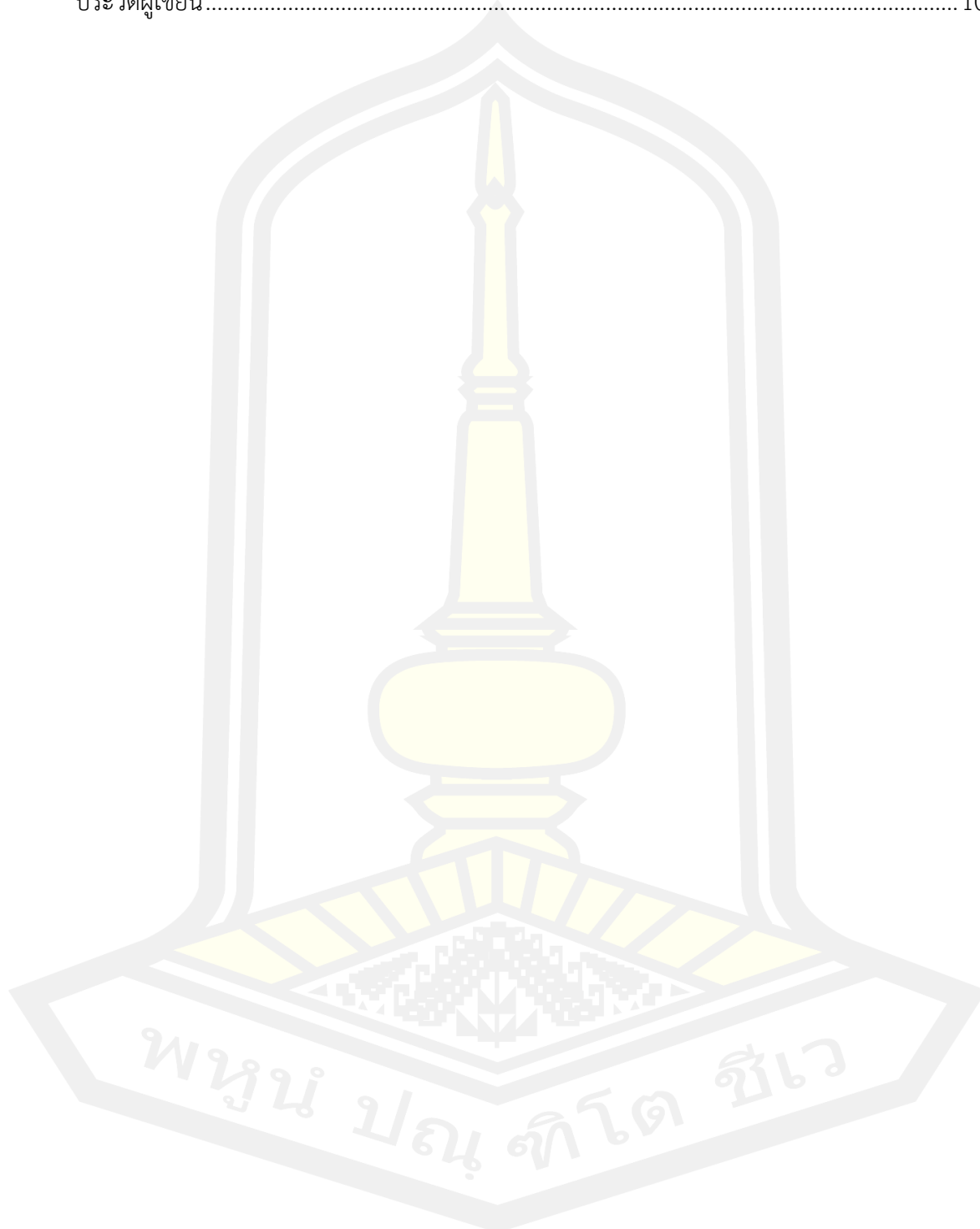
พูน บณู ทิโต ชิว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพประกอบ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 สถานที่ดำเนินการวิจัย	4
บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล	5
2.1 ขั้วฮางงอก.....	5
2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าวเปลือก	7
2.3 ลักษณะทางกายภาพของข้าว.....	8
2.4 การเกิดเจลาทีไนเซชัน	11
2.5 เครื่องอบแห้งที่สำคัญในกระบวนการผลิตข้าว.....	12
2.6 ทฤษฎีการอบแห้ง	14
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง.....	15
2.8 รังสีอินฟราเรด.....	17

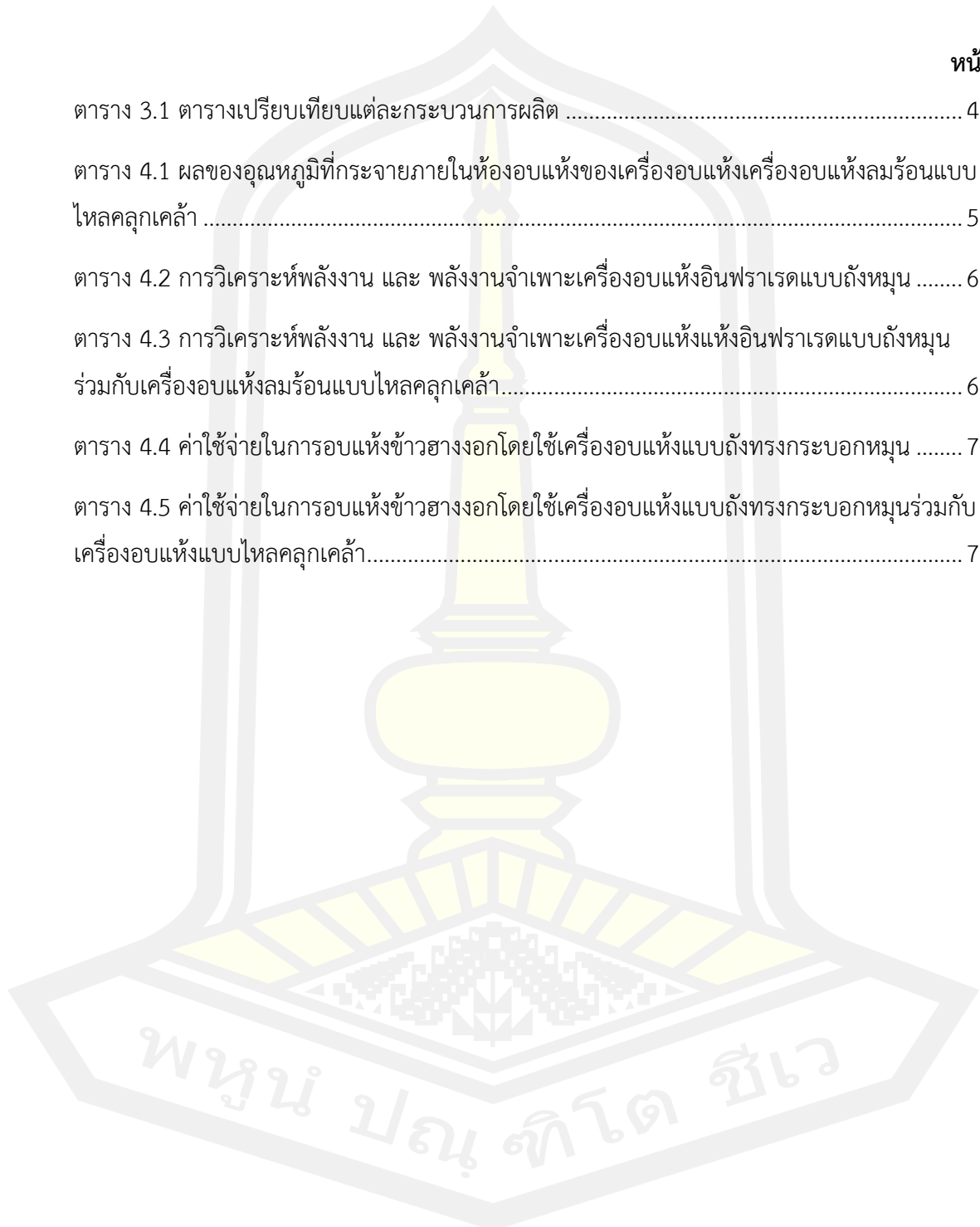
2.9 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของข้าวฮางงอก	20
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทรัพย์สินทางปัญญา	22
2.11 ข้อมูลการเปรียบเทียบขั้นการผลิตข้าวฮางงอแต่ละขบวนการ	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	39
3.1 การออกแบบเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า	40
3.2 ทดสอบและเปรียบเทียบการทำงานของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง อินฟราเรดแบบถึงหมุ่นร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้ากับเครื่องอบแห้ง อินฟราเรดแบบถึงหมุ่น.....	45
3.3 การวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง	50
3.4 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม	51
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย	53
4.1 ผลการออกแบบเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า	53
4.2 ผลการทดสอบและเปรียบเทียบการทำงานของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่อง อบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่นร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้ากับเครื่องอบ แห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่น	61
4.3 ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง.....	67
4.4 ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม.....	70
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	76
5.1 การทำงานเบื้องต้นของเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า	76
5.2 การทดสอบและเปรียบเทียบการทำงานของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่อง อบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่นร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบLSUกับเครื่องอบแห้ง อินฟราเรดแบบถึงหมุ่น.....	77
5.3 สรุปผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง	78
5.4 สรุปผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม.....	79
บรรณานุกรม.....	80

ภาคผนวก..... 84
ประวัติผู้เขียน..... 102



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 ตารางเปรียบเทียบแต่ละกระบวนการผลิต	46
ตาราง 4.1 ผลของอุณหภูมิที่กระจายภายในห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบ ไหลคลุกเคล้า	55
ตาราง 4.2 การวิเคราะห์พลังงาน และ พลังงานจำเพาะเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน	68
ตาราง 4.3 การวิเคราะห์พลังงาน และ พลังงานจำเพาะเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน ร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า.....	69
ตาราง 4.4 ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวฮางอกโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุน	70
ตาราง 4.5 ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวฮางอกโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนร่วมกับ เครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า.....	71

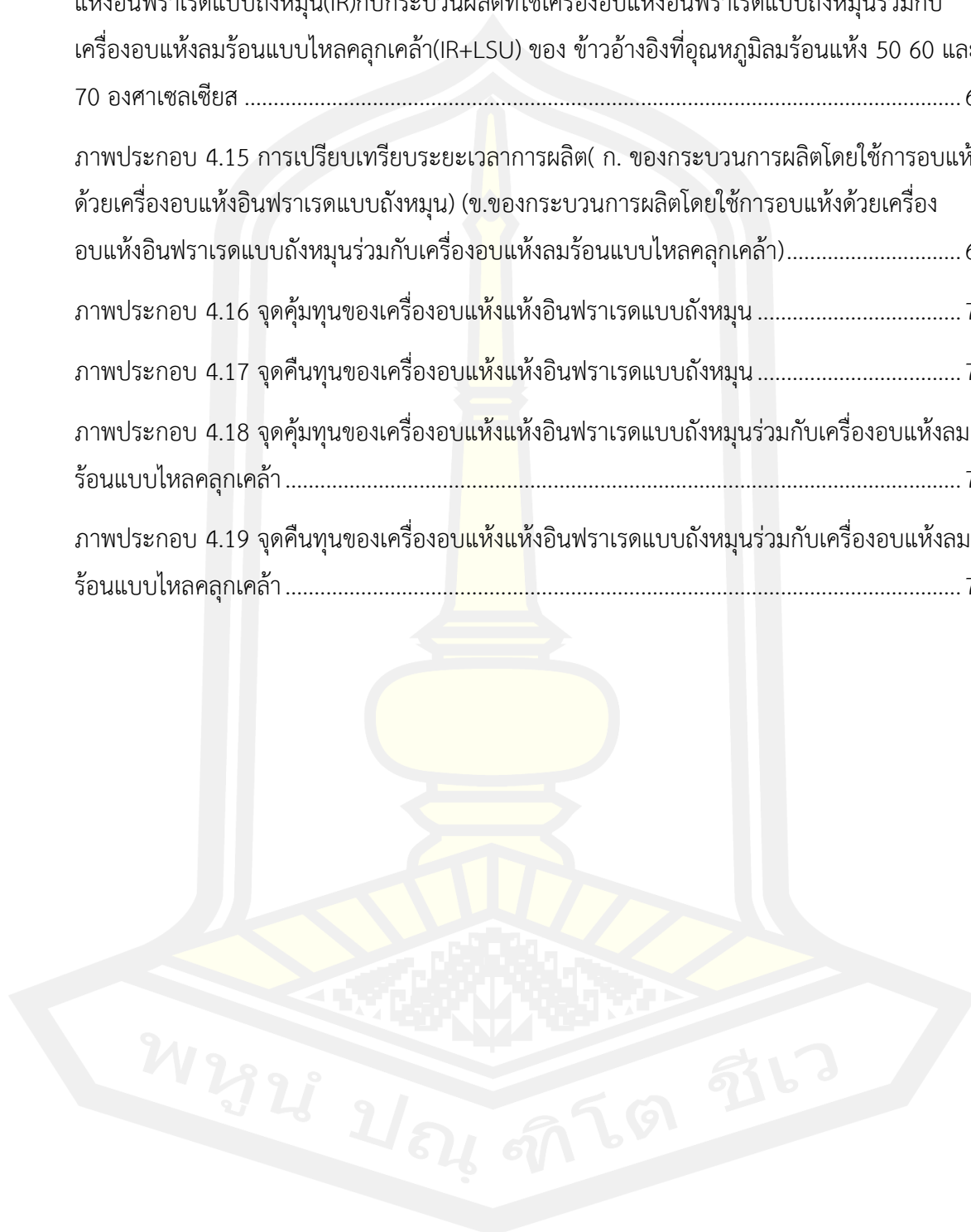


สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 2.1 ข้าวฮางงอก.....	5
ภาพประกอบ 2.2 โครงสร้างเมล็ดข้าวเปลือก.....	8
ภาพประกอบ 2.3 สีเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ต่างๆ.....	9
ภาพประกอบ 2.4 สีข้าวกล้อง.....	9
ภาพประกอบ 2.5 เครื่องอบแห้งแบบถังหมุน.....	13
ภาพประกอบ 2.6 เครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า.....	14
ภาพประกอบ 2.7 ลักษณะโครงสร้างเครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า.....	14
ภาพประกอบ 2.8 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ.....	18
ภาพประกอบ 2.9 ก. หลอดอินฟราเรดแบบใช้ก๊าซซิโตเลียมเหลว ข. หลอดอินฟราเรดแบบใช้ไฟฟ้า.....	19
ภาพประกอบ 2.10 อุปกรณ์ในการหาความหนาแน่นรวม.....	21
ภาพประกอบ 3.1 ขั้นตอนดำเนินการศึกษา.....	39
ภาพประกอบ 3.2 แผนผังการออกแบบเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า.....	40
ภาพประกอบ 3.3 ลักษณะห้องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า.....	41
ภาพประกอบ 3.4 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า(LSU).....	41
ภาพประกอบ 3.5 แผนผังการติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิภายในถังอบแห้งแบบลมร้อน LSU.....	43
ภาพประกอบ 3.6 วิธีการทดสอบโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน.....	43
ภาพประกอบ 3.7 เครื่องกะเทาะข้าวขนาดเล็ก.....	44
ภาพประกอบ 3.8 เครื่องคัดแยกเมล็ด.....	45
ภาพประกอบ 3.9 เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียว.....	47
ภาพประกอบ 3.10 วิธีการนึ่งโดยใช้เตาชีวมวล.....	48

ภาพประกอบ 3.11 การฝังข้าวในที่รม.....	48
ภาพประกอบ 3.12 เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่นและเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า	49
ภาพประกอบ 3.13 วิธีการทดสอบโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถึงหมุ่น.....	49
ภาพประกอบ 3.14 วิธีการทดสอบโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน.....	50
ภาพประกอบ 4.1 ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า.....	54
ภาพประกอบ 4.2 แบบจำลองพื้นผิวแสดงอุณหภูมิภายในถังอบแห้งบริเวณชั้น A.....	55
ภาพประกอบ 4.3 กราฟแสดงระดับของอุณหภูมิในแนวระนาบภายในถังอบแห้งบริเวณชั้น A.....	56
ภาพประกอบ 4.4 แบบจำลองพื้นผิวแสดงอุณหภูมิภายในถังอบแห้งบริเวณชั้น B.....	56
ภาพประกอบ 4.5 กราฟแสดงระดับของอุณหภูมิในแนวระนาบภายในถังอบแห้งบริเวณชั้น B.....	57
ภาพประกอบ 4.6 แบบจำลองพื้นผิวแสดงอุณหภูมิภายในถังอบแห้งบริเวณชั้น C.....	57
ภาพประกอบ 4.7 กราฟแสดงระดับของอุณหภูมิในแนวระนาบภายในถังอบแห้งบริเวณชั้น C.....	58
ภาพประกอบ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความชื้นและระยะเวลาอบแห้งที่ความชื้นข้าวเปลือก เริ่มต้น 16.52 22.64 และ 26.33 %.....	59
ภาพประกอบ 4.9 กราฟแสดงต้นข้าวที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือนของข้าวอ้างอิงที่เวลาอบแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบแบบไหลคลุกเคล้า 30 60 90 และ 120 นาที	60
ภาพประกอบ 4.10 กราฟแสดงต้นข้าวที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเป็น 2 เดือนของข้าวอ้างอิงที่เวลา อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบแบบไหลคลุกเคล้า 30 60 90 และ 120 นาที.....	60
ภาพประกอบ 4.11 กราฟแสดงต้นข้าวที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3 เดือนของข้าวอ้างอิงที่เวลา อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า 30 60 90 และ 120 นาที	61
ภาพประกอบ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและระยะเวลาอบแห้งของข้าวเปลือก อ้างอิงที่อุณหภูมิลมร้อน 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส.....	62
ภาพประกอบ 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของการลดความชื้นและระยะเวลาอบแห้งของ กระบวนการผลิตข้าวฮางที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่น(IR)กับกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบ แห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่นร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า(IR+LSU).....	63

ภาพประกอบ 4.14 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหักของกระบวนการผลิตข้างฮางที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่น(IR)กับกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่นร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า(IR+LSU) ของ ข้าวอ้างอิงที่อุณหภูมิหมุ่นแห้ง 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส	64
ภาพประกอบ 4.15 การเปรียบเทียบระยะเวลาการผลิต(ก. ของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่น) (ข.ของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่นร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า).....	66
ภาพประกอบ 4.16 จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่น	72
ภาพประกอบ 4.17 จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่น	73
ภาพประกอบ 4.18 จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่นร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า	74
ภาพประกอบ 4.19 จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่นร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า	75



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวฮาง ถือเป็นนวัตกรรมอาหารประเภทหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากข้าวฮาง เป็นการนำข้าวกล้องมาทำให้เกิดการงอกขึ้น โดยปกติแล้วในตัวข้าวกล้องเอง ประกอบด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าจำนวนมาก เช่น โยอาหาร กรดไฟติก (Phytic acid) วิตามินซี วิตามินอี และสารกาบา (gammaaminobutyric acid , GABA) ซึ่งช่วยป้องกันโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน และช่วยในการควบคุมน้ำหนัก เป็นต้น เห็นได้จากผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดที่มีส่วนผสมของสารกาบา

โดยเฉพาะการผลิตข้าวฮางในปัจจุบันนั้นอยู่ในระดับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนมีการใช้กระบวนการแบบพื้นบ้าน ซึ่งมีกรรมวิธีการผลิตข้าวฮาง คือ เริ่มต้นจากนำข้าวเปลือกไปแช่น้ำ 1-2 วัน แล้วนำมาบ่มให้เกิดการงอก 1-2 วัน เมื่อเกิดการงอกจึงนำมาล้างให้สุก จากนั้นลดความชื้นของข้าว โดยใช้เวลาอบ 2-3 วัน จึงจะแห้งสนิท รวมเวลาในการผลิตประมาณ 5-7 วันต่อรอบ ในภาคอุตสาหกรรม บริษัท อาร์ซีเค อะกริมาร์เกตติ้ง จำกัด เป็นผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ได้วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตข้าวหนึ่งกล้องจากข้าวเปลือกเริ่มงอกขึ้นโดยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) หรือสวก. โดยคิดค้นพัฒนาเทคโนโลยีกระบวนการผลิตและเครื่องต้นแบบในการผลิตข้าวหนึ่งกล้องจากข้าวเปลือกเริ่มงอก แก้ปัญหาการผลิตแบบดั้งเดิมสามารถเพิ่มกำลังการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมเพื่อการพาณิชย์ โดยที่เครื่องสามารถทำงานต่อเนื่องจนเสร็จสิ้นกระบวนการด้วยระบบอัตโนมัติ มีระบบควบคุมการทำงานด้วยระบบอัตโนมัติ โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการ แช่ข้าวเปลือก บ่มเพราะข้าวเปลือก หนึ่งข้าว และจากนั้นนำมาลดความชื้นโดยใช้ระยะเวลาการผลิต 4-5 วัน อย่างไรก็ตามพบว่าทางกลุ่มผู้ผลิตเกิดปัญหาข้าวเปลือกหนึ่งมีความชื้นที่สูงเกินไปมีการปรับทำให้เสี่ยงต่อการเจือปนและยังส่งผลต่อการลดความชื้น และความต่อเนื่องในการผลิต เนื่องจากกระบวนการทำให้แห้งทางบริษัทได้ทำการอบแห้งเพียงบางส่วนและนำไปตากลานทำให้ใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้น ต้องใช้พื้นที่ แรงงานมากขึ้น มีการปนเปื้อนของกรวดหิน เกิดความยุ่งยากในการผลิตหากภูมิอากาศไม่เหมาะสมสำหรับอบหรือไม่มีแสงอาทิตย์ ก็จะไม่สามารถอบข้าวเปลือกเพาะงอกได้ ทำให้สูญเสียโอกาสทางการแข่งขัน และพลาดโอกาสการสั่งซื้อจากลูกค้ารายใหญ่ที่ต้องผลิตในคราวละจำนวนมาก ในขณะที่ความต้องการกำลังการผลิตของทางบริษัทสูง ปัจจุบันได้มี การพัฒนากระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องอบแห้ง ซึ่งพบว่าแต่ละชนิดมีข้อจำกัดและความสามารถที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามการผลิตข้าวฮาง จำเป็นต้องคุณค่าทางสารอาหารและคุณภาพด้านต่างๆ

การทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีการศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่มีผลต่อการลดลงของความชื้น (1) ได้สร้างเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้วยระบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนปล่อยทิ้ง (เครื่องอบแห้งแบบโรตารีโดยใช้รังสีอินฟราเรด) มีความสามารถในการทำงาน 0.5 - 1 ตันวัตถุดิบต่อชั่วโมง ใช้ได้กับวัสดุประเภท เม็ด เมล็ด เช่น ข้าวเปลือก สามารถลดความชื้นวัสดุได้ 4-6 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ในเวลา 3-5 นาที และ (2) ได้ทดสอบอบข้าวฮางพันธุ์หอมมะลิ 105 ที่มีความชื้นเริ่มต้น 26 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก อัตราการป้อน 100- 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่ 40-50 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นให้เหลือ 16-20 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก(3, 4) และถูกนำไปใช้โดยกลุ่มวิสาหกิจศูนย์ส่งเสริมและผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวชุมชนสาวะถีในการลดความชื้นการผลิตข้าวฮาง (5) ได้พัฒนาการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วย Gasfired Infrared Dryer (GID) ที่ใช้แก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง โดยพบว่าสามารถลดความชื้นข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงให้เหลือประมาณ 13-16 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียกได้ในระยะเวลาที่สั้น ในการศึกษาในระดับอุตสาหกรรมเมื่อวัสดุมีความชื้นต่ำจะนิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยใช้หลักการไหลคลุกเคล้า(LSU)ในการลดความชื้นเนื่องจากมีการลดเปอร์เซ็นต์ความแตกหักหรือเพิ่มเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดได้ เพราะเครื่องอบแห้งสามารถอบด้วยลมร้อน พัดด้วยลมเย็นและสามารถทำการพักข้าวเปลือกได้ (6) ได้สร้างเครื่องอบแห้งแบบรางสั้นด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า มีการนำลมร้อนเพื่อกลับมาใช้ใหม่จากเครื่องอบแห้งแบบรางสั้นด้วยรังสีอินฟราเรด โดยมีกำลังผลิตประมาณ 25 – 30 ตันข้าวเปลือกต่อวันสามารถลดความชื้นข้าวเปลือกที่มีความชื้นมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก โดยการอบแห้งออกแบบให้ทำงานเป็นงวดๆ ละ 3.5 – 4 ตัน ใช้เวลาอบแห้ง 150 - 210 นาทีขึ้นอยู่กับความชื้นข้าวเปลือก จากปัญหาและความน่าสนใจของเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดและเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า หากมีการศึกษากระบวนการอบแห้งสำหรับข้าวฮาง โดยการอบแห้งจะใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยใช้หลักการไหลคลุกเคล้า คาดว่าจะทำให้สามารถแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิตข้าวฮางและกระบวนการลดความชื้น จะสามารถส่งผลดีต่อการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวฮางในกลุ่มวิสาหกิจและภาคอุตสาหกรรมของประเทศได้เป็นอย่างดี

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ออกแบบเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยใช้หลักการไหลคลุกเคล้า

1.2.2 ทดสอบและเปรียบเทียบการทำงานของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้ากับเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุน

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

1.2.4 เพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุนเงื่อนไขการทดสอบเป็นเงื่อนไขจากงานวิจัยทรงพล วิจารณ์จักร และคณะ, 2559 อุณหภูมิหลอดอินฟราเรดได้แก่ 750 องศาเซลเซียสอบแห้งจำนวน 2 รอบ

1.3.2 เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

1.3.2.1 ตัวแปรควบคุม

1) พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตข้าวกล้องงอก เป็นข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

1.3.2.2 ตัวแปรต้น

1) อุณหภูมิในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า 3 ระดับ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

1.3.2.3 ตัวแปรตาม

1) ความชื้น อุณหภูมิข้าวกล้องงอกระหว่างการอบแห้ง

2)คุณภาพข้าวกล้องงอกหลังการสี ได้แก่ ปริมาณการแตกหัก

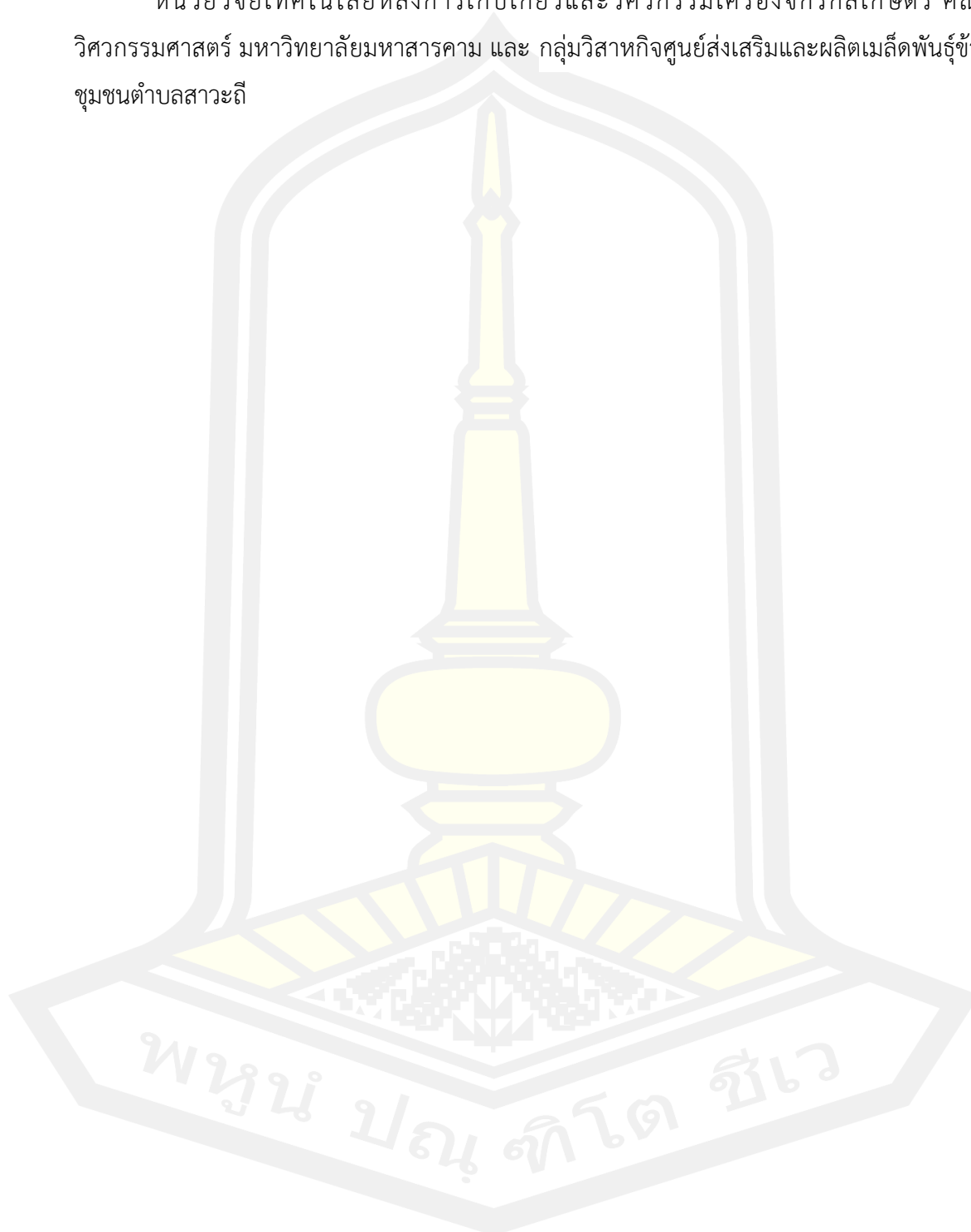
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้นวัตกรรมใหม่ในการใช้เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า ในการผลิตข้าวฮาง

1.4.2 ลดระยะเวลาในการลดความชื้นข้าวกล้องงอกทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตข้าวกล้องงอกได้และยังคงรักษาคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

1.5 สถานที่ดำเนินการวิจัย

หน่วยวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และ กลุ่มวิสาหกิจศูนย์ส่งเสริมและผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว
ชุมชนตำบลสาวะถี



บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

2.1 ข้าวฮางอก

ข้าวฮางอก คือ ข้าวฮางอก จากข้าวเปลือก จะมีสารอาหาร วิตามิน แร่ธาตุ ไฟเบอร์ และ กลิ่นหอม จากเปลือกมาเคลือบที่เมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น จึงทำให้ข้าวฮางอกมีสารอาหารมากกว่าข้าวฮางอก มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าธัญพืชทั้งหลาย ช่วยให้สุขภาพแข็งแรงและสมดุล เพิ่มภูมิต้านทาน ช่วยป้องกันเชื้อโรคหรือโรคที่ไม่ได้เกิดจากเชื้อโรคได้ดี เช่น ความดัน เบาหวาน ไขมันสูง โรคหัวใจ โรคอ้วน ไชข้ออักเสบ โรคไต โรคเกี่ยวกับประสาทและสมอง ความจำเสื่อม การแก่เกินวัย โรคมะเร็งชนิดต่างๆ ซึ่งเกิดจากการรับประทานอาหารที่ไม่ถูกต้อง หรือได้รับสารพิษต่างๆ เช่น ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าหญ้า ปุ๋ยเคมี สารเร่งการเจริญเติบโต สารกันบูด สารสังเคราะห์ต่างๆ และอากาศที่เป็นพิษ เป็นต้น (ภาพประกอบ 2.1)



ภาพประกอบ 2.1 ข้าวฮางอก

คุณประโยชน์ของสารอาหารในข้าวฮางอก

1. มีสารกาบา (Gaba) มีมากกว่าข้าวฮาง 15 เท่า มีประโยชน์มากมาย เช่น ช่วยรักษาระบบประสาทส่วนกลาง รักษาสมดุลในสมอง ช่วยให้สมองผ่อนคลาย ลดความวิตกกังวล หลับสบาย คลายกล้ามเนื้อ ป้องกันความจำเสื่อม กระตุ้นการผลิตฮอร์โมนที่ช่วยการเจริญเติบโต สร้างเนื้อเยื่อ ทำให้กล้ามเนื้อกระชับ ชะลอความชรา ช่วยขับเอนไซม์ขจัดสารพิษ ควบคุมระดับน้ำตาลและพลาสมา คอลอเรสเตอรอลในเลือด ลดความดันเลือด ช่วยให้เลือดไหลเวียนดี กระตุ้นการขับถ่ายน้ำตาลลงสู่ลำไส้ เพื่อสลายไขมัน ป้องกันมะเร็งลำไส้และช่วยขับสารพิษ
2. มีโปรตีนที่ดี ช่วยซ่อมแซมส่วนสึกหรอของเนื้อเยื่อได้ดี ไม่มีสารกลูเตนที่ทำให้เกิดอาการแพ้ได้
3. มีไฟเบอร์ชั้นดีสูง สูงกว่าข้าวขาว 15-20 เท่า ช่วยให้การย่อยอาหารเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้น้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดทีละนิด จึงทำให้อิ่มท้องนาน ไม่หิวง่าย ช่วยลดความอ้วน ป้องกันและ

รักษาโรคเบาหวานได้ดีมาก ช่วยให้ขับถ่ายสะดวก ช่วยดูดซับไขมันและสารพิษออกจากร่างกาย ป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่

4. มีไขมันชนิดดี และสำคัญหลายชนิด เช่น ออริซานอล โทโคฟีรอล ไตรโคไตรอินอล Mufa ฯลฯ ช่วยลดไขมันในเลือดและหลอดเลือด ลดไขมันตัวร้าย (LDL) และเพิ่มไขมันตัวดี (HDL) ป้องกันโรคหัวใจ ยับยั้งเซลล์เนื้องอก ทำลายเซลล์มะเร็งเต้านม มีสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันมะเร็งได้ดีกว่าวิตามินอี 6 เท่า ยับยั้งการเกิดฝ้า ช่วยลดอาการร้อนวูบวาบในสตรีวัยทอง

5. มีสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งช่วยขจัดอนุมูลอิสระที่เป็นต้นเหตุของโรคมะเร็งชนิดต่างๆ ได้ดี ช่วยป้องกันเชื้อไวรัสและแบคทีเรีย ป้องกันโรคหัวใจ ไชข้ออักเสบ โรคเก๊าท์ โรคแก่เร็ว ฯลฯ

6. มีวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญครบทุกตัว ช่วยให้อวัยวะในร่างกายทำงานได้ดี ทำให้สุขภาพแข็งแรง เช่น

วิตามิน B1 มีมากกว่าข้าวขาว 4 เท่า ป้องกันโรคเหน็บชา

วิตามิน B2 มีมากกว่าข้าวขาว 1 เท่า ป้องกันโรคปากนกกระจอก

วิตามิน B3 มีมากกว่าข้าวขาว 5 เท่า ช่วยให้ระบบทางเดินอาหารเป็นปกติ ไม่อืด แน่น เพื่อคลื่นไส้ อาเจียน ถ่ายเป็นเลือด ไม่สับสนซึมเศร้า

วิตามิน B6 ช่วยสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ

กรดโฟลิก มีมากกว่าข้าวขาว 5 เท่า ช่วยการเจริญเติบโตของระบบสืบพันธุ์ ป้องกันทารกสมองพิการในช่วงเริ่มตั้งครรภ์

วิตามิน E สูง ช่วยกระจายออกซิเจนไปตามกระแสเลือด ชะลอความแก่ของเซลล์ ช่วยให้ผิวพรรณดี สดใส เต่งตึง ป้องกันแคลเซียมเกาะผนังหลอดเลือด ซึ่งทำให้เส้นเลือดมีความยืดหยุ่นน้อยลง ทำให้เปราะ และแตกง่าย โดยเฉพาะในสมอง

ธาตุเหล็ก มีมากกว่าข้าวขาว 2 เท่า ช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง

วิธีการทำข้าวฮางอก

1. นำข้าวเปลือกมาแช่น้ำ 48 ชั่วโมง
2. นำข้าวที่แช่น้ำมาบ่มในภาชนะที่มีอากาศถ่ายเทได้บ้าง เช่น บ่มในกระสอบ รดน้ำเข้า-เย็น บ่มไว้ประมาณ 48 ชั่วโมง จะมีรากงอก ประมาณ 0.5 มม. หรือเท่าปลายเข็ม
3. นำข้าวที่งอกไปนึ่งให้สุก
4. ตากแดด หรือผึ่งลมให้แห้ง (ระหว่างตากควรมีการกลับข้าวบ้าง)

5. สีเป็นข้าวฮาง
6. แยกสิ่งเจือปนและเก็บในภาชนะที่แห้งสนิท หรือบรรจุในถุงสุญญากาศ

2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าวเปลือก

เมล็ดข้าวเปลือก (Rice grain) ประกอบด้วยเมล็ดข้าวกล้อง (Brown rice) และเปลือกหรือแกลบ (Hull) ซึ่งหุ้มส่วนเมล็ดข้าวกล้องไว้ เมล็ดข้าวกล้องจะประกอบด้วยส่วนเยื่อชีวิตหรือเอ็มบริโอ (Embryo) และเนื้อเมล็ด (Endosperm) เป็นส่วนใหญ่ ผิววนอกของข้าวกล้องจะกอบด้วยเยื่อต่างๆ หลายส่วนซึ่งมีเนื้อเยื่อที่มีความแตกต่างกันทางพฤกษศาสตร์ปกคลุมส่วนของเยื่อชีวิตและเนื้อเมล็ด (จำรัส โปรงศิริวัฒนา, 2536)

1 แกลบ (Hull) คือส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ (Lemma) เปลือกเล็ก (Palea) หาง (Awn) ติดอยู่ที่ปลายเปลือกใหญ่ เปลือกใหญ่จะปกคลุม 2 ใน 3 ของเนื้อเมล็ด เปลือกเล็กจะยึดแน่นอยู่ภายในส่วนของเปลือกใหญ่ ดังนั้นเปลือกข้าวจึงปิดแน่น

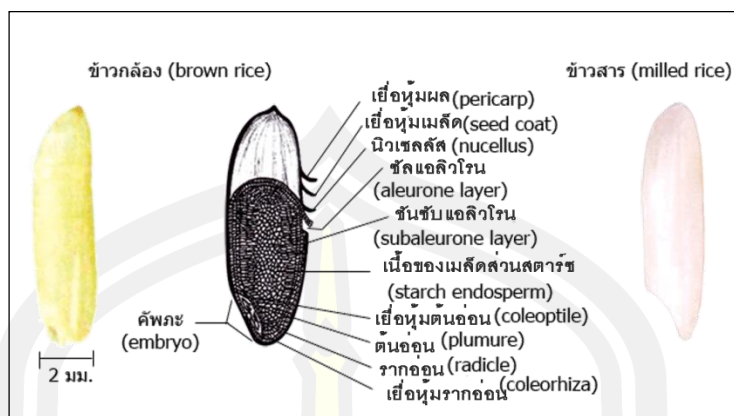
2. ข้าวกล้อง (Brown rice) เป็นส่วนที่นำไปบริโภค ประกอบด้วยคัพพะ (Embryo) และส่วนที่เป็นแป้ง (Starchendosperm)

3. เยื่อหุ้มข้าวกล้อง (Caryopsis coat) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ได้แก่ เยื่อชั้นนอก (Pericarp) มีความหนา 10 ไมครอน เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) มีความหนาเท่ากับเซลล์ชั้นเดียว เยื่อคั่น (Nucellus) มีความหนาเท่ากับ 2.5 ไมครอน

4. เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (Aleurone layer) อยู่ด้านในต่อจากเยื่อคั่น (Nucellus) เป็นเนื้อเยื่อชนิดเดียวกับเนื้อเมล็ด (Endosperm) เซลล์ของเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดประกอบด้วย โปรตีน และไขมัน

5. ส่วนที่เป็นแป้ง (Starch Endosperm) หรือที่เป็นข้าวสารจะอยู่ชั้นสุดของเมล็ด ประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ และมีโปรตีนอยู่บ้าง

6. คัพพะ (Embryo) เป็นส่วนที่อยู่ติดกับส่วนที่เป็นแป้งทางด้านท้องของเมล็ด (Ventral side) คัพพะเป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นอ่อนต่อไป ดังนั้นจึงประกอบด้วย ต้นอ่อน (Plumule) รากอ่อน (Radicule) เยื่อหุ้มต้นอ่อน (Doleoptile) และเยื่อหุ้มรากอ่อน (Coleorhiza) (ภาพประกอบ 2.2)



ที่มา : www.organicricedelivery.com, เว็บไซต์

ภาพประกอบ 2.2 โครงสร้างเมล็ดข้าวเปลือก

2.3 ลักษณะทางกายภาพของข้าว

คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวตามความหมายของคุณภาพเมล็ดทางกายภาพ ซึ่งหมายถึงคุณสมบัติต่างๆ ของเมล็ดที่สามารถมองเห็น หรือชั่ง ตวง วัดได้ เช่น น้ำหนักเมล็ด สี ข้าวเปลือก สีข้าวกล้อง ขนาดและรูปร่างเมล็ด ลักษณะท้องไข ความใสขุ่นของข้าวสาร เป็นต้น (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545)

2.3.1 น้ำหนักเมล็ด (Grain weight) น้ำหนักเมล็ดเป็นลักษณะที่ถูกควบคุมโดยพันธุกรรม และจะแปรปรวนไปตามสภาพแวดล้อม เช่น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ย ความชื้น และสภาพภูมิอากาศ จากการตรวจสอบน้ำหนักข้าวเปลือก 100 เมล็ดของข้าวไทยพันธุ์ต่างๆ จำนวน 344 พันธุ์ พบว่ามีน้ำหนักแปรปรวนระหว่าง 1.62–4.17 กรัม ส่วนข้าวพันธุ์ดีที่รัฐบาลส่งเสริมจะมีน้ำหนัก 100 เมล็ดระหว่าง 2.25–3.67 กรัม น้ำหนักเมล็ดสามารถประเมินได้ 2 รูปแบบ คือ

- 1) น้ำหนักต่อปริมาตร ประเมินเป็น กรัมต่อลิตร หรือ กิโลกรัมต่อถัง
- 2) น้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด ประเมินเป็น น้ำหนัก 100 เมล็ด หรือ น้ำหนัก 1000 เมล็ด เป็น

ต้น

2.3.2 สีข้าวเปลือก (Hull color) สีข้าวเปลือกเป็นลักษณะประจำพันธุ์ ซึ่งมีส่วนในการตั้งชื่อพันธุ์ในอดีต เช่น ขาวพวง ขาวนางนอย เนื่องจากมีเปลือกสีฝางหรือสีขาว เหลืองหอม เหลืองข้างรั้ว

เนื่องจากมีเปลือกสีน้ำตาลหรือสีเหลือง เป็นต้น เปลือกเมล็ดข้าวจะมีผลต่อสีของข้าวสารหนึ่ง กล่าวคือ เมล็ดข้าวเปลือกที่มีสีเข้มข้าวสารหนึ่งก็จะมีสีเข้มด้วย สีข้าวเปลือกที่พบจะมีสีขาว (white) ฟาง (straw) น้ำตาลอ่อนถึงเข้ม (light to dark brown) ร่องน้ำตาล (brown) กระน้ำตาล (brown spot) น้ำตาลแดง (reddish brown) ม่วง (purple) และดำ (black) เป็นต้น (ภาพประกอบ 2.3)



ภาพประกอบ 2.3 สีเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ต่างๆ

2.3.3 สีข้าวกล้อง (Pericarp color) สีข้าวกล้องจะแสดงออกที่เยื่อหุ้มเมล็ด สำหรับส่วนที่เป็นแป้งของข้าวทุกชนิดจะมีสีขาวเสมอ ข้าวกล้องจะมีสีต่างๆกัน เช่น ขาว แดง น้ำตาลเข้ม และม่วงถึงเกือบดำ สีข้าวกล้องมีผลต่อข้าวสารหนึ่งเช่นเดียวกับสีของข้าวเปลือก นอกจากนี้ยังมีผลต่อคุณภาพการสี กล่าวคือ ข้าวกล้องที่มีสีเข้มต้องใช้เวลาในการขัดรำนานหรือใช้แรงกดมาก เพื่อให้ส่วนของรำที่เป็นสีเข้มหลุดออกทำให้เกิดข้าวหักมาก มีปริมาณข้าวเต็มเมล็ด ข้าวตันน้อย ไม่เป็นที่ต้องการของพ่อค้าโรงสี ดังนั้นสีข้าวกล้องที่ต้องการคือสีข้าวกล้องที่มีสีอ่อน (ภาพประกอบ 2.4)



ภาพประกอบ 2.4 สีข้าวกล้อง

2.3.4 ขนาดและรูปร่างเมล็ด (Grain dimension) ขนาดรูปร่างเมล็ด ได้แก่ ความยาว (length) ความกว้าง (width) ความหนา (thickness) และรูปร่าง (shape) ของเมล็ดขนาดและรูปร่างเมล็ดพันธุ์ข้าวเป็นลักษณะประจำ มีความแตกต่างกันขึ้นกับพันธุ์และสภาพพื้นที่ปลูก เช่น ข้าวพวก Indica จะมีเมล็ดยาวรูปร่างเรียวยาว พวก Japonica มีเมล็ดสั้นรูปร่างป้อม เป็นต้น

ขนาดเมล็ดจำแนกตามความยาวของเมล็ดได้ดังนี้

ยาวมาก	ยาวกว่า 7.5 มม.
ยาว	6.6-7.5 มม.
ปานกลาง	5.5-6.6 มม.
สั้น	สั้นกว่า 5.5 มม.

รูปร่างเมล็ดจำแนกโดยใช้สัดส่วน ความยาว/ความกว้าง ได้ดังนี้

เรียวยาว	มากกว่า 3.0
ปานกลาง	2.0-3.0
ป้อม	น้อยกว่า 2.0

2.3.5 ลักษณะท้องไข (Chalkiness) เป็นจุดศูนย์กลางทึบแสงในเมล็ดข้าวเจ้า ซึ่งเกิดจากการจับตัวอย่างหลวมๆ ระหว่างผลึกแป้ง (starch granule), กลุ่มแป้ง (starch compound) และโปรตีน (protein body) ทำให้เกิดช่องอากาศเล็กๆ ภายในเมล็ด จึงเห็นเป็นลักษณะทึบแสง จุดศูนย์กลางนี้มีขนาดแตกต่างกัน ตำแหน่งท้องไขอาจเกิดขึ้นตรงกลางเมล็ด (white center), จากด้านท้องที่อยู่ข้างเดียวกับคัพภะ (white belly) หรือจากด้านหลัง (white back) ข้าวไทยส่วนมากเป็นท้องไขน้อยเป็นประเภท white belly ข้าวท้องไขไม่นิยมในวงการค้าข้าวเพราะไม่สวยและคุณภาพการสีไม่ดี ข้าวหักมาก ข้าวท้องไข นอกจากควบคุมด้วย พันธุกรรม สภาพแวดล้อม เช่น แหล่งปลูก ฤดูกาล อุณหภูมิ และการใส่ปุ๋ย

2.3.6 ความขาวของข้าวสาร (Milled rice whiteness) ข้าวที่ผ่านการขัดสีจนเป็นข้าวสารแล้วจะมีสีข้าวเสมอ เพราะเหลือเฉพาะส่วนที่เป็นแป้งของเมล็ด ความขาวของข้าวสารจะแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการสี องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว ระยะเวลาการเก็บรักษา ข้าวเปลือก เป็นต้น ความขาวของข้าวซึ่งจำแนกโดยระดับสีจะเป็นตัวกำหนดชั้นของข้าว เช่น ข้าว

100เปอร์เซ็นต์ จะต้องมึระดับการสีเป็นสีดีพิเศษ ซึ่งหมายถึง การสีเอาสิ่งต่างๆออกให้หมดไม่มีรำอยู่เลย จนข้าวมีลักษณะใสงามเป็นพิเศษ หรือ ข้าว 45 เปอร์เซ็นต์ มีชั้นของการสีเป็นสีธรรมดา หมายถึง การสีที่ไม่เต็มที สีข้าวปานกลาง ส่วนสีข้าวหนึ่ง ซึ่งมีตั้งแต่ น้ำตาลอ่อนถึงเข้มนั้น เกิดจากกรรมวิธีและวัตถุดิบที่ใช้

2.3.7 ความใสขุ่นของข้าวสาร (Grain translucency) ความใสขุ่นของข้าวสารเป็นคุณลักษณะกับท้องไข่ หมายถึง ความทึบแสงหรือความใสของเนื้อข้าวสารทั้งเมล็ด สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ในข้าวเจ้า ปัจจุบันยังไม่พบสาเหตุของความขุ่นใสของข้าวสาร แต่คาดว่าเนื่องจากทั้งพันธุ์ข้าวและสภาพพื้นที่ปลูก เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีเมล็ดใสมากกว่าข้าวที่ปลูกในภาคกลาง

2.4 การเกิดเจลลาทีโนเซชัน

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลลาทีโนเซชัน มีหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ ค่าพีเอช และขนาดของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กจะเกิดเจลลาทีโนเซชัน ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่กว่า เมื่อนำเม็ดแป้งไปใส่น้ำ จะเกิดการเปลี่ยนแปลง 3 ชั้น (สุทธิณี วานิชสำราญ, 2545)

ชั้นที่ 1 เม็ดแป้งจะดูดน้ำประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์

ชั้นที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็วและดูดน้ำเข้าไปมาก เม็ดแป้งจะสามารถดูดน้ำได้มากถึง 300 เปอร์เซ็นต์ ที่ 60 องศาเซลเซียส , 1000 เปอร์เซ็นต์ ที่ 70 องศาเซลเซียส และอาจดูดน้ำได้สูงสุดถึง 2500 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและน้ำหนักเดิมของแป้ง

ชั้นที่ 3 เม็ดแป้งที่จะขยายใหญ่ขึ้น จนเมื่อถึงระดับหนึ่งแป้งจะถูกละลายและเกิดเป็นเจล ความหนืดของของเหลวจะเพิ่มขึ้น เม็ดแป้งจะเกาะติดกันและไม่สามารถดึงออกจากกันไม่ได้ การพองตัวของแป้งโดยเฉพาะอมิโลส ทำให้น้ำแป้งเหนียวและเกิดการเจลลาทีโนเซชันในเม็ดแป้งโมเลกุลของอมิโลสและอมิโลเปคตินเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน แต่เป็นพันธะอย่างอ่อนในโมเลกุลเมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งสูงขึ้นพันธะไฮโดรเจนทั้งในน้ำและน้ำในแป้งจะถูกทำลาย น้ำจะซึมเข้าไประหว่างแป้งจึงทำให้แป้งมีการเพิ่มขนาดหรือพองตัว เพราะโมเลกุลของน้ำจะเข้าไปอยู่ระหว่างโมเลกุลของแป้งช่วงอุณหภูมิที่แป้งพองตัวอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเป็นน้ำแป้งข้น เรียกว่า ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจล (Gelatinization Temperature Range)

อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization Temperature) เป็นอุณหภูมิที่ทำให้แป้งกลายเป็นเจล และเปลี่ยนจากทึบแสงเป็นใส คุณสมบัตินี้มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาหุงข้าวให้สุก ข้าวที่มีอุณหภูมิ

แป้งสูกสูงจะใช้ระยะเวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไปการหุงข้าวให้สูกใช้เวลา 13-24 นาที ในการปรับปรุงพันธุ์มักใช้วิธีการหาค่าการสลายเม็ดในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ร้อยละ 1.7 ได้มีการจัดแบ่งประเภทข้าวตามระดับอุณหภูมิแป้งสูกเป็น 3 กลุ่ม

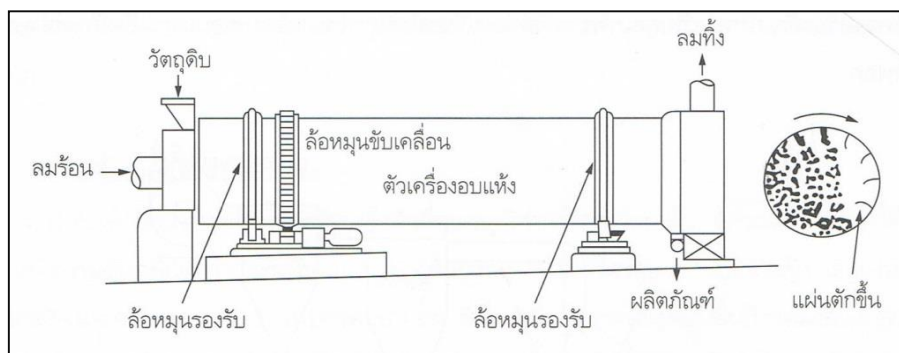
อุณหภูมิแป้งสูก (KOH)	ประเภทอุณหภูมิของแป้งสูก	ค่าการสลายเม็ดใน
ต่ำกว่า 69	ต่ำ	6-7
70-74	ปานกลาง	4-5
สูงกว่า 74	สูง	1-3

ภายในเมล็ดข้าวสารจะประกอบไปด้วย แป้งประมาณ 84-93 โดยน้ำหนักแห้งและโปรตีนประมาณ 5-14 เปอร์เซ็นต์ แป้งข้าวอยู่ในรูปของเม็ดแป้ง (Granula) มีโครงสร้างแบบ Semi-crystalline ประกอบด้วยโมเลกุลอะมิโลสและอะมิโลเปคติน จัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก

2.5 เครื่องอบแห้งที่สำคัญในกระบวนการผลิตข้าว

2.5.1 เครื่องอบแห้งแบบหมุน (rotary dryer)

ป้อนวัสดุและลมร้อนในทิศทางขนานกันหรือไม่ก็สวนกันในท่อทรงกระบอกเอียงที่หมุนอยู่ วัสดุจะถูกอบแห้งในขณะที่วัสดุกำลังหล่นลงจากแผ่นยก (lifter) คล้ายกับม่านตกและสัมผัสกับลมร้อนที่ไหลอยู่ในทรงกระบอก โดยกระบวนการนี้จะเกิดเข้าไปเรื่อย ๆ เครื่องอบแห้งแบบหมุนเหมาะสมสำหรับการอบแห้งวัสดุปริมาณมากที่มีสภาพเป็นชื้นเกล็ด หรือมีสภาพเป็นเม็ดผงที่มีปริมาณความชื้นค่อนข้างน้อย (ภาพประกอบ 2.5)



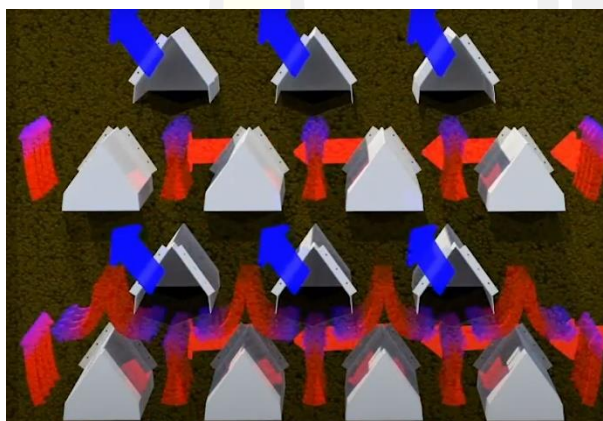
ภาพประกอบ 2.5 เครื่องอบแห้งแบบถังหมุน

2.5.2 เครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า (LSU)

เครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้าเครื่องลดความชื้นแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า ถังบรรจุเมล็ดพืชจะเป็นถังทรงสี่เหลี่ยมแนวตั้ง เมล็ดพืชจะไหลจากด้านบนลงล่างโดยมีอุปกรณ์ควบคุมการไหลของเมล็ด ภายในถังประกอบด้วยท่อลมเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นจะมีท่อลมหลายท่อ ท่อลมแต่ละชั้นจะเป็นท่อลมร้อนเข้าและท่อลมออกสลับกับท่อลมเข้านี้จะพัด ผ่านเมล็ดพืชในถังและไหลออกจากท่อลมออกที่อยู่ชั้นด้านบนและล่างท่อลม แต่ละท่อจะมีลักษณะเป็นล้างคว่ำ ด้านบนแหลม ด้านล่างเปิดว่างในแนวขนานกับพื้นยาวตลอดถัง ที่ปลายรางด้านหนึ่งจะเจาะช่องต่อเข้ากับห้องรวบรวมลม ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะปิดท่อลม แต่ละชั้นจะมีช่องที่เจาะเข้ากับห้องรวบรวมลมสลับกันโดยชั้นหนึ่งจะต่อเข้าทางด้านห้องลมร้อนเข้าและอีกชั้นหนึ่งจะต่อเข้ากับห้องลมออก เครื่องลดความชื้นแบบนี้จะทำให้เมล็ดพืช ไหลกลับไปกลับมาและมีโอกาสสัมผัสกับลมร้อนเข้าและลมขึ้นที่เป่าออกสลับกันเท่ากันตลอดทั้งถังบรรจุเมล็ดพืชดังแสดงในภาพที่ 2.6 และ ภาพที่ 2.7



ภาพประกอบ 2.6 เครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า



ภาพประกอบ 2.7 ลักษณะโครงสร้างเครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า
ที่มา : AGI NECO - Mixed Flow Dryer

2.6 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้ง (7) คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุส่วนมากแล้วได้รับมาจากความร้อนสัมผัสของอากาศ และการถ่ายเทความร้อนจะมีทั้งการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี แต่โดยทั่วไปแล้วเป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนเป็นหลัก ซึ่งในการอบแห้งโดยทั่วไปมักอาศัยความร้อนในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทจากอากาศร้อนไปยังวัสดุ ซึ่งความร้อนส่วนใหญ่จะ

ถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำ โดยของเหลวที่อยู่ภายในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิววัสดุโดย Capillary Flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (Surface Force) ส่วนไอน้ำในวัสดุจะเคลื่อนที่เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor Diffusion) และความดันไอ (Partial Vapor of pressure) ที่ความแตกต่างระหว่างไอน้ำในวัสดุกับอากาศร้อน ถ้าผิวของวัสดุมีน้ำอยู่จำนวนมาก การลดลงของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ส่งผลให้อัตราการอบแห้งคงที่ด้วย และเมื่อปริมาณน้ำที่ผิวของวัสดุลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวย่อมเปลี่ยนแปลง กล่าวคืออุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของไอน้ำในวัสดุลดลง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่อยู่ระหว่างอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่า ความชื้นวิกฤต และอัตราการอบแห้งจะลดลงตลอดระยะเวลาการอบแห้ง จนกระทั่งความดันไอของของเหลวในวัสดุมีค่าไม่แตกต่างกับความดันไอของอากาศแวดล้อมในการอบแห้ง ความชื้นที่จุดสุดท้ายนี้เรียกว่า ความชื้นสมดุล เป็นจุดที่ไม่มีการถ่ายเทความชื้นอีกต่อไป

อัตราการอบแห้งแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ 1) ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น น้ำจะเกาะอยู่ที่ผิวของวัสดุเป็นจำนวนมาก เมื่อเพิ่มความเร็วมวลที่ไหลผ่านวัสดุ จะทำให้ฟิล์มอากาศนิ่งมีความหนาลดลง เป็นผลให้ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนและมวลลดลงด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของการอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างที่ผิววัสดุและของกระแสอากาศที่ไหลอย่างอิสระมีมากขึ้น เป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น 2) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การถ่ายเทความร้อนและมวล จะไม่จำกัดอยู่เฉพาะที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นภายในผิวและเนื้อวัสดุด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิมียิ่งมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลให้สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งจะเป็นผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแล้วจะเป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วจะพบว่าความหนาของฟิล์มอากาศนิ่งมีค่าลดลง เป็นผลให้ความต้านทานลดลง เนื่องจากความต้านทานที่ฟิล์มอากาศมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความต้านทานตัวอื่น ดังนั้นจึงไม่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและมวล

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

2.7.1 ธรรมชาติของวัสดุ วัสดุเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนของน้ำภายในวัสดุแบบผ่านแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในวัสดุเนื้อแน่น ดังนั้นวัสดุเนื้อโปร่งจึงแห้งเร็วกว่าวัสดุเนื้อแน่น วัสดุที่มีน้ำตาลสูงจะมี

ความเหนียวกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า ส่วนวัสดุที่มีการลวก นวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจึงแห้งเร็วกว่า

2.7.2 ขนาดและภาพประกอบร่าง ขนาดและภาพประกอบร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น ภาพประกอบร่างเหมือนกันขนาดเล็กจะมีพื้นที่ต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งเร็วกว่าแต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่เคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกันการระเหยเกิดได้เฉพาะพื้นที่สัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้งๆ ที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

2.7.3 ตำแหน่งของวัสดุในเตา น้ำในวัสดุสัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำอยู่ระเหยได้ดีกว่า

2.7.4 ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อยมีผลในช่วงอัตราการทำให้แห้งคงที่

1 อุณหภูมิของอากาศร้อน ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ จึงมีผลต่ออัตราการทำให้แห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อช่วงการอบแห้งลดลงด้วย

2 ความเร็วของลมร้อน ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น การเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นได้เต็มที่ ที่ความเร็วลม 244 เมตรต่อวินาที นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนในเตา อากาศจึงสัมผัสอากาศได้ดีขึ้น ความชื้นในอากาศหรือความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) คือ อัตราส่วนระหว่าง ปริมาณความชื้นที่มีอยู่จริงในอากาศกับปริมาณความชื้นที่อากาศขณะนั้นจะมีได้ ณ อุณหภูมิเดียวกัน ความชื้นสัมพัทธ์ (%) คือ $(\text{ปริมาณน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ} \times 100) / (\text{ปริมาณน้ำที่อากาศนั้นจะมีได้ ณ อุณหภูมิเดียวกัน})$ ถ้าอากาศชื้นมากจะมีความชื้นสัมพัทธ์สูง ความชื้นสัมพัทธ์ 100% (8) หมายความว่า อากาศรับความชื้นได้เต็มที่แล้วไม่สามารถรับความชื้นได้อีก ความชื้นในวัสดุ เป็นตัวบอกปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุขึ้นหรือแห้ง ซึ่งแสดงได้ 2 แบบ คือ

พหุ มณู ที โด ชี เว

ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_w = \left(\frac{w-d}{w} \right) \quad (2.1)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (% wet basis)

w คือ มวลของวัสดุเปียก (kg)

d คือ มวลของวัสดุแห้ง(kg)

ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = \left(\frac{w-d}{d} \right) \quad (2.2)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% dry basis)

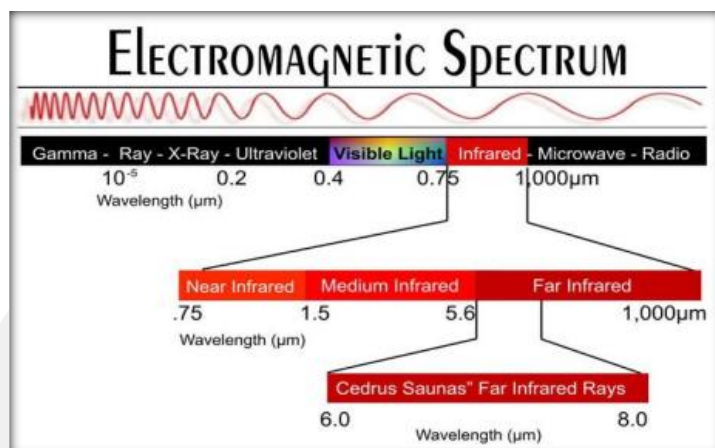
w คือ มวลของวัสดุเปียก (kg)

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (kg)

2.8 รังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรดถูกค้นพบในปี ค.ศ.1800 โดย Sir William Herschel โดยรังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความถี่อยู่ระหว่าง 1011-1014 เฮิร์ต และมีความยาวคลื่นระหว่าง 0.75 ไมโครเมตรถึง 1000 ไมโครเมตร สสารที่มีอุณหภูมิมากกว่า 0 องศาเคลวิน จะปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมาจากตัวมันเองเสมอ (ศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

พหุ มณู ที โด ชี เว



ภาพประกอบ 2.8 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ

ที่มา : www.cssckmutt.in.th

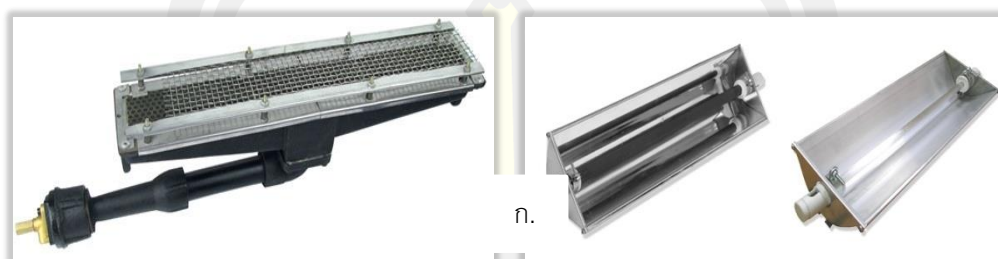
รังสีอินฟราเรดสามารถแบ่งช่วงความยาวคลื่นได้เป็น 3 ช่วงคือ

1. รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น (NIR) ช่วงคลื่นสั้นของรังสีอินฟราเรดจะมีความยาวคลื่นประมาณ 0.7 ไมโครเมตรจนถึง 1.5 ไมโครเมตร รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้นมักจะประยุกต์ใช้ในงานถ่ายภาพความร้อน
2. รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นกลาง (MIR) ช่วงคลื่นกลางของรังสีอินฟราเรดจะมีความยาวคลื่นประมาณ 1.5 ไมโครเมตรจนถึง 5.6 ไมโครเมตร อินฟราเรดระยะกลางมักประยุกต์ใช้กับระบบนำวิถีของจรวด Missile
3. รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นยาว (FIR) ช่วงคลื่นยาวของรังสีอินฟราเรดจะมีความยาวคลื่นประมาณ 5.6 ไมโครเมตรขึ้นไป รังสีประเภทนี้เป็นช่วงคลื่นยาวจึงมีพลังงานความร้อนไม่มากนักจึงนิยมใช้ในการบำบัดผู้ป่วย เช่น อาการปวดเมื่อยเรื้อรัง และผู้ป่วยด้วยโรคความดันโลหิต รวมถึงการควบคุมน้ำหนัก เป็นต้น

ประเภทของอุปกรณ์กำเนิดรังสีอินฟราเรด

การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดเป็นการให้ความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยวัตถุร้อน ซึ่งหากแบ่งตามแหล่งการใช้พลังงานของอุปกรณ์กำเนิดรังสี สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือชนิดใช้ไฟฟ้ากับชนิดใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือ LPG โดยอุปกรณ์กำเนิดรังสีแบบใช้ไฟฟ้า ทำงานด้วยการปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านตัวกระจายความร้อน เช่น ลวดนิโครม หรือทังสเตน ซึ่งจะกระจาย

ความร้อนให้แก่วัตถุกำเนิดรังสีที่มีหลายประเภทได้แก่ Tungsten filament lamp Metal sheath Radiant rod Quartz tubes และแบบ Quartz lamp เป็นต้น ส่วนอุปกรณ์กำเนิดรังสีแบบใช้ LPG จะประกอบด้วยแผ่นรูพรุน ซึ่งด้านบนจะเป็นโพรงสำหรับผสมอากาศกับก๊าซ เมื่อเกิดการเผาไหม้ พลังงานความร้อนจะแพร่ผ่านรูพรุนจะทำให้แผ่นรูพรุนที่ทำจากเซรามิกแล้วแผ่รังสีออกมา โดยมีประสิทธิภาพการแผ่รังสีประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบ 2.9 ก. หลอดอินฟราเรดแบบใช้ก๊าซซิโตนเลียมเหลว ข. หลอดอินฟราเรดแบบใช้ไฟฟ้า
ที่มา : www.slheater.com

ความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับอุณหภูมิของวัตถุ ณ ตำแหน่งสูงสุดเป็นไปตามกฎของเวินน์ (Wien,s displacement law) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.3

$$\lambda_{\max} = \frac{2897.6}{T} \quad (2.3)$$

ในอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร มีการพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดอยู่ระดับหนึ่ง ยังพบว่าสามารถใช้ได้ดีในอุตสาหกรรมทำอาหารแห้งที่มีความชื้นต่ำ เช่น ผงโกโก้ แป้ง เมล็ดธัญพืช มอลต์ ผลิตภัณฑ์พาสตาและผงชา เป็นต้น ส่วนวัสดุที่มีความหนา ยังคงพบว่ามีข้อจำกัดในการทำงานอยู่ ซึ่งต้องมีการพัฒนาร่วมกับเทคนิคการอบแห้งอื่นๆ เช่น ร่วมกับการใช้คลื่นไมโครเวฟ หรือลมร้อน รังสีอินฟราเรดนั้นเหมาะใช้ในการให้ความร้อนวัตถุโดยเฉพาะบริเวณผิว (Surface Drying) โดยวัตถุที่ได้รับการถ่ายโอนความร้อนจากรังสีอินฟราเรดได้นั้นควรมีลักษณะบาง มีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ ผิวไม่มีลักษณะมันวาว มีคุณสมบัติการดูดซับสูง (High Absorptivity)นอกจากนั้นอัตราการถ่ายโอนความร้อนของวัตถุยังขึ้นอยู่กับปัจจัยได้แก่ ระดับการแผ่รังสี ที่แสดงเป็นค่าอุณหภูมิของผิวหน้าวัตถุ

รับความร้อน สำหรับวัสดุการทางการเกษตรที่เป็นวัสดุชื้น (Moist Material) นอกจากคุณสมบัติการดูดซับแสงส่งผ่านพลังงานของวัตถุแล้ว ต้องศึกษาคุณสมบัติในแง่ของความยาวคลื่นของวัตถุร้อนและความหนาของวัตถุที่รับพลังงานซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำในวัตถุด้วย แต่โดยทั่วไปวัตถุชื้นส่วนมากจะมีค่าการดูดซับพลังงานต่ำหากค่าการส่งผ่านพลังงานมีค่าสูง โดยความสัมพันธ์ของการดูดซับคลื่นอินฟราเรดของน้ำในวัตถุมักจะพบว่ามีค่าการส่งผ่านพลังงานสูงที่ความยาวคลื่นสั้นถึงปานกลาง ซึ่งช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมมีค่าประมาณใกล้เคียง 3 และ 6 ไมโครเมตร ที่พบว่ามี การดูดซับพลังงานเกินกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

การถ่ายโอนความร้อนระหว่างรังสีอินฟราเรดกับวัสดุเกษตร

ในอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร พบว่ามีการพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดอยู่ระดับหนึ่ง อาทิเช่น ประเทศญี่ปุ่นมีการใช้ในการทำสาหร่าย ผงกระหรี แครอท และฟักทอง อีกทั้งยังพบว่าสามารถใช้ได้ดีในอุตสาหกรรมทำอาหารแห้งที่มีความชื้นต่ำ เช่น ผงโกโก้ แป้ง เมล็ดธัญพืช มอลต์ ผลิตภัณฑ์พาสตาและผงชา เป็นต้น ส่วนวัสดุที่มีความหนา ยังคงพบว่ามีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่ ซึ่งต้องมีการพัฒนาร่วมกับเทคนิคการอบแห้งอื่นๆ เช่น ร่วมกับการใช้คลื่นไมโครเวฟ หรือลมร้อน รังสีอินฟราเรดนั้นเหมาะใช้ในการให้ความร้อนวัตถุโดยเฉพาะบริเวณผิว (Surface Drying) ดังนั้น วัตถุที่ได้รับการถ่ายโอนความร้อนจากรังสีอินฟราเรดได้นั้นควรมีลักษณะบาง มีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ ผิวไม่มีลักษณะมันวาว มีคุณสมบัติการดูดซับสูง (High Absorptivity) นอกจากนั้นอัตราการถ่ายโอนความร้อนของวัตถุยังขึ้นอยู่กับปัจจัยได้แก่ ระดับการแผ่รังสีที่แสดงเป็นค่าอุณหภูมิของผิวหนัง วัตถุรับความร้อน ซึ่งสำหรับวัสดุการทางการเกษตรที่เป็นวัสดุชื้น (Moist Material) นอกจากคุณสมบัติการดูดซับแสงส่งผ่านพลังงานของวัตถุแล้ว ต้องศึกษาคุณสมบัติในแง่ของความยาวคลื่นของวัตถุร้อนและความหนาของวัตถุที่รับพลังงานซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำในวัตถุด้วยแต่โดยทั่วไปวัตถุชื้นส่วนมากจะมีค่าการดูดซับพลังงานต่ำหากค่าการส่งผ่านพลังงานมีค่าสูง โดยความสัมพันธ์ของการดูดซับคลื่นอินฟราเรดของน้ำในวัตถุมักจะพบว่ามีค่าการส่งผ่านพลังงานสูงที่ความยาวคลื่นสั้นถึงปานกลาง ซึ่งช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมมีค่าประมาณใกล้เคียง 3 และ 6 ไมโครเมตร ที่พบว่ามี การดูดซับพลังงานเกินกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

2.9 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของข้าวฮางอก

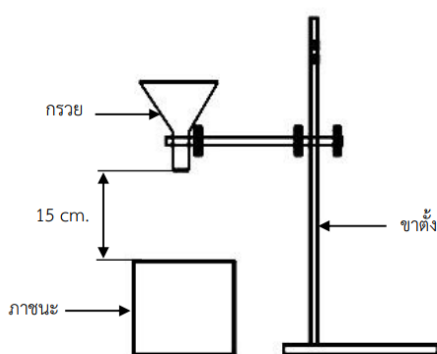
ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (density) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณของมวลสารต่อหน่วยปริมาตร ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของวัสดุ

ความหนาแน่นรวม

ความหนาแน่นรวม (bulk density) เป็นสมบัติทางกายภาพของวัสดุ หมายถึง ความหนาแน่นของวัสดุปริมาณมวล เช่น แป้ง (flour) สตาร์ช (starch) เมล็ดธัญพืช (cereal grain) กาแฟผง นมผง อาหารสัตว์ ขนมอบเคี้ยว และลูกกวาด เป็นต้น ซึ่งเป็นความหนาแน่นที่รวมที่ว่างระหว่างชั้นวัสดุด้วย

การหาค่าความหนาแน่นรวม ทำได้โดยการบรรจุวัสดุลงในภาชนะที่ทราบปริมาตรเพื่อลดความผิดพลาด ควรใช้ภาชนะขนาดใหญ่พอสมควร เช่น ขนาด 1 ลิตร แล้วนำไปชั่งปาดหรือเกลี่ยผิวหน้าให้เรียบ ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการหาความหนาแน่นรวม ได้แก่ ความชื้นของวัสดุ ความสูงของระดับที่เทวัสดุลงในภาชนะ การอัดแน่นซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ การนำไปใช้งาน ควรบอกวิธีการและสภาวะที่วัดค่ากำกับด้วย



ภาพประกอบ 2.10 อุปกรณ์ในการหาความหนาแน่นรวม

ความเสียดทาน

ความเสียดทาน (friction) เมื่อวัตถุหนึ่งถูกกดเข้ากับวัตถุอีกอันหนึ่งด้วยแรงที่มีค่าเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ วัตถุแรกจะไม่เคลื่อนที่ในทิศทางขวางกับแนวแรงกด จนกระทั่งแรงเสียดทานระหว่างวัตถุทั้งสองถูกเอาชนะแรงเสียดทานที่กระทำระหว่างผิวทั้งสองเมื่ออยู่นิ่ง เรียกว่า แรงเสียดทานสถิต (static friction) คือแรงที่จำเป็นที่จะเริ่มการเคลื่อนที่เมื่อการเคลื่อนที่เริ่มขึ้น แรงเสียดทาน

ปกติจะลดลงจนกว่าแรงที่น้อยกว่าถูกใช้ทำให้การเคลื่อนที่ต่อเนื่องไป แรงเสียดทานที่มีอยู่ระหว่างผิวที่เคลื่อนที่สัมพันธ์กัน เรียกว่า แรงเสียดทานจลน์ (kinetic friction)

ในการหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเกษตรสามารถหาได้โดยวิธีการวางวัสดุเป็นชั้นบางบนพื้นผิวต่าง ๆ เช่น แผ่นไม้อัด แผ่นอะลูมิเนียม และแผ่นยาง เป็นต้น โดยวางไว้ที่ปลายด้านหนึ่งของพื้นผิวต่างๆ จากนั้นกระดกแผ่นโลหะขึ้นเป็นมุมเอียงกับแนวระดับ หรือทำให้ผิวที่กำหนดเคลื่อนที่ไปจนกระทั่งเมล็ดเริ่มไหลลงด้านล่างด้วยแรงดึงดูดของโลก

การศึกษามุมกอง (Angle of repose)

มุมกองของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกนึ่ง สร้างกล่องไม้อัดขนาด 0.3ม. x0.3ม.x0.3 ม. เจาะช่องเปิดด้านล่างเป็นรูวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ซม. ติดตั้งแผ่นไม้สำหรับปิด - เปิด รูวงกลมเอาไว้ นำข้าวเปลือกที่ได้จากการสุ่ม ใส่จนเต็มกล่อง จากนั้นเปิดช่องปล่อยให้ข้าวเปลือกไหลอย่างรวดเร็ว (Reddy and Chakraverty,2004) วัดความสูงกองข้าว (H) และเส้นผ่านศูนย์กลางของฐานกองข้าว (D) หลังจากกองเมล็ดอยู่ในสภาพสมดุล มาคำนวณหามุมกองข้าวดังสมการ

$$\tan^{-1} \phi = \frac{H}{\left(\frac{D}{2}\right)} \quad (2.4)$$

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทรัพย์สินทางปัญญา

2.10.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด

Laohavanich และ Wongpichet (2007) ได้พัฒนาการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วย Gas-fired Infrared Dryer (GID) ที่ใช้แก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงกำเนิดความร้อน โดยพบว่าสามารถลดความชื้นข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงให้เหลือประมาณ 13-16 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียกได้ในระยะเวลาที่สั้น

ทิวานันท์ แก้วสอนดี (2558) ทำการพัฒนาระบบอบแห้งข้าวเปลือกด้วยรังสีอินฟราเรดและความร้อนจากแก๊สปล่อยทิ้ง ระบบอบแห้งเป็นแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดซึ่งใช้แก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง จากนั้นจึงนำเอาแก๊สร้อนปล่อยทิ้งจากขั้นตอนแรกมาอบข้าวเปลือกในขั้นตอนต่อไป การทดสอบใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 20.21 25.89 และ 31.60 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.58 2.83 และ 3.14

ไมโครเมตร ผลการศึกษาพบว่า ที่ความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด 2.58 ไมโครเมตรสามารถลดความชื้นข้าวเปลือกจนเหลือความชื้นสุดท้าย 15.39 19.23 และ 24.15 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียกตามลำดับ(9)

ไพบุรย์ โรจน์วิบูลย์ชัย และสมชาติ โสภณธนฤทธิ์ (2535) ศึกษาหาเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมและพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังหมุน จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนข้าวโพด อัตราการหมุนหรือมุมเอียงของตัวถังทรงกระบอก หรือความเร็วลม เวลาที่ผลิตภัณฑ์ค้างอยู่ในถัง (Residence time) จะมีค่าลดลง สมการอธิบายเวลาผลิตภัณฑ์ค้างอยู่ในถังที่พัฒนาได้สามารถนำสมการการอบแห้งแบบขั้นบางมาอธิบายการอบแห้ง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถังหมุนได้ โดยใช้ร่วมกับสมการสมดุลมวลและพลังงาน ความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องอบแห้ง พบว่าความชื้นกับมวลที่ค้างอยู่ (Hold-up) เมื่อมีมวลที่ค้างอยู่มากการสิ้นเปลืองพลังงานจะน้อย และยิ่งขึ้นกับความชื้นของข้าวโพดด้วย โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นลดลง จากการศึกษาด้านการถ่ายเทความร้อน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เทียบต่อปริมาตรของตัวถังทรงกระบอกขึ้นกับ ความเร็วลม มวลที่ค้างอยู่ และอัตราการหมุนของถังทรงกระบอก

2.10.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุน

กิตติพงษ์ กุลมาตย์ (2537) ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้น สูงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนชนิดอากาศสัมผัสกับข้าวเปลือกโดยตรง และไหลตามกันเพื่อหาแนวทางในการอบแห้งที่เหมาะสม โดยพิจารณาอิทธิพลของตัวแปร ต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพข้าวเปลือก ความสิ้นเปลืองพลังงาน และอัตราการผลิต เป็นสำคัญ จากผลการทดลองพบว่าอัตราความสิ้นเปลืองพลังงาน ในรูปพลังงานปฐมภูมิมีค่าประมาณ 8.25 MJ/kg-water คิดเป็นพลังงานความร้อน 76% และเป็นพลังงานไฟฟ้า 24% ความสิ้นเปลืองพลังงานจะต่ำเมื่อ hold-up มีค่ามากจากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาจุดเหมาะสมในการอบแห้ง โดยใช้อุณหภูมิ อากาศเข้า 115 องศา อบแห้งข้าวเปลือกความชื้น 30% มาตรฐานแห้ง จนเหลือ ความชื้น 22-23% มาตรฐานแห้ง พบว่าที่อัตราการไหลอากาศจำเพาะต่ำจะทำให้ อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำและให้อัตราการผลิตสูง ส่วนอัตราการหมุนเวียน อากาศกลับที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 75%

ศุภวัฒน์ เนียมชมพู่ (2553) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวเปลือก ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบถังหมุนประหยัดพลังงาน ผลการทดสอบเครื่องพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็ว ของถังหมุนอยู่ที่ 1 2 และ 3 รอบ ต่อนาที เวลาที่ข้าวอยู่ภายในถังเป็นเวลา 15.66 10.66 และ 5.66 นาที จากการทดลองโดยนำข้าว

จำนวน 1,000 กรัมทดลอง ข้าวมีความชื้นเฉลี่ย 29.71เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกเพื่อทำการทดสอบพบว่าอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นข้าวลดลงไป 12.60 10.43 และ 4.64 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ตามลำดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นข้าวลดลงไป 17.04 13.27 และ 8.90 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกตามลำดับ และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ชื้นข้าวลดลงไป 15.27 15.43 และ 12.80 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกตามลำดับ และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความชื้นข้าว ลดลง ไป 19.93 16.87 และ 12.83 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกตามลำดับ ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งคือ 50 – 70 องศาเซลเซียส เวลาที่เหมาะสมในการอบแห้ง คือ 5.66 – 10.66 นาที ตามลำดับ

ทรงพล วิจารย์จักร (2560) ได้ทำการลดความชื้นข้าวเปลือกเพาะงอกที่ผ่านการนึ่งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมลมร้อนปล่อยทิ้ง สำหรับเครื่องอบแห้งที่ใช้ทดสอบมีการทำงาน 2 ชั้นตอน ได้แก่ การใช้เบิร์นเนอร์อินฟราเรดแผ่รังสีความร้อนให้ข้าวเปลือกในช่วงแรก จากนั้นดึงเอาลมร้อนปล่อยทิ้งจากเบิร์นเนอร์เพื่อเป่าเป็นลมร้อนอบแห้งข้าวเปลือกในช่วงต่อมา โดยข้าวเปลือกจะเคลื่อนที่ด้วยเกลียวลำเลียงและใบโปรยภายในถังอบหมุนไหลออกอีกด้านหนึ่งของถังหมุน .การทดสอบจะใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นวัสดุสอบป้อนด้วยอัตรา 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เงื่อนไขนี้พบว่าสามารถลดความชื้นข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 32 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ให้เหลือประมาณ 23 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ก่อนนำไปตากแห้งในร่มให้เหลือความชื้นประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เพื่อรอการกะเทาะ โดยพบว่าสามารถลดระยะเวลาในการลดความชื้นให้เหลือเพียง 1 วัน นอกจากนั้นยังสามารถลดเปอร์เซ็นต์การแตกหักของฮางงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ได้ถึง 90.15 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณสารกาบาเพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิง

2.10.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการทำข้าวฮาง

วรนุช ศรีเจษฎารักษ์ (2552) ศึกษาการผลิตข้าวฮางด้วยวิธีการนำข้าวเปลือกมาออกทั้งเปลือก ก่อนนำมาทำเป็นข้าวฮาง การผลิตข้าวฮางด้วยวิธีการดังกล่าวทำให้ได้สาร GABA มากขึ้นกว่าเดิม นอกจากนี้ ข้าวฮางยังมีสีสวย โดยการนำข้าวมาแช่น้ำที่อุณหภูมิประมาณ 35-40 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 10- 12 ชั่วโมง จากนั้นนำขึ้นมาวางไว้ในภาตเพื่อทำการเพาะงอกโดยให้ออกซิเจนและอยู่ในห้อง ที่มีความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสม ใช้เวลาประมาณ 20-30 ชั่วโมง ข้าวที่เตรียมไว้จะเริ่มมีรากออกมาจากข้าวเปลือก หลังจากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ ประมาณ 50 องศาเซลเซียส ประมาณ 15 ชั่วโมง เสร็จขั้นตอนนี้จึงนำข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งมาสีกะเทาะ จากการศึกษาพบว่า พันธุ์ข้าวที่สามารถให้สาร GABA สูงที่สุด คือ ข้าวมะลิแดง โดยมีสาร GABA เพิ่มขึ้น เป็น 12

มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งมากกว่าข้าวทุกสายพันธุ์ที่เคยนำมาทำข้าวฮาง ไม่ว่าจะเป็ข้าวขาวดอกหอมมะลิ 105 ข้าวชัยนาท ข้าวคลองหลวง กข.6 และข้าวเหนียวดำ

ศิริรัตน์ พิลารุ (2559) ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมและกระบวนการแช่และการงอกของข้าวเปลือกสำหรับการผลิตข้าวฮาง ที่มีผลต่อปริมาณสารกาบา (Gaba) โดยใช้ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เป็นตัวอย่างในการทดสอบ การทดสอบประกอบด้วย 5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการแช่และการงอก ได้แก่ แช่ข้าวเปลือกโดยให้น้ำไหลเวียนผ่านด้วยอัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมข้าวเปลือก สัดส่วนน้ำต่อข้าวเปลือก 10 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาที่น้ำไหลผ่านข้าวเปลือก 32 ชั่วโมง อุณหภูมิน้ำประมาณ 30 องศาเซลเซียส และไม่ต้องเพาะงอก จากการศึกษาพบว่า สามารถเพิ่มปริมาณสารกาบา (Gaba) ได้ถึง 34 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งมากกว่าข้าวกล้องปกติ (2.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) นอกจากนี้สามารถตัดขั้นตอนการเพาะงอกออกและลดระยะเวลาของกระบวนการผลิตได้ถึง 16 – 64 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับวิธีเดิม

2.10.4 งานที่เกี่ยวกับเครื่องอบแห้งแบบพาลมร้อน

นายชนัฐ วิพัทนะพร และคณะ (2556) เครื่องอบแห้งแบบ LSU จะมีข้อจำกัดเมื่อต้องการอบแห้งวัสดุที่มีความชื้นสูงอัตราการลดความชื้นในช่วงต้นค่อนข้างต่ำจึงทำให้มีการใช้พลังงานค่อนข้างสูงจึง ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้นเนื่องจากต้องใช้เวลาในการอบแห้งนาน การลดความชื้นด้วยกันผ่านอินฟราเรดมีคุณสมบัติเป็นรังสีความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนให้กับวัตถุได้โดยตรง และสามารถทะลุผ่านเข้าไปยังเนื้อวัตถุได้ระดับหนึ่งโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางส่งผ่านความร้อนจึงทำให้สามารถลด ความชื้นได้เร็วขึ้น จึงนำมาประยุกต์เป็น ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพ เครื่องอบแห้งแบบ โดยการทดสอบ แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือระบบโดยใช้ LSU อย่างเดียว และ แบบที่ 2 เป็นการอบโดยการติดตั้งชุดอินฟราเรดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเครื่องอบแห้งแบบ LSU จากนั้นทำการเก็บข้อมูลวัดปริมาณความชื้นอุณหภูมิค่าของสี และหาจุดคุ้มทุน โดยพบว่า คือสามารถลดความชื้นจาก 30% w.b. ให้เหลือ 18 % w.b. เหมือนกัน แต่ การที่ติดตั้งชุดอุปกรณ์เสริมกับ LSU ทำให้มีต้นทุนการอบแห้งหมดลง 934.54 บาทต่อรอบ โดยมีจุดคุ้มทุน โดยใช้เวลา 42 วัน(10)

เนตรนภิส เขียวขำและคณะ (2556) ได้ศึกษาเครื่องอบแห้งแบบแบบรางสั้นด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบ LSU โดยมีกำลังผลิตประมาณ 25 – 30 ตันข้าวเปลือกต่อวันสมารถลดความชื้นข้าวเปลือกที่มีความชื้นมากกว่าร้อยละ 20 ฐานเปียกโดยการอบแห้งแบบให้ทำงานเป็นงวดๆ ละ 3.5 – 4 ตัน ใช้เวลาอบแห้ง 150 - 210 นาทีขึ้นอยู่กับ

ความชื้นข้าวเปลือก เมื่อความชื้นข้าวเปลือกลดลงเหลือประมาณร้อยละ 16 – 18 ฐานเปียก จะลำเรียงออกจากกระบอบแห้งไปลดความชื้นในถังเก็บรักษาขนาด 10 ตัน และเป่าด้วยลมธรรมชาติจนเหลือความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 14 ฐานเปียกเพื่อเก็บรักษา

2.10.5 งานที่เกี่ยวกับทรัพย์สินทางปัญญา

จักรมาส เลหาวิช และสุพรรณม ยั่งยืน (2557) ได้สร้างเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้านรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนปล่อยทิ้ง ประกอบด้วย สามส่วนหลัก คือ ส่วนที่หนึ่ง ถังทรงกระบอกหมุนซึ่งถือเป็นส่วนของห้องอบแห้ง ส่วนที่สอง คือ ชุดให้ความร้อนอินฟราเรดและส่วนที่สาม คือ ชุดเป่าร้อนปล่อยทิ้ง ซึ่งลักษณะสำคัญทางเทคนิคของการประดิษฐ์นี้ คือ ห้องอบแห้ง ที่มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกหมุนซึ่งถือเป็นส่วนของห้องอบแห้ง ภายในติดตั้งอุปกรณ์ช่วยในการลำเลียง สองช่อง คือ ช่องที่หนึ่งเกลียวลำเลียงซึ่งติดตั้งขดวงรอบถัง และช่องที่สองใบโปรยวัสดุที่ติดตั้งตามแนวรัศมีของตัวถัง ซึ่งห้องอบแห้งระบบถังทรงกระบอก หมุนด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนปล่อยทิ้งนี้เป็นการทำงานสองระบบด้วยกัน คือ ช่องที่หนึ่งการ ใช้เกลียวลำเลียงในการลำเลียงวัสดุ จะทำให้วัสดุเกิดการพลิกตัวและคลุกเคล้ากัน เมื่อวัสดุ เคลื่อนที่ถึงความสูงระดับหนึ่งแล้วจะตกมาด้วยแรงโน้มถ่วง ช่องที่สอง วัสดุที่ถูกลำเลียงเข้ามาจะ ถูกให้มีพฤติกรรมเคลื่อนที่ต่างไปจากเดิม โดยใบโปรยวัสดุที่ติดตั้งรอบถังนั้น โดยระบบรองรับ วัสดุและพาให้เคลื่อนที่ขึ้นด้านบนของตัวถังได้ ซึ่งจะปล่อยหรือโปรยวัสดุที่ตำแหน่งที่มีความลาดเอียง ของใบโปรยวัสดุไม่เพียงพอที่จะพาให้วัสดุอยู่กับที่จึงเป็นผลให้วัสดุที่อยู่ภายในใบโปรยวัสดุ นั้นค่อยๆ ร่วงหล่นอย่างช้าๆ ออกจากใบโปรยวัสดุ จนกระทั่งหมดเมื่อมุมของใบโปรยวัสดุเป็นแนวดิ่ง ชุดให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดติดตั้งระบบการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดจากชุดหัวเผาอินฟราเรดที่ช่องที่หนึ่งของถังทรงกระบอกหมุนโดยรังสีอินฟราเรดเป็นการให้ความร้อนแก่วัสดุด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงทำให้วัสดุนั้นสามารถลดความชื้นได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึงเมื่อวัสดุนั้นถูกลำเลียงและพฤติกรรมเคลื่อนที่ร่วงหล่นจากใบโปรยวัสดุ ชุดเป่าลมร้อนปล่อยทิ้ง การเผาไหม้ด้วยหัวเผาอินฟราเรดนั้นจะมีความร้อนเกิดขึ้นซึ่ง ความร้อนนี้จะเคลื่อนที่ขึ้นตามพฤติกรรม อากาศร้อนจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ที่สูง ในที่นี้การติดตั้งพัดลม เพื่อเป่าลมร้อนปล่อยทิ้งที่เกิดขึ้นจากหัวเผาดังกล่าว จะทำให้อากาศร้อนเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในห้องอบลมร้อนจะสัมผัสกับวัสดุและตัวถัง ซึ่งทำให้เกิดการอบแห้งด้วยลมร้อนขึ้นกับวัสดุ โดยพฤติกรรมเคลื่อนที่ของวัสดุในลักษณะที่ถูกโปรยจากใบโปรยวัสดุจะทำให้รับลมร้อนปล่อยทิ้งได้ทั่วถึง และขณะเดียวกันลมจะพาให้ไอน้ำที่เกิดจากการระบอบการอบแห้งนั้นเคลื่อนที่ออกจากห้องอบแห้งด้วย(11)

2.11 ข้อมูลการเปรียบเทียบขั้นตอนการผลิตข้าวฮางแต่ละขบวนการ

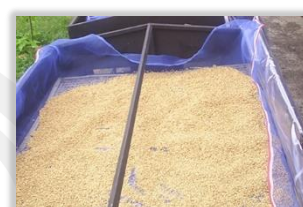
1) การผลิตวิธีการทั่วไปของกลุ่มวิสาหกิจ (ใช้เวลา 5-7 วัน)



1. ข้าวเปลือกแช่น้ำ
ใช้เวลา 1 – 2 วัน



2. นึ่งข้าวเปลือก
ใช้เวลา 1-2 ชั่วโมง



3. นำข้าวมาตาก
ใช้เวลา 3 – 4 วัน

2) วิธีการผลิตโดยใช้เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียวร่วมกับเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถ้งหมุน (เวลา 2-3 วัน)



1. แช่และเพาะงอก
เป็นเวลา 1 วัน



2. นึ่ง 30 – 1 ชั่วโมง



3. อบแห้งด้วยเครื่อง
อบแห้งอิน ฟราเรดแบบ
ถ้งหมุน 1- 2 ชั่วโมง



4. นำข้าวมาตาก 1-2 วัน

3) วิธีการผลิตโดยใช้เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียวร่วมกับเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถ้งหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบLSU (งานวิจัยนี้)



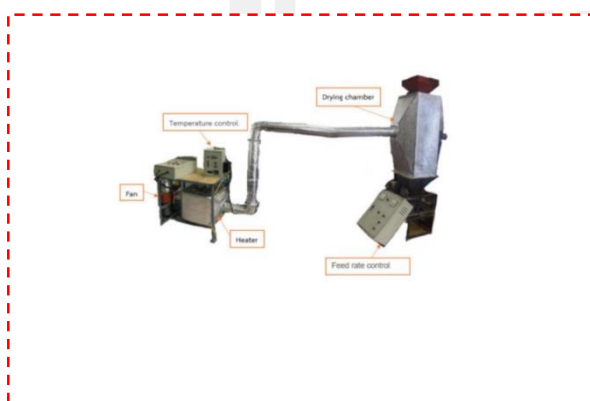
1. แช่และพาสเจอร์
เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



2. นึ่ง 30 - 1 ชั่วโมง



3. อบแห้งด้วยเครื่อง
อบแห้งอิน ฟราเรดแบบ
ถึงหมุน 1- 2 ชั่วโมง

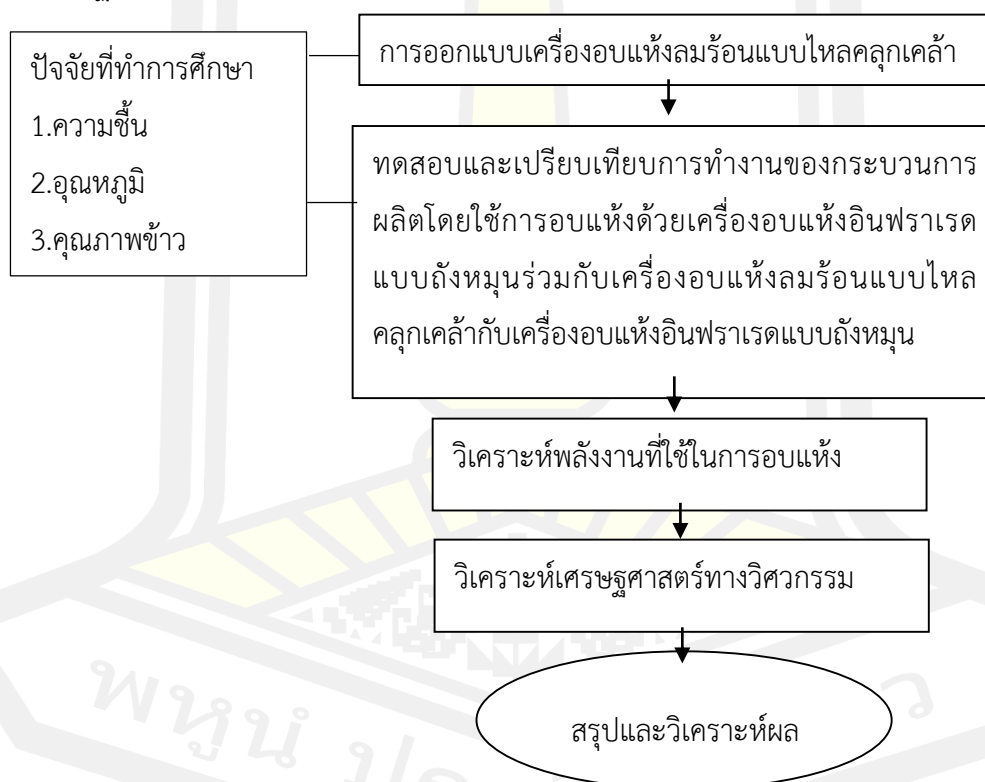


4. อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบLSU

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนากระบวนการผลิตและการลดความชื้นโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถึงทรงกระบอกหมุนใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบ ลมร้อน สำหรับอบข้าวเปลือกเพาะงอก จำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์ขั้นตอนการทำงานที่ชัดเจนเพื่อที่จะสามารถดำเนินการให้เสร็จตามวัตถุประสงค์ได้ซึ่งในขั้นตอนการดำเนินการพัฒนากระบวนการผลิตและการลดความชื้นโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถึงทรงกระบอกหมุนใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน สำหรับข้าวฮางโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนนั้น จะเป็นการสร้างชุดทดสอบโดยใช้หลักการทำงานจากเครื่องจริงซึ่งได้แก่เครื่องแช่เพาะงอกข้าว หม้อนึ่งความดัน และ เครื่องอบแห้ง มาสร้างและทดสอบการทำงานในระดับปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดในการดำเนินการศึกษาดังนี้

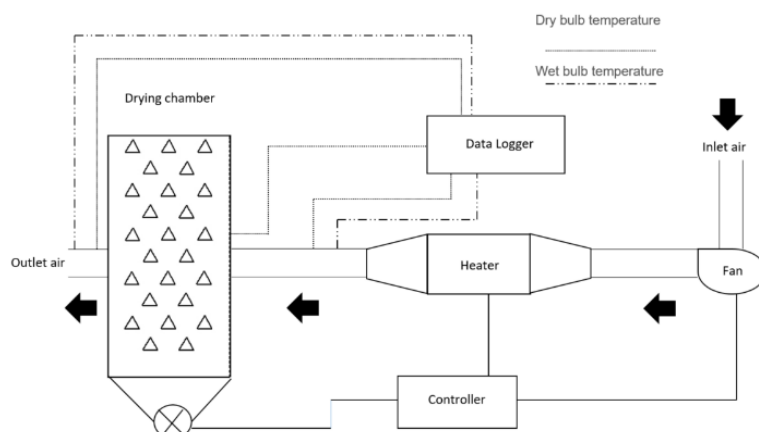


ภาพประกอบ 3.1 ขั้นตอนดำเนินการศึกษา

3.1 การออกแบบเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

3.1.1 แนวคิดในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า

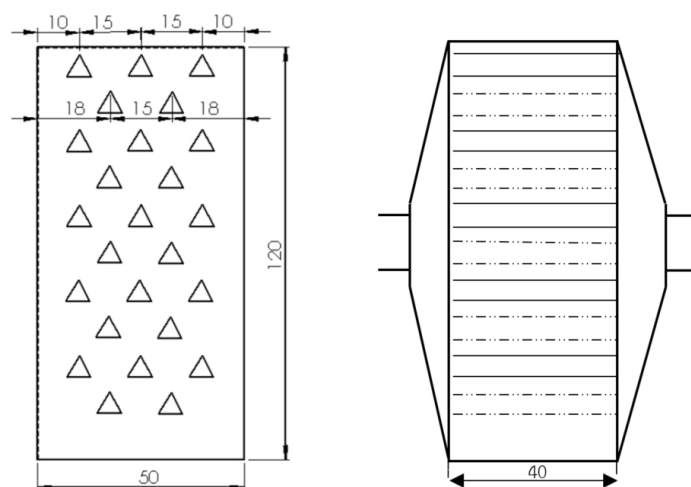
การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า การออกแบบระบบอบแห้งข้าวเปลือกของเครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า มี 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การออกแบบถังอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้าและการออกแบบระบบอบแห้งด้วยฮีทเตอร์ไฟฟ้า 5 กิโลวัตต์ พัดลมใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า



ภาพประกอบ

3.2 แผนผังการออกแบบเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

เงื่อนไขในการทำงานข้าวเปลือกไหล 240 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ใช้เวลาในการไหลจากด้านบนถึงอบแห้งถึงด้านล่างอัตราการไหลของข้าวเปลือก 30 นาทีความเร็วลมในท่อลมไม่เกิน 5 เมตรต่อวินาที ความหนาแน่นของกองข้าวเปลือก 534 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์ ท่อลมของถังอบแห้ง มีลักษณะพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า โดยมีท่อลมร้อนเข้าจำนวน 15 ท่อ และท่อลมออก 10 ท่อ ติดตั้งในแนวฟันปลา และระยะห่างระหว่างท่อลมเข้าและออก 10 เซนติเมตรเครื่องอบแห้งมีขนาด กว้าง×ยาว×สูง 120×50×40 เซนติเมตร โดยมีท่ออากาศร้อนเข้า 3 ท่อ และท่ออากาศออก 2 ท่อ โดยท่อมีรูปทรง 3 เหลี่ยมด้านเท่าและมีขนาดด้านละ 6 เซนติเมตรโดยมีระยะห่างระหว่างชั้นๆละ 20 เซนติเมตร รวม 5 ชั้น (ภาพประกอบ 3.2) เมื่อพิจารณาจากข้อกำหนดในข้างต้นจะได้ว่าปริมาตรถังอบได้ 0.184 ลูกบาศก์เมตร การออกแบบเครื่องอบแห้งให้มีปริมาณลมร้อนที่เหมาะสมในการลดความชื้นข้าวเปลือก ปริมาณลม 30 - 40 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที-ลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก เป็นอัตราที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในถังอบแห้งข้าวเปลือก ซึ่งมีปริมาตรรวมที่ใช้ในการบรรจุข้าวเปลือก 0.184 ลูกบาศก์เมตร สามารถบรรจุข้าวเปลือกได้ 120 กิโลกรัม



ภาพประกอบ 3.3 ลักษณะห้องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า

3.1.2 ทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน เพื่อหาความสามารถในการอบแห้ง การผลิต และคุณภาพของข้าวฮางที่ถูกลดความชื้น



ภาพประกอบ 3.4 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า(LSU)

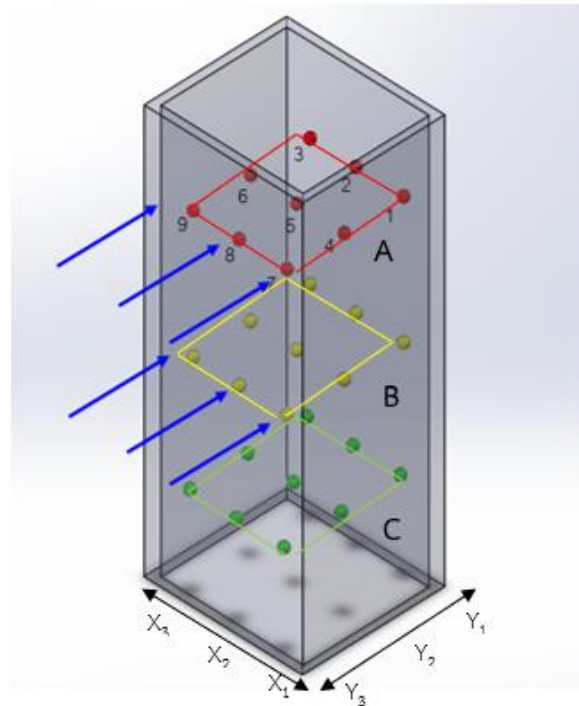
การทดสอบอบแห้งข้าวข้าวเปลือกพิษณุโลก 2 มีปัจจัยในการทดสอบคือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นข้าว 3 ระดับ 16.52 22.64 และ 26.33 (% d.b.) ทำการวัดอุณหภูมิของเมล็ดข้าว ความหนาแน่น โดยทำการอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมงโดยจะทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 30 นาทีเพื่อนำมาหาค่าความชื้นในการออกแบบถังอบแห้งการกระจายความร้อนได้อย่างทั่วถึงเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึง ดังนั้นจำเป็นต้องทำเนิการศึกษาถึงการกระจายระดับอุณหภูมิในการอบแห้งโดยบรรจุข้าวเปลือกใส่ถังอบแห้งดำเนินการทดสอบวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิลมร้อนภายในถังอบแห้ง วิธีการดำเนินการศึกษาทำการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้าโดยใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ พิษณุโลก 2 เป็นตัวอย่างในการศึกษาการกระจายความร้อนที่ตำแหน่งต่างๆภายในถังอบแห้งโดยทดสอบอบแห้งโดยติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในถังดังแสดงใน รูปภาพ4 อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบเลือกใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสที่เป็นระดับที่ใช้ในการอบแห้ง ผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากเครื่องลดความชื้นประเภทนี้ถูกจำกัดให้อากาศร้อนมีอุณหภูมิระหว่าง 40 – 60 องศาเซลเซียส แต่ค่าความขาวของข้าวจะลดลงตามอุณหภูมิที่ใช้ซึ่งเป็นปัญหาในการซื้อขายถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส (12) ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที เครื่องอบมีอัตราการไหลของข้าวเปลือกที่ 240 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ 27 จุดโดยแบ่งเป็น 3 ชั้น ที่ส่วนด้านบน(ชั้น A) ส่วนกลาง(ชั้น B) และส่วนด้านล่างของเครื่องอบแห้ง(ชั้น C) ดังภาพประกอบ 3.3 ทำการเก็บอุณหภูมิทุก 5 นาทีเป็นเวลา 125 นาที

จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ด้วยวิธีการ Turkey เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \geq 0.05$) นำชุดข้อมูลการทดลองวิเคราะห์หือทธิพลร่วม ของหลายปัจจัยต่ออุณหภูมิที่เมล็ดข้าวเปลือก วิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อความสอดคล้องของแบบจำลอง (Fitted Model) โดยค่าความสอดคล้องของแบบจำลองตัดสินจาก R^2 และทดสอบนัยสำคัญของเทอมของแบบจำลองที่อยู่บนพื้นฐานของค่า p-value และ f-value พร้อมทั้งสร้างแบบจำลองทำนายผลการทดลองในรูปแบบสมการ พหุนามกำลังสอง (Quadratic Polynomial Equation) แสดงความสัมพันธ์ร่วมของแต่ละปัจจัยด้วยการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ ดังสมการที่ (3.1) และสมการที่เหมาะสม ด้วยโปรแกรมทางสถิติ(13)

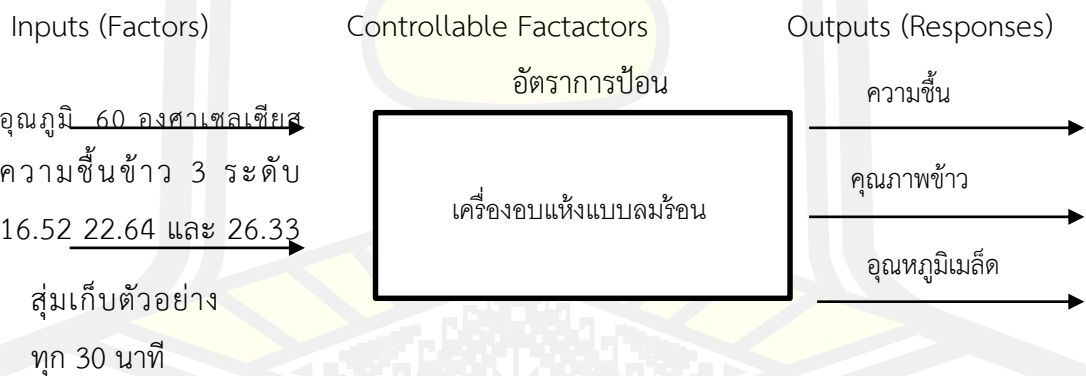
$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (3.1)$$

เมื่อ y หมายถึงตัวแปรตามที่ทำนายได้

X หมายถึงตัวแปรต้น



ภาพประกอบ 3.5 แผนผังการติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิภายในถังอบแห้งแบบลมร้อน LSU



ภาพประกอบ 3.6 วิธีการทดสอบโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

3.1.3 คุณภาพการสีข้าวเปลือกหลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน

- 1) การหาเปอร์เซ็นต์การแตกหักหลังจากกะเทาะ

นำเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งจำนวน 250 กรัม ไปทำการกะเทาะด้วยเครื่องกะเทาะข้าวขนาดเล็ก (ภาพประกอบ 3.7) เมื่อได้เมล็ดข้าวที่ทำการกะเทาะแล้วนำมาคัดแยกเมล็ดแตกหักด้วยเครื่องคัดแยกเมล็ด (ภาพประกอบ 3.8) จากนั้นคำนวณหาปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและปริมาณข้าวหักดังสมการ (3.2) และ (3.3) (14)

$$\text{ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ด} \times 100}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \quad (3.2)$$

$$\text{ปริมาณข้าวหัก} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวหัก} \times 100}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \quad (3.3)$$



ภาพประกอบ 3.7 เครื่องกะเทาะข้าวขนาดเล็ก



ภาพประกอบ 3.8 เครื่องคัดแยกเมล็ด






3.2 ทดสอบและเปรียบเทียบการทำงานของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้ากับเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน เพื่อหาความสามารถในการอบแห้ง การผลิต และคุณภาพของข้าวสางที่ถูกลดความชื้น เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับ การลดความชื้นด้วยวิธีการเดิมที่ใช้อยู่ โดยมีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

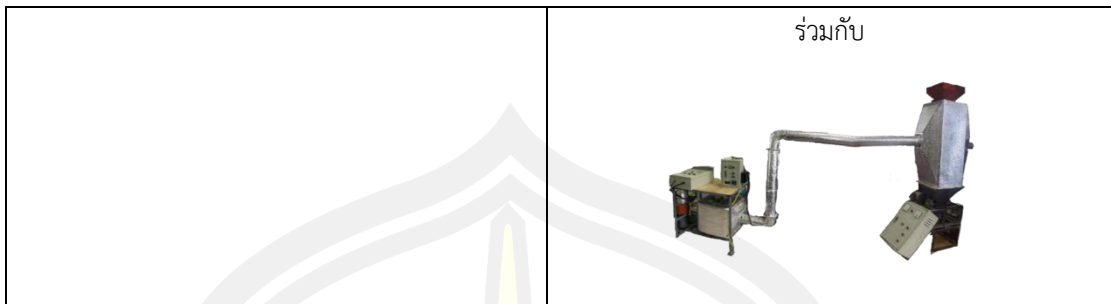
การเปรียบเทียบของขบวนการผลิตข้างสางที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนกับกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า โดยมีการเปรียบเทียบการลดความชื้น คุณภาพข้าว และ ระยะเวลาการผลิต ดังตาราง 3.1

พหุบัณฑิต ชีวะ

ตาราง 3.1 ตารางเปรียบเทียบแต่ละกระบวนการผลิต

วิธีการผลิตแบบเดิม	วิธีการผลิตแบบใหม่
<p>การแช่</p> 	<p>การแช่</p> 
<p>การนึ่ง</p> 	<p>การนึ่ง</p> 
<p>การลดความชื้น</p> 	<p>การลดความชื้น</p> 

พหุ ประเด็น โด ชีวะ



การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดสอบโดยขั้นตอนการผลิต

ในการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบถ้งหมุนนั้นก่อนทดสอบต้องมีการเตรียมข้าวก่อนนำเข้าอบ ในการทดสอบนี้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้
1 ขั้นตอนการผลิต นำข้าวเปลือกไปแช่น้ำใช้เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียว (ภาพประกอบที่ 3.9)



ภาพประกอบ 3.9 เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียว

ทำการเก็บตัวอย่างก่อนออกเครื่องผลิตข้าวกล้องเพาะเริ่มงอก โดยมีการเก็บ อุณหภูมิเมล็ด ความชื้น และความหนาแน่น จากนั้นระยะเวลาในการนึ่ง 30 เมล็ด ความชื้น



ทำการนึ่งข้าวเปลือกนาที่ โดยมีการเก็บอุณหภูมิ

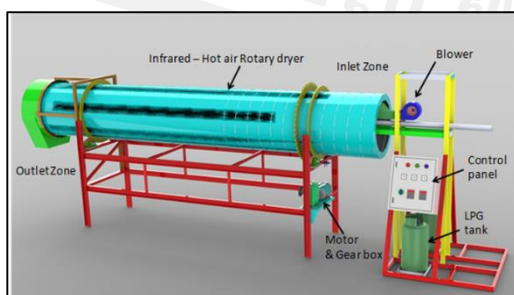
ภาพประกอบ 3.10 วิธีการนึ่งโดยใช้เตาชีวมวล

2. จากนั้นนำข้าวเปลือกที่นึ่งสุกแล้วมาผึ่งในร่มประมาณ 30 นาที เพื่อให้ไอน้ำระเหยออก จากนั้นจึงนำไปอบแห้ง (ภาพประกอบ 3.11)



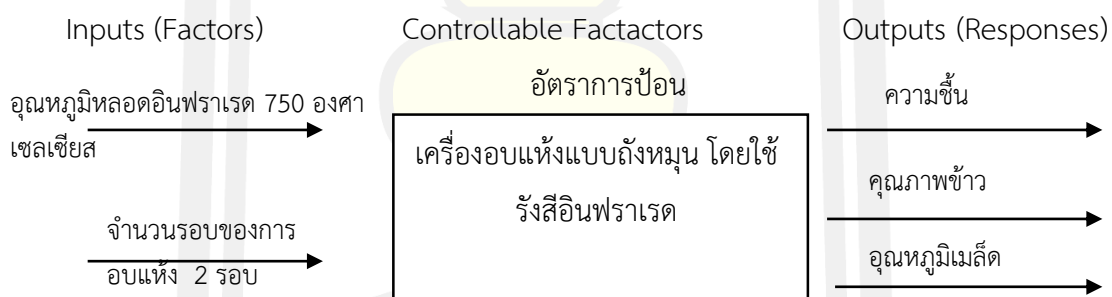
ภาพประกอบ 3.11 การผึ่งข้าวในที่ร่ม

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนปล่อยทิ้ง อาจจำแนกหลักการทำงานระหว่างการผลิตความชื้นได้เป็นสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด ซึ่งแผ่มาจากหัวอินฟราเรดแบบเซรามิคที่ใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิง และขั้นตอนที่สองเป็นการลดความชื้นด้วยลมร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของหัวอินฟราเรดดังกล่าวข้างต้น โดยมีพัดลมเป่าลมร้อนให้กระจายทั่วทั้งอุโมงค์อบแห้งระหว่างที่ข้าวเคลื่อนที่ผ่านอุโมงค์ด้วยเกลียวลำเลียง ระหว่างนี้จะมีครีบสำหรับโปรยเมล็ดข้าวเพื่อให้ลมร้อนสามารถสัมผัสเมล็ดข้าวอย่างรอบด้านมากขึ้น จากนั้นข้าวเปลือกที่ผ่านการอบไปอบในเครื่องอบแบบลมร้อน เครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้าเหมาะสำหรับการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรที่เป็นเมล็ดและมีการอบครั้งละหลายตัน เช่น ข้าวเปลือก เมล็ดข้าวโพด เป็นต้น การอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้านี้ นิยมใช้ในโรงสีเนื่องจากมีการลดเปอร์เซ็นต์ความแตกหักหรือเพิ่มเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดได้ เพราะเครื่องอบแห้งสามารถอบด้วยลมร้อน พักด้วยลมเย็นและสามารถทำการพักข้าวเปลือกได้ โดยการอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า



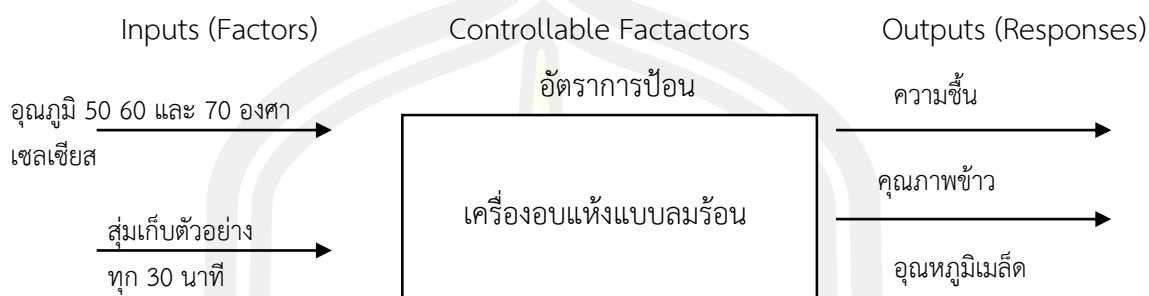
ภาพประกอบ 3.12 เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุนและเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

การทดสอบอบแห้งข้าวฮางมีปัจจัยในการทดสอบคือ อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส จำนวนรอบของการอบแห้ง 2 รอบโดยขั้นตอนแรกใช้หลักการลดความชื้นด้วยรังสีอินฟราเรด ข้าวเปลือกจะเคลื่อนที่ไปตามเกลียวลำเลียง และใบโปรยจะโปรยข้าวเพื่อให้ข้าวเปลือกสัมผัสกับลมร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของหัวอินฟราเรด เมื่อข้าวออกจากถังทำการสูมเก็บข้าวใส่ภาชนะ จำนวน 3 ข้ำ ทั้งนี้ในการเริ่มสูมนั้นต้องรอให้เครื่องมีการทำงานแล้วประมาณ 10-15 นาที หรือจนกว่าข้าวมีการเคลื่อนที่เต็มเกลียวลำเลียงแล้ว จึงทำการสูมเก็บค่าได้ ทำการวัดอุณหภูมิของเมล็ดข้าว ความหนาแน่น และสูมตัวอย่างเมล็ดข้าวไปหาความชื้นหลังจากผ่านการอบแห้ง ในการอบแห้ง จะนำข้าวที่ผ่านการอบแห้งมาพักไว้เป็นเวลา 30 นาที เพื่อที่จะรอบแห้งในรอบต่อไป ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อหาความชื้น อุณหภูมิเมล็ด และความหนาแน่น ก่อนและหลังอบของทุกๆรอบ หลังจากการทดสอบเลือกเงื่อนไขที่ดีที่สุดโดยเลือกจาก ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด ความชื้นสุดท้าย และพลังงานที่ใช้เพื่อทำการทดสอบในขั้นต่อไป



ภาพประกอบ 3.13 วิธีการทดสอบโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถึงหมุน

จากนั้นทำการทดสอบโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนมีปัจจัยในการทดสอบคืออุณหภูมิ ลมธรรมชาติ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ทำการสูมเก็บตัวอย่างทุกๆ 30 นาที เพื่อหาความชื้น และอุณหภูมิเมล็ด



ภาพประกอบ 3.14 วิธีการทดสอบโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

กระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน (วิธีการเดิม) ใช้ อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส จำนวนรอบของการอบแห้ง 2 รอบ โดยไม่ได้ผ่านการอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า จากนั้นทำการหาคุณภาพการสีข้าวหลังจากกระบวนการผลิตที่ใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้ากับเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน โดยใช้วิธีเดียวกันกับข้อ 3.1.3

3.3 การวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

3.3.1 พลังงานไฟฟ้า

ในการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งแบบถังหมุนสองชั้นตอนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนสำหรับข้าวฮางจะใช้เครื่อง fluke 43b ในการวัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ โดยจะวัดภายในตัวควบคุมด้านกระแสไฟเอาท์พุทที่ส่งจ่ายไปยังมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนต่างๆทุก 10 นาทีแล้วบันทึกค่า จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง ตามสมการที่ 3.7 และนำค่าที่ได้จากสมการที่ 3.8 มาคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะในหน่วยเมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ตามสมการที่ 3.9

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้

$$E_p = e_m T \quad (3.4)$$

เมื่อ E_p = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง
 e_m = ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์)
 T = เวลาในการทำงาน (ชั่วโมง)

พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ

$$SEC_{\text{electricity}} = \frac{3.6E_p}{(M_i - M_f)w_d} \quad (3.5)$$

ต่อกิโลกรัมน้ำระเหย

เมื่อ $SEC_{\text{electricity}}$ = พลังงานไฟฟ้าจำเพาะในหน่วยเมกะจูล

3.4 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายและหาจุดคุ้มทุนในการลงทุนเครื่องอบแห้งแบบถ้งหมุนสองชั้นตอนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนสำหรับข้าวฮาง เมื่อคิดค่าเสื่อมราคาแบบวิธีเส้นตรง (Straight-line Method) โดยการคำนวณหาต้นทุนการใช้เครื่องจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนเพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้การลงทุนซื้อเครื่องของเกษตรกรและการรับจ้างหรือเพื่อการแนะนำส่งเสริมของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยจะคิดเฉพาะราคาค่าจัดซื้อและสร้างไม่รวมราคาที่ดิน โรงเรือนและอื่นๆ

1. ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First Cost) คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นเช่นเครื่องจักร เป็นต้น
2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating Cost) ต้นทุนในการดำเนินการคือ ค่าใช้จ่ายที่ต้องเตรียมไว้เพื่อดำเนินการกับทรัพย์สินที่ต้องลงทุนไปเพื่อให้เกิดผลผลิต
3. ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) คือ ค่าที่คงที่ไม่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าเสียโอกาส
4. ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) คือ ค่าใช้จ่ายที่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่นค่าไฟฟ้า ค่าจ้างแรงงาน ค่าซ่อมแซม และ บำรุงรักษา

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายและหาจุดคุ้มทุนเครื่องอบแห้งแบบถังหมุนสองชั้นตอนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับข้าวฮาง

กำหนดให้

$$A_c = (F_c/A) + (1/C_t)[R\&M + F + L_o] \dots\dots\dots \text{สมการที่ (3.6)}$$

$$F_c = D + I \dots\dots\dots \text{สมการที่ (3.7)}$$

$$D = (P-S)/N \dots\dots\dots \text{สมการที่ (3.8)}$$

$$I = [(P+S)/2](r/100) \dots\dots\dots \text{สมการที่ (3.9)}$$

เมื่อ

D	=	ค่าเสื่อมราคา	(บาท/ปี)
I	=	ดอกเบี้ย	(บาท/ปี)
P	=	ราคาซื้อ	(บาท)
S	=	มูลค่าซาก	(บาท)
N	=	อายุการใช้งาน	(ปี)
r	=	อัตราดอกเบี้ย	(เปอร์เซ็นต์/ปี)
A_c	=	ต้นทุนการใช้เครื่อง	(บาท/ตัน)
F_c	=	ต้นทุนคงที่	(บาท/ปี)
A	=	จำนวนข้าวที่อบได้ใน 1 ปี	(ตัน)
R&M	=	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา	(บาท/ปี)
F	=	ไฟฟ้า	(บาท/ปี)
L_o	=	ค่าแรงงานคนปฏิบัติงาน	(บาท/ปี)
C_t	=	ความสามารถในการทำงานของเครื่องมือ	(ตัน/ปี)

พหุบัณฑิต ชีวะ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

การพัฒนากระบวนการผลิตและการลดความชื้นโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับข้าวฮางอก จำเป็นที่จะต้องมีการดำเนินการพัฒนาที่ชัดเจนเพื่อที่จะสามารถดำเนินการให้เสร็จตามวัตถุประสงค์ได้ซึ่งในขั้นตอนการดำเนินการพัฒนาการพัฒนากระบวนการผลิตและการลดความชื้นโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนสำหรับข้าวฮางอก โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการออกแบบเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

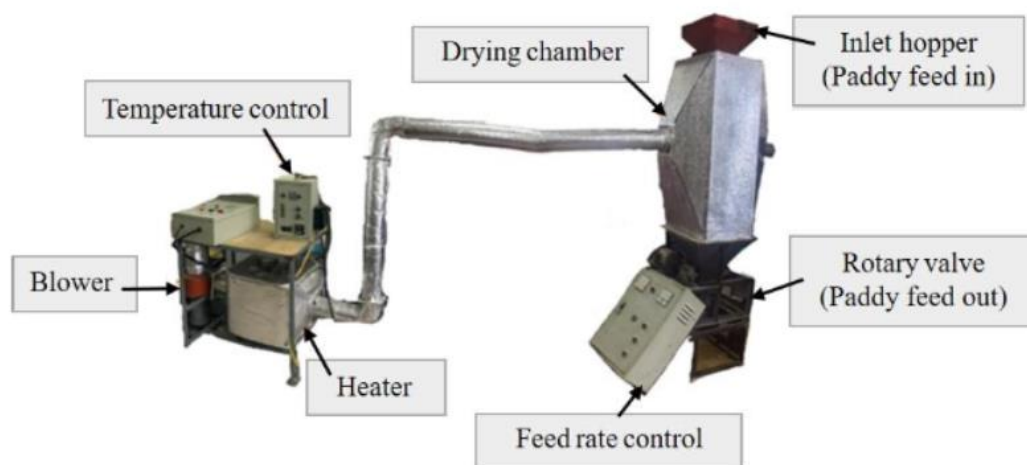
4.2 ผลการทดสอบและเปรียบเทียบการทำงานของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบLSUกับเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน

4.3 ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

4.4 ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม

4.1 ผลการออกแบบเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

เครื่องอบแห้งมีขนาด กว้าง×ยาว×สูง 120×50×40 เซนติเมตร โดยมีท่ออากาศร้อนเข้า 3 ท่อ และท่ออากาศออก 2 ท่อ โดยท่อมีรูปทรง 3 เหลี่ยมด้านเท่าและมีขนาดด้านละ 6 เซนติเมตรโดยมีระยะห่างระหว่างชั้นๆละ 20 เซนติเมตร รวม 5 ชั้นปริมาณลมร้อนที่ต้องการใช้ 5.62 ลูกบาศก์เมตร ต่อ นาที ชุดกำเนิดลมร้อนมีขนาด 5.733 กิโลวัตต์ ชุดควบคุมอัตราการไหลโดยอาศัยลมร้อนจาก ฮีทเตอร์(Heater) และพัดลม(Fan) ขนาด 1 แรงม้า เป็นแหล่งผลิตลมร้อน ภาพประกอบ 4.1



ภาพประกอบ 4.1 ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า

4.1.1 การทดสอบทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

การทดสอบทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้ามีการทดสอบ 3 หัวข้อดังต่อไปนี้

1) ผลการทดสอบของอุณหภูมิของข้าวเปลือกหลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

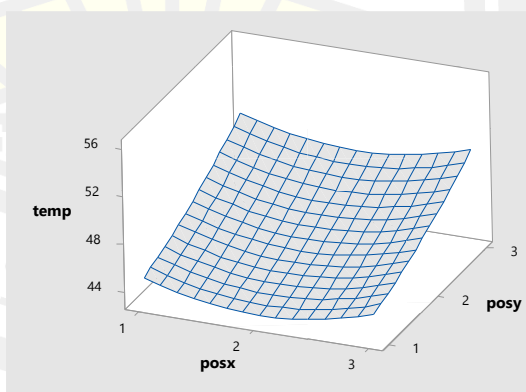
เมื่อดำเนินการอบแห้งข้าวเปลือกพบว่าเมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติด้วยวิธีการ Tukey ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่ออบแห้งเป็นเวลา 100 นาที อุณหภูมิในถังเข้าสู่สภาวะสมดุลจากนั้นนำผลการทดลองมาวิเคราะห์แบบจำลองพื้นผิวและกราฟแสดงระดับของอุณหภูมิในแนวระนาบ โดยให้ $posX$ แทนแนวตั้งในแนวแกน X โดย $posX_1$ หมายถึงขอบถึง $posX_2$ หมายถึงกลางถึง $posX_3$ หมายถึงขอบอีกฝั่งหนึ่งของถึง $posY$ แทนในแนวแกน Y โดย $posY_1$ หมายถึงด้านที่อากาศออก $posY_2$ หมายถึงด้านกลางของถังอบ และ $posY_3$ หมายถึงด้านลมอากาศเข้าโดยมีผลการทดสอบดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ผลของอุณหภูมิที่กระจายภายในห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

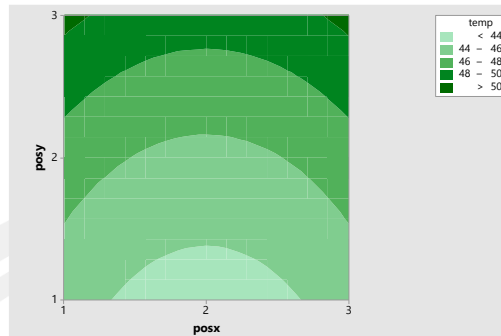
Position	PosX	posY	Average temperature (°C)		
			Level (A)	Level (B)	Level (C)
1	1	1	42.2 _n	41.5 _o	39.6 _p
2	2	1	44.7 _l	46.1 _j	45.6 _k
3	3	1	44.2 _m	41.5 _o	39.6 _p
4	1	2	47.5 _h	46.9 _i	47.6 _h
5	2	2	44.8 _l	46.0 _j	45.7 _k
6	3	2	47.5 _h	48.8 _f	47.7 _h
7	1	3	50.9 _d	52.2 _c	55.7 _a
8	2	3	48.2 _g	49.4 _e	48.9 _f
9	3	3	50.9 _d	52.2 _b	55.7 _a

*At the 95% confidence level, the same characters in the column are not statistically significant differences.

โดยในการอบแห้งชั้นบนสุด (ชั้น A) ของถังพบว่าสามารถอธิบายการอบแห้งในชั้น A ได้โดยสมการพหุนามกำลังสอง (Quadratic Polynomial Equation) ที่มีค่า R^2 อยู่ที่ 78.84% โดยมีสมการดังนี้

$$\text{temp}_A = 48.70 - 6.60 \text{ posX} + 0.62 \text{ posY} + 1.650 \text{ posX}^2 + 0.550 \text{ posY}^2 \quad (1)$$


ภาพประกอบ 4.2 แบบจำลองพื้นผิวแสดงอุณหภูมิภายในถังอบแห้งบริเวณชั้น A

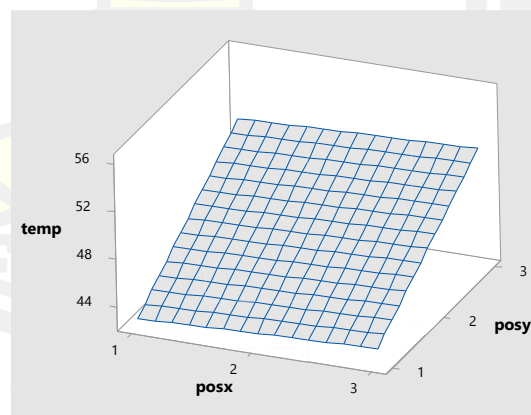


ภาพประกอบ 4.3 กราฟแสดงระดับของอุณหภูมิในแนวระนาบภายในห้องแห่งบริเวณชั้น A

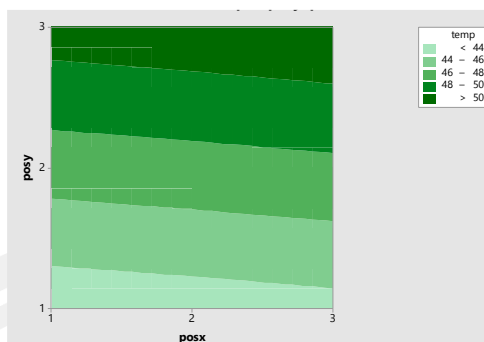
จากภาพประกอบ 4.2 และ 4.3 จะสังเกตได้ว่า อากาศร้อนจะเข้ามาทางด้าน $posy_3$ จากนั้นอากาศร้อนจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน และมีทิศทางเคลื่อนที่ของอากาศ จากจุด $posy_3$ มายังจุดที่ $posy_1$ ทำให้เกิดการไล่ระดับอุณหภูมิสูงมาต่ำ โดยในชั้นบนนั้น มีการกองของข้าวเนื่องจากเป็นชั้นบนสุดทำให้เกิดการกองของข้าวเปลือก เมื่อนำข้าวบรรจุในห้องอบแห้งทำให้ด้านขอบทั้งสองของห้องอบแห้งมีการถ่ายเทอากาศได้ดีกว่าตรงกลางถึง

ในชั้นกลางของห้องอบแห้งพบว่าเมื่อเราใช้สมการพหุนามกำลังสอง (Quadratic Polynomial Equation) มีค่า R^2 ที่ค่อนข้างต่ำจึงไม่สามารถใช้สมการพหุนามกำลังสองอธิบายพฤติกรรมของอากาศภายในห้องอบแห้งได้ทางผู้วิจัยจึงใช้สมการเส้นตรงในการอธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นภายในชั้นกลาง (ชั้น B) และชั้นล่าง (ชั้น C) โดยมีค่า R^2 ของชั้น B อยู่ที่ 75.57% โดยมีสมการดังนี้

$$\text{temp}_B = 38.28 + 0.333 \text{ posX} + 4.117 \text{ posY} \quad (2)$$



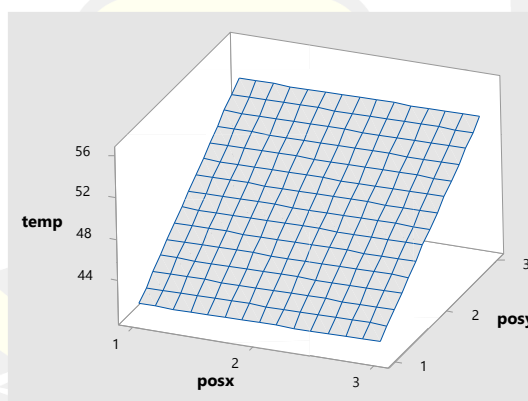
ภาพประกอบ 4.4 แบบจำลองพื้นผิวแสดงอุณหภูมิภายในห้องแห่งบริเวณชั้น B



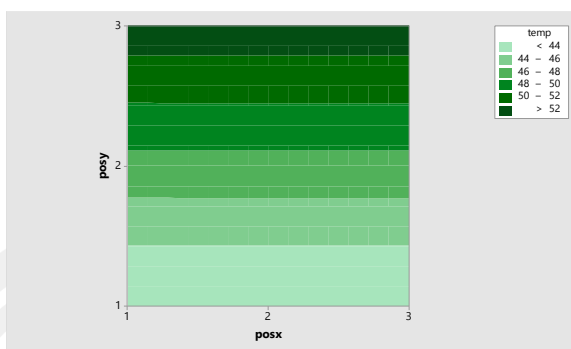
ภาพประกอบ 4.5 กราฟแสดงระดับของอุณหภูมิในแนวระนาบภายในถังอบแห้งบริเวณชั้น B

จากรูปภาพ 4.4 และ 4.5 พบว่าอากาศร้อนจะเข้ามาทางด้าน $posY_3$ จากนั้นอากาศร้อนจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน และมีทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศ จากจุด $posY_3$ มายังจุดที่ $posY_1$ ทำให้เกิดการไล่ระดับอุณหภูมิสูงมาต่ำ โดยมีการกระจายความร้อนที่สม่ำเสมอมากกว่าชั้น A เนื่องจากมีอุปกรณ์ในการกระจายลมที่ดีและข้าวมีความสม่ำเสมอไม่มีการกองของกลุ่มข้าวเปลือก และมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นมากกว่าชั้น A ในชั้นล่าง(ชั้น C) สามารถอธิบายพฤติกรรมได้โดยใช้สมการเส้นตรง โดยมีสมการดังนี้

$$temp_c = 35.50 + 0.01 posX + 5.92 posY \quad (4)$$



ภาพประกอบ 4.6 แบบจำลองพื้นผิวแสดงอุณหภูมิภายในถังอบแห้งบริเวณชั้น C

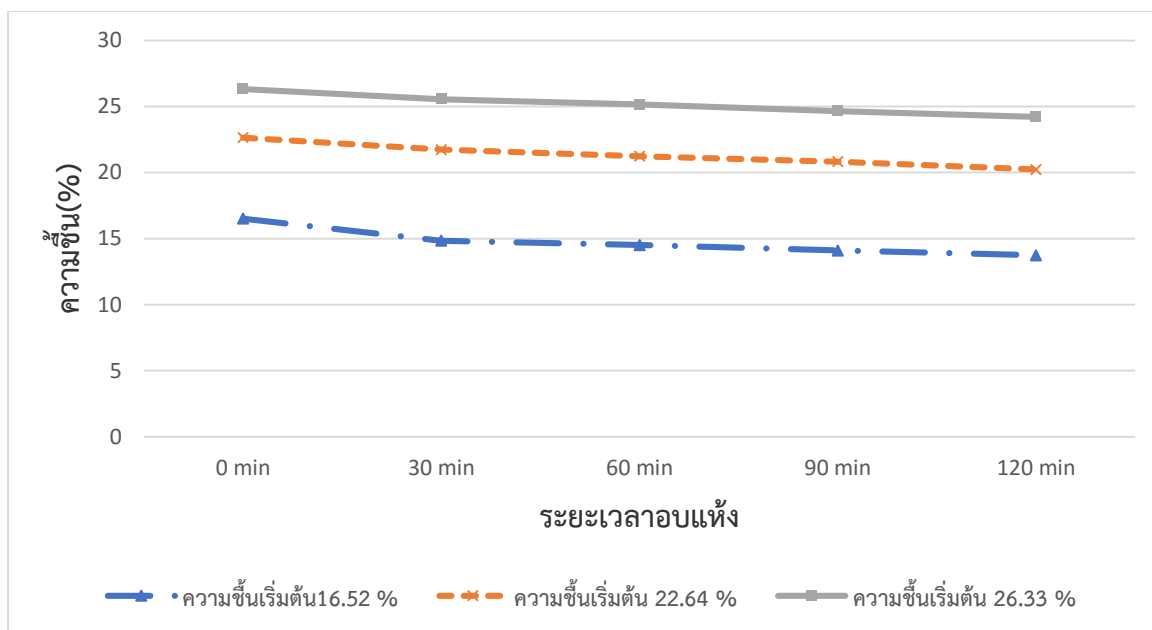


ภาพประกอบ 4.7 กราฟแสดงระดับของอุณหภูมิในแนวระนาบภายในถังอบแห้งบริเวณชั้น C

โดยมีค่า R^2 อยู่ที่ 71.18% จากรูปภาพ 4.6 และ 4.7 พบว่าอากาศร้อนจะเข้ามาทางด้าน $posY_3$ จากนั้นอากาศร้อนจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน และมีทิศทางเคลื่อนที่ของอากาศ จากจุด $posY_3$ มายังจุดที่ $posY_1$ ทำให้เกิดการไล่ระดับอุณหภูมิสูงมาต่ำ โดยมีการกระจายความร้อนที่สม่ำเสมอมากกว่าชั้น A และชั้น B โดยจาก แบบจำลองพื้นผิวแสดงอุณหภูมิภายในถังอบแห้งบริเวณชั้น C จะเห็นได้ว่า ในแนวแกน X ไม่มีผลกับอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิจะมีผลกับแกน Y แสดงให้เห็นถึงการออกแบบที่มีความสม่ำเสมอในการกระจายอากาศ โดยในชั้นล่าง จะมีอุณหภูมิมากกว่าทุกชั้น เพราะมีระยะเวลาในการอบแห้งมากกว่าชั้นอื่น จากกราฟแสดงระดับของอุณหภูมิในแนวระนาบทั้งสามชั้นแสดงให้เห็นการกระจายตัวของอุณหภูมิที่สม่ำเสมอมากขึ้นตามลำดับชั้น จากชั้น A ชั้น B และชั้น C ซึ่งมีพฤติกรรมสอดคล้องของงานวิจัยของ(15)การกระจายตัวของอากาศร้อนภายในถังอบแห้ง ข้าวเปลือกจะได้รับความร้อนและมีการเคลื่อนที่จากด้านบนลงไปยังด้านล่างถึงตลอดเวลาอบแห้ง ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่สม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการอบแห้ง

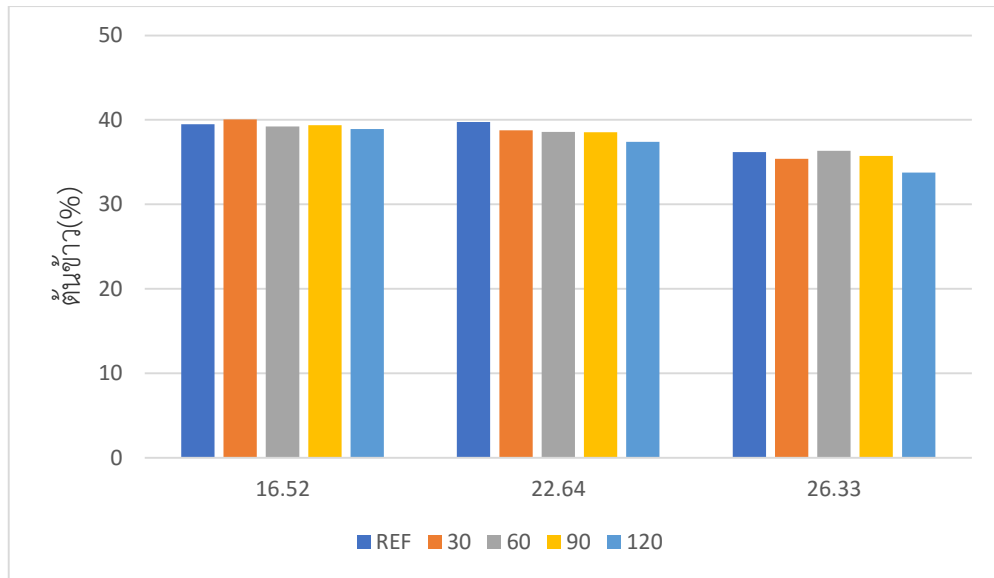
2) ผลของค่าความชื้นของข้าวเปลือกหลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

ผลของค่าความชื้นของข้าวเปลือกหลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยการทดสอบอบแห้งข้าวเปลือกมีปัจจัยในการทดสอบคือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นข้าว 3 ระดับ 16.52 22.64 และ 26.33 (% wb.) ใช้เวลาอบแห้ง 120 นาทีโดยได้สุ่มตัวอย่างทุก 30 นาที เพื่อนำมาวัดค่าความชื้นหลังจากผ่านการอบแห้ง ผลการทดสอบพบว่าความชื้นลดลงตามระยะเวลาในการอบแห้ง ทั้ง 3 ระดับความชื้น ตามภาพประกอบ 4.8

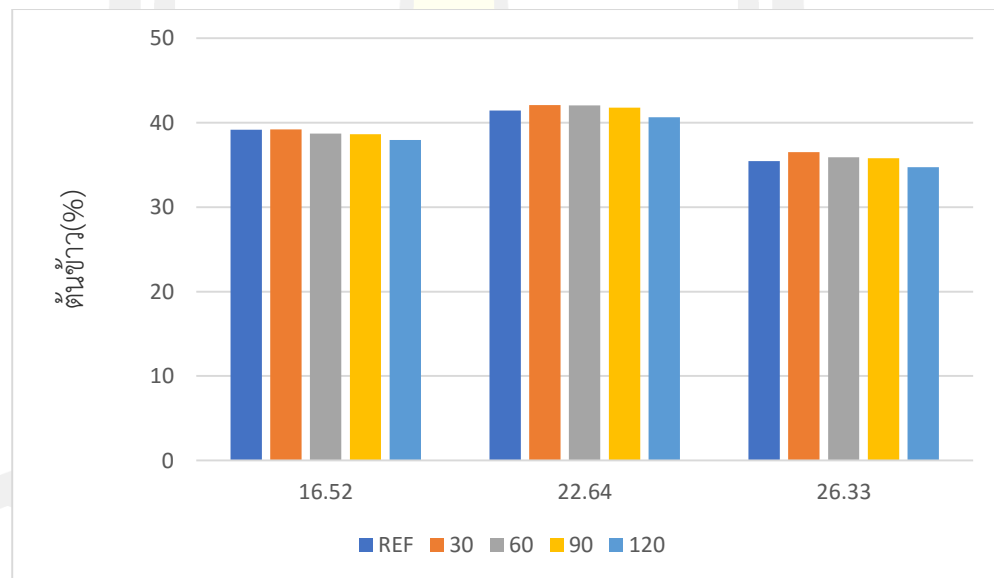


ภาพประกอบ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความชื้นและระยะเวลาอบแห้งที่ความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น 16.52 22.64 และ 26.33 %

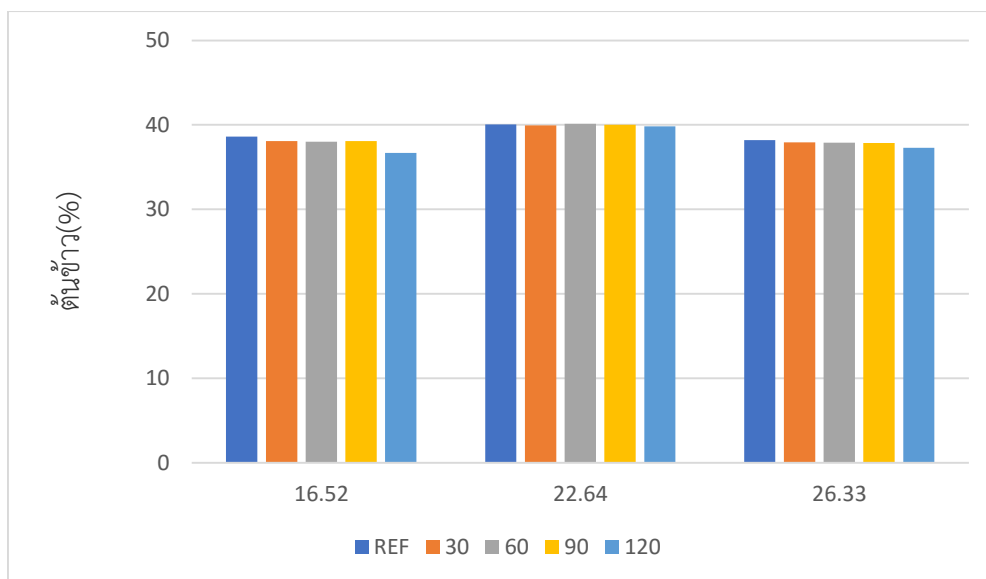
3) ผลคุณภาพการสีข้าวเปลือกหลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า จากการทดสอบคุณภาพการสี โดยมีปัจจัยในการทดสอบคือ ระยะเวลาการเก็บรักษา ระยะเวลาอบแห้ง 30 60 90 และ 120 นาที และความชื้นเริ่มต้น 16.52 22.64 และ 26.33 % wb. อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยทำการสุ่มตัวอย่างมากะเทาะหาเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิง (ข้าวที่ลดความชื้นโดยการนำไปตากลาน) ผลการทดสอบ พบว่าการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ระยะเวลาอบแห้งที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดที่ลดลงและมีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดที่น้อยกว่าข้าวอ้างอิง ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้คุณภาพข้าวลดลง (16) ค่าความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกที่สูงเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้ามีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดที่น้อยกว่าค่าความชื้นเริ่มต้นที่ต่ำ (ภาพประกอบ 4.9 4.10 และ 4.11)



ภาพประกอบ 4.9 กราฟแสดงต้นข้าวที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือนของข้าวอ้างอิงที่เวลาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบแบบไหลคลุกเคล้า 30 60 90 และ 120 นาที



ภาพประกอบ 4.10 กราฟแสดงต้นข้าวที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเป็น 2 เดือนของข้าวอ้างอิงที่เวลาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบแบบไหลคลุกเคล้า 30 60 90 และ 120 นาที



ภาพประกอบ 4.11 กราฟแสดงต้นข้าวที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3 เดือนของข้าวอ้างอิงที่เวลาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า 30 60 90 และ 120 นาที

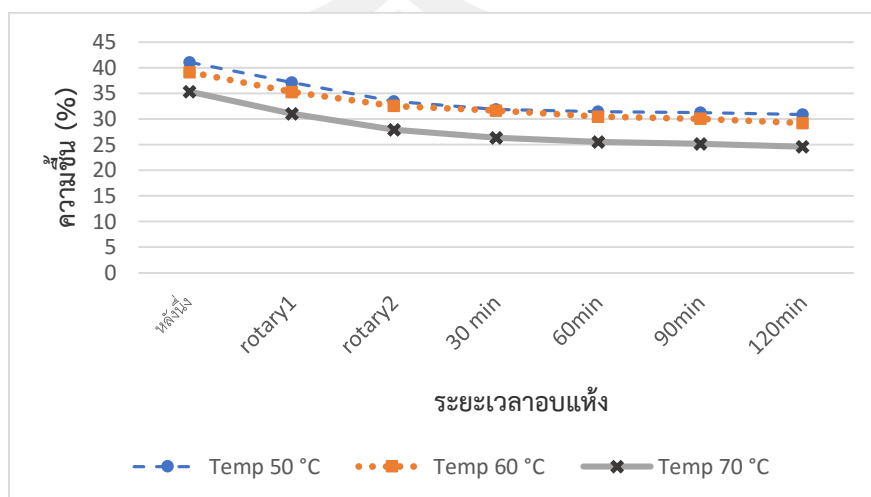
4.2 ผลการทดสอบและเปรียบเทียบการทำงานของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้ากับเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุน

ผลการเปรียบเทียบของกระบวนการผลิตข้างฮ้างที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่กับกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่ร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้าโดยมีการทดสอบ 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ผลการการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถึงทรงกระบอกหมุ่โดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

เมื่อทำการทดสอบเบื้องต้นในการทำงานของเครื่องอบแห้งลมร้อนเสร็จขั้นตอนต่อไปเป็นการทดสอบการทำงานการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถึงทรงกระบอกหมุ่โดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยการทดสอบถูกแบ่งออกเป็น 3 การทดสอบ ลมร้อนอุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียสโดยมีการอบแห้งหลังผ่านขบวนการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถึงทรงกระบอกหมุ่ด้วยระบบรังสีอินฟราเรดจากนั้นนำมาอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนต่อเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลทดสอบพบว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการความชื้นเร็วขึ้นโดยการทดสอบความชื้นเริ่มต้นไม่เท่ากัน เนื่องจากสภาพอากาศแวดล้อมในแต่ละวัน โดยพฤติกรรม

การลดความชื้นนั้นส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับสถานะแวดล้อมในแต่ละวันซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Barati E, Esfahani JA. และ Tiwari GN, Singh AK, Bhatia PS ตามภาพประกอบที่ 4.12



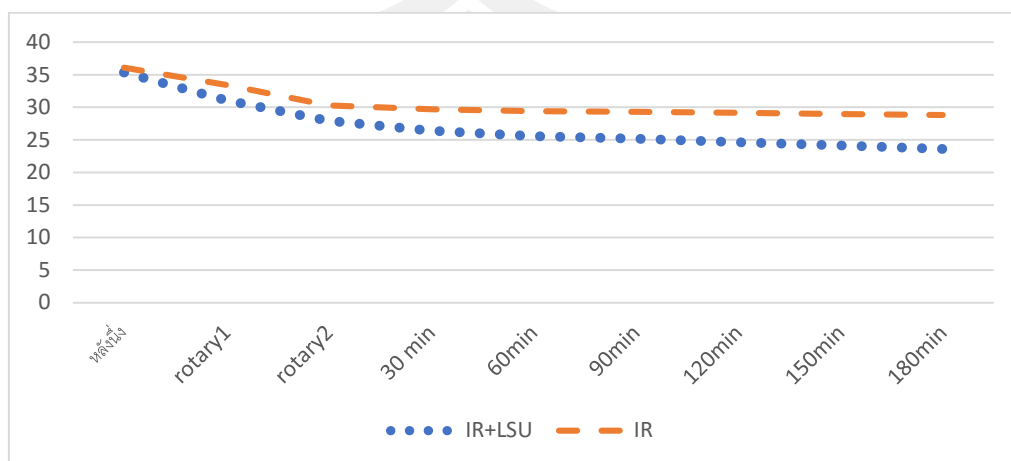
ภาพประกอบ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและระยะเวลาอบแห้งของข้าวเปลือกอ้างอิงที่อุณหภูมิร้อน 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยเมื่อข้าวผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดจะมีการลดความชื้นได้เร็วกว่าเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนมีอัตราการลดความชื้นลดลง ตามพฤติกรรมของเครื่องอบแห้งประเภทนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีอิทธิพลต่อการลดความชื้นของเมล็ดข้าว เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นอัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ (17) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานะแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ(15, 18) จากการทดสอบนี้พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนเข้ามาทดแทนการตากลาน แต่ต้องใช้ระยะเวลาที่มากกว่านี้ 2 – 3 เท่าเพื่อที่จะให้ข้าวเปลือกมีความชื้นที่สามารถนำไปกะเทาะเปลือกเพื่อจำหน่ายหรือเก็บรักษา

2) ผลการเปรียบเทียบค่าความชื้นของขบวนการผลิตข้างฮางที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนกับกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

จากการทดสอบพบว่าขบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า ความชื้นลดลงตามระยะเวลาอบแห้งและเห็นได้ชัดว่าความชื้นลดลงเร็วกว่าขบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน เมื่อทดสอบ

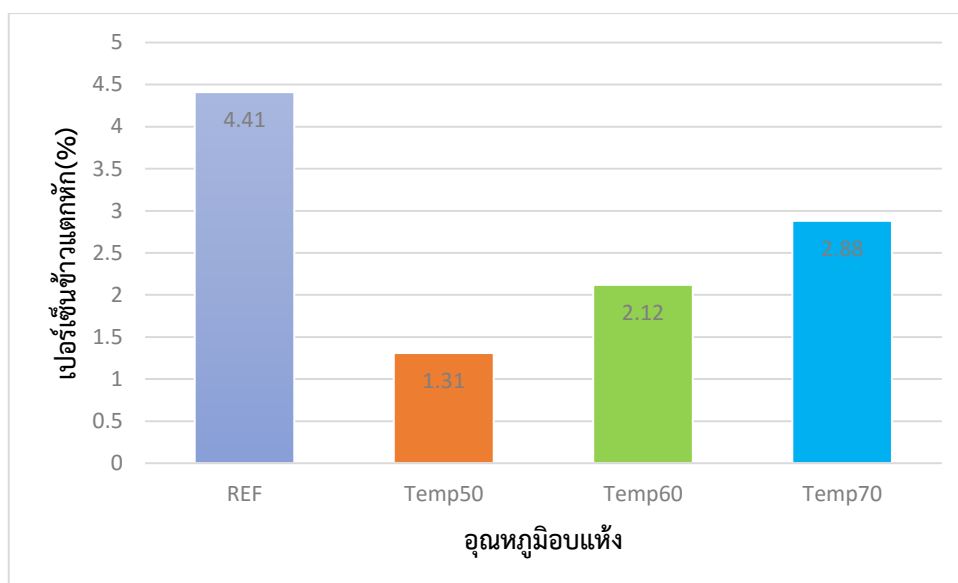
ในช่วงฤดูฝนโดยมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอยู่ในช่วง 75 – 80 % ตลอดทั้งวันดังภาพประกอบที่ 4.13



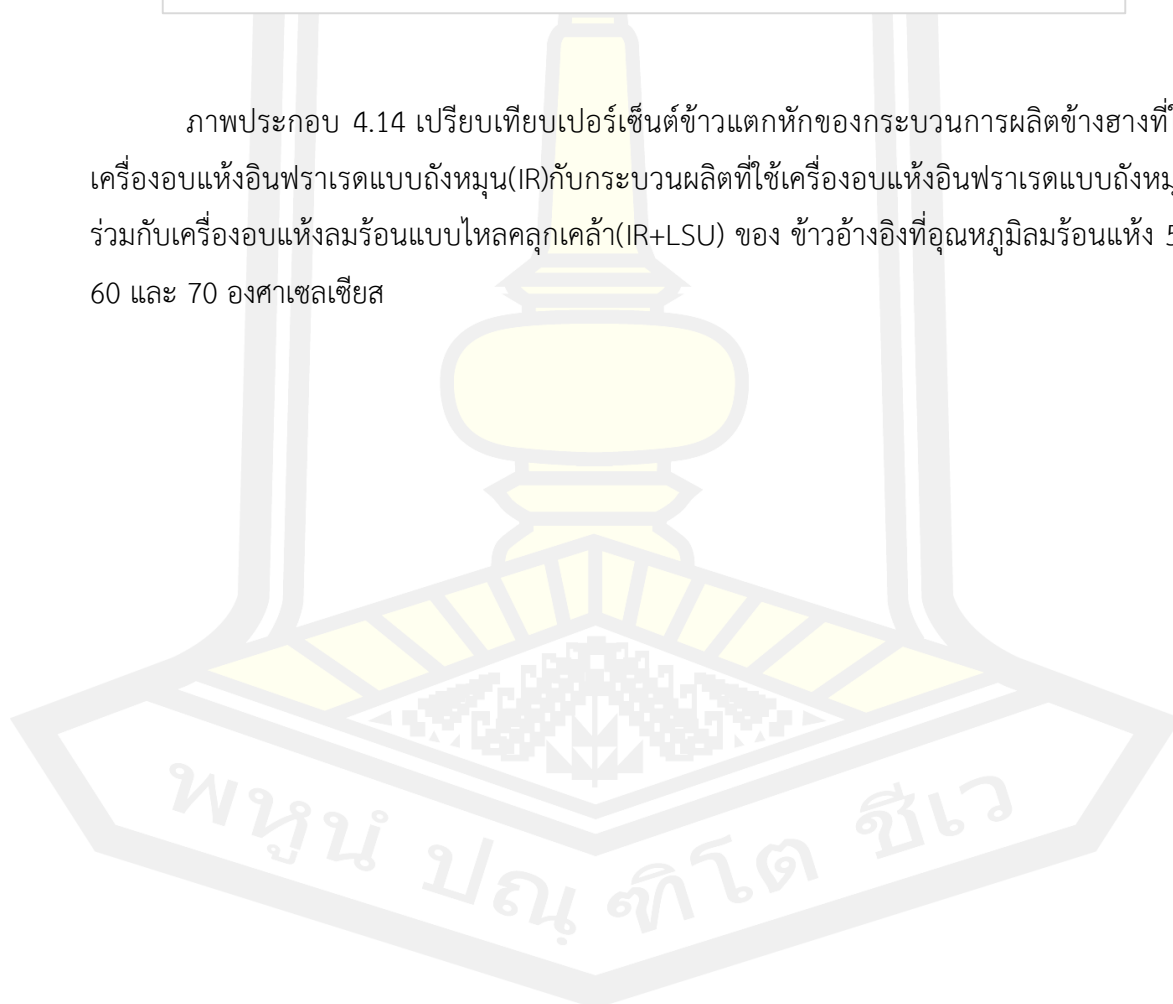
ภาพประกอบ 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของการลดความชื้นและระยะเวลาอบแห้งของกระบวนการผลิตข้าวฮางที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถ่วงหมุน(IR)กับกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถ่วงหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า(IR+LSU)

3) ผลเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหักของขบวนการผลิตข้างฮางแบบเดิมกับกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งแบบถ่วงทรงกระบอกหมุนด้วยระบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

จากการทดสอบคุณภาพการสี โดยมีปัจจัยในการทดสอบคืออุณหภูมิอบแห้ง 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยทำการสุ่มตัวอย่างมากะเทาะหาเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหักเพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิง (ข้าวที่ลดความชื้นโดยการนำไปตากลาน) ผลการทดสอบพบว่าข้าวฮางอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้ามีเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหักที่น้อยกว่าข้าวอ้างอิงและเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหักเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Preetong S (2016) ดังภาพประกอบ 4.14



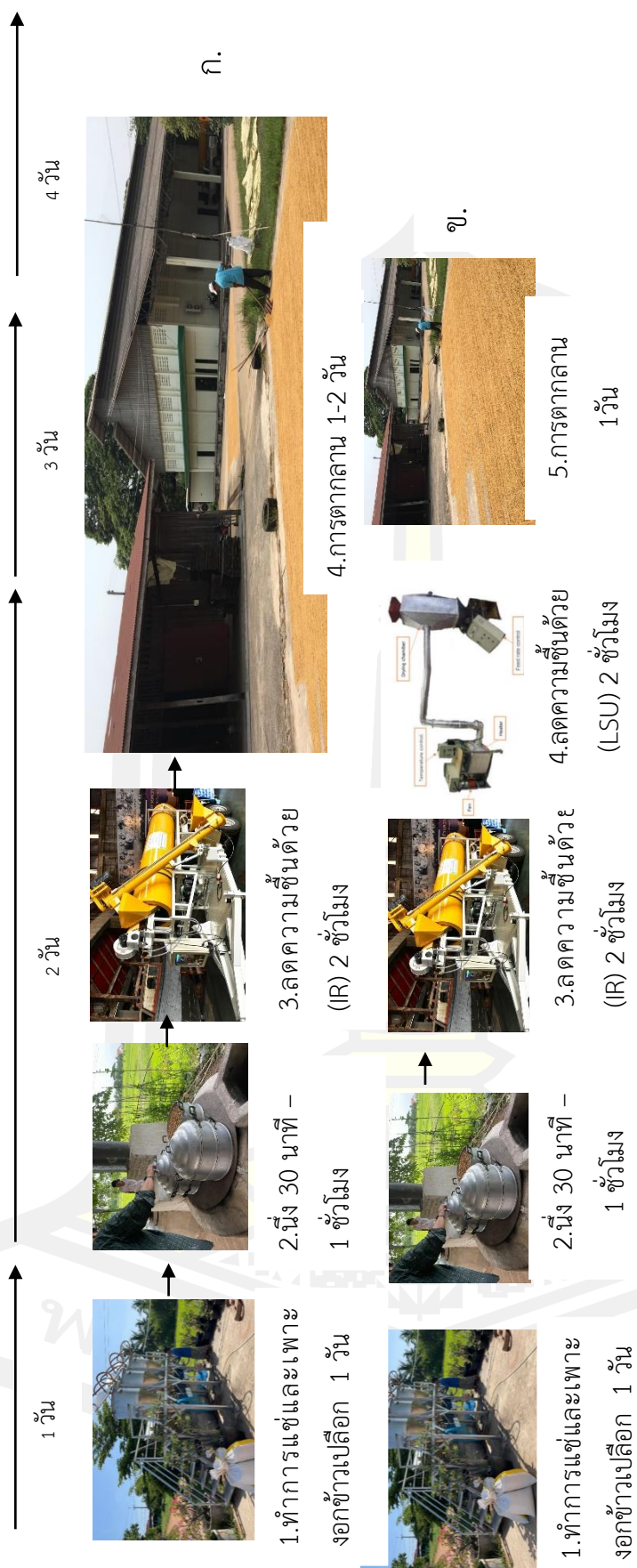
ภาพประกอบ 4.14 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหักของกระบวนการผลิตข้างฮ้างที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุน(IR)กับกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า(IR+LSU) ของ ข้าวอ้างอิงที่อุณหภูมิลมร้อนแห้ง 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส



4) ผลการทดสอบและเปรียบเทียบการทำงานของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้ากับเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุน

ผลการทดสอบการทำงานของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุน พบว่ามีกรรมวิธีการผลิตข้าวฮางอก ใช้ชุดอุปกรณ์เร่งการแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกโดยใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมงในการแช่และเพาะงอกจากนั้นนำข้าวฮางอกมานึ่งโดยใช้เตาหนึ่งชีวมวลโดยใช้ระยะเวลาหนึ่ง 30 นาที จากนั้นนำมาทำการลดความชื้นโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถึงทรงกระบอกหมุนด้วยระบบรังสีอินฟราเรด 1 – 2 ชั่วโมงแล้วนำไปตากลาน เนื่องจากวันที่ทำการทดสอบอยู่ในช่วงฤดูฝนทำให้ต้องตากแห้งเป็นเวลา 2-3 วันถึงจะสามารถนำไปเก็บรักษาหรือกระหะบรรจุเพื่อจำหน่ายได้ทำให้ใช้ระยะเวลาการผลิตทั้งขบวนการ 3-4 วันต่อรอบการผลิตในช่วงฤดูฝน

ผลการทดสอบและเปรียบเทียบการทำงานของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้าใช้ชุดอุปกรณ์เร่งการแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกโดยใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมงในการแช่และเพาะงอกจากนั้นนำข้าวฮางอกมานึ่งโดยใช้เตาหนึ่งชีวมวลโดยใช้ระยะเวลาหนึ่ง 30 นาที จากนั้นนำมาทำการลดความชื้นต่อด้วยเครื่องอบแห้งแบบถึงทรงกระบอกหมุนด้วยระบบรังสีอินฟราเรด 1 – 2 ชั่วโมงจากนั้นนำมาลดความชื้นต่อด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้าต่ออีก 2 ชั่วโมงจากนั้นทำการผึ่งข้าวในที่ลมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยการผลิตข้าวฮางอกจะใช้เวลา 2-3 วันต่อรอบการผลิตในช่วงฤดูฝน ภาพประกอบที่ 4.15 วิธีการผลิตโดยใช้เครื่องแช่และเพาะงอกข้าวเปลือกในขั้นตอนเดียวร่วมกับเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุน (เวลา 2-3 วัน)



ภาพประกอบ 4.15 การเปรียบเทียบระยะเวลาการผลิต(ก. ของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุม) (ข. ของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งหมุมร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไปตลอดเคต้า)

4.3 ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถึงทรงกระบอกหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ยังมีการทดสอบเกี่ยวกับการใช้พลังงานในการทำงานโดยมีรายการทดสอบประกอบด้วย การใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนในการอบแห้ง และค่าพลังงานจำเพาะเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน มีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนในระบบต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. กระพ้อลำเรียง ใช้มอเตอร์ 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ขนาด 1 แรงม้า เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน
2. พัดลมเป่าอากาศเข้าไปยังถึงทรงกระบอกหมุน ใช้มอเตอร์ 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ขนาด 1 แรงม้า เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน
3. โรตารีวาล์ว ข้าว 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ขนาด 1 แรงม้า เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน
4. ฮีตเตอร์ขนาด 5 kW

เครื่องอบแห้งแบบถึงทรงกระบอกหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน สามารถเพิ่มกำลังการผลิต และรักษาคุณภาพของข้าวฮางงอก ปริมาณความชื้น และคุณภาพการสี นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้พลังงานในการอบแห้งประกอบด้วย ปริมาณพลังงานความร้อนจำเพาะ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ในการอบแห้งข้าวฮางงอก จะแสดงผลที่ได้แสดงค่าในหน่วย MJ/kg-water evap. ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะของการอบแห้งข้าวฮางงอก โดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งส่งผลต่อการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้า เนื่องชุดกำเนิดความร้อนใช้พลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิส่งผลต่อค่าพลังงานจำเพาะซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ(19)

ตาราง 4.2 การวิเคราะห์พลังงาน และ พลังงานจำเพาะเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมูน

ความยาวคลื่นอินฟราเรด	รอบการอบแห้ง	อัตราการระเหย (kg-water evap./h)	พลังงานไฟฟ้า (MJ/h)	พลังงานความร้อน (MJ/h)	พลังงานรวม (MJ/h)	พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (MJ/kg-water evap.)	พลังงานความร้อนจำเพาะ (MJ/kg-water evap.)	พลังงานจำเพาะรวม (MJ/kg-water evap.)
2.83 (750 °C)	2	37.53	5.11	100.3	105.41	0.14	2.67	2.81

ตาราง 4.3 การวิเคราะห์พลังงาน และ พลังงานจำเพาะเครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่นร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลลูกเคล่า

เครื่องอบแห้ง	อัตราน้ำ ระเหย (kg-water evap./h)	พลังงาน ไฟฟ้า (MJ/h)	พลังงานความร้อน (MJ/h)	พลังงาน รวม (MJ/h)	พลังงานไฟฟ้า จำเพาะ (MJ/kg-water evap.)	พลังงาน ความร้อน จำเพาะ (MJ/kg- water evap.)	พลังงานจำเพาะรวม (MJ/kg-water evap.)
IR+LSU 50(°C)	45.53	21.31	100.3	121.61	2.165	2.67	4.835
IR+LSU 60(°C)	45.68	22.96	100.3	123.26	2.33	2.67	4.86
IR+LSU 70(°C)	45.82	24.83	100.3	125.13	2.519	2.67	5.189

หมายเหตุ :

IR คือ เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุ่น 2 รอบ

LSU คือ เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลลูกเคล่า

4.4 ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม

จากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง ดังแสดงในตาราง 4.4 กระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังทรงกระบอกหมุน ข้าวสางที่มีอัตราการป้อน 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีความสามารถในการอบแห้ง 150 ตันต่อปี ทำการอบแห้งข้าวเปลือกจำนวน 2 ชั่วโมงต่อรอบ รอบมีระยะเวลาในการทำงานที่เหมือนกัน คือ 156 วันต่อปี (8 ชั่วโมงต่อวัน) ค่าจ้างแรงงานคนในการทำงานจำนวน 3คน (300 บาทต่อวัน) โดยแต่ละฤดูกาลจะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ พบว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมากจะทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อปีซึ่งได้แก่ เงินลงทุนรายปี ค่าบำรุงรักษา ค่าแรงงาน และค่าไฟฟ้า เพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวม (บาทต่อตัน) เพิ่มขึ้นตาม ทั้งนี้จึงส่งผลให้เมื่อมีการอบในความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงจะทำให้มีกำไรที่ลดลง

ตาราง 4.4 ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวสางอกโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุน

ค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง	เครื่องอบแห้งแบบโรตารี
	2 รอบ
เงินลงทุนรายปี (บาทต่อปี)	38,851
ค่าบำรุงรักษา (บาทต่อปี)	15,000
ค่าแรงคนงาน 3 คน 300 บาทต่อวัน (บาทต่อปี)	140,440
ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงแก๊สแอลพีจี (บาทต่อปี)	31,449.6
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า (บาทต่อปี)	12,168
ค่าใช้จ่ายรวมต่อปี (บาทต่อปี)	237,869
ความสามารถในการอบแห้ง (ตันต่อปี)	150
ค่าใช้จ่ายรวม (บาทต่อตัน)	1,588

จากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง ดังแสดงในตาราง 4.5 กระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า ข้าวสางที่มีอัตราการป้อน 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีความสามารถในการอบแห้ง 150 ตันต่อปี ทำการอบแห้งข้าวเปลือกจำนวน 2 ชั่วโมงต่อรอบ รอบมีระยะเวลาในการทำงานที่เหมือนกัน คือ 156 วันต่อปี (8 ชั่วโมงต่อวัน) ค่าจ้างแรงงานคนในการทำงานจำนวน 2 คน (300 บาทต่อวัน)

ตาราง 4.5 ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวฮางอกโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า

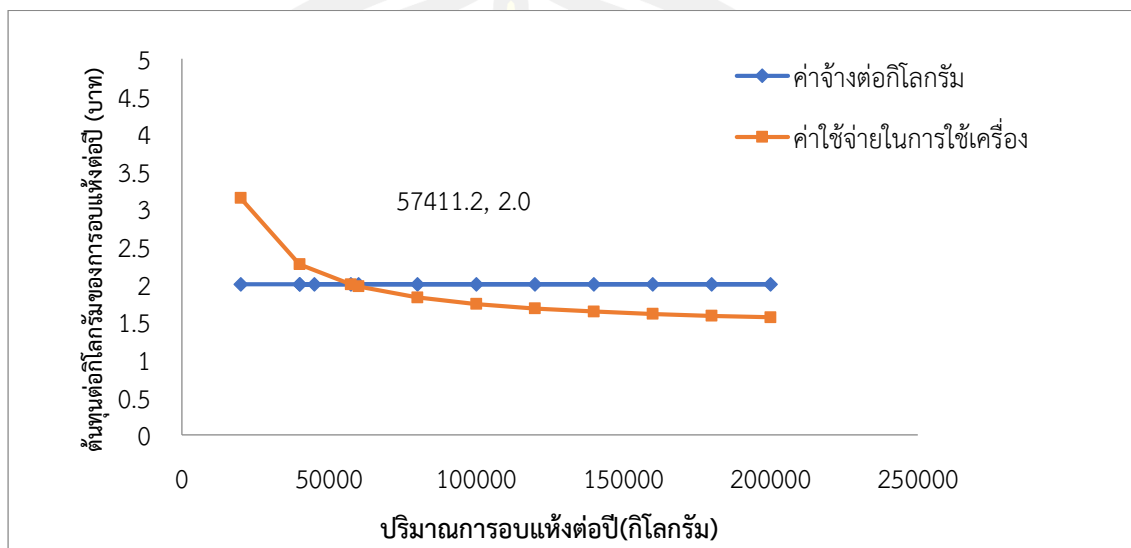
ค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง	IR+LSU 70(°C)
เงินลงทุนรายปี (บาทต่อปี)	47,917
ค่าบำรุงรักษา (บาทต่อปี)	22,000
ค่าแรงคนงาน 2 คน 300 บาทต่อวัน (บาทต่อปี)	93,600
ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงแก๊สแอลพีจี (บาทต่อปี)	31,449.6
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า (บาทต่อปี)	23,281
ค่าใช้จ่ายรวมต่อปี (บาทต่อปี)	196,248
ความสามารถในการอบแห้ง (ตันต่อปี)	150
ค่าใช้จ่ายรวม (บาทต่อตัน)	1,310

หมายเหตุ : IR คือ เครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน 2 รอบ

LSU คือ เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

การคำนวณหาจุดคุ้มทุนของกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน

จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน เมื่อนำมารับจ้างอบแห้งข้าวเปลือก กิโลกรัมละ 2 บาท สามารถคำนวณหาจุดคุ้มทุน โดยแสดงความสามารถจุดคุ้มทุนดังแสดงใน ภาพประกอบ 4.16

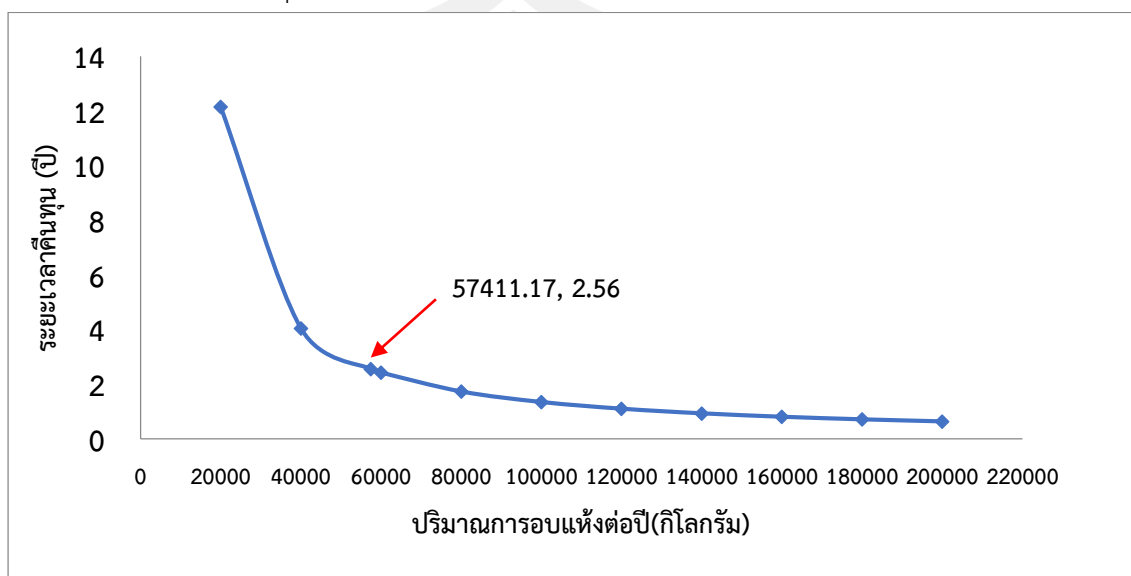


ภาพประกอบ 4.16 จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน

เมื่อพิจารณาจากการอบแห้งต่อปีแสดงให้เห็นว่า เมื่อนำมารับจ้างอบแห้งกิโลกรัมละ 2 บาท ทำให้มีจุดคุ้มทุนของการดำเนินการอยู่ที่อัตราอบแห้ง 57411.2 กิโลกรัมต่อปี

การคำนวณระยะเวลาคืนทุนของกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องเครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถัง หมุน

ระยะเวลาคืนทุน คือระยะเวลาจากการเริ่มต้นลงทุนถึงเวลาที่มีผลประโยชน์สุทธิ ของการใช้เครื่องอบแห้งมีค่าเท่ากับการลงทุน โดยสามารถแสดงระยะเวลาคืนทุนของการใช้เครื่องเครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน แสดงในภาพประกอบที่ 4.17

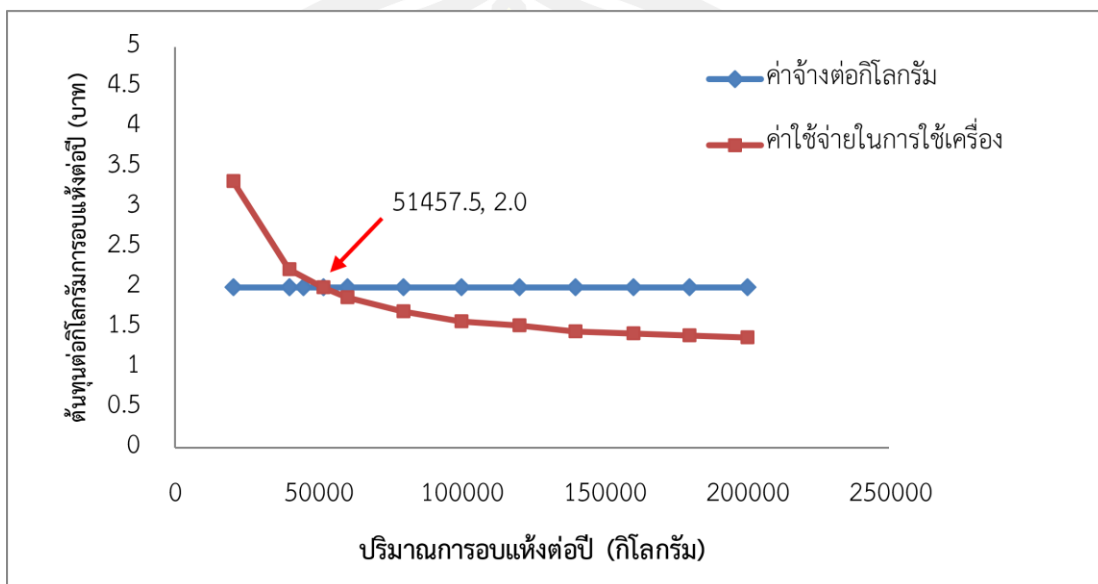


ภาพประกอบ 4.17 จุดคืนทุนของเครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน

เมื่อพิจารณาจากความสามารถที่อบแห้งได้ต่อปีแสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการอบแห้งที่อัตรา 57411.17 กิโลกรัมต่อปี จะสามารถคืนทุนในระยะเวลา 2.56 ปี

การคำนวณหาจุดคุ้มทุนของกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องเครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน ร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า เมื่อนำมารับจ้างอบแห้งข้าวเปลือกกิโลกรัมละ 2 บาท สามารถคำนวณหาจุดคุ้มทุน โดยแสดงความสามารถจุดคุ้มทุนดังแสดงในภาพประกอบ 4.18

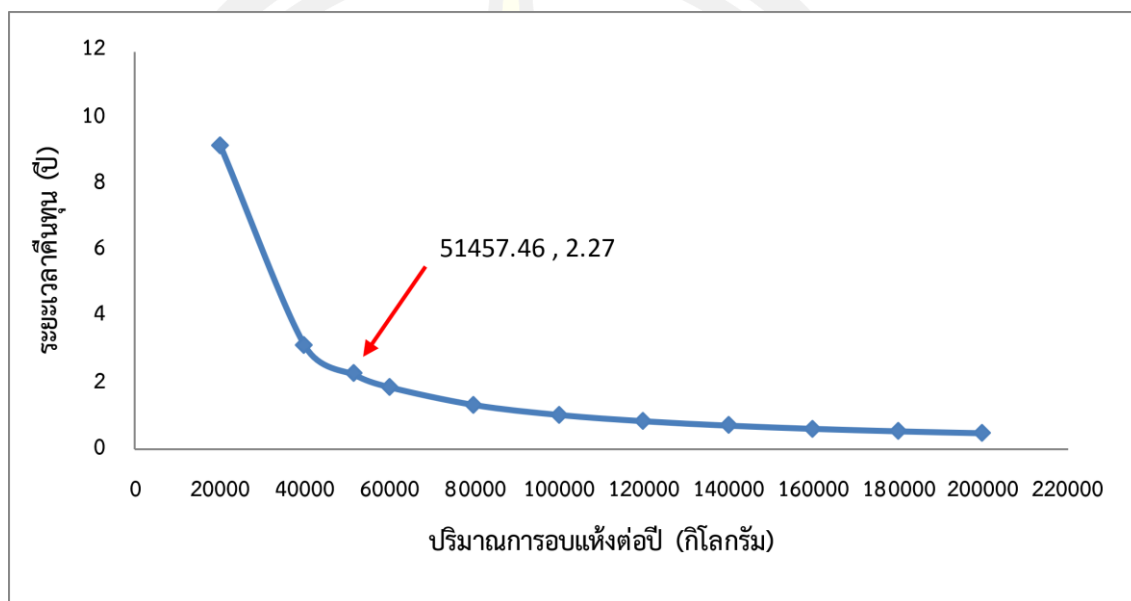


ภาพประกอบ 4.18 จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

เมื่อพิจารณาจากการอบแห้งต่อปีแสดงให้เห็นว่า เมื่อนำมารับจ้างอบแห้งกิโลกรัมละ 2 บาท ทำให้มีจุดคุ้มทุนของการดำเนินการอยู่ที่อัตราอบแห้ง 51457.5 กิโลกรัมต่อปี

การคำนวณระยะเวลาคืนทุนของกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องเครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

ระยะเวลาคืนทุน คือระยะเวลาจากการเริ่มต้นลงทุนถึงเวลาที่มีผลประโยชน์สุทธิ ของการใช้เครื่องอบแห้งมีค่าเท่ากับการลงทุน โดยสามารถแสดงระยะเวลาคืนทุนของการใช้เครื่องเครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า แสดงในภาพประกอบที่ 4.19



ภาพประกอบ 4.19 จุดคืนทุนของเครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

เมื่อพิจารณาจากความสามารถที่อบแห้งได้ต่อปีแสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการอบแห้งที่อัตรา 51457.5 กิโลกรัมต่อปี จะสามารถคืนทุนในระยะเวลา 2.27 ปี

พหุ ประถมศึกษา

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 การทำงานเบื้องต้นของเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

5.1.1 สรุปผลการออกแบบเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

เครื่องอบแห้งมีขนาด กว้าง×ยาว×สูง 120×50×40 เซนติเมตร โดยมีท่ออากาศร้อนเข้า 3 ท่อ และท่ออากาศออก 2 ท่อ โดยท่อบรรจุทรวง 3 เหลี่ยมด้านเท่าและมีขนาดด้านละ 6 เซนติเมตรโดยมีระยะห่างระหว่างชั้นๆละ 20 เซนติเมตร รวม 5 ชั้นปริมาณลมร้อนที่ต้องการใช้ 5.62 ลูกบาศก์เมตรต่ออนาที ชุดกำเนิดลมร้อนมีขนาด 5.733 กิโลวัตต์ เครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้าสำหรับวิสาหกิจชุมชนออกแบบขึ้นในงานวิจัยนี้ จัดเป็นชุดอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย ถังอบแห้ง(Drying chamber)บรรจุข้าวเปลือกจากนั้นข้าวเปลือกไหลลงจากด้านบนสู่ด้านล่างตามแรงโน้มถ่วงโดยควบคุมอัตราการไหลได้จาก ชุดควบคุมอัตราการไหลโดยอาศัยลมร้อนจาก ฮีตเตอร์(Heater) และพัดลม(Fan) ขนาด 1 แรงม้า เป็นแหล่งผลิตลมร้อน

5.1.2 สรุปทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

1)ผลการทดสอบของอุณหภูมิของข้าวเปลือกหลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแบบลมร้อน
อุณหภูมิของข้าวเปลือกหลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแบบลมร้อนพบว่าการอบแห้งชั้นบนสุด (ชั้น A) ของถังพบว่าสามารถอธิบายการอบแห้งในชั้น A ได้โดยสมการพหุนามกำลังสอง (Quadratic Polynomial Equation) ที่มีค่า R^2 อยู่ที่ 78.84% ในชั้นกลางของห้องอบแห้งพบว่าเมื่อเราใช้สมการพหุนามกำลังสอง (Quadratic Polynomial Equation) มีค่า ที่ค่อนข้างต่ำจึงไม่สามารถใช้สมการพหุนามกำลังสองอธิบายพฤติกรรมของอากาศภายในห้องอบแห้งได้ทางผู้วิจัยจึงใช้สมการเส้นตรงในการอธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นภายในชั้นกลาง(ชั้น B)และชั้นล่าง(ชั้น C) โดยมีค่า ของชั้น B อยู่ที่ 75.57 % 71.18 % ตามลำดับซึ่งมีพฤติกรรมลักษณะเดียวกับเครื่องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้าในระดับอุตสาหกรรม

2) สรุปผลของค่าความชื้นของข้าวเปลือกหลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแบบลมร้อน

ค่าความชื้นของข้าวเปลือกหลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยการทดสอบอบแห้งข้าวเปลือกมีปัจจัยในการทดสอบคือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นเริ่มต้นข้าวเปลือก 3 ระดับ 16.52 22.64 และ 26.33 (% wb.) ใช้เวลาอบแห้ง 120 นาทีโดยได้สุ่มตัวอย่างทุก 30 นาที เพื่อนำมาวัดค่าความชื้นหลังจากผ่านการอบแห้ง ผลการทดสอบพบว่าความชื้นลดลงตามระยะเวลาในการอบแห้ง ทั้ง 3 ระดับความชื้น

3) สรุปผลคุณภาพการสีข้าวเปลือกหลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

คุณภาพการสีข้าวเปลือกหลังจากผ่านการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน พบว่าการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ระยะเวลาอบแห้งที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดที่ลดลงและมีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดที่น้อยกว่าข้าวอ้างอิงเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดน้อยกว่าข้าวอ้างอิงแต่เมื่อผ่านระยะเวลาการเก็บรักษา 2 เดือนและ 3 เดือน มีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดที่ใกล้เคียงกันกับข้าวอ้างอิง ค่าความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกที่สูงเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนมีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดที่น้อยกว่าค่าความชื้นเริ่มต้นที่ต่ำ

5.2 การทดสอบและเปรียบเทียบการทำงานของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบLSUกับเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน

1) สรุปผลการการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนพบว่าเมื่อข้าวผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดจะมีการลดความชื้นได้เร็วกว่าเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน เมื่อผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนมีการลดความชื้นลดลง ตามระยะเวลาอบแห้งเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นอัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น

2) สรุปผลการเปรียบเทียบค่าความชื้นของขบวนการผลิตข้างฮางที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุนกับกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า

ขบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า ความชื้นลดลงตามระยะเวลาอบแห้งและเห็นได้ชัดว่าความชื้นลดลงเร็วกว่าขบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุน เมื่อทดสอบในช่วงฤดูฝนโดยมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอยู่ในช่วง 75 – 80 %

3) สรุปผลเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหักของขบวนการผลิตข้างฮางแบบเดิมกับกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งแบบถึงทรงกระบอกหมุนด้วยระบบรังสีอินฟราเรดร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

ข้าวฮางอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนมีเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหักที่น้อยกว่าข้าวอ้างอิงและเปอร์เซ็นต์ข้าวแตกหักเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้น

4) สรุปผลการทดสอบและเปรียบเทียบการทำงานของกระบวนการผลิตโดยใช้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบLSUกับเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุน

ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาของขบวนการผลิตข้างฮางแบบเดิมกับกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้า พบว่าสามารถลดระยะเวลาการผลิตข้าวฮางจาก 4-5 วันเหลือเพียง 2-3 วันในการผลิตในช่วงฤดูฝน

5.3 สรุปผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะในการอบแห้งข้าวฮางอก พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีส่งผลต่อการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะเพิ่มขึ้น

5.4 สรุปผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม

จากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งจุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถ้งหมุนเมื่อนำมารับจ้างอบแห้งกิโลกรัมละ 2 บาท ทำให้มีจุดคุ้มทุนของการดำเนินการอยู่ที่อัตราอบแห้ง 57411.2 กิโลกรัมต่อปีการคำนวณระยะเวลาคืนทุน 2.56 ปี จุดคุ้มทุนของกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องอบแห้งแห้งอินฟราเรดแบบถ้งหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้าเมื่อนำมารับจ้างอบแห้งกิโลกรัมละ 2 บาท ทำให้มีจุดคุ้มทุนของการดำเนินการอยู่ที่อัตราอบแห้ง 51457.5 กิโลกรัมต่อปีคืนทุนในระยะเวลา 2.27 ปี

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากชุดกำเนิดความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนเป็นฮีทเตอร์ไฟฟ้าจึงทำให้มีต้นทุนในด้านพลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูง โดยสามารถลดต้นทุนด้านพลังงานโดยการออกแบบชุดกำเนิดความร้อนเป็นระบบอื่นอย่างเช่น LPG

เครื่องอบแห้งประเภทนี้มีแนวโน้มสามารถอบแห้งข้าวฮางอกจนถึงความชื้นที่สามารถกระเทาะหรือเก็บรักษาได้แต่ต้องใช้ระยะเวลาอบแห้งมากกว่า 6 – 12 ชั่วโมงในช่วงการผลิตข้าวฮางอกฤดูฝน

ในการออกแบบด้านขอบของถ้งอบแห้งของเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบไหลคลุกเคล้ายังมีระยะห่างของท่อลมเข้าและออกมาก ควรเสริมท่อลมที่ขอบของถ้งอบแห้งเพื่อให้ข้าวเปลือกเกิดการคลุกเคล้าเพิ่มขึ้น

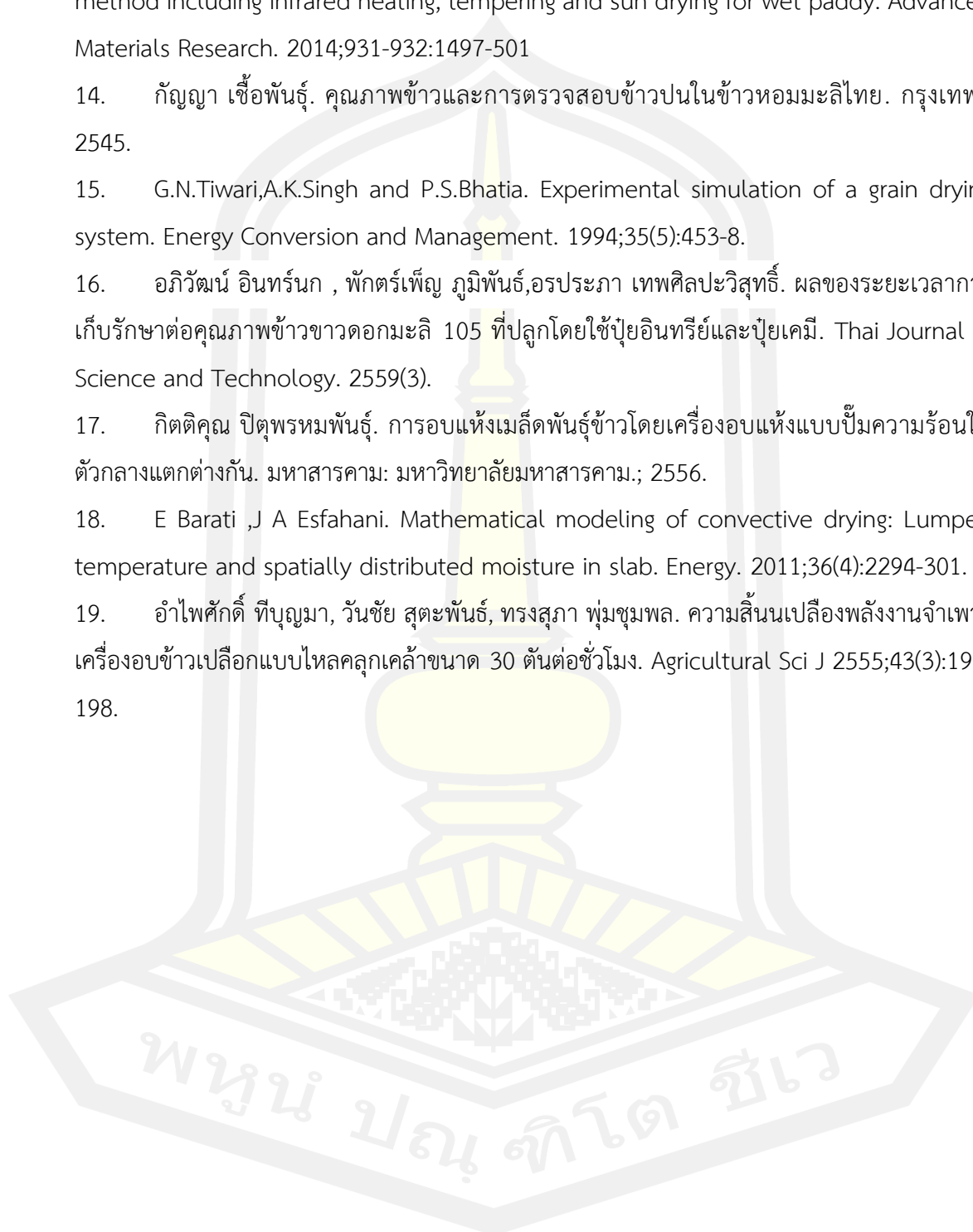
บรรณานุกรม

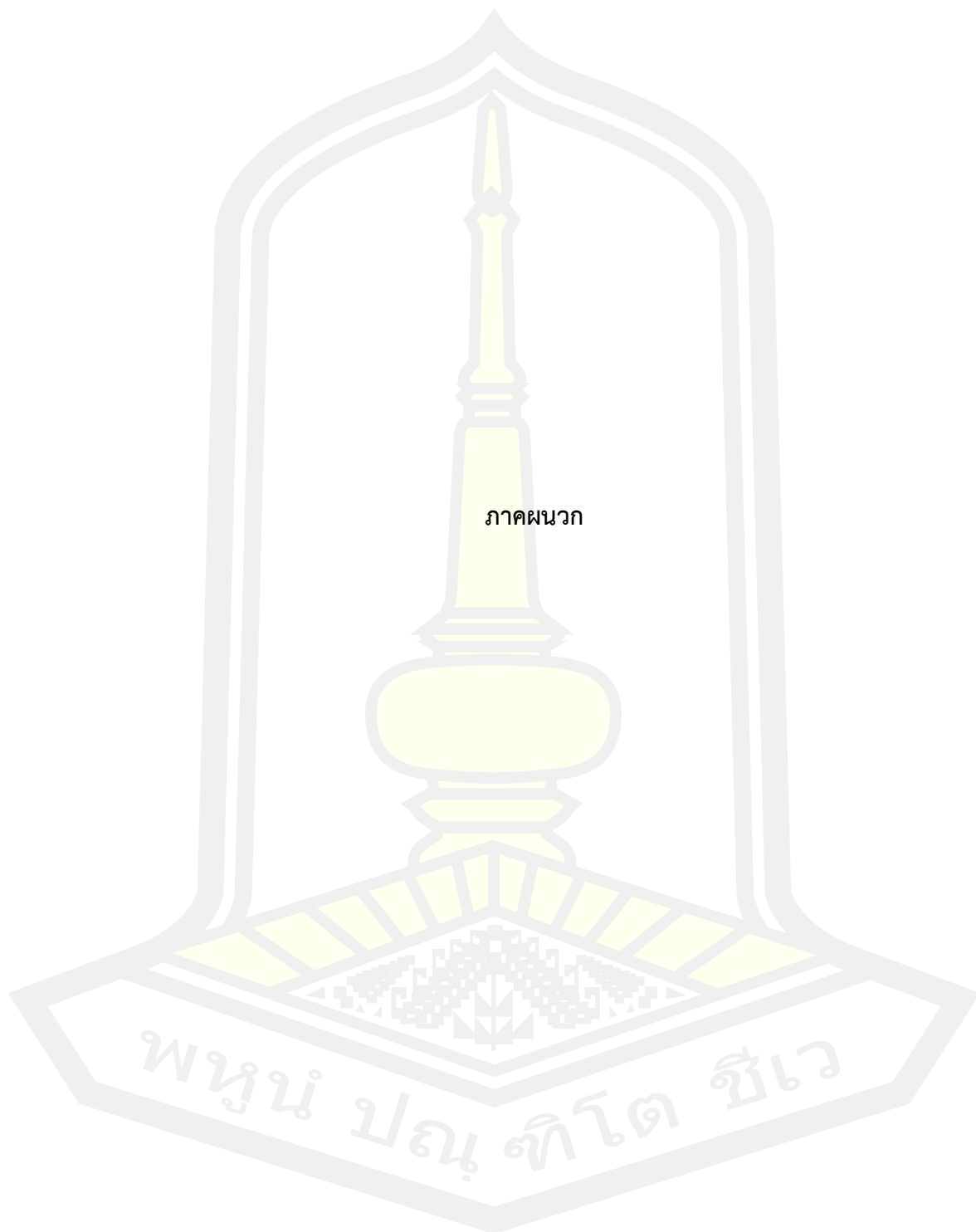


บรรณานุกรม

1. Laohavanich, J, Yangyuen S, Thowjantuek N. An investigation of radiant heat distribution on drying area in the chamber of infrared rotary dryer. *Advanced Materials Research*. 2014;1044-1045:232-235.
2. Wijanjak S, Yangyuen S, and Laohavanich J. Feasibility Study of Rotary Dryer Using Infrared Ray Combined Exhausted Hot Air In Process of Producing Germinated Brown Rice. *Agricultural Sci J*. 2017;48(3 (Suppl.)):51-54.
3. Jafari, A. Zare, D. Ultrasound-Assisted Fluidized Bed Drying of Paddy. *Energy Consumption and Rice Quality Aspects. Dry Technol*. 2017;35(893–902).
4. Shekhar F.Lilhare and N.G.Bawane. Drying rate analysis of different size paddy processed under various drying conditions in L.S.U dryer. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2012;1(7):1-4.
5. Laohavanich J, Wongpichet, S. Thin layer drying model for gas-fired infrared drying of paddy. *Songklanakarin J Sci Technol*. 2007;30(3):343-348.
6. เนตรนภิส เขียวขำ, จักรมาส เลหาวิช, ละมุล วิเศษ. การพัฒนาโรงงานต้นแบบอบแห้งข้าวเปลือกด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับการเทมเปอร์ริงและลมร้อนสำหรับโรงสีข้าวขนาดเล็กและผลกระทบต่อคุณภาพของข้าวและการจัดการศัตรูพืชหลังการเก็บเกี่ยว 2556.
7. สมชาติ โสภรณ์ฤทธิ. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. กรุงเทพฯ 2540.
8. ASAE. (1996). Moisture measurement grains and seed, method s352.2. Standard 96. United States: American Society of Agricultural
9. ทิวานันท์ แก้วสอนดี. การพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกด้วยรังสีอินฟราเรดและความร้อนจากแก๊สปล่อยทิ้ง. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2558.
10. Vipatnaporn Ch, Yangyuen S , Laohavanich J. NIR Enhancement of a LSU Dryer for Maize. *J Sci Technol MSU*. 2016;35(6):626-9.
11. Prakhethanang, D Chiawchanwattana, C, Laohavanich, J, Khaengkhan, P, Yangyuen, S. The Influence of Infrared Radiation, Hot Air and the Tempering on Khao Dawk Mali 1 0 5 Rice Seedling Germination and Seedling Growth. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal* 2020;26(1):52-61.
12. Preetong S. Study of factors affecting paddy drying process using the design of experiment: Burapha University; 2016.

13. Duangkhamchan W, Laohavanich J .Feasibility of using a multistage drying method including infrared heating, tempering and sun drying for wet paddy. *Advanced Materials Research*. 2014;931-932:1497-501
14. กัญญา เชื้อพันธ์. คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย. กรุงเทพฯ 2545.
15. G.N.Tiwari,A.K.Singh and P.S.Bhatia. Experimental simulation of a grain drying system. *Energy Conversion and Management*. 1994;35(5):453-8.
16. อภิวัฒน์ อินทรนภ , พัทธ์เพ็ญ ภูมิพันธ์,อรประภา เทพศิลาประวิสุทธิ. ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี. *Thai Journal of Science and Technology*. 2559(3).
17. กิตติคุณ ปิตุพรหมพันธ์. การอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวโดยเครื่องอบแห้งแบบป้อนความร้อนในตู้กลางแตกต่างกัน. *มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.*; 2556.
18. E Barati ,J A Esfahani. Mathematical modeling of convective drying: Lumped temperature and spatially distributed moisture in slab. *Energy*. 2011;36(4):2294-301.
19. อำไพศักดิ์ ทิบุญมา, วันชัย สุตะพันธ์, ทรงสุภา พุ่มชุมพล. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเครื่องอบข้าวเปลือกแบบไหลคูลูกเคล้าขนาด 30 ตันต่อชั่วโมง. *Agricultural Sci J* 2555;43(3):195-198.





ภาคผนวก

พหุมนุ ปณฺ ทิโต ชีเว

ภาคผนวก ก
 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวกล้องงอกและการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบไหล
 คลุกเคล้า

ตารางภาคผนวก ก-1 ขนาดและรูปร่าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยทางเรขาคณิต และดัชนีความ
 กลมของข้าวกล้องงอก ชั้นที่ 1

จำนวนเมล็ดข้าว	ความกว้าง (ม.ม.)	ความยาว (ม.ม.)	ความหนา (ม.ม.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เฉลี่ยทางเรขาคณิต (ม.ม.)	ดัชนีความ กลม
1	2.62	10.30	2.26	3.94	0.38

2	3.10	10.90	2.52	4.40	0.40
3	2.60	11.18	2.20	4.00	0.36
4	2.90	10.14	2.16	3.99	0.39
5	3.10	10.42	2.40	4.26	0.41
6	2.86	10.38	2.30	4.09	0.39
7	2.92	10.50	2.30	4.13	0.39
8	2.90	9.80	2.32	4.04	0.41
9	2.88	11.00	2.36	4.21	0.38
10	2.90	10.00	2.20	4.00	0.40
11	2.82	10.26	2.34	4.08	0.40
12	2.58	11.36	2.40	4.13	0.36
13	2.90	9.94	2.46	4.14	0.42
14	2.72	10.18	2.40	4.05	0.40
15	2.50	10.94	2.00	3.80	0.35
16	3.00	10.90	2.46	4.32	0.40
17	2.82	10.50	2.46	4.18	0.40
18	3.12	11.10	2.34	4.33	0.39
19	2.40	10.54	2.22	3.83	0.36
20	2.84	10.60	2.30	4.11	0.39
ค่าเฉลี่ย	2.82	10.55	2.32	4.10	0.39
ค่าสูงสุด	3.12	11.36	2.52	4.40	0.42
ค่าต่ำสุด	2.40	9.80	2.00	3.80	0.35
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.20	0.44	0.12	0.16	0.02

ตารางภาคผนวก ก-2 ขนาดและรูปร่าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยทางเรขาคณิต และดัชนีความกลม ของข้าวกล้องงอก ชั้นที่ 2

จำนวนเมล็ด ข้าว	ความกว้าง (ม.ม.)	ความยาว (ม.ม.)	ความหนา (ม.ม.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เฉลี่ยทางเรขาคณิต (ม.ม.)	ดัชนีความกลม
1	2.60	10.32	2.18	3.88	0.38
2	2.70	10.30	2.36	4.03	0.39

3	2.84	10.50	2.32	4.11	0.39
4	3.10	10.08	2.30	4.16	0.41
5	2.86	10.30	2.54	4.21	0.41
6	2.76	10.62	2.16	3.99	0.38
7	3.10	10.10	2.30	4.16	0.41
8	2.74	10.78	2.28	4.07	0.38
9	2.80	11.40	2.30	4.19	0.37
10	3.00	10.20	2.44	4.21	0.41
11	2.76	10.12	2.20	3.95	0.39
12	2.80	10.32	2.32	4.06	0.39
13	3.30	10.80	2.52	4.48	0.41
14	2.60	10.50	2.34	4.00	0.38
15	2.76	10.70	2.32	4.09	0.38
16	2.86	10.80	2.48	4.25	0.39
17	2.88	10.92	2.30	4.17	0.38
18	2.54	9.74	2.22	3.80	0.39
19	3.84	10.52	2.30	4.53	0.43
20	3.00	10.10	2.30	4.12	0.41
ค่าเฉลี่ย	2.89	10.46	2.32	4.12	0.93
ค่าสูงสุด	3.84	11.40	2.54	4.53	0.43
ค่าต่ำสุด	2.54	9.74	2.16	3.80	0.17
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.29	0.38	1.10	0.17	0.02

ตารางภาคผนวก ก-3 ขนาดและรูปร่าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยทางเรขาคณิต และดัชนีความกลมของข้าว
กล้องงอก ข้าที่ 3

จำนวนเมล็ด ข้าว	ความกว้าง (ม.ม.)	ความยาว (ม.ม.)	ความหนา (ม.ม.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เฉลี่ยทางเรขาคณิต (ม.ม.)	ดัชนีความ กลม
1	3.00	9.46	2.30	4.03	0.43
2	2.90	10.40	2.30	4.11	0.40

3	2.80	10.20	2.18	3.96	0.39
4	3.10	10.68	2.46	4.33	0.41
5	2.62	10.10	2.30	3.93	0.39
6	2.94	11.18	2.52	4.36	0.39
7	2.80	10.10	2.34	4.04	0.40
8	2.44	9.82	2.00	3.63	0.37
9	2.90	10.78	2.32	4.17	0.39
10	3.00	10.10	2.42	4.19	0.41
11	2.70	10.20	2.38	4.03	0.40
12	3.12	10.00	2.40	4.21	0.42
13	2.90	10.70	2.22	4.10	0.38
14	3.02	10.42	2.50	4.28	0.41
15	3.00	10.10	2.38	4.16	0.41
16	2.80	10.14	2.30	4.03	0.40
17	3.00	10.92	2.52	4.35	0.40
18	3.00	10.38	2.40	4.21	0.41
19	2.92	9.88	2.26	4.02	0.41
20	3.00	10.10	2.40	4.17	0.41
ค่าเฉลี่ย	2.90	10.28	2.35	4.12	0.40
ค่าสูงสุด	3.12	11.18	2.52	4.36	0.43
ค่าต่ำสุด	2.44	9.46	2.00	3.63	0.37
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.17	0.41	0.12	0.17	0.01

ตารางภาคผนวก ก-4 ความหนาแน่นของข้าวกล้องงอก ที่ความชื้น 35 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

ซ้ำที่	น้ำหนักข้าว (กรัม)	ปริมาตรภาชนะ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
1	261.17	500	522.34
2	268.29	500	536.58

3	273.76	500	547.52
4	270.08	500	540.16
5	258.14	500	516.28
6	270.40	500	540.8
7	266.85	500	533.7
8	259.73	500	519.46
9	268.66	500	537.32
10	262.54	500	525.08
ค่าเฉลี่ย			531.92
ค่ามากที่สุด			547.52
ค่าน้อยสุด			516.28
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			10.44

ตารางภาคผนวก ก-5 น้ำหนักต่อ 1000 เมล็ดของข้าวกล้องงอก ที่ความชื้น 35 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

ซ้ำที่	น้ำหนัก (กรัม)
1	39.18
2	39.25
3	38.93
ค่าเฉลี่ย	39.12
ค่าสูงสุด	39.25
ค่าต่ำสุด	38.93
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.17

จากขนาดของถังอบแห้งในขั้นตอน 3.1 จึงทำการออกแบบชุดกำเนิดลมร้อนเพื่อใช้ในการทดสอบโดยกำหนดเงื่อนไขการออกแบบเบื้องต้นเพื่อสร้างโรงงานดังนี้

คำนวณปริมาณลมร้อนที่ต้องการใช้ในการอบแห้ง = 0.12 ตัน x 30 ลูกบาศก์เมตร/นาที่-
ลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก / 0.534 ตัน/ลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก = 5.62 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที่

- อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ย = 27 องศาเซลเซียส

- ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมเฉลี่ย = 80 %

- ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ $C_p = 1.013$ กิโลจูลต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

จาก Psychrometric Chart จะได้ปริมาตรจำเพาะของอากาศ = 0.89 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

$$q = mc_p \Delta T \quad (.1)$$

เมื่อให้ q = ปริมาณความร้อน (กิโลจูลต่อนาที)

M = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (กิโลกรัมอากาศแห้งต่อนาที)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิลมร้อนและอากาศแวดล้อม (องศาเซลเซียส) จะได้ปริมาณความร้อนที่ต้องการในการอบแห้งดังนี้ปริมาณความร้อน

5.62 ลูกบาศก์เมตร/นาที $\times 1.013 \times (60 - 27)$ องศาเซลเซียส/กิโลกรัมอากาศแห้ง-องศาเซลเซียส

0.89 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

= 275 กิโลจูล/นาที (4.587 กิโลวัตต์)

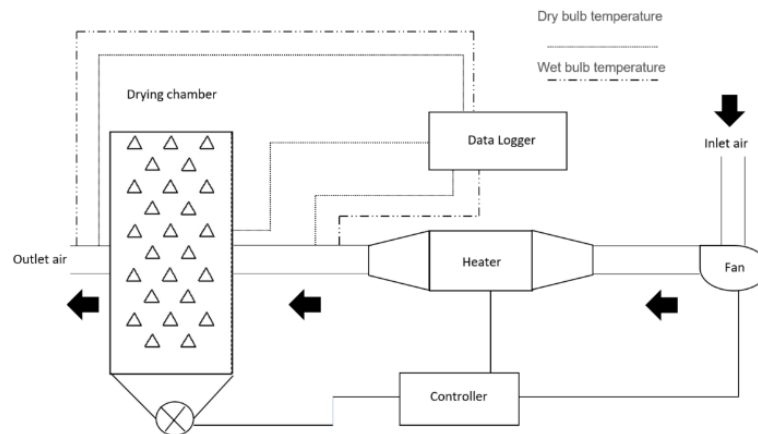
ประสิทธิภาพของฮีตเตอร์ 80 % ลมร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มีการสูญเสียความร้อน 20 %

ดังนั้นขนาดของฮีตเตอร์ 80 %

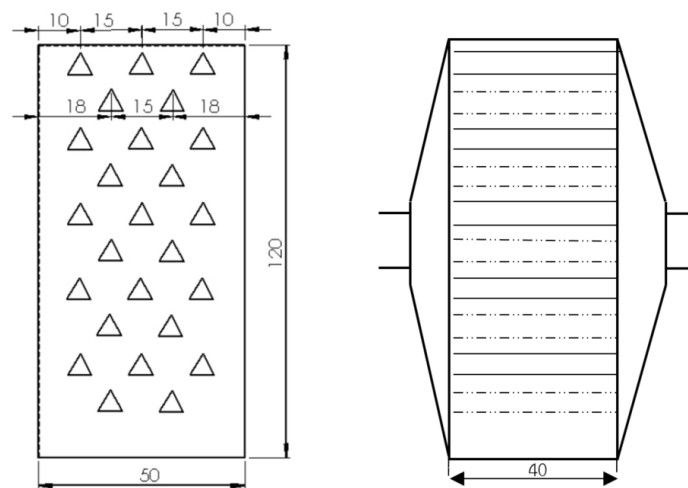
$$= 4.587 / 0.8$$

$$= 5.733 \text{ กิโลวัตต์}$$

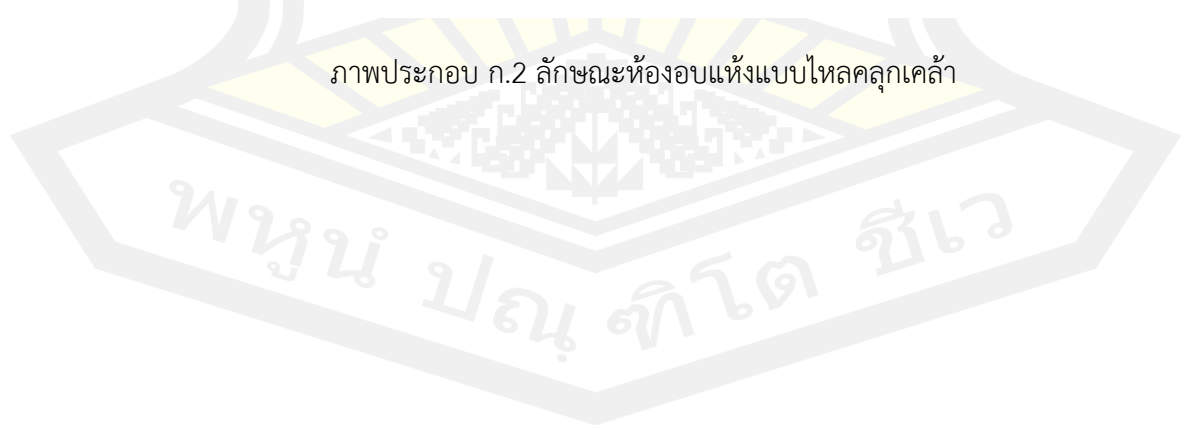
พหุ ประสิทธิภาพ

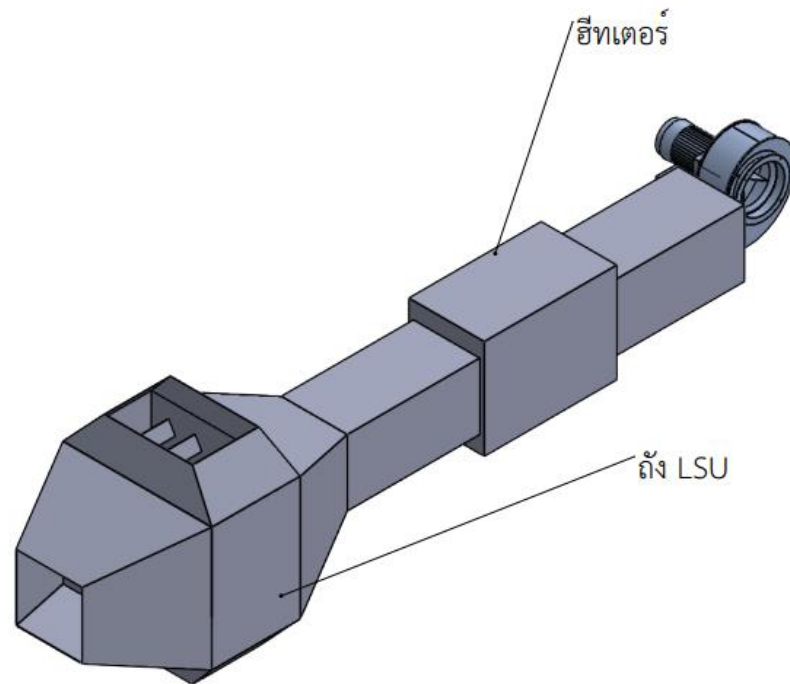


ภาพประกอบ ก.1 แผนภาพเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน LSU



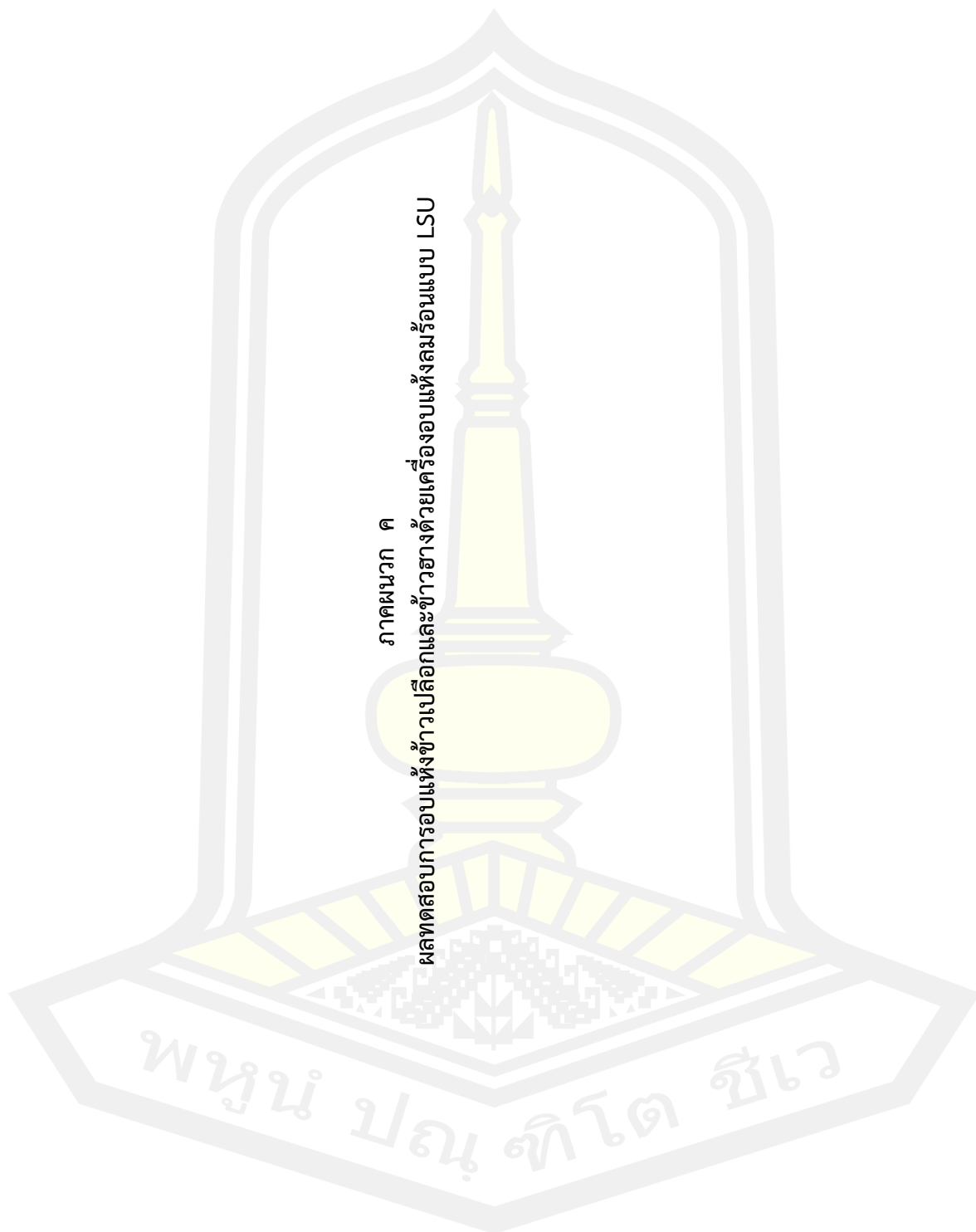
ภาพประกอบ ก.2 ลักษณะห้องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า





ภาพประกอบ ก.3 การออกแบบห้องอบแห้งแบบไหลคลุกเคล้า





ภาคผนวก ค

ผลทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกและข้าวธำมรงค์อบแห้งพร้อมแบบ LSU

พหุบัน ปณฺทิตโต ชีเว

ตารางภาคผนวก ข-1 ค่าความชื้นของข้าวเปลือกหลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบ LSU ที่ความชื้นข้าวเริ่มต้น 22.64 %

เวลาในการ อบแห้ง	ซ้ำที่	ความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	ความชื้นหลังอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)
ก่อนอบ	1	22.64	21.74	22.51	21.69
	2	22.44	21.67		
	3	22.47	21.66		
30	1	21.74	21.24	21.69	21.18
	2	21.67	21.14		
	3	21.66	21.16		
60	1	21.24	20.64	21.18	20.72
	2	21.14	20.7		
	3	21.16	20.82		

ตารางภาคผนวก(ต่อ) ข-1 ค่าความชื้นของข้าวเปลือกหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบ LSU ที่ความชื้นข้าวเริ่มต้น22.64 %

ความเร็วรอบ ของถังหมุน (รอบต่อนาที)	ชั่วโมง	ความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	ความชื้นหลังอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)
90	1	20.64	20.23	20.72	20.12
	2	20.7	20.23		
	3	20.82	19.9		
120	1	20.23		20.12	
	2	20.23			
	3	19.9			

ตารางภาคผนวก ข-2 ค่าความชื้นของข้าวเปลือกหลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบ LSU ที่ความชื้นข้าวเริ่มต้น 26.33 %

เวลาในการ อบแห้ง	ซ้ำที่	ความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	ความชื้นหลังอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)
ก่อนอบ	1	26.33	25.45	26.30	25.55
	2	26.51	25.64		
	3	26.07	25.55		
30	1	25.45	25.14	25.55	25.16
	2	25.64	25.12		
	3	25.55	25.22		
60	1	25.14	24.69	25.16	24.65
	2	25.12	24.71		
	3	25.22	24.57		

ตารางภาคผนวก(ต่อ) ข-2 ค่าความชื้นของข้าวเปลือกหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบ LSU ที่ความชื้นข้าวเริ่มต้น 26.33 %

ความเร็วรอบ ของกังหัน (รอบต่อนาที)	ซ้ำที่	ความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	ความชื้นหลังอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)
90	1	24.69	24.15	24.65	24.21
	2	24.71	24.22		
	3	24.57	24.25		
120	1	30.34		24.21	
	2	29.96			
	3	30.21			

ตารางภาคผนวก ข-3 ค่าความชื้นของข้าวเปลือกหลังจากผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบ LSU ที่ความชื้นข้าวเริ่มต้น 16.52 %

เวลาในการ อบแห้ง	ซ้ำที่	ความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	ความชื้นหลังอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)
ก่อนอบ	1	16.55	14.88	16.52	14.84
	2	16.66	14.82		
	3	16.35	14.83		
30	1	14.88	14.54	14.84	14.52
	2	14.82	14.47		
	3	14.83	14.55		
60	1	14.54	14.17	14.52	14.10
	2	14.47	14.04		
	3	14.55	14.10		

ตารางภาคผนวก (ต่อ) ข-3 ค่าความชื้นของข้าวเปลือกหลังจาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบ LSU ที่ความชื้นข้าวเริ่มต้น 16.52 %

ความเร็วรอบ ของถังหมุน (รอบต่อนาที)	ซ้ำที่	ความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	ความชื้นหลังอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	เฉลี่ยความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)	เฉลี่ยความชื้นหลังอบแห้ง (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)
90	1	14.17	13.73		
	2	14.04	13.79	14.10	13.75
	3	14.10	13.72		
120	1	13.73			
	2	13.79		13.75	
	3	13.72			

ตารางภาคผนวก ข-4 ค่าความชื้นของข้าวฮางอกเมื่ออบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุนร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบ LSU ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

กระบวนการอบแห้ง	อุณหภูมิลมร้อน 50 องศาเซลเซียส (%)	อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส (%)	อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส (%)
หลังนี้	41.10	39.14	35.34
rotary1	37.16	35.28	31.06
rotary2	33.47	32.57	27.93
30 min	31.90	31.66	26.39
60min	31.44	30.46	25.56
90min	31.23	30.05	25.16
120min	30.87	29.23	24.63

ตารางภาคผนวก ข-5 คุณภาพข้าวข้างนอกเมื่ออบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถึงพุ่มร่วมกับเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบ LSU ที่การเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน

อุณหภูมิอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ข้อที่	ข้าวฮางเต็มเมล็ด (%)	ข้าวฮางเมล็ดแตก (%)
REF	1	68.93	4.14
	2	71.60	4.67
	3	70.23	4.44
50	1	75.76	1.31
	2	75.54	1.22
	3	75.98	1.39
60	1	73.93	2.17
	2	74.08	2.13
	3	74.23	2.05
70	1	72.68	2.82
	2	73.52	2.89
	3	73.11	2.92

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายสิทธิพล ศรีวิเศษ
วันเกิด	28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2539
สถานที่เกิด	อุดรธานี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	143 ม.11 ต. ลำภู อ.เมือง จ.หนองบัวลำภู 39000
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	นิสิต
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2553 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนหนองบัวพิทยาคาร ตำบลหนองบัว อำเภอเมือง จังหวัดหนองบัวลำภู พ.ศ. 2556 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนหนองบัวพิทยาคาร ตำบลหนองบัว อำเภอเมือง จังหวัดหนองบัวลำภู พ.ศ. 2560 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย มหาสารคาม พ.ศ.2562 กำลังศึกษา ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พหุบัณฑิต ชีวะ