อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดแบบถังหมุน

Rotary Dryer and Roaster for Fresh Chili

ศิรินุช จินดารักษ์

กลยุทธ์ ทะกอง

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 31 ส.ค. 2558
เลขทะเบียน 1682414
เลขเรียกหนังสือ

อ TP 363 ศ461ร 2557

งบระมาณรายได้มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปี 2556

กันยายน 2557

ชื่อโครงการ เครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดแบบถังหมุน
ชื่อผู้วิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิรินุช จินดารักษ์ หัวหน้าโครงการวิจัย
นาย กลยุทธ ทะกอง ผู้ช่วยวิจัย
หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ถ.พิษณุโลก-นครสวรรค์ อ. เมือง จ. พิษณุโลก 65000
โทร 055 963104 , โทรสาร 055 963501
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยสาขา วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย
งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดแบบถังหมุน ที่ใช้พลังงานความร้อนจากแก๊ส LPG ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริกสดในเครื่องเดียวกัน โดยให้ความร้อนจากแก๊ส LPG ถ่ายเทผ่านแผ่นโลหะเข้าสู่ภายในถังทรงกระบอกขนาด 60 cm x 150 cm ความร้อนจะใช้ในการลดความชื้นจากพริกชี้ฟ้าสด จากนั้น ทำการทดสอบความเร็วรอบที่เหมาะสมของในการหมุนของเครื่องอบและคั่วพริกที่ 3 rpm 5 rpm และ 7 rpm ที่อุณหภูมิเท่ากันคือ 105 เซลเซียส พริกที่ใช้ทดสอบเป็นพริกสด 13 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 78 %wb จนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 13 %wb ทำการเปรียบเทียบคุณภาพพริกคั่วที่ได้จากการทดลองปรากฏว่าที่ความเร็วรอบ 5 rpm พริกมีคุณภาพดีที่สุดทั้ง สีแดงสด และการแตกหักเนื่องจากแรงเหวี่ยง และการตกทับกันของพริกน้อยที่สุด เพราะฉนั้นที่ความเร็วรอบ 5 rpm จึงเป็นความเร็วรอบที่ใช้ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

จากนั้นศึกษาถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมของการอบแห้งและคั่วพริกสดของเครื่องอบห้งนี้ ทำการทดสอบที่พริกสดน้ำหนักเริ่มต้น 13 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาในการอบแห้งและคั่วพริกไม่เกิน 14 ชั่วโมง ความเร็วรอบที่ใช้ทดสอบ 5 rpm เท่ากัน โดยพริกสดความชื้นเริ่มต้นประมาณ 78 %wb ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 60 70 80 90 100 และ110 องศาเซลเซียส โดยกำหนดให้ความชื้นสุดท้ายของพริกคั่วต้องไม่เกิน 13 %wb แล้วเปรียบเทียบคุณภาพพริกที่ได้ ความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง และวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสด จากผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ได้พริกคั่วมีคุณภาพดีที่สุดนั้นคือพริกมีสีแดงสด ตรงกับพริกที่ขายกันตามท้องตลาดและตรงกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย พลังงานที่ใช้ไป 261,144.00 kJ และประสิทธิภาพของเครื่อง 8.48 % ถึงแม้จะไม่ใช่พลังงานที่น้อยที่สุดจากการทดลอง และไม่ใช่ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดจากการทดลอง เปรียบเทียบทั้ง 6 ระดับอุณภูมิ แต่เมื่อพิจารณาที่คุณภาพพริกจะตรงกับความต้องการมากที่สุด เมื่อวิเคราะห์ทางการเงินของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดที่ใช้

พลังงานความร้อนจากแก๊ส LPG ค่าใช้จ่ายรายปี 116,112.66 บาท โดยที่ต้นทุนที่ใช้ในการระเหยของน้ำออกจากพริก 1 กิโลกรัมออกไป มีค่า 38.36 บาท เมื่อกำหมดอายุการใช้งานของเครื่อง 10 ปี

คำสำคัญ

เครื่องอบและคั่วพริก, แก๊สปิโตรเลี่ยมเหลว (LPG), พริกจินดา, ประสิทธิภาพของเครื่อง, จุดคุ้มทุน

Title	Rotary Dryer and Roaster for Fresh Chili
Researcher	Asst. Prof. Dr. Sirinuch Chindaruksa
Resaerch Assistant	Mr. Konlayut tagong
Affiliations	Department of Physics, Faculty of Science
	Naresuan University, Phitsanulok, 65000
	Telephone: 055 96 3104 Fax: 055 96 3501
Funed Field Resaerch	Engineering Resaerch and Industry
Annaul Budget	2012

Abstract

The objective of this is research to design rotary dryers and roaster for fresh chili by using heat energy from LPG used in drying and roaster fresh chili.The heat energy from LPG transferred through thin into cylindrical tank 60 cm width x 150 cm length. The heat energy will cause the moisture out of chili and test conditions appropriate drying and rotor speed. The speed of rotation drying is 3 rpm, 5 rpm, 7 rpm that equal temperature. The weight of fresh chili is about 13 kg, the initial moisture content is about 78 %wb and final moisture content is about 13 %wb and compare the quality of chili. The speed of rotation 5 rpm make best quality chili such as red color and deduct as centrifugal force and the smallest fall. The speed of rotation 5 rpm is appropriate speed for drying

Next step is considering on the suitable temperature for drying process. This is technical education of the dryer due to drying and roasting fresh chili tested at 13 kg and drying time is about 14 hour. The rotation speed of 5 rpm as well. The chili have initial moisture content about 78 %wb and final moisture content 13%wb.The temperature tested 60, 70, 80, 90, 100 and 110 $^{\circ}$C. Investigate of quality of dried chili, energy consumption and compare the efficiency of dryers and roasted chili. The results shown that, the suitable temperature is 80 $^{\circ}$C. The color of chili is red and match chili sold in the maket and prospect. Drying energy consumption is about 261.144 MJ and efficiency 8.84 %. The economic analysis is in the unit of dry chili. Annual cost of this process is about 116,112.66 baht. The production cost is 112.78 baht/dry chili. Determine the life time is of 10 years

Keywords:

drying and roaster of fresh chili / liquid petroleum gas (LPG) / jinda type / efficiancy / economic analysis

กิติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย และให้เงินทุนสนับสนุนการวิจัย และพัฒนา ประเภทประยุกต์ กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย ในครั้งนี้จากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2556 ซึ่งเป็นทุนที่สนับสนุนงานวิจัยอย่างจริงจังและต่อเนื่องมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และเครื่องมือ ในการสร้างและตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง ผู้ทำวิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงขอขอบพระคุณไว้เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาศนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช จินดารักษ์

หัวหน้าโครงการวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
รายการตาราง	ช
รายการภาพประกอบ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 สมมิตฐานงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 พริก	4
2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง	14
2.3 หลักการอบแห้งเมล็กพืช	21
2.4 เครื่องอบแห้งเมล็ดพืช	29
2.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง	38
2.6 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	39
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	47
3.1 การออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องอบและคั่วพริกแบบถังหมุน	47
3.2 วัสดุ-อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิจัย	56
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	62
4.1 รายละเอียดและหลักการของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกแบบถังหมุน	62
4.2 การทดสอบความเร็วรอบของการหมุนของเครื่อง	63
4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริก	65
4.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่อง	67
4.5 การวิเคราะห์หลักการทางเศรษฐศาสตร์	71
บทที่ 5 สรุปและข้อเนอแนะ	75
5.1 ลักษณะของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดและหลักการทำงาน	75
5.2 ผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบแห้งและคั่วพริกจินดา	75
5.3 ต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริกสด	76
5.4 ข้อเสนอแนะ	77
บรรณานุกรม	78
ภาคผนวก ก. ร่างบทความเผยแพร่	83

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	การจัดเรียงความเผ็ดของพริกพันธุ์ต่างๆทั่วโลก	10
2.2	ปริมาณสารแคปไซซินอยด์และระดับความเผ็ดของพริกสายพันธุ์ต่างๆ ที่มีในจังหวัดอุบลราชธานี และจังหวัดศรีษะเกษ	10
2.3	The nutrition of chillies	12
2.4	Types of chilli in Thailand	13
2.5	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกแห้ง	14
2.6	ระดับความชื้นที่ปลอดภัยสูงสุดสำหรับอาหารอบแห้งบางชนิด	28
2.7	ข้อดีและข้อเสียของ Co current flow, counter flow และ Cross flow dry	33
4.1	วิเคราะห์ความเร็วรอบของการหมุนถังที่เหมาะสมของของเครื่อง	64
4.2	การเปลี่ยนแปลงความชื้นเฉลี่ยระหว่างการอบแห้งและคั่วพริกที่อุณหภูมิต่าง ๆ	65
4.3	อัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ	69
4.4	ประสิทธิภาพในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกที่อุณหภูมิต่าง ๆ	92

รายการภาพประกอบ

ภาพ		หน้า
2.1	เครื่องหมายของงานและความร้อน	16
2.2	(ก) การแพร่ของมวลระหว่างของไหลไปยังผิว	18
2.2	(ข) การแพร่ของมวลระหว่างผิวของแข็งไปยังของไหล	18
2.3	การอบแห้งวัสดุจากสิ่งมีชีวิตในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงและคงที่	23
2.4	ทิศทางการไหลของลมร้อนกับผลิตภัณฑ์ แบบไหลตาม	30
2.5	ทิศทางการไหลของลมร้อนกับผลิตภัณฑ์แบบไหลสวนทาง	31
2.6	ทิศทางการไหลของลมร้อนกับผลิตภัณฑ์แบบไหลขวาง	31
3.1	เครื่องคั่วพริกที่ออกแบบเสร็จ	50
3.2	การออกแบบระบบควบคุมกมรทำงานของเครื่อง	51
3.3	การออกแบบแผงวงจรควบคุมแก๊สและทางเดินของแก๊สไปยังเครื่องอบแห้ง	51
3.4	ชุดท่อ PVC ที่ออกจากถังแก๊สเข้าเครื่องอบ	52
3.5	ตำแหน่งการวางชุดท่อแก๊สใต้ถังอบ และตำแหน่งหัวล่อ	52
3.6	ลักษณะภายในถังอบ	53
3.7	ชุดพู่เลย์ที่ต่อเข้ากับมอเตอร์และที่วัดอุณหภูมิในถังอบ	53
3.8	ลักษณะการวางพริกสดในถัง	54
3.9	จุดไฟที่หัวล่อแก๊ส และท่อส่งแก๊สใต้ถังอบ	54
3.10	ปรับความดันแก๊สในถัง และในท่อส่งแก๊ส	55
3.11	ระบบปรับความเร็วรอบขอถังหมุน และ อุณหภูมิจากตู้ควบคุม	55
3.12	เครื่องอบแห้งพริก และคั่วพริกแบบถังหมุนที่พร้อมใช้งาน	56
3.13	พริกสดหลังการคัดแยก	57
3.14	พริกลวกในน้ำเดือด	57
3.15	พริกหลังการคัดแยก	58
3.16	พริกลวกกลุ่มตัวอย่าง	58
4.1	ระบบควบคุมและตัวเครื่องอบแห้งและคั่วพริก	62
4.2	แหล่งเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเครื่องอบแห้งและคั่วพริก	62
4.3	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความชื้นเฉลี่ยระห่างการอบแห้งและคั่วพริกที่อุณหภูมิต่าง ๆ	67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่ มีอาชีพเกษตรกรรม พืชที่ปลูกจะเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เช่นพืชจำนวนพวก ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง ถั่วอ้อย พริก ฯลฯ ผลผลิตที่ได้จากการปลูกพืชในแต่ละฤดูกาลนั้นจะได้ปริมาณมาก จนบางครั้งเกิดปัญหาให้กับเกษตรกร และผลผลิตที่ได้จะต้องจำหน่ายโดยเร็ว เพราะพริกสดจะทำให้เกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย และมีอายุในการเก็บรักษาสั้น เพื่อลดการสูญเสียลักษณะเฉพาะของผลผลิตไป ซึ่งอาจเกิดจากการเน่าเสียจากความชื้นหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ผลผลิตไม่เหมาะที่จะนำไปเก็บรักษา เกษตรกรจึงต้องลดความชื้นของผลผลิตลงโดยวิธีการตากแดด หรือการอบแห้งด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งการตากแดดจะใช้เวลานานมากกว่า 1 อาทิตย์ เพื่อลดความชื้นลงให้ความชื้นสุดท้ายเหลือร้อยละ 4-13 % (น้ำหนักแห้ง) [1] และการทำแห้งเป็นการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ในอาหาร ส่งผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ทำให้อาหารสามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น ดังนั้นการทำแห้งพริกจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งในการชะลอการเสื่อมเสียของพริกและสะดวกในการขนส่งอีกด้วย นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลผลิต จากวิธีการดังกล่าวเกษตรได้เปลี่ยนวิธีเก็บรักษามาเป็นการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบในการสร้างผลิตภัณฑ์ และใช้ประกอบอาหารในครัวเรือนเช่น แป้งมันต่างๆ น้ำตาลผงชูรส พริกป่น พริกแกงชนิดต่างๆ ฯลฯ

พริกเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญกับประเทศไทย ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตพริกค่อนข้างสูง โดยในปี พ.ศ. 2549-2550 มีพื้นที่ปลูกพริกโดยรวม 474,717 ไร่ ได้ผลผลิตสด 333,672 ตันต่อปี โดยพริกที่มีความสำคัญมี 5 ชนิด คือ พริกขี้หนูเล็ก พริกขี้หนูใหญ่ พริกยักษ์ พริกหยวก และพริกใหญ่ พริกที่นิยมปลูกมากที่สุดได้แก่ พริกขี้หนูเล็ก และพริกขี้หนูใหญ่ โดยมีแหล่งเพราะปลูกที่สำคัญอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย [2] ตัวอย่างเช่นเกษตรอำเภอขามสะแกแสงจังหวัดนครราชสีมา มีการปลูกพืชเป็นอาชีพหลักรองจากข้าวคิดเป็นร้อยละ 40 ของพื้นที่ทั้งหมด ผลผลิตพริกที่ได้ในปี 2554 ได้ผลผลิต 1,636 ตัน ในแต่ละปีจะได้ผลผลิตเป็นจำนวนมาก รูปแบบการจำหน่ายพริกของเกษตรมีหลายรูปแบบเช่นพริกสด(ดิบและสุก) พริกแห้ง พริกป่น เนื่องจากในช่วงเก็บเกี่ยวพริกนั้นพริกสุกมีปริมาณมากจนล้นตลาด ไม่สามารถจำหน่ายได้ทันเวลาทำให้พริกเน่าเสีย เกษตรกรจึงเปลี่ยนรูปแบบการจำหน่ายโดยทำให้เป็นพริกแห้ง ซึ่งใช้วิธีการตากแดด แต่การตากแดดมีข้อจำกัดมากมายและเกิดปัญหาต่างๆตามมา เกษตรกรบางกลุ่มจึงหันมาใช้การอบแห้งโดยใช้

เครื่องอบแห้งแทนการตากแดด จะทำให้พริกแห้งเร็ว และเก็บผลผลิตไว้จำหน่ายในระยะเวลานานได้ นอกจากนี้แล้วเกษตรกรได้เปลี่ยนจากการเก็บรักษาไว้จำหน่ายในรูปพริกแห้งมาเป็นการแปรรูปผลผลิตจากพริกโดยทำเป็นพริกป่น พริกแกง อาหารสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมจากพริกอีกมากมาย [3] การแปรรูปพริกโดยเฉพาะพริกป่นนั้นจะต้องนำพริกแห้งไปอบหรือคั่วให้กรอบตามความต้องการก่อนที่จะนำเข้าเครื่องบดละเอียด ถึงจะได้พริกป่นออกมา และในปัจจุบันเกษตรอำเภอขามสะแกแสงจังหวัดนครราชสีมา ได้มีการจำหน่ายพริกรูปพริกแห้ง และเพิ่มวิธีแปรรูปผลผลิตจากพริกจำนวนมากมาย จนเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารที่มีวัตถุดิบคือพริก ทำให้พริกแปรรูปนี้มีชื่อเสียงมากขึ้น ส่งจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ ทำรายได้ให้กับจังหวัดปีละมากมาย แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นจากกลุ่มเกษตรกรคือ การตากแดดซึ่งใช้เวลานาน และสูญเสียลักษณะบางอย่างของพริกไปทำให้พริกคุณภาพไม่มี และ การคั่วพริกใช้วิธีเดิมคือใช้กะทะ ซึ่งเกิดปัญหาในเรื่องกลิ่นฉุน แสบร้อน ได้ปริมาณน้อยจากการคั่วแต่ละครั้งใช้พริกแห้งครั้งละ 1-2 เท่านั้น ใช้เวลา 1.30 ชั่วโมง ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่เพียงพอกับความต้องการในแต่ละครั้ง เนื่องจากต้องการพริกคั่วจำนวนมาก จึงต้องทำให้เสียเวลา และสิ้นเปลืองพลังงานมาก ในแต่ละครั้งทำพริกแปรรูป

จากปัญหาข้างต้นนั้น ทำให้คิดเกิดแนวทางแก้ไขด้วยวิธีการสร้างเครื่องอบแห้งและคั่วพริกโดยใช้ถังความร้อนแบบถังหมุน เป็นถังอบแห้งลักษณะทรงกระบอก ควบคุมการทำงานโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ปรับค่าเวลาอบและอุณหภูมิของถังอบได้ และใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยไม่ต้องนำพริกไปตากแดดในการนำแห้ง และไม่ต้องใช้แรงงานในการคั่ว ได้ปริมาณพริกมากพอ ไม่แสบร้อน ไม่ได้รับกลิ่นฉุน ประหยัดเวลา ไม่ยุ่งยากจากการใช้ สะดวกสบายในการทำงาน ปลอดภัยทางด้านร่างกาย และด้านการบริโภค

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การศึกษาเครื่องอบแห้งและคั่วพริกนี้ เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องที่สามารถอบแห้งและคั่วพริกได้ในขั้นตอนเดียว เพื่อลดระยะเวลาในการผลิต และ ลดปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนในระหว่างการผลิต ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักดังต่อไปนี้

1.2.1 ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพริกแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊ส ปิโตรเลี่ยมเหลว (LPG)

1.2.2 ศึกษาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกและคั่วพริกด้วยเครื่องอบแห้งพริกแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลี่ยมเหลว

1.2.3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพริกแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลี่ยมเหลว

1.2.4 วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งพริกแบบถังหมุนจากการใช้พลังงานแก๊สปิโตรเลียมเหลว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพริกแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากหุงต้ม ที่สามารถอบและคั่วพริกสดน้ำหนัก 13 กิโลกรัม

1.3.2 แหล่งพลังงานที่ใช้กับเครื่องอบแห้งพริกคือ พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว

1.3.3 วัตถุดิบที่ใช้ทดลองพริกคือ พริกพันธุ์จินดา

1.3.4 สภาวะที่ใช้ในการอบแห้งพริกจะใช้ความเร็วรอบสำหรับการหมุนถังในช่วง 3 ถึง 7 รอบต่อวินาที และอุณหภูมิอบแห้งพริกในช่วง 60 ถึง 110 องศาเซนเซียส

1.4 สมมติฐานของการวิจัย

อุณหภูมิ เวลา และอัตราการหมุนของถังมีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกพันธุ์จินดาในถังอบแห้งพริก

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ต้นแบบเครื่องอบแห้งพริกแบบถังหมุนที่ใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) ที่เหมาะสมกับระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม และนำไปเผยแพร่ให้กับกลุ่มสนใจได้

1.5.2 ลดค่าใช้จ่ายสำหรับอุตสาหกรรม เช่นการทำพริกแห้ง การทำพริกป่น การแปรรูปพริก

1.5.3 ประหยัดพลังงาน และใช้แรงงานคนน้อยกว่าการคั่วพริกโดยทั่วไป

1.5.4 ประหยัดเวลาในการอบแห้ง และคั่วพริก โดยพิจารณาจากพริกสดสุกไปจนถึงพริกแห้งและพริกแห้งกรอบ

1.5.5 ทราบสภาวะต่างๆที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกโดยใช้แหล่งพลังงานจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) ที่สามารถคงคุณภาพของพริกตามความต้องการได้

1.5.6 ทราบความเป็นไปได้ทางเทคนิคของเครื่อง และหลักการทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลี่ยมเหลว (LPG)

1.5.7 บุคคลากรในอุตสาหกรรมมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ไม่แสบร้อน และไม่ฉุนกลิ่นพริกขณะอบแห้งพริกกรอบ

1.5.8 เป็นการเพิ่มมูลค่า และลดการสูญเสียผลผลิตพริกให้กับเกษตรกร

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พริก (Chilli)

พริกเป็นพืชในตระกูล Solanaceae ซึ่งอยู่ในตระกูลเดียวกับกับมะเขือเทศ มันฝรั่ง และยาสูบ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Capsicum spp. ซึ่งพืชตระกูลนี้มีอยู่ 90 สกุล (Genus) หรือ 2,000 สปีชี (Species) โดยทั่วไปเป็นได้ทั้งพืชล้มลุก ไม้พุ่ม และไม้ยืนต้นขนาดเล็ก [4] สำหรับสถานการณ์ด้านการผลิตพริกของประเทศไทย จากข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกของกรมส่งเสริมการเกษตร พบว่า ในประเทศไทยมีการปลูกพริก 5 ชนิด คือพริกขี้หนูเม็ดใหญ่ พริกขี้หนูเม็ดเล็ก (พริกขี้หนูสวน พริกหยวก และพริกยักษ์) ในปี 2554 คิดเป็นพื้นที่รวม 361,129 ไร่ ได้ผลผลิตสดรวม 268,906 ตัน [5] พริกที่ปลูกมากที่สุด คือ พริกขี้หนูเม็ดใหญ่ และพันธุ์ที่ปลูกได้แก่ พันธุ์จินดา หัวเรือ ห้วยสีทน และยอดสน [6] แหล่งเพาะปลูกที่สำคัญในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิเลย ศีรษะเกษ อุบลราชธานี พริกที่ปลูกรองลงมาเป็นอันดับ 2 คือ พริกชี้ฟ้า แหล่งผลิตที่สำคัญ คือ จังหวัดเชียงใหม่ นครสวรรค์ ลำพูน อุตรดิตถ์ ราชบุรี นครราชสีมา และลำดับที่ 3 คือ พริกขี้หนูสวน มีแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญ คือ เชียงใหม่ นครปฐม กาญจนบุรี และศีรษะเกษ ตามลำดับ [2] จากสถิติการส่งออกและการนำเข้าของกรมศุลกากรพบว่าการส่งออกพริกทั้งรูปพริกสดแช่เย็น และแช่แข็งซอสพริก พริกแห้ง พริกป่นในปี 2552 มีปริมาณ 41 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออกรวมมากถึง 1,327 ล้านบาท และชนิดที่ส่งออกเป็นมูลค่ามาก 3 อันดับแรก คือ ซอสพริก (1,052 ล้านบาท) พริกสดและพริกแช่เย็น (117 ล้านบาท) สำหรับการส่งออกพริกแห้งมีมูลค่าการส่งออก 62 ล้านบาท และลดลงเป็น 55 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2553 ทั้งนี้ประเทศไทยมีการนำเข้าพริกแห้งในปี 2551 มีมูลค่า 718 ล้านบาท และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 933 และ 944 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2552 และ 2553 ตามลำดับ [7] จากปริมาณการส่งออกและการนำเข้าพริกแห้งดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความต้องการพริกแห้งมีมากขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณและคุณภาพของพริกที่ผลิตได้ไม่สอดคล้องหรือสม่ำเสมอกับความต้องการของโรงงานแปรรูปและผู้บริโภค ซึ่งโดยส่วนมากนิยมทำแห้งพริกโดยการตากแดดส่งผลทำให้พริกแห้งที่ได้มีคุณภาพต่ำ เช่น เกิดการปนเปื้อนของฝุ่น ดิน มีการเจริญเติบโตของเชื้อรา และพริกมีสีแดงไม่สม่ำเสมอ โดยพันธุ์พริกที่นิยมนำมาผลิตเป็นพริกแห้งที่สำคัญเป็นอันดับหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ พันธุ์หัวเรือย่น เนื่องจากเมื่อผ่านการทำแห้งจะมีสีสวย ผิวเปลือกบาง โขลกได้ละเอียด และรองลงมาคือ พันธุ์จินดา เนื่องจากการทำแห้งจะมีสีแดงเข้มเป็นมัน กรอบ ผิวเรียบ ทั้งนี้พบว่าพริกสายพันธุ์หัวเรือย่น และจินดาเมื่อขายเป็นพริกสดมีราคาต่ำ (14-20 บาทต่อกิโลกรัม)

เมื่อเปรียบเทียบกับพริกสายพันธุ์อื่นๆ แต่พบว่าเมื่อนำมาทำแห้งจะมีราคาสูงขึ้น (60 บาทต่อกิโลกรัม)[2] ดังนั้นพริกทั้ง 2 สายพันธุ์จึงเป็นที่นิยมนำมาทำแห้ง นอกจากพริกใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารและเป็นเครื่องปรุงสำหรับอาหารเพื่อส่งออกทั่วโลก แล้วยังพบว่าพริกมีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญ และมีสรรพคุณเป็นยาสมุนไพรในการรักษาโรค เช่น บรรเทาอาการหวัด ช่วยลดการอุดตันของเส้นเลือด ช่วยลดปริมาณคลอเลสเตอรอล และช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง เป็นต้น [8]

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของพริก

พริกมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Capsaicum spp. สกุลแคปซิคัม (Capsicum) อาณาจักร: พืช (Plantac) วงศ์: Solanaceae ซึ่งในกระตูลเดียวกันกับมะเขือเทศ มันฝรั่ง และยาสูบ พริกมีชื่อที่เรียกกันอยู่หลายคำได้แก่ pepper chili chilli chile และ capsaicum โดยคนไทยอาจจะคุ้นเคยคำว่า chilli โดยทั่วไปพริกมีทั้งพันธุ์ที่เป็นพืชล้มลุก ไม้พุ่ม และไม้ยืนต้นขนาดเล็ก (เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา, 2540) พืชชนิดต่างๆในตระกูลนี้มีประมาณ 20-30 ชนิด พริกเป็นพืชที่มีจำนวนโครโมโซม 2n = 24 เป็นไม้พุ่มล้มลุกเนื้ออ่อน บางชนิดอยู่ในหลายฤดู บางชนิดอยู่ในฤดูเดียวมีลักษณะทางพฤษศาสตร์ผันแปรค่อนข้างมาก ทั้งในลักษณะสี กลีบดอก ลำต้น ใบ และผล โดยเฉพาะผลมีความผันแปรทั้งในส่วยรูปร่างขนาด สี ความหนาของผล และความเผ็ด พริกเป็นพืชที่มีดอกสมบูรณ์เพศ และสามารถผสมตัวเองได้ แต่มีโอกาสผสมข้ามดอกและก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ได้ ประมาณร้อยละ 9-36 กรมวิชาการเกษตร (2548)[9] รายงานว่าพริกเป็นผักชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในชีวิตประจำวัน และมีความสำคัญในทางเศรษฐกิจ เนื่องจากมรการใช้ประกอบอาหารประจำวัน ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ ใช้เป็นส่วนประกอบของยารักษาโรคบางชนิด ทั้งนี้เพราะว่าพริกเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหาร มีสีรสชาติที่ไม่อาจใช้ผลผลิตจากพืชชนิดอื่นทดแทนได้ พริกที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายมีเพียง 5 ชนิดเท่านั้น ได้แก่ C.annuum L. , C.Chinensis jacq. , C.frutescens L.,C.pubeacens R&P. [2]

สำหรับพริกในแหล่งเพาะปลูกต่างๆ สามารถแบ่งตามขนาดเป็น 2 ประเภท [9] คือพริกใหญ่และพริกเล็ก โดยมีแหล่งเพาะปลูก ดังนี้

1) พริกใหญ่ แหล่งปลูกที่สำคัญ คือ เชียงใหม่ นครสวรรค์ อุตรดิตถ์ ชัยภูมิ นครราชสีมา เลย และราชบุรี เป็นต้น

2) พริกเล็ก แหล่งปลูกที่สำคัญ คือเชียงใหม่ นครสวรรค์ เพชรบูรณ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครราชสีมา มุกดาหาร อุบลราชธานี กาญจนบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี เป็นต้น

2.1.2 ลักษณะทางพฤษศาสตร์ของพริก [4]

ลำต้น ลำต้นตรง สูงประมาณ 1-2 ฟุต พริกที่มีการเจริญเติบโตของกิ่งแบบ dichotomous คือ กิ่งจะเจริญจากลำต้นเพียง 1 กิ่ง แล้วแตกออกเป็น 2 กิ่ง และเพิ่มเป็น 4 กิ่ง 8 กิ่ง 16 กิ่ง ไปเรื่อยๆ และมักพบว่า ต้นพริกที่สมบูรณ์จะมีกิ่งแตกขึ้นมาจากต้นที่ระดับดินหลายกิ่ง

ใบ พริกเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ใบเป็นแบบใบเดี่ยว มีลักษณะแบบเรียบเป็นมัน มีขนบ้างเล็กน้อย ใบมีรูปร่างตั้งแต่รูปไข่ไปจนกระทั่งใบเรียวยาว มีขนาดแตกต่างกันไป ใบพริกหวาน มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ใบพริกขี้หนูทั่วไปมีขนาดเล็ก แต่ในระยะเป็นต้นกล้า และใบล่างๆ ของต้นโตเต็มที่จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่

ราก ระบบรากของพริกมีรากแก้ว มีรากหากินลึกมาก ต้นพริกที่โตเต็มที่รากฝอยจะแผ่ออกไปหากินด้านข้างในแนวรัศมี 1.20 เมตร รากฝอยหากินของพริกจะพบอยู่อย่างหนาแน่นมาก

ดอก โดยปกติมักพบเป็นดอกเดี่ยว แต่อาจพบมีหลายดอกเกิดตรงจุดเดียวกันได้ ดอกเกิดที่ข้อตรงมุมที่เกิดใบหรือกิ่งก้านดอกอาจตรงหรือโค้ง ส่วนประกอบของดอกประกอบด้วย กลีบรองดอก 5 พู กลีบดอกสีขาว 5 กลีบ แต่บางพันธุ์อาจมีสีม่วงและอาจมีกลีบดอกตั้งแต่ 4-7 กลีบ มีเกสรตัวผู้ 5 อันซึ่งแตกจากตรงโคนของชั้นกลีบดอก อับเกสรตัวผู้มีสีน้ำเงิน แยกตัวเป็นกระเปาะเล็กๆ ยาวๆ เกสรตัวเมียชูสูงขึ้นไปเหนือเกสรตัวผู้ ปลายเกสรตัวเมียรูปร่างเหมือนกระบองหัวนม รังไข่มี 3 พู แต่อาจพบได้ตั้งแต่ 2-4 พู และจากการศึกษาพบว่า พริกเป็นพืชที่ตอบสนองต่อช่วงวัน โดยมักจะออกดอกและติดผลในสภาพวันสั้น

ผล มีทั้งผลเดี่ยวและผลกลุ่ม มีลักษณะเป็นกระเปาะ มีฐานขั้วผลสั้นและหนา โดยปกติผลอ่อนมักชี้ขึ้น เมื่อผลแก่พันธุ์ที่มีลักษณะเนื้อผลอ่อนก็จะให้ผลที่ห้อยลง แต่บางพันธุ์ทั้งผลอ่อนและผลแก่จะชี้ขึ้น ผลมีลักษณะทั้งแบนๆ กลม ยาว จนถึงพองอ้วนสั้น ขนาดของผลมีตั้งแต่ขนาดผลเล็กๆไปจนกระทั่งมีผลขนาดใหญ่ ผนังผลมีตั้งแต่บางจนหนา ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ผลอ่อนมีทั้งสีเหลืองอ่อน สีเขียวแก่ สีเขียวเข้ม และสีม่วง เมื่อผลสุกจะเปลี่ยนเป็นสีแดง ส้ม เหลือง น้ำตาล ขาวนวล หรือสีม่วง พร้อมๆกับการแก่ของเมล็ดในผลควบคู่กันไป ผลพริกมีความเผ็ดแตกต่างกันออกไป บางพันธ์เผ็ดจัด บางพันธุ์เผ็ดน้อยหรือไม่เผ็ดเลย ฐานของผลอาจแบ่งออกเป็น 2-4 ห้อง ซึ่งจะเห็นได้ชัดในพริกหวาน แต่พริกที่มีขนาดผลเล็กอาจสังเกตได้ยากบางพันธุ์อาจดูเหมือนว่าภายในผลมีเพียงห้องเดียวโดยตลอด

เมล็ด เมล็ดพริกมีขนาดค่อนข้างใหญ่กว่าเมล็ดมะเขือเทศ แต่มีรูปร่างคล้ายกัน คือ มีรูปร่างกลมแบน มีสีเหลือง ไปจนถึงสีน้ำตาล ผิวเรียบ ผิวไม่ค่อยมีขนเหมือนเมล็ดมะเขือเทศ มีร่องลึกอยู่ทางด้านหนึ่งของเมล็ด เมล็ดจะติดอยู่กับรก โดยเฉพาะทางด้านฐานของผลพริก เมล็ดจะติดอยู่มากกว่าปลายผล

2.1.3 ลักษณะประจำพันธุ์ของพริกมีดังนี้ [9]

1) พริกห้วยสีทน 1 เป็นพันธ์พริกที่กรมวิชาการเกษตรปรับปรุงพันธุ์มาจากพันธุ์หัวเรือย่น ซึ่งเป็นพริกขี้หนูผลใหญ่ ลักษณะทรงต้นเป็นรูปตัววี ต้นที่สมบูรณ์มีการแตกกิ่งที่โคนต้นมาก (3-5 กิ่ง) ใบสีเขียวถึงเขียวเข้ม ใบเรียบไม่มีคลื่น มีขนบ้างเล็กน้อย ดอกสีขาว เกสรตัวผู้มีสีน้ำเงินม่วง ดอกห้อยลงอายุออกดอก 60 วันหลังย้ายกล้า ผลอ่อนมีสีเขียว ผลแก่สีแดงมี 1 หรือ 2 ผลที่ข้อ ก้านผลยาวผลเป็นรูปกรวยโคลนใหญ่เรียวยาวไปหาปลาย ปลายแหลม ขนาดผลปกติ 3-5 เซนติเมตร อายุเก็บเกี่ยวผลพริกสดประมาณ 90-100 วัน หลังย้ายกล้า ผลพริกสด 1 กิโลกรัม แยกเป็นเนื้อพริก 0.25 กิโลกรัม เป็นเมล็ด 0.10 กิโลกรัม เมื่อตากแห้งจะมีสีแดงเป็นมัน เป็นพริกที่มีรสเผ็ดจัดทั้งผลสด และผลแห้ง

2) พริกพันธ์หัวเรือ เป็นพริกขี้หนูผลใหญ่ ซึ่งเป็นพันธ์พื้นเมืองของจังหวัดอุบลราชธานี นิยมปลูกกันมากในภาคอีสาน ทรงพุ่มมีขนาดค่อนข้องสูง ขนาดผลยาวประมาณ 4-5 เซนติเมตร มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 120 วัน ผลสุกจะมีสีแดง มีรสเผ็ด เนื้อมาก เมล็ดน้อยและผลผลิตต่อไร่สูง

3) พริกพันธุ์ช่อ มข. เป็นพริกขี้หนูผลใหญ่ที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ โดยคณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทรงต้นค่อนข้างเตี้ย มีความสูงประมาณ 40 เซนติเมตร ความกว้างของพุ่มประมาณ 50 เซนติเมตร เริ่มออกดอกหลังย้ายกล้าประมาณ 50-60 วัน มีข้อดีคือผลออกเป็นช่อ ปลายผลชี้ขึ้นทำให้เก็บเกี่ยวง่าย ขนาดผลยาว

4) พริกสร้อย ผลพริกจะชี้ลงเป็นส่วนใหญ่ มีเนื้อมาก ผลดิบมีสีเขียวแก่ ผลสุก มีสีแดงเข้ม นิยมทำเป็นพริกแห้งเนื่องจากมีสีสวย ตากแห้งได้รวดเร็ว

5) พริกหัวเรือย่น ผลมีขนาดเล็กเรียวยาว ผลชี้ขึ้นเป็นส่วนมาก ผลดิบมีสีเขียวแก่ ผลสุกมีสีแดงเข้ม ใช้ได้ทั้งผลผลิตสดและแห้ง ผลที่ตากแห้งแล้วจะมีสีสวยกรอบ ตำให้แหลกง่าย มีจำนวนเมล็ดมาก ทนทานต่อโรค

6) พริกนิ้วมือนาง ผลพริกจะชี้ลงส่วนมาก ผลดิบสีขาวหรือเขียวอ่อน เมื่อแก่มีสีเข้มและเปลี่ยนเป็นสีส้มแดงในที่สุด แกนมีขนาดเล็ก มีเมล็ดน้อย เมื่อตากให้แห้งแล้วผลจะแบน สีซีด และปริมาณของผลลดลงครึ่งหนึ่ง ไม่ต้านทานต่อโรคกุ้งแห้งและหนอนเจาะผล

7) พริกซุปเปอร์ฮอท หรือศรแดง เป็นพริกขี้หนูพันธุ์ลูกผสม ซึ่งมีลักษณะผลสวย เนื้อหนา สีแดงสดเมื่อสุก มีลำต้นแข็งแรงโตเร็ว ติดผลดก สีสวย น้ำหนักดี ติดผลเร็วให้ผลผลิตสูงมาก และสามารถเก็บผลผลิตได้นานถึง 6 เดือน หรือเก็บผลผลิตจำนวน 20-30 ครั้ง ต่อการปลูก 1 ครั้ง นอกจากนี้พริกขี้หนูลูกผสมพันธ์ซุปเปอร์ฮอท มีคุณสมบัติโดดเด่น คือมีเนื้อผลหนาและแน่น สีแดงสด จึงทำให้พริกไม่เน่าเสียง่าย สามารถขนส่งไปได้ไกลเป็นเวลานานผลผลิต ไม่เน่าเสีย จึงเป็นที่ต้องการของผู้ส่งออกผลผลิตสดไปยังต่างประเทศ

8) พริกพันธุ์จินดา ผลมีสีเขียว และสีแดง รสชาติเผ็ดจัด เจริญเติบโตดีและสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีทรงพุ่มกว้างประมาณ 50-60 เซนติเมตร ต้นสูงประมาณ 45-60 เซนติเมตร ผลผลิตต่อต้นผลสดประมาณ 1.5-2 กิโลกรัม ผลแห้งประมาณ 0.7 กิโลกรัม อายุเก็บเกี่ยวหลังการย้ายกล้าประมาณ 90 วัน และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณ 60-90 วัน

2.1.4 ประโยชน์ของพริก [10]

1) **ประโยชน์ทางด้านอาหาร** พริกเป็นเครื่องเทศที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ประชากรเกือบทั่วโลกใช้ในการประกอบอาหาร หรือใช้เป็นเครื่องปรุงรส นอกจากจะใช้เป็นเครื่องปรุงแต่งอาหารให้มีสีสันน่ารับประทานแล้วความร้อนของพริกยังมีผลกระตุ้นให้รู้สึกเจริญอาหาร โดยช่วยกระตุ้นให้น้ำลายในปากออกมามากโดยเอนไซม์ในน้ำลายจะช่วยย่อยสลายแป้งในปากทำให้รู้สึกว่ารสชาติในอาหารดีขึ้น นอกจากนี้พริกยังเป็นพืชผักอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางอาหาร โดยสถาบันแพทย์แผนไทยรายงานว่าผลของพริกขี้หนู 100 กรัม ให้พลังงานต่อร่างกาย 55 กิโลแคลอรี่ ประกอบด้วย เส้นใย 5.2 กรัม แคลเซียม 4 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 14 มิลลิกรัม เหล็ก 1.2 มิลลิกรัม วิตามินเอ 2417 IU วิตามินบี หนึ่ง 0.29 มิลลิกรัม วิตามินบีสอง 0.11 มิลลิกรัม ไนอาซิน 1.5 มิลิกรัม วิตามินซี 44 มิลลิกรัม [10] สอดคล้องกับ Peason (1976)[11] รายงายว่า พริกเป็นแหล่งวิตามินเอ และวิตามินบีคอมเพล็กซ์สูง และในอุตสาหกรรมอาหารมีการนำพริกมาแปรรูปเป็นเครื่องปรุงแต่งรสอาหาร ได้แก่ การแปรรูปเป็นพริกแห้ง พริกป่น พริกแกง น้ำพริกเผา รวมทั้งโอริโอเรวิน (Oleoresin) [12]

2) **ประโยชน์ทางการแพทย์** พริกเป็นพืชสมุนไพรที่มีสรรพคุณมากมาย โดยใช้พริกเป็นส่วนผสมของยาโดยใช้รับประทาน เช่นยาขับลม และขับปัสสาวะ ยาแก้ไข้หวัด และแก้ไอ เป็นต้น [13] นอกจากนี้พบว่า สารแคปไซซิน (capsaicin) จากพริกมีฤทธิ์ช่วยบรรเทาอาการปวดได้ โดยการวิจัยและพัฒนาสมุนไพรได้ผลิตครีมที่มีสารแคปไซซิน ความเข้มข้นร้อยละ 0.025 เพื่อรักษาโรคและอาการปวดได้ [14] ซึ่งสอดคล้องกับ จริยา อุทัยทวีป และ นพรัตน์ แซ่ลี้ (2539) [15] พบว่าครีมที่มีความเข้มข้นของแคปไซซินร้อยละ 0.075 สามารถช่วยบรรเทาอาการป่วยของผู้ป่วยโรคเริม (herpes simplex)ได้ นอกจากนี้ครีมที่มีส่วนผสมของแคปไซซิน (capsaicin) ยังมีผลช่วยบรรเทาอาการพกช้ำได้ [16]

3) ประโยชน์อื่นๆ Fujimoto et al. (1974) [17] ได้ทำการวิเคราะห์สารกันหืนในพริก C.annuum L. พบว่าส่วนของไขมันที่สกัดได้ (Oleoresin) มีคุณสมบัติเป็นสารกันหืน สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในผลิตภัณฑ์ได้ และเมื่อนำสารดังกล่าวไปแยกด้วย thin layer chommatography และ gas luquid chomatography พบว่าเป็นสารอัลฟาโทโคเฟอรอล และแคปไซซิน ซึ่งสามารถใช้ในการถนอมอาหารได้ นอกจากนั้นยังมีรายงานว่าแคปไซซินมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา Aspergillus flavus et al.,(1994)

2.1.5 การแบ่งพันธุ์พริกตามลักษณะพฤษศาสตร์และความเผ็ดของพริก

พริกเป็นพืชในตระกูลโซลานาซีอิก (Solanaceae) สกุลแคปซิคัม (Capsicum) พริกแต่ละชนิด จะมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก ทั้งลักษณะต้น ใบ และผล ซึ่งแตกต่างตั้งแต่ขนาดของผล สี ความเผ็ด และการใช้ประโยชน์

ลักษณะของพันธ์พริก

1) ลักษณะทางพฤกษศาสตร์สามารถแบ่งพันธุ์พริกออกได้4กลุ่มคือ C.pendulum, C.pubsecens, C.annuum, C.frutescens สำหรับพริกที่ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่มี 2 กลุ่ม คือ C.anmum ได้แก่ พริกมัน พริกสิงห์คโปร์ พริกชี้ฟ้า เป็นต้น พริกอีกกลุ่มหนึ่งคือ C.frutescens ได้แก่ พริกขี้หนูสวนพันธุ์ต่างๆ

2) ความเผ็ดพริก เป็นเกณฑ์มีหน่วยเป็นสโควิลล์ (Scoville) และสอดคล้องกับสารแคปไซซิน (Capsaicin) ซึ่งเป็นสารประกอบที่สำคัญของพริกคือ เป็นสารที่ทำให้พริกเกิดกลิ่น และรสเผ็ดร้อน เป็นสารในกลุ่ม แคปไซซิน [18] ส่วนของพริกที่นำมาใช้ประโยชน์คือผลพริก โดยสารที่พบในผลคือ แคปไซซิน ซึ่งจะพบมากที่ไส้พริก สารตัวนี้มีคุณสมบัติขับลม กระตุ้นการทำงานของกระเพาะอาหาร ทำให้เจริญอาหาร ออกฤทธิ์ระคายเคืองทำให้เลือดมาหล่อเลี้ยงที่สัมผัสมากขึ้น ช่วยลดการอักเสบ แก้อาเจียน แก้หิด กลาก เกลื้อน [19] [20])ในพริกจะประกอบด้วยสาร แคปไซซินร้อยละ 69 เป็นตัวหลัก และสารอื่นๆที่ทำให้เกิดรสเผ็ด ได้แก่ ไดไฮโดรแคปไซซิน ร้อยละ 22 นอร์ไดไฮโดรแคปไซซิน ร้อยละ7 โฮโมแคปไซซิน ร้อยละ 1 และโฮโมไดไฮโดรแคปไซซิน ร้อยละ 1 [21] [22]) ปริมาณสารแคปไซซินจะเป็นตัวบงบอกระดับความเผ็ดของพริก ในปี ค.ศ 1912 Wilbur Scoville นักเคมีได้คิดค้นวิธีวัดความเผ็ดของพริกขึ้นมา และต่อมาวิธีนี้เรียกว่า Scoville Organoleptic Test และหน่วยวัดความเผ็ดเรียกว่า Scovile Heat Unit ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา โดยความเผ็ดของพริกสายพันธ์ต่างๆ ได้ถูกนำมาจัดเรียงตามลำดับความเผ็ดได้ใน ตารางที่ 2.1 โดยแสดงค่าหน่วย Scoville unit พบว่าพริก Habanero มีความเผ็ดสูงที่สุดโดยมีค่าความเผ็ด 200,000-300,000 Scoville heat Unit เมื่อเปรียบเทียบกับสารแคปไซซินบริสุทธิ์ รองลงมาจะเป็นพริกขี้หนูของไทยที่มีค่าความเผ็ด 100,000-350,000 Scoville heat Unit และพบว่าพริกหวาน (Sweet pepper) และพริก Bell มีความเผ็ดต่ำที่สุด 0-100 Scoville heat Unit นอกจากนี้ วสุ อมฤตสุทธิ์ และคณะ, (2549) [6] ศึกษาระดับความเผ็ดของพริกสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในจังหวัดอุบลราชธานี และจังหวัดศรีษะเกษ โดยแสดงค่าความเผ็ดในหน่วย Scoville heat Unit พบว่าพันธุ์พริกหัวเรือมีค่าความเผ็ดสูงสุด และพันธุ์จินดามีค่าความเผ็ดต่ำสูดโดยค่าความเผ็ดในหน่วย Scoville heat Unit สัมพันธุ์โดยตรงกับปริมาณแคปไซซิน โดยเรียงระดับความเผ็ด ดังในตาราง 2.2

ตาราง 2.1 การจัดเรียงความเผ็ดของพริกพันธุ์ต่างๆทั่วโลก [23]

ชนิดของพริก	ความเผ็ด (Scokville heat Unit)
พริกหวาน(Sweet peppers) และพริก Bell	0-100
พริก New Mexican peppers	500-1,000
พริก Ancbo และพริก Pasilla peppers	1,000-2,000
พริก Cascabel และพริก Cherry peppers	1,000-2,500
พริก Jalapeno และพริก Mirasol peppers	2,500-5,000
พริก Serrano peppers	5,000-15,000
พริก Arbol peppers	15,000-30,000
พริก Cayenne และพริก Tabasco	30,000- 50,000
พริก Chitepin	50,000-100,000
พริก Scotch bonnet และพริกขี้หนูของไทย	100,000-350,000
พริก Habanero	200,000-300,000
สารแคปไซซินบริสุทธิ์	160,000

ตาราง 2.2 ปริมาณสารแคปไซซินอยด์และระดับความเผ็ดของพริกสายพันธุ์ต่างๆที่มีในจังหวัดอุบลราชธานี และจังหวัดศรีษะเกษ [6]

สายพันธ์พริก	แคปไซซิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ระดับความเผ็ด (Scoville Heat Units)
หัวเรือ	3,173	47,595
เขียวบ้านทาม	3,122	46,830
หัวเรือนบ้านละทราย	2,941	44,115
ทองดำ	2,808	42,120
พันธุ์หัวเรือย่น (หัวเรือบ้านอีปาด)	2,734	41,010
ยอดสน	2,458	36,870
ซุปเปอร์ฮอท	2,284	34,260
ดำอินโด	2,204	33,060
ช่อไสว	2,124	31,860
จินดา	1,843	27,645
เฉลี่ย	2,569.1	38,536.5

การแบ่งชนิดของพริกตามความเผ็ดพริก วิธีนี้ พริกที่มีสารแคปไซซิน 1 % ของน้ำหนักนั้นจะจัดว่ามีความเผ็ดสูงสุด และเทียบเป็น 100 % หรือเทียบเป็นหน่วยความเผ็ดเท่ากับ 175,000

หน่วยสโควิลล์ ส่วนพริกที่เผ็ดน้อยลง จะมีสารแคปไซซิน และหน่วยความเผ็ดลดน้อยลง โดยสามารถแบ่งพริกออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มที่มีความเผ็ดมาก คือ มีความเผ็ดมากว่า 70.000 หน่วยสโควิลล์ ถึง175,000 หน่วยสโควิลล์ส่วนใหญ่เป็นพริกชนิด C.frutescens และ C.baccatum

2) กลุ่มที่มีความเผ็ดปานกลาง คือ มีความเผ็ดอยู่ระหว่าง 35,000-70,000 หน่วยสโควิลล์ พริกกลุ่มนี้เป็นชนิด C.annuum

3) กลุ่มที่มีความเผ็ดน้อย ได้แก่ พริกหยวก หรือพริกหวาน และปาปริกา(Paprika)

2.1.6 สำหรับประเทศไทยกรมวิชาการเกษตร [24] ได้แบ่งพริกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มที่มีรสไม่เผ็ดได้แก่ พริกหวาน และพริกหยวก

2) กลุ่มที่มีรสเผ็ด สามารถแบ่งย่อยตามขนาดเฉลี่ยของผลได้ดังนี้

- พริกใหญ่ ขนาดผลมีความยาวมากกว่า 5 เซนติเมตร แบ่งออกเป็น 2 พวกคือ

1) พริกใหญ่ขนาดใหญ่ มีความยาวมากกว่า 10 เซนติเมตร เช่น พริกสิงคโปร์

2) พริกใหญ่ขนาดเล็ก มีความยาวระหว่าง 5-10 เซนติเมตร เช่น พริกชี้ฟ้า พริกมัน พริกเหลือง พริกบางช้าง ผลมันและชี้ลงดิน และติดผลฤดูเดียว

- พริกขี้หนู ผลมีความยาวไม่เกิน 5 เซนติเมตร แบ่งออกเป็น 2 พวก เช่นกัน คือ

1) พริกขี้หนูผลใหญ่ ผลมีความยาวอยู่ระหว่าง 2-5 เซนติเมตร พริกกลุ่มนี้มีการปลูกมากที่สุดในประเทศไทย ผลมีทั้งชี้ขึ้นและชี้ลง เช่นพันธุ์ห้วยสีทo

2) พริกขี้หนูผลเล็ก มีความยาวไม่เกิน 2 เซนติเมตร ได้แก่ พริกขี้หนูสวน พริกขี้หนูหอม พริกขี้นก และพริกกะเหรี่ยง [25]

จากที่กล่าวมานั้นจะเป็นการแบ่งประเภทของพริกตามลักษณะต่างๆแล้วแต่ยังไม่ได้กล่าวถึงคุณค่าทางอาหารของพริก ดังนั้น ตารางที่ 2.3 จะแสดงถึงคุณค่าทางอาหารจากการวิเคราะห์พริก 100 กรัม ทั้งสดและแห้ง [24.]

จากตาราง 2.3 พบว่า พริกแห้งมีคุณค่าทางอาหารบางอย่างสูงกว่าพริกสดๆ และในขณะนี้มีความต้องการพริกแห้งเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรม และตลาดต่างประเทศ มีแนวโน้มขยายตัวสูงขึ้น ซึ่งมักจะส่งไปจำหน่ายในรูปของพริกแห้งที่มีความชื้นตามมาตรฐาน แต่เกษตรกรส่วนใหญ่จะจำหน่ายในรูปของพริกสด ในช่วงที่พริกล้นตลาด ราคาต่ำ เกษตรกรจึงหันมาทำพริกแห้งโดยการนำไปตากแดด 5 -10 วัน ซึ่งในวิธีการนี้จะเกิดปัญหาตามมามากมาย เช่น การเน่าเสียในระหว่างการตากแห้ง เป็นต้น จากปัญหานี้และข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบสร้างเครื่องอบพริกแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) และพริกที่ใช้ทดลองเป็นพริกชี้ฟ้าแดง เนื่องจากเป็นพริกที่นิยมบริโภคและท้องตลาดนิยมทำพริกแห้ง ซึ่งจำหน่ายได้ราคาดี

ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางอาหารของพริก [26]

Nntrition of chillies	Fresh green chillies	Fresh red chillies	Fresh chillies	Dried chillies
Water (cc)	93.3	90.0	90.0	8.0
Energy (cal)	23.0	32.0	NA	NA
Protein (g)	0.7	0.5	2.0	15.0
Fat (g)	0.2	0.3	0.5	11.0
Carbohydrate (g)	5.4	7.8	6.0	33.0
Fiber (g)	1.5	1.6	1.0	25.0
Ashes (g)	0.4	0.5	NA	NA
Calcium (mg)	12.0	29.0	20.0	150.0
Phosphorus (mg)	180.0	45.0	NA	NA
Iron (mg)	0.6	0.8	1.0	9.0
Sodium (mg)	8.0	NA	NA	NA
Potassium (mg)	170	NA	NA	NA
Vitamin A (i.u)	260.0	470.0	100-1,200	200-20,000
Thiamine (mg)	0.05	0.05	0.06	0.6
Rivoflavin (mg)	0.05	0.06	0.08	0.5
Nichotinamide (mg)	NA	NA	1.0	12.0
Niacine (mg)	0.5	0.9	NA	NA
Ascorbic (mg)	84.0	18.0	150.0	10.0

2.1.7 สำหรับพริกที่พบมากในประเทศไทยมี 2 species ที่สำคัญคือ [26]

1) Capsicum annuum L. เป็นพริกที่มีการปลูกกันมาก มีพันธุ์ต่างๆมากมาย มีทั้งรสเผ็ด และรสไม่เผ็ด ผลอ่อนสีเขียวหรือเหลือง ผลแก่มีสีแดง เหลือง หรือน้ำตาล เมล็ดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 – 0.5 mm

2) Capsicum frutescens L. เป็นพริกที่นิยมปลูกกันแพร่หลาย ทั้งในเขตร้อน และเขตอบอุ่นทั่วโลก มีรสชาดเผ็ดจัด ผลอ่อนมีสีเขียวหรือเหลือง ผลแก่มีสีแดง เหลืองหรือน้ำตาลเมล็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 - 3.0 mm

2.1.8 จำแนกพริกในประเทศไทย

สำหรับการจำแนกพริกในประเทศไทย นิยมจำแนกออกตามความเผ็ด และตามขนาดของผล โดยการแบ่งตามความเผ็ดจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่มีรสเผ็ดกับไม่มีรสเผ็ด

ส่วนการแบ่งตามขนาดและผลจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทเช่นกัน คือพริกขนาดใหญ่และพริกขนาดเล็กหรือพริกเล็ก ดังตาราง 2.4 แสดงรายละเอียดพันธุ์พริกต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย โดยแบ่งตามความเผ็ดและขนาดความยาวผล [4] ในด้านของคุณค่าทางอาหารได้แสดงไว้ในตาราง 3 ซึ่งแสดงคุณค่าทางอาหารจากการวิเคราะห์พริก 100 g ทั้งสดและแห้ง [5] จากตาราง 3 จะเห็นว่าพริกแห้งมีคุณค่าทางอาหารบางอย่างสูงกว่าพริกสดๆ และในขณะนี้มีความต้องการพริกแห้งเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรม และตลาดต่างประเทศ ซึ่งมักจะอยู่ในรูปพริกแห้งและพริกผง จากข้อมูลในปี 2554 พบว่าการส่งออกพริกแห้งและพริกผงเป็นปริมาณ 2,928 เมตริกตันต่อปีคิดเป็นมูลค่า 153.669 ล้านบาทต่อปี [7]

ตาราง 2.4 ชนิดของพริกในประเทศไทย [26]

ความเผ็ด	รสไม่เผ็ด		รสเผ็ด		
ชนิดพริก	พริกหวาน	พริกหยวก	พริกใหญ่	พริกขี้หนูเม็ดใหญ่	พริกขี้หนูเม็ดเล็ก
ความยาวผล	10 cm	10 cm	5-10 cm	2-5 cm	ต่ำกว่า 2 cm
พันธุ์	Califonir Wonder	บางบัวทอง	• มัน • เหลือง • บางช้าง • มันพิชัย • สิงคโปร์ • ดอนยาง • สันป่าตอง • ซี้ฟ้า	• ห้วยสีทน • หัวเรือ • จินดา • ยอดสน • บ้านใน • ไส้ปลาไหล • สร้อย • นิ้วมือนาง • น้อยผลยาว • ช่อ มข. • เดือยไก่	• ขี้หนูสวน • ขี้หนูหอม • กระเหรี่ยง • ขี้นก

2.1.9 คุณภาพของพริกแห้ง [27]

คุณภาพของพริกแห้งโดยทั่วไป พริกแห้งที่นำมาเก็บรักษานั้นจะต้องเป็นพริกแห้งสนิทและมีความชื้นของพริกไม่เกินร้อยละ 13%db ลักษณะทั่วไปที่เป็นเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับบ่งบอกคุณภาพที่ดีของพริกแห้ง คือ สีแดงสม่ำเสมอทั้งหมด สะอาดไม่มีโคลน หิน ดิน ทราย ปน ไม่มีปรากฏตำหนิจากโรคและแมลง และดมดูไม่มีกลิ่นอับ เหม็นหืน ซึ่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกแห้งจะสรุปไว้ในตาราง 2.5

ตาราง 2.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพริกแห้ง

รายการ	พริกแห้ง	พริกป่น
1. ชนิด ชนิดผลเล็ก ชนิดผลใหญ่	 6 cm > 6 cm	
2. คุณลักษณะที่ต้องการ 2.1 ลักษณะทั่วไป	- ผลแบนเล็กน้อย ภายในมีเม็ดสีเหลือง	- ผลิตจากผลแห้ง อาจมีเม็ดปนอยู่บ้าง
2.2 สี	- มีสีแสดแดง	- ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของพริกป่น
2.3 กลิ่น	-	- ต้องมีกลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของพริกป่น
2.4 สิ่งแปลกปลอม	- ไม่มีรา แมลง ชิ้นส่วนของแมลงและ มูลสัตว์	- ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนที่เป็นสิ่งปฏิกูลจากสัตว์
2.5 ลักษณะทางเคมี - ความชื้น - เถ้า - เถ้าไม่ละลายในกรด - กาก - อัลฟาทอกซิน	 - ไม่เกินร้อยละ 13 (น้ำหนักแห้ง) - ไม่เกินร้อยละ 8 (น้ำหนักแห้ง) - ไม่เกินร้อยละ 1.25 - ไม่เกินร้อยละ 28 - ไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง	 - ไม่เกินร้อยละ 11 (น้ำหนักแห้ง) - ไม่เกินร้อยละ 8 (น้ำหนักแห้ง) - - ไม่เกินร้อยละ 28 - ไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมตัวอย่าง

2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง

2.2.1 การถ่ายเทความร้อน และพลังงาน [28]

กฎการอนุรักษ์พลังงานซึ่งกล่าวว่าพลังงานไม่สามารถสร้างเพิ่มขึ้นหรือทำลายให้ลดลงไปได้แต่สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงรูปไปได้ สำหรับกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ก็มีพื้นฐานมาจากหลักการอนุรักษ์พลังงานนี้ ดังนั้นการนำกฎข้อที่หนึ่งไปใช้เพื่อการศึกษาถึงพลังงานที่ถ่ายโอนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมก็ต้องใช้หลักการที่ว่าพลังงานที่ระบบได้รับมาหรือสูญเสียไปย่อมเท่ากับพลังงานที่สิ่งแวดล้อมสูญเสียไปหรือได้รับเพิ่มขึ้นตามลำดับ

1) การถ่ายเทความร้อน

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่ถ่ายเทระหว่างระบบกับระบบอื่นหรือระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม การถ่ายเทความร้อนระหว่างวัตถุสองชิ้นใดๆจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อวัตถุทั้งสองนั้นมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ดังนั้นพลังงานที่ถือว่าเป็นพลังงานความร้อนทางเทอร์โมไดนามิกส์จะหมายถึงพลังงานที่ถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมโดยมีสามเหตุมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ นอกจากนี้พลังงานที่เรียกว่าความร้อนนั้นจะหมายถึงเฉพาะในขณะที่พลังงานนั้นกำลังเดินทางข้ามขอบเขตของระบบเท่านั้น และเมื่อพลังงานนั้นได้เดินทางข้ามขอบเขตไปแล้วไม่ว่าจะอยู่ในระบบหรือสิ่งแวดล้อมก็จะถือว่าพลังงานนั้นได้เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานรูปอื่นไม่ใช่ความร้อนอีกต่อไปกล่าวอย่างง่ายๆก็คือความร้อนเป็นปรากฏการที่เกิดขึ้นที่ขอบเขต (boundary phenomena) เท่านั้น นอกจากนี้แล้วในเมื่อความร้อนเกิดขึ้นที่ขอบเขตแล้วเปลี่ยนรูปไปทันทีเมื่อข้ามขอบเขตไปแล้ว ความร้อนจึงไม่สามารถกำหนดสภาวะของระบบได้ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือความร้อนไม่เป็นคุณสมบัติของระบบ [29]

สำหรับกระบวนการใดๆที่เกิดขึ้นโดยที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนเลยจะเรียกว่ากระบวนการอะเดียแบติก (adiabatic process) โดยวิธีการที่จะทำให้เกิดกระบวนการเช่นนี้ขึ้นได้มีอยู่สองวิธี วิธีแรกคือการหุ้มฉนวนระบบอย่างดีเพื่อทำให้ไม่สามารถเกิดการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่างๆ ได้ ดังนั้นในปัญหาที่จะได้พบต่อไปหากได้มีการกำหนดว่าระบบได้รับการหุ้มฉนวนอย่างดีหมายความว่าจะไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม ส่วนวิธีที่สองคือการทำให้ระบบและสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิเท่ากันเพราะเนื่องจากว่าการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเท่านั้น เนื่องจากความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่ง ดังนั้นความร้อนจึงมีมิติเป็นมิติพลังงาน (หรืองาน) นั่นคือมิติเป็นมิติของแรงคูณกับมิติของระยะทาง สำหรับหน่วยนั้นในระบบ SI จะมีหน่วยเป็น kJ (โดย 1 kJ = 1 kN-m) และนิยมใช้สัญลักษณ์ Q_{12} หรือ Q แทนปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทขณะเกิดกระบวนการจากสภาวะที่ 1 ไปสู่สภาวะที่ 2 สำหรับปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อหน่วยมวลจะใช้สัญลักษณ์ q โดย

$$q = Q / m \qquad (1)$$

เมื่อ

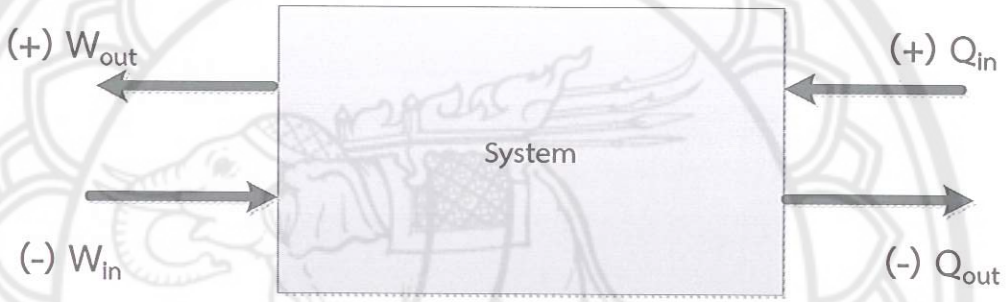
q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อมวล, kJ/kg

Q = ปริมาณความร้อน, kJ

m = มวล, kg

ส่วนอัตราการถ่ายเทความร้อน (rate of heat transfer) ก็คือปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อหนึ่งหน่วยเวลาหรือ $Q = Q/t$ และมีหน่วยในระบบหน่วย SI เป็น kJ/s หรือ kW

ความร้อนนั้นเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณ (quantity) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น เช่น หากกล่าวว่าเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมปริมาณ 5 kJ จะไม่สามารถรู้ได้เลยว่าเกิดการถ่ายเทจากแหล่งใดสู่แหล่งใด จากภาพ 2.1 ทิศทางของการถ่ายเทความร้อนนั้นมีความสำคัญเพราะเป็นเครื่องบ่งชี้ว่าแหล่งนั้นมีพลังงานเพิ่มขึ้นหรือลดลง ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจในทางเดียวกันจึงมีการกำหนดเป็นข้อตกลงเครื่องหมายของความร้อนขึ้น โดยกำหนดว่าความร้อนที่ถ่ายเทสู่ระบบมีเครื่องหมายเป็นบวกและความร้อนที่ถ่ายเทออกมีเครื่องหมายเป็นลบ



ภาพ 2.1 ทิศทางของงานและความร้อน [29]

2) งาน

งานก็เช่นเดียวกับความร้อนคือเป็นพลังงานรูปหนึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วว่าพลังงานที่สามารถข้ามขอบเขตของระบบปิดได้คือความร้อนและงาน ดังนั้นทางเทอร์โมไดนามิกส์ถือว่าหากพลังงานที่ข้ามขอบเขตนั้นไม่ใช่ความร้อนก็จะถือว่าพลังงานนั้นเป็นงานและในเรื่องของความร้อนได้กล่าวมาแล้วว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนคือความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า พลังงานที่ถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมโดยมีสาเหตุจากปรากฏการณ์ใดๆ ที่ไม่ใช่ความแตกต่างของอุณหภูมิจะถือว่าเป็นพลังงานในรูปของงาน สำหรับหน่วยงานในระบบหน่วย SI จะเป็น kJ และสัญลักษณ์ W_{12} หรือ W ซึ่งจะหมายถึงงานในระหว่างเกิดกระบวนการสภาวะที่ 1 ไปยังสภาวะที่ 2 ส่วนงานต่อหน่วยมวลจะเป็น

$$w = W / m \qquad (2)$$

เมื่อ

w = พลังงาน, kJ/kg

W = งาน, kJ

m = มวล, kg

ส่วนอัตราการทำงานหรืองานที่เกิดขึ้นเทียบต่อหน่วยเวลา (work per unit time) เรียกว่ากำลังงาน (power) มีหน่วยเป็น kJ /s หรือ kW เช่นเดียวกับความร้อนจะเป็นพลังงานที่กำหนดแต่ขนาดของมันเท่านั้น ดังนั้นจึงได้มีการตกลงว่าเครื่องหมายของงานที่ใช้จะตรงกันข้ามกับความร้อน คืองานที่ได้รับจากระบบจะเป็นบวก ส่วนงานที่ระบบได้รับจะเป็นลบตามภาพที่ 1 ในบางครั้งแทนทีจะใช้เครื่องหมายบวกหรือลบเป็นตัวบ่งทิศทางของงานหรือความร้อน ก็อาจใช้ subscript in หรือ out ก็ได้โดยให้ Q_{in} เป็นความร้อนที่ถ่ายเทสู่ระบบ และ Q_{out} เป็น ความร้อนที่ถ่ายเทออกจากระบบเช่นความร้อนที่ถ่ายเทออกจากระบบ 5 kJ จะเขียนเป็น Q = -5 kJ หรือ Q_{out} = 5 kJ อย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้ และสำหรับงานก็เช่นเดียวกัน ตัวอย่างเช่นระบบทำงานให้กับสิ่งแวดล้อมมีขนาดเท่ากับ 5 kJ ก็จะเขียนเป็น W = 5 kJ หรือ W_{out} = 5 kJ

ส่วนงานที่กระทำแก่ระบบจะมีเครื่องหมาย เป็นลบเช่น W = -5 kJ ก็อาจจะเขียนเป็น W_{in} = 5 kJ แทนก็ได้ [10]

2.2.2 การอบแห้ง

การอบแห้ง คือกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่งไปยังผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย เมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนจะเกิดกระบวนการถ่ายเทมวลจากผลิตภัณฑ์ไปยังอากาศ ดังนั้น กระบวนการอบแห้งจึงขึ้นอยู่กับกระบวนการถ่ายเทความร้อน เช่นการนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสี และกระบวนการถ่ายเทมวล โดยกระบวนการทั้งสองจะเกิดขึ้นพร้อมกัน การที่ความร้อนถูกถ่ายเทให้แก่ผลิตภัณฑ์ก็เพื่อทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยกลายเป็นไอ และไอน้ำที่ได้จะถูกนำออกมาโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง เช่นการใช้กระแสอากาศโดยการพาหรือการดูดอากาศเพื่อทำให้เป็นสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยว ทำให้การเก็บรักษาไม่นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้เป็นระยะยาวนานขึ้นและการอบแห้งก็สามารถนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ประโยชน์

การถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่จะเกิดจากการพาความร้อนระหว่างอากาศร้อน และความชื้นที่ผิวของวัสดุอบแห้ง โดยความร้อนสัมผัสส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปในการระเหยน้ำจากผิววัสดุอบแห้ง จากทฤษฎีการถ่ายเทมวลสารระหว่างผิวของแข็งและของไหล สามารถที่จะนำมาอธิบายปรากฏการณ์การถ่ายเทความชื้นระหว่างผิววัสดุอบแห้งและอากาศร้อนได้ว่า ปริมาณการถ่ายเทจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุและไอน้ำในอากาศ ดังนั้นขณะที่บริเวณผิววัสดุอิ่มตัวไปด้วยน้ำ (ได้แก่ ช่วงเริ่มต้นของการอบแห้ง) และอากาศค่อนข้างแห้งการ

ถ่ายเทน้ำจะเกิดขึ้นได้ดี ในทางตรงกันข้ามหากบริเวณผิววัสดุมีความชื้นลดลงเหลือน้อยมาก (ได้แก่ ช่วงท้ายของการอบแห้ง) และอากาศที่ใช้อบแห้งค่อนข้างชื้น การถ่ายเทน้ำจะเป็นไปค่อนข้างยากการถ่ายเทมวลสารระหว่างผิวของแข็งและของไหลจะเกิดขึ้นใน 2 ส่วน ดังภาพ 2.2 (ก)

ก) จากของไหลไปยังผิวของแข็ง

ภาพ 2.2 (ก) การแพร่ของมวลระหว่างของไหลไปยังผิวของแข็ง [29]

ข) จากผิวของแข็งไปยังของไหล

ภาพ 2.2 (ข) การแพร่ของมวลระหว่างผิวของแข็งไปยังของไหล [29]

โดยส่วนแรกจะเป็นการถ่ายเทมวลแบบการฟุ้งกระจายโมเลกุลจะเกิดขึ้นระหว่างผิวของแข็งและขอบเขต ส่วนที่สองเป็นการถ่ายเทแบบกำลังบังคับเกิดขึ้นระหว่างของเขตและกระแสของไหล

2.2.3 ความสำคัญของการอบแห้ง [30]

ประโยชน์ของการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาจสรุปได้ตามลำดับ ความสำคัญดังต่อไปนี้

1) เพื่อการถนอมรักษาผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เสียเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีน้อย

2) เพื่อลดปริมาตรและน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วจะมีปริมาตรและน้ำหนักลดลงทำให้สามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษา และการขนส่ง

3) เพื่อช่วยให้กระบวนการการผลิตดีขึ้น ในกรณีนี้อาจจะไม่จริงเสมอไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตนั้นๆ

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง [30]

1) ธรรมชาติของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์เนื้อโปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในผลิตภัณฑ์แบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในผลิตภัณฑ์เนื้อแน่น ดังนั้นผลิตเนื้อโปร่งจึงแห้งได้เร็วกว่าผลิตภัณฑ์เนื้อแน่น ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า ผลิตที่มีการลวก นวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจึงแห้งได้เร็วขึ้น

2) ขนาดและรูปร่าง

ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักเช่น รูปร่างเหมือกัน ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกันการระเหยเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้งๆที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

3) ตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ในเครื่องอบแห้ง

น้ำในผลิตภัณฑ์ที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่าหรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำระเหย

4) ปริมาณผลิตภัณฑ์

ถ้าปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อเครื่องอบแห้งมากเกินไป ผลิตภัณฑ์ส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรือได้รับความร้อนจากเครื่องอบแห้งแล้ว แต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นผลิตภัณฑ์ตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

5) ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน

อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มาก จะรับไอน้ำเพิ่มได้น้อย จึงมีผลในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

6) อุณหภูมิของอากาศร้อน

ถ้าอากาศมีความร้อนขึ้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลต่อการทำแห้งช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้นจึงมีผลต่อการอบในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงด้วย

7) ความเร็วของลมร้อน

ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วยเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในถังอบแห้ง อากาศจึงสัมผัสผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น

2.2.5 ผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง [30]

ตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อการลดลงของความชื้นของวัตถุอบแห้งได้แก่

1) อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าสูง อัตราการอบแห้ง (drying rate) จะมีค่าสูงกว่ากรณีของอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ

2) ความชื้นสัมพัทธ์ อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะสามารถรับความชื้นที่ถ่ายเทจากวัสดุชื้นได้มากกว่ากรณีที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง

3) ความเร็วอากาศที่ไหลผ่านวัสดุชื้น ถ้าความเร็วอากาศมีค่าสูงความชื้นจากวัสดุจะถ่ายเทออกมาสู่อากาศได้ดีกว่ากรณีอากาศทีอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำแต่ผลดังกล่าวจะมีค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับผลจากอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

2.2.6 กรณีหลักๆที่ครอบคลุมการเพิ่มอัตราการอบแห้ง [31] มีดังนี้

1) ความสามารถในการกระจายตัวของความชื้น ถ้าเราต้องการอบแห้งให้ได้รวดเร็วตามที่ต้องการ ย่อมขึ้นกับความเป็นไปได้มากที่สุดในการเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุชื้น ดังนั้น วัสดุที่มีลักษณะเหลว หรือคล้ายวุ้นจึงไม่เหมาะที่จะนำมาอบแห้ง แต่วัสดุที่เป็นอนุภาคซึ่งสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นั้นเหมาะที่จะนำมาอบแห้ง

2) ความแตกต่างของอุณหภูมิ เมื่อพิจารณาอย่างคร่าวๆพบว่าอัตราการอบแห้งเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวกลางที่ให้ความร้อน และวัสดุที่ใช้อบ

3) อัตราการกวน การผสมและคลุกเคล้ากันระหว่างวัสดุ และตัวกลางที่ให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว ทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น

4) ขนาดอนุภาค การอบแห้งเกิดขึ้นได้ เพราะมีการระเหยความชื้นที่ผิวอนุภาค ดังนั้นการจะเอาความชื้นภายในอนุภาคออก ความชื้นต้องแพร่มายังผิวของอนุภาค กระบวนการนี้จะเกิดรวดเร็วเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็ก

5) ลักษณะโครงสร้างของอนุภาค เนื่องจากความชื้นต้องแพร่มาที่ผิวอนุภาคเพื่อเกิดกระบวนการระเหย อนุภาคที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนการอบแห้งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนอนุภาคที่หนามากๆ หรือไม่มีรุพรุน การอบแห้งจะเกิดขึ้นยาก

เนื่องจากวัสดุจากสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่มีโครงสร้างภายในที่มีลักษณะเป็นรูพรุน เมื่อถูกทำให้แห้งในลักษณะชั้นบาง ที่สภาวะของอากาศคงที่ (อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของกระแสอากาศ) อัตราการอบแห้งจะคงที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจึงเริ่มลดลงความชื้นของวัสดุขณะที่อัตราการอบแห้งเริ่มเปลี่ยนจากคงที่เป็นลดลง เรียกว่าความชื้นวิกฤตในเมล็ดพืชส่วนมากจะมีแต่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น

2.2.7 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เนื่องจากการอบแห้ง [30]

การอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับธรรมชาติของผลิตภัณฑ์และสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนี้ คือ

1) การหดตัว

การเสียน้ำทำให้เซลล์ผลิตภัณฑ์หดตัวจากผิวนอก ส่วนที่แข็งจะคงสภาพได้ส่วนที่อ่อนกว่าจะเว้าลงไป ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมากจะหดตัวบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วผลิตภัณฑ์จะหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้าๆ

2) การเปลี่ยนสี

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งมักมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมี การเกิดสีน้ำตาล อุณหภูมิและช่วงเวลาที่ผลิตภัณฑ์มีความชื้น 10-20% มีผลต่อความเข้มของสี จึงควรหลีกเลี่ยงอุณหภูมิสูงในช่วงความชื้นนี้

3) การเกิดเปลือกแข็ง

เป็นลักษณะที่ผิวแข็งเป็นเปลือกหุ้มส่วนที่ยังไม่แห้งไว้ เกิดจากในช่วงแรกให้น้ำระเหยเร็วมากไป น้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทันหรือมีสารละลายของน้ำตาล โปรตีน เคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว สามารถหลีกเลี่ยงโดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงและใช้อากาศที่มีความชื้นสูงเพื่อไม่ให้ผิวผลิตภัณฑ์แห้งก่อนเวลาอันควร

4) การเสียความสามารถในการคืนสภาพ

ผลิตภัณฑ์แห้งบางชนิดต้องนำมาคืนสภาพ แต่การคืนสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่ได้ผลเหมือนเดิม เพราะเซลล์ผลิตภัณฑ์เสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ แป้งและโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำ ผลิตที่ทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็งจะมีความสามารถในการคืนสภาพได้ดีที่สุด เพราะไม่ได้ใช้ความร้อนที่จะทำลายผนังเซลล์หรือเปลี่ยนโครงสร้างของแป้งและโปรตีน (ดนัย และคณะ, 2535)

5) การเสียคุณค่าของผลิตภัณฑ์และสารระเหย

เกิดการเสื่อมสลายของวิตามินซีและแครอทีน ยิ่งใช้เวลาทำแห้งนานการสูญเสียก็ยิ่งมากโปรตีนมีการสูญเสียบางส่วนด้วยความร้อนเช่นเดียวกัน การสูญเสียสารระเหยเนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นของอาหารแห้งลดน้อยลงหรือแตกต่างไปจากเดิม .

2.3 หลักการอบแห้งเมล็ดพืช [32]

โดยทั่วไปเรามักใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ทั้งนี้เพราะสามารถอบแห้งได้เร็วและได้ความชื้นของเมล็ดพืชต่ำตามที่ต้องการ อุณหภูมิของอากาศจะสูงเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการนำเมล็ดพืชไปใช้งาน วิธีและเทคนิคที่ใช้ในการอบแห้งโดยมากเรามักจะเลือกเอาอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้ได้โดยคุณภาพของเมล็ดพืชไม่เสียหาย เพราะจะทำให้อบแห้ง

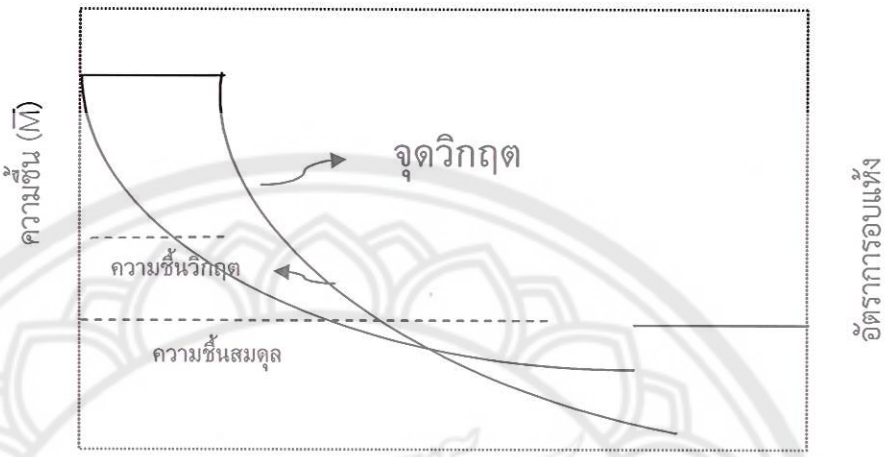
ได้เร็ว มีผลให้เครื่องอบแห้งที่ต้องใช้มีขนาดเล็กลง ทำให้การลงทุนต่ำ ในการอบแห้งบางวิธีเราอาจใช้อากาศแวดล้อมในการอบแห้ง เช่น วิธีการอบแห้งในถังเก็บ คือ อบแห้งเมล็ดพืชภายในตังถังที่ใช้เก็บรักษา การใช้อากาศอบแห้งที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เมล็ดพืชทางด้านล่างของถังซึ่งสัมผัสกับลมร้อนก่อนแห้งเกินกว่าที่ต้องการส่วนเมล็ดพืชทางด้านบนบนของถังซึ่งสัมผัสกับลมร้อนที่หลังจะยังชื้นอยู่

ในขณะที่อากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นเมล็ดพืช จะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลขึ้นพร้อมๆกัน ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังเมล็ดพืชและทำให้น้ำที่บริเวณผิวเมล็ดระเหยเข้าไปอยู่ในอากาศ เป็นผลให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง และความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูงขึ้น ส่วนเมล็ดพืชจะมีความชื้นลดต่ำลง และหากความชื้นลดลงมากพอแล้วอุณหภูมิของเมล็ดพืชก็จะเริ่มสูงขึ้นด้วย จนในที่สุดเมล็ดพืชจะมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง ความชื้นลดลงจนถึงระดับความชื้นสมดุล เมื่อเมล็ดพืชแห้งดีแล้วจะให้เมล็ดพืชสัมผัสกับอากาศแวดล้อมเพื่อให้อุณหภูมิของเมล็ดพืชลดต่ำลง หากเก็บเมล็ดพืชทั้งที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่อาจเกิดปัญหาการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งมีผลให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศทำให้เมล็ดพืชในบริเวณที่มีการควบแน่นมีความชื้นสูงขึ้น โดยมากมักจะเป็นที่ชั้นบนๆ และจะเป็นจุดเริ่มต้นของการแพร่เชื้อราและแมลงต่อไป

2.3.1 การอบแห้งเมล็ดพืช

การอบแห้งเมล็ดพืชเป็นลักษณะการเคลื่อนย้ายของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการทำแห้ง (การสูญเสียน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร) การอบแห้งเมล็ดพืชจะแบ่งอัตราการอบแห้งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วยอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง 1)ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ถ้าผลิตภัณฑ์มีเนื้อโปร่งการเคลื่อนที่เป็นแบบการไหลผ่านช่องแคบ (Capillary flow) น้ำเคลื่อนที่มาที่ผิวผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการระเหยกลายเป็นไอ จึงทำให้ผิวผลิตภัณฑ์เปียกชุ่มด้วยน้ำ การระเหยของน้ำเกิดขึ้นอย่างอิสระด้วยอัตราเร็วคงที่ จึงเรียกการอบแห้งช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ 2) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เกิดจากเมื่อการไหลผ่านช่องแคบหมดไป น้ำต้องเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ที่ช้าลงมากจนมาที่ผิวไม่เพียงพอผิวผลิตภัณฑ์จึงแห้ง การระเหยจะเกิดขึ้นได้ช้าลง อัตราการทำแห้งจึงลดลง เรียกการอบแห้งช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นของอากาศในตู้อบสมดุลกับความชื้นของผลิตภัณฑ์

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ [30] กล่าวว่า เนื่องจากอัตราการอบแห้งอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ดังนั้นอัตราการถ่ายเทมวลจึงถูกควบคุมโดยกระบวนการถ่ายเทมวลจากภายในวัสดุไปยังผิววัสดุ เป็นที่เข้าใจกันว่าการเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลวจะเกิดขึ้นในระยะแรกๆ ขณะที่วัสดุยังมีความชื้นสูง แต่เมื่อความชื้นลดลงมากๆ น้ำอาจเคลื่อนที่ในรูปของไอน้ำ จากเหตุผลดังกล่าวแสดงว่าความเร็วลมไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง



ภาพ 2.3 การอบแห้งวัสดุจากสิ่งมีชีวิตในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงและคงที่ ข้อมูลจากสมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2537) [30]

2.3.2 อัตราการอบแห้งคงที่ [30]

ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างวัสดุและอากาศจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณรอบๆผิววัสดุเท่านั้น ตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งคือ อุณหภูมิ ความสัมพัทธ์ และความเร็วลม อัตราการอบแห้งสามารถหาได้ ดังนี้

$$m_w = h'_D \rho_a A\left(W_{wb} - W_\infty\right) \quad (3)$$

$$m_w = h' A\left(W_\infty - T_{wb}\right) / h_{fg} \quad (4)$$

เมื่อ

A = พื้นที่, m^2

h' = สัมประสิทธิการพาความร้อน, $kJ/m^2.h.^oC$

h'_D = สัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อน, $kJ/m^2.h(kg/m^3)$

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ, kJ/kg

m = อัตราการไหลเชิงมวล, kg/h

W = อัตราส่วนความชื้น, kg water/kg dry air

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3

สัญลักษณ์กำกับล่าง

wb = กระเปาะเปียก และ ∞ คือ น้ำ

สำหรับระบบไอน้ำและอากาศมีความสัมพันธ์ระหว่าง h' , h'_D ดังนี้

$$h'/h'_D = \rho_a G_a \quad (5)$$

เมื่อ

Ga = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศต่อหน่วยพื้นที่, $kg/m^2.h$

โดยค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพการสัมผัสระหว่างวัสดุและลมร้อน หาได้ในกรณีต่อไปนี้

1) กรณีลมร้อนไหลขนานกับแผ่นวัสดุ

$$h' = CG_a^{0.8} \quad (6)$$

เมื่อ

C = ค่าคงที่ มีค่าระหว่าง 0.0748 – 0.101

2) กรณีลมร้อนไหลตั้งฉากกับแผ่นวัสดุ

$$h' = 4.206G_a^{0.37} \quad (7)$$

3) กรณีลมร้อนไหลผ่านวัสดุกลมเดี่ยว

$$Nu = 2+0.65aRe^{1/2}Pr^{1/3} \quad (8)$$

โดยที่

Nu = $h' D_p/K_a$

Re = $D_p V_a \rho_a/m_a$

Pr = $C_a \mu_a/K_a = 0.7$

เมื่อ

Nu = ตัวเลขนัสเซลล์

Re = ตัวเลขเรย์โนลต์

Pr = ตัวเลขแพรนต์เทิล

D_p = เส้นผ่านศูนย์กลาง, m

K_a = สภาพนำความร้อนของลมร้อน, $kJ/m.h^{\circ}C$

μ_a = ความหนืดของลมร้อน, kg/m.h

C_a = ความร้อนจำเพาะของลมร้อน, $kJ/kg.^{\circ}C$

ว TP
363
ส4ผร
2559

1 6824614

31 ส.ค. 2558

สำนักหอสมุด

2.3.3 อัตราการอบแห้งลดลง [32]

ช่วงอัตราการอบแหงลดลง ความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต การถ่ายเทความร้อนและมวลไม่เพียงเกิดขึ้นที่ผิวของวัสดุเท่านั้น แต่เกิดภายในเนื้อวัสดุด้วย การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมายังผิวช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เป็นผลมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น สามารถเขียนเป็นสมการของอัตราการถ่ายเทมวลรวมได้ ดังนี้

$$m_w = -AD\left(\partial C / \partial X\right) \qquad (9)$$

เมื่อ

m_w = อัตราการถ่ายเทมวล, kg/h

A = พื้นที่การถ่ายเทมวล, m^2

C = ความเข้มข้นของความชื้น, kg/m^3

X = ระยะ, m

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น, m^2/h

จากกฎทรงมวลพบว่า อัตราการเคลื่อนที่ของมวลเข้าปริมาตรบังคับเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของมวลภายในปริมาตรบังคับรวมกับอัตราการเคลื่อนที่ของมวลออกจากปริมาตรบังคับ โดยพบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าคงที่ในช่วงความชื้นของวัสดุที่ไม่กว้างมากจะได้

$$\partial m / \partial t = D\left(\partial^2 m / \partial x^2 + \partial^2 m / \partial^2 m / \partial y^2 + \partial^2 m / \partial z^2\right) \qquad (10)$$

เมื่อกำหนดภาวะเริ่มต้นและภาวะของเขตสำหรับวัสดุรูปทรงสี่เหลี่ยมซึ่งมี ความกว้าง ความยาว และความหนา ดังนี้

$$M\left(x, y, z0\right) = M_{in}$$

$$M\left(0, y, z, t\right) = M\left(x, 0, z, t\right) = M\left(x, y, 0, t\right) = M_{eq}$$

$$M\left(1x, y, z, t\right) = M\left(x, 1y, z, t\right) = M\left(x, y, 1z, t\right) = M_{eq}$$

กำหนดให้

$$MR = \left(M - M_{eq}\right) / \left(M_{in} - M_{eq}\right) \qquad (11)$$

เมื่อ

MR = อัตราส่วนความชื้น

M = ความชื้นเฉลี่ย, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_{in} = ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ,เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_{eq} = ความชื้นสมดุลของวัสดุ,เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

จะได้

$$\partial MR/\partial t = D\left(\partial^2 MR/\partial x^2 + \partial^2 MR/\partial^2 MR/\partial y^2 + \partial^2 MR/\partial z^2\right) \qquad (12)$$

โดยที่เขียนสมการ 10 ในระบบหนึ่งมิติได้ว่า

$$\partial m/\partial t = D\left(\partial^2 m/\partial t^2 + (C/r)\partial m/\partial t\right)$$

เมื่อ

C = 0 สำหรับการแพร่ความชื้นในวัสดุแผ่นบางซึ่งกว้างและยาวมาก

C = 1 สำหรับการแพร่ความชื้นในแนวรัศมีของวัสดุทรงกระบอกยาวมาก

C = 2 สำหรับการแพร่ความชื้นในแนวรัศมีของวัสดุทรงกลม

r = ระยะในแนวรัศมี

มีภาวะเริ่มต้นและภาวะขอบเขตดังนี้

$$M(r,0) = M_{in}$$

$$M(r_0,0) = M_{eq}$$

สำหรับวัสดุทรงกระบอก จากกฎการแพร่ของ Fick จะได้สมการคือ

$$MR = \sum_{n=1}^{\infty}\left(4/\lambda_n^2\right)\exp\left(-\lambda_n^2 D/r^2\right) \qquad (13)$$

เมื่อทำการกระจายอนุกรมในสมการ 13 โดยที่กำหนดให้ระยะเวลาในการอบแห้งนานทำให้พจน์ 2,3,4.....สามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้นสมการที่ 2 จะเหลือเพียงพจน์แรกเท่านั้น [33] คือ

$$MR = \left(4/\lambda_n^2\right)\exp\left(-\lambda_n^2 D/r^2\right) \qquad (14)$$

เมื่อ

MR = อัตราส่วนความชื้น

λ_n = รากของเบสเซลฟังก์ชั่นอันดับที่ศูนย์มีค่าเท่ากับ 2.405

r = รัศมีของวัสดุ

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น

สำหรับวัสดุรูปทรงสี่เหลี่ยมหาคำตอบของสมการ 12 โดยวิธีแยกตัวประกอบสำหรับระบบแกนโพลาร์สามมิติได้ดังนี้ โดยสมมติว่า

$$MR(x,y,z,t) = MR_x(x,t).MR_y(y,t).MR_z(z,t) \quad (15)$$

แทนค่า $MR(x,y,z,t)$ จากสมการ 15 ลงในสมการ 12 จะได้ว่า

$$MR(t) = \left(8 = \pi^2\right)^3 \sum_{i=0}^{\infty}\sum_{j=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{\infty}\left(1/(2i+1)^2.1/(2j+1)^2.1/(2k+1)^2\right)$$

$$\exp\left(-\left((2i+1)^2/1_x^{\,2}+(2i+1)^2/1_y^{\,2}+(2i+1)^2/1_z^{\,2}\right)\pi^2 Dt\right) \quad (16)$$

สำหรับวัสดุทรงกลม

$$MR = \left(6/\pi^2\right)\sum_{p=1}^{\infty}\left(1/p^2\right)\exp\left(-p^2\pi^2x^2/9\right) \quad (17)$$

เมื่อ

x = (A / V) $Dt^{1/2}$

A = พื้นที่ผิว, m^2

V = ปริมาตร, m^3

2.3.4 ความชื้นสมดุล [28]

ในกระบวนการอบแห้งวัสดุด้วยอากาศร้อนที่มีสภาวะคงที่ได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์คงที่ จะพบว่าความชื้นของวัสดุลดต่ำลงจนถึงจุดๆหนึ่งซึ่งไม่เปลี่ยนแปลงขณะนั้นความชื้นในวัสดุจะมีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่โดยรอบ และอุณหภูมิของวัสดุก็เท่ากับอุณหภูมิของอากาศโดยรอบด้วย จึงเรียกความชื้นค่านี้ว่า ความชื้นสมดุล โดยความชื้นสมดุลนี้จะขึ้นกับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

สำหรับงานวิจัยของ S.Phoungchandang และ J.L.Woods ทำการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลของกล้วยสุกโดยใช้รูปแบบสมการ Modified-Oswin Equation [33] ได้ผลการทดลองตามสมการ

$$M_{eq} = \left(16.68 - \left(0.1212T_p\right)\right)/\left[\frac{1}{RH_b} - 1\right]^{1.10865} \quad (18)$$

โดยที่

$$RH_b = \frac{1}{x}\frac{W}{(0.6220+W)}$$

$$x = P_{ws} / P_a$$

เมื่อ

M_{eq} = ความชื้นสมดุลของวัสดุ

RH_b = ความชื้นสัมพัทธ์ที่พื้นผิวของวัสดุ

T_p = อุณหภูมิที่พื้นผิวของวัสดุ

x = อัตราส่วนความดัน

P_{ws} = ความดันไออิ่มตัวของน้ำ,kPa

P_a = ความดันบรรยากาศ,kPa

ตาราง 2.6 ระดับความชื้นที่ปลอดภัยสูงสุดสำหรับอาหารอบแห้งบางชนิด [34]

ชนิดอาหาร	ระดับความชื้น %wb	ชนิดอาหาร	ระดับความชื้น %wd
ผลไม้แห้ง	8	กาแฟ	14
ดอกเก๊กฮวยแห้ง	14	กาแฟสำเร็จรูป	4.5
เก๊กฮวยผงสำเร็จรูป	15	กาแฟคั่ว	5
ข้าวเกรียบกึ่ง	12	นมผง	5
สำเร็จรูป		เมล็ดพริกไทย ชั้น 1	12
ข้าวเกรียบสำเร็จรูป	3	เมล็ดพริกไทย ชั้น 2	14
พริกแห้ง	13	พริกไทยป่น	12
พริกป่น	11	เนื้อมะพร้าวแห้ง	3
ชาใบ (ชาจีน)	7	เนื้อมะพร้าวอบแห้งชั้น 1	5
ชงผง (ชาฝรั่ง)	7	เนื้อมะพร้าวอบแห้งชั้น 2	6
ขิงแห้ง	12	เนื้อมะพร้าวอบแห้งชั้น 3	7
ขิงผงสำเร็จรูป	25	ลูกกวาด	3
กล้วยอบ	21	ปลาหยองไม่ปรุงรส	10
ปลาหยองปรุงรส	12		
ปลาหมึกแห้งปรุงรส	28		

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร และมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ออนไลน์ 8 กุมภาพันธ์ 2551)

2.4 เครื่องอบแห้งเมล็ดพืช [35]

เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชแบ่งออกได้เป็นสองชนิดใหญ่ๆคือ 1)เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชอยู่กับที่ (Fixed-bed dryer) เช่นเครื่องอบแห้งแบบถังเก็บ เครื่องอบแห้งแบบเป็นชั้นและแบบเป็นงวด 2) เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหล (Moving-bed-dryer) เช่นเครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง เครื่องอบแห้งแบบไหลตาม และเครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทาง และเครื่องอบแห้งแบบหมุน (Rotary dryer) จัดเป็นเครื่องอบแห้งเมล็ดพืชไหลอีกแบบหนึ่ง

2.4.1 การจำแนกประเภทของเครื่องอบแห้งแบบหมุน

เครื่องอบแห้งแบบหมุน สามารถจำแนกออกเป็นประเภทต่างๆได้ดังต่อไปนี้

1) เครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดรับความร้อนโดยตรง (ลมร้อนสัมผัสกับผลิตภัณฑ์อบแห้งโดยตรง) แบ่งได้ดังนี้

1.1) แบบไหลขวาง

1.2) แบบไหลสวนทาง

1.3) แบบไหลตาม

2) เครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดรับความร้อนโดยทางอ้อม (ความร้อนถ่ายเทผ่านผนังของถังอบแหโดยการนำความร้อน)

3) เครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดรับความร้อนโดยตรง และโดยอ้อม (แบบผสม 1 กับ 2)

เครื่องอบแห้งแบบหมุนสามารถใช้อบแห้งวัสดุที่เป็นเม็ด เป็นสะเก็ด และเป็นก้อน ลักษณะเด่นของเครื่องอบแห้งแบบหมุนได้แก่ การมีลักษณะไม่ยุ่งยาก สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง และอบแห้งอย่างต่อเนื่องได้ในปริมาณที่มาก อีกทั้งความสามารถในผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง มีความชื้นค่อนข้างสม่ำเสมอ ทั้งๆที่ความชื้นของวัสดุที่ป้อนเข้าอาจเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ [21] ได้มีการนำเครื่องอบแห้งแบบหมุนไปประยุกต์ใช้ในงานหลายด้านเช่น ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี สำหรับอบแห้ง Fertilize salts เช่น Ammolism Sulphate,Nitrate,Phosphate,Potassium salts และ Compound N.P.K (Fertilizes ที่ใช้ในลักษณะนี้มีประมาณ 100 ล้านตันต่อปี) ใช้ในอุสาหกรรมอาหารเช่น การอบแห้ง Meat Pellet,น้ำตาลเมล็ด (Granurated Sugar) ,เมล็ดโกโก้ (Cocoa beans) ,เศษปลา (Fish drege) และกากผลไม้ (Brennan) ส่วนทางด้านเกษตรยังไม่ได้นำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรม [32]

เครื่องอบแห้งแบบหมุนจัดเป็นเครื่องอบแห้งที่วัสดุอบแห้งมีการเคลื่อนที่ และยังสามารถแบ่งแยกออกได้ดังนี้ เครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดรับความร้อนโดยตรง เครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดรับความร้อนโดยอ้อม และเครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดรับความร้อนโดยตรงและโดยอ้อม

ลักษณะการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบหมุน มีลักษณะผสมกันระหว่างเครื่องอบแห้งแบบรวดเร็ว (Flash Dryer) คือ ส่วนที่วัสดุอบแห้งแขวนลอยอยู่ในอากาศ กับเครื่องอบแห้งแบบถาด (Ttray Dryer) ส่วนที่ไม่ได้ถูกตัวตักตักขึ้นไป

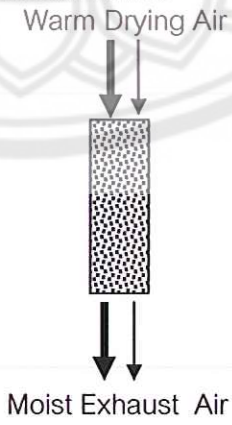
เวลาที่วัสดุอบแห้งอยู่ภายในเครื่องอบแห้ง เราเรียกว่า Residence time สำหรับเครื่องอบแห้งแบบหมุนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5 นาที ถึง 2 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามเครื่องอบแห้งแบบหมุนนี้สามารถรับปริมาตรวัสดุอบแห้งได้ประมาณ 5-15 % ของตัวถังทรงกระบอก

สำหรับวัสดุที่ไวต่อความร้อน (Heat-Sensitive) เครื่องอบแห้งแบบหมุนอาจทำงานที่ความเร็วของกระแสอากาศสูงๆ เพื่อพัดพาให้วัสดุอบแห้งผ่านเครื่องอบแห้งได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีที่วัสดุอบแห้งมีขนาดเล็ก เราสามารถจับวัสดุอบแห้งทั้งหมดได้ด้วยตัวจับฝุ่น ตัวอย่างเช่น พลาสติกผง Residence time ของเครื่องอบแห้งแบบนี้สั้นมาก แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบเวลากับเครื่องอบแห้งแบบรวดเร็วยังถือว่ามีค่ามากสำหรับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ๆ หรือเกาะกันเป็นก้อน Residence time จะมากว่าวัสดุอบแห้งที่เป็นผง

2.4.2 เครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดรับความร้อนโดยตรง

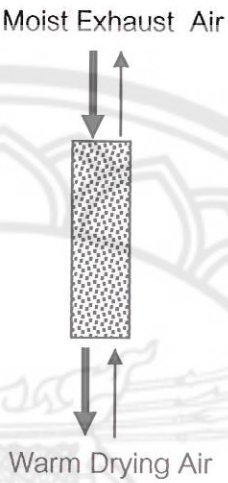
เครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดรับความร้อนโดยตรง ซึ่งผลิตภัณฑ์อบแห้งและลมร้อนสัมผัสกันโดยตรง และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง แบ่งออกเป็นดังนี้ [35]

1) เครื่องอบแห้งแบบไหลตาม (Cocurrent flow) ดังภาพที่ 2.4 การไหลของเมล็ดพืชและของอากาศอบแห้งจะขนานกันและมีทิศทางเดียวกัน เหมาะสำหรับการอบแห้งที่ต้องการอุณหภูมิสูงมากอาจสูงถึง 150-250°C ทำให้สามารถอบแห้งได้เร็ว



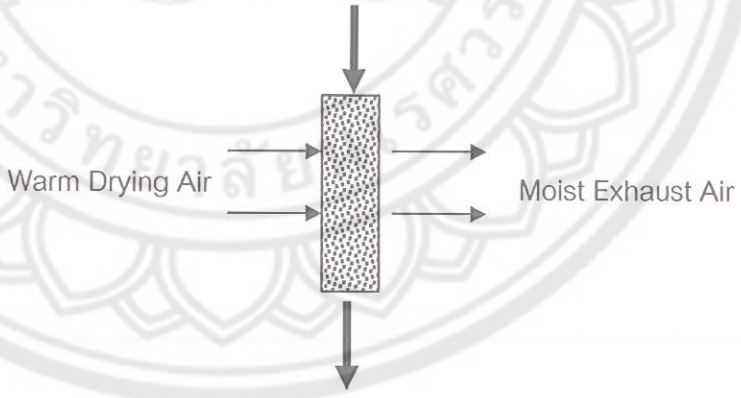
ภาพ 2.4 ทิศทางการไหลของลมร้อนกับผลิตภัณฑ์ แบบไหลตาม (Cocurrent flow) [35]

2) เครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทาง (Counter flow) ดังภาพที่ 2.5 การไหลของเมล็ดพืชและของอากาศอบแห้งขนานกันแต่ทิศทางตรงกันข้าม การอบแห้งลักษณะนี้เมล็ดพืชจะไหลลงด้านล่าง และอากาสอบแห้งจะไหลขึ้นด้านบน



ภาพ 2.5 ทิศทางการไหลของลมร้อนกับผลิตภัณฑ์แบบไหลสวนทาง (Counter flow) [35]

3) เครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง (Cross flow) ดังภาพที่ 2.6 การไหลของเมล็ดพืชกับอากาศที่ใช้อบแห้งจะไหลตัดผ่านทิศทางกัน



ภาพ 2.6 ทิศทางการไหลของลมร้อนกับผลิตภัณฑ์แบบไหลขวาง (Counter flow) [35]

เมื่อพิจารณาทิศทางการไหลของกระแสอากาศกับวัสดุอบแห้ง ถ้าพิจารณาแบบคร่าวๆ อาจจะคิดว่าการไหลแบบสวนทางกันมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบไหลตามกัน ซึ่งเป็นจริงสำหรับการใช้ความร้อนในการเผาไหม้ โดยไม่ได้พิจารณาถึงการลดความชื้น หรืออาจกล่าวได้ว่าเราต้องการเพียงอุรหภูมิสุดท้ายที่สูงๆเท่านั้น แต่ในเครื่องอบแห้งสิ่งที่สำคัญที่ต้องพิจารณาคือ ความไวต่อความร้อน

ของวัสดุ ดังนั้นบ่อยครั้งพบว่าการไหลแบบตามกันจะมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบไหลสวนทางกัน เพราะว่าเราสามารถใช้อุณหภูมิสูงๆได้

เนื่องจากการไหลแบบตามกัน อากาศร้อนทางเข้าจะสัมผัสกับวัสดุอบแห้งที่เปียก ดังนั้น อุณหภูมิของวัสดุยังอยู่ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ซึ่งเป็นระยะเวลาที่วัสดุอบแห้งยังมีความชื้นสูงอยู่แต่เมื่อเวลาผ่านไปวัสดุมีความชื้นลดลง ในทำนองเดียวกันอุณหภูมิกระเปาะแห้งก็ลดลงจนอยู่ต่ำกว่าจุดที่จะเป็นอันตรายต่อวัสดุอบแห้ง ตัวอย่างเช่นการประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้ง อุณหภูมิอากาศเข้าอาจมีอุณหภูมิสูงถึง 177 ^{0}C (350 ^{0}F) แต่ของวัสดุไม่เกิน 54 ^{0}C (130 ^{0}F) ซึ่งการใช้อุณหภูมิเข้าสูงนี้จะทำให้เครื่องอบแห้งสามารถอบวัสดุอบแห้งได้มากขึ้น และยังเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งอีกด้วย เพราะเราใช้ปริมาณอากาศร้อนมาก ดังนั้นการสูญเสียความร้อนที่กระแสอากาศทางออกจึงต่ำ

สำหรับการไหลแบบสวนทางกัน วัสดุที่ใช้อบแห้งจะสัมผัสอากาศร้อนที่ทางออก การไหลแบบนี้จึงมีประโยชน์ถ้าเราต้องการใช้วัสดุอบแห้งที่มีอุณหภูมิสูงๆ แต่ต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิที่ทำให้วัสดุอบแห้งเปลี่ยนคุณสมบัติ ส่วนการไหลแบบตามกัน วัสดุแห้งและอากาศที่ทางออกจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นอุณหภูมิของวัสดุแห้งสามารถควบคุมได้โดยการควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ทางออก ส่วนปริมาณความชื้นที่ลดลงของวัสดุในเครื่องอบแห้งแบบหมุนนั้น เป็นสัดส่วนกับพื้นที่หน้าตัดของตัวถังทรงกระบอกและความเร็วของกระแสอากาศ ในกรณีความเร็วของกระแสอากาศสูงจะเกิดการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งเป็นการเพิ่มอัตราการอบแห้ง แต่จากการศึกษาพบว่าความเร็วของกระแสอากาศมีผลน้อยมากต่ออัตราการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง [36]

ตาราง 2.7 ข้อดีและข้อเสียของ Cocurrent flow, counter flow และ Cross flow dry [37]

ชนิดการไหลของอากาศ	ข้อดี	ข้อเสีย
Cocurrent flow ผลิตภัณฑ์ ⟶ การไหลของอากาศ ⟶	- ลดความชื้นได้ดีตอนเริ่มต้น - ผลิตภัณฑ์หดตัวต่ำ - ความหนาแน่นก่อนอัดสูง - เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนน้อย - ไม่เสี่ยงต่อการเน่าเสีย	- การลดความชื้นทำได้ยาก เนื่องจากอากาศเย็นและชื้นไหลผ่านหน้าผลิตภัณฑ์
Counter flow ผลิตภัณฑ์ ⟶ การไหลของอากาศ ⟵	- มีการใช้พลังงานคุ้มค่ากว่าการไหลแบบตาม - ปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ต่ำ เนื่องจากอากาศร้อนผ่านหน้าผลิตภัณฑ์	- ผลิตภัณฑ์อาจเกิดการหดตัว เสียหายเนื่องตากความร้อน - อาจเกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนชื้น พบผลิตภัณฑ์เปียกชื้น
Cross flow ผลิตภัณฑ์ ⟶ การไหลของอากาศ ↑	- ปรับเปลี่ยนการควบคุมการอบแห้งได้โดยการแยกโซนให้ความร้อน ทำให้เกิดการอบแห้งอย่างสม่ำเสมอ - มีอัตราการอบแห้งสูง	- อุปกรณ์มีความซับซ้อน - เสียค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาและการลงทุนเบื้องต้นสูง

2.4.3 ข้อดีข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดให้ความร้อนโดยตรง [37]

ข้อดี

1) การขยายขนาดจากห้องทดสอบหรือจากข้อมูลทำได้ง่าย และเป็นเครื่องอบแห้งที่เสียยาก

2) สามารถลดความชื้นของวัสดุได้ตามต้องการ เพราะสามารถเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการอบได้

3) ราคาต้นทุนไม่สูงมาก

4) สามารถควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้งได้ใกล้เคียงกับที่ต้องการ ถึงแม้จะควบคุมได้ไม่ดีเท่ากับเครื่องอบแห้งแบบ Fluidized-bed

5) สามารถใช้ได้ทั้งอบแห้งและเผาในเครื่องอบแห้งเครื่องเดียวกัน

6) สามารถเลือกระบบการไหลของอากาศได้ทั้งแบบไหลตามกัน หรือแบบไหลสวนทางกัน ขึ้นกับว่าอย่างไหนจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่ากัน

ข้อเสีย

1) การป้องกันไม่ให้อากาศร้อนรั่วเป็นไปได้ยาก

2) ต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก

3) ในการอบแห้งจะเกิดฝุ่นและถูกพัดพาออกมากับอากาศ ซึ่งต้องเสียค่าใช่จ่ายสูงขึ้นในการเพิ่มตัวจับฝุ่น

3) ในการอบแห้งจะเกิดฝุ่นและถูกพัดพาออกมากับอากาศ ซึ่งต้องเสียค่าใช่จ่ายสูงขึ้นในการเพิ่มตัวจับฝุ่น

4) เครื่องอบแห้งแบบหมุนมีน้ำหนักมาก

2.4.4 เครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดให้ความร้อนโดยอ้อม

เครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดให้ความร้อนโดยอ้อม เมื่อต้องการใช้เครื่องอบแห้งแบบให้ความร้อนโดยอ้อม แทนเครื่องอบแห้งแบบให้ความร้อนโดยตรงนั้น มีเหตุผลใหญ่ๆด้วยกัน 5 ข้อ คือ

1) เมื่อต้องการให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง ในการเผาไหม้

2) เมื่อวัสดุอบแห้งไม่สามารถถูกความร้อนได้โดยตรงจากการเผาไหม้

3) เมื่อราคาไอน้ำต่ำ

4) เมื่อการพัดพาของอากาศร้อนทำให้เกิดฝุ่นมาก

5) เมื่อของเหลวที่ต้องการเอาออกจากวัสดุอบแห้งเป็นของเหลวที่มีราคาสูง

ถ้าวัสดุอบแห้งสัมผัสกับกระแสอากาศร้อนได้โดยตรงในการนำกระแสอากาศร้อนกลับมาใช้ เราควรใช้แบบการให้ความร้อนโดยตรง แต่ถ้าวัสดุอบแห้งขณะทำการอบแห้งมีฝุ่นมาก หรือของเหลวที่ระเหยออกมีค่า ในการนำกระแสอากาศร้อนกลับมาใช้จะใช้แบบการให้ความร้อนโดยอ้อมเพื่อแยกกระแสอากาศร้อนกับวัสดุอบแห้งออกจากกัน ดังนั้นระบบแบบให้ความร้อนโดยอ้อมจึงเป็นระบบพื้นฐานที่ถูกเลือกใช้เป็นตัวควบคุมการเกิดฝุ่น

2.4.5 การถ่ายเทความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบหมุน [32]

การอบแห้งภายในเครื่องอบแห้งแบบหมุน เกิดขึ้นได้เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนจากกระแสอากาศสู่ผลิตภัณฑ์ การถ่ายเทความร้อนมีทั้ง การพาความร้อน การนำความร้อน และการแผ่รังสี สำหรับเครื่องอบแห้งแบบหมุนการถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่เกิดจากการพาความร้อน ซึ่งสมการการถ่ายเทความร้อนโดยการพา ใช้สมการการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling)

$$q = ha\left(T_w - T_\infty\right)) \qquad (19)$$

เมื่อ

a = ค่าต่อเนื่องของผล klin action

T_w = อุณหภูมิที่ผิวอนุภาค, °C

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, kJ/m^2.s °C

คุณสมบัติของของไหล เช่น ความหนืด ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ และลักษณะการไหลของของไหล มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนโดยการพา การศึกษาการถ่ายเทความร้อนโดยการพา ได้นำเอาคุณสมบัติเหล่านี้มารวมอยู่ในรูปสมการไร้หน่วย และเรียกสมการไร้หน่วยนี้ว่า Reynolds number สำหรับวัสดุทรงกลม Reynolds number มีสมการดังนี้

$$Re = \frac{vd}{\nu} \qquad (20)$$

เมื่อ

ν = kinematic viscosity, m^2/s

v = ความเร็วลมอนันต์, m/s

เมื่ออากาศร้อนไหลผ่านวัสดุอบแห้ง จะมีปรากฏการณ์เกิดขึ้นสองปรากฏการณ์คือ เกิดความแตกต่างของความเร็วที่กระแสอากาศ กับบริเวณใกล้ๆผิววัสดุอบแห้ง และเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่กระแสอากาศ กับ ผิววัสดุ โดยที่ผิววัสดุอบแห้งจะเกิดชั้นฟิล์มอยู่ชั้นหนึ่งขึ้น อุณหภูมิของชั้นฟิล์มเรียกว่า อุณหภูมิชั้นฟิล์มอยู่นิ่ง (film temperature) โดยในการคำนวณจะเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิกระแสอากาศ กับอุณหภูมิวัสดุอบแห้ง ซึ่งทั้งสองปรากฏการณ์นี้มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนโดยการพา และสมการไร้หน่วยที่บอกผลของทั้งสองปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Prandt number

$$\Pr = \frac{\nu}{\alpha_1} \qquad (21)$$

เมื่อ

$$T_f = \left(\frac{T_W - T\infty}{2}\right)$$

α_1 = Thermal diffusivity, m^2/S

T_f = อุณหภูมิที่ฟิล์มอยู่นิ่ง, ^oC

T_W = อุณหภูมิที่ผิวอนุภาค, ^oC

T_∞ = อุณหภูมิที่อนันต์, ^oC

จากการเกิดชั้นฟิล์มอยู่นิ่งที่บริเวณผิวของวัสดุอบแห้ง แสดงว่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าไปภายในวัสดุอบแห้งเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำ นั้นคือ ความร้อนจะถูกพาจากกระแสอากาศสู่ชั้นฟิล์มอยู่นิ่ง และจากชั้นฟิล์มอยู่นิ่งความร้อนจะถูกนำเข้าไปภายในของวัสดุอบแห้ง สมการไร้หน่วยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อน และการพาความร้อนคือ Nusselt number

$$Nu = \frac{hd}{k} \qquad (22)$$

เมื่อ

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, kJ/m.s $^{\circ}$C

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, kJ/m^2.s $^{\circ}$C

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนโดยการพา มีผู้เสนอสมการอย่างง่ายสำหรับอธิบายการพาความร้อนซึ่งสมการอย่างนี้ใช้ได้เฉพาะช่วงที่ผู้เสนอศึกษาเท่านั้น สมการอย่างง่ายสำหรับการถ่ายเทความร้อนจากกระแสอากาศสู่วัสดุทรงกลม ได้มีผู้เสนอไว้ดังนี้

เสนอโดย McAdams [38]

$$\frac{hd}{k_f} = 0.37 \left[\frac{Vd}{\nu_f}\right]^{0.6} \qquad (23)$$

สำหรับ $17 < Re < 70{,}000$

เสนอโดย Achenbach

$$Nu = 2t\,(0.25\ t\ 0.0003\ Re^{1.6})^{0.5}$$

$$100 < Re < 3 \times 10^5$$

$$Nu = 430 + a\,Re + b\,Re^2 + c\,Re^3$$

$$3 \times 10^5 < Re < 5 \times 10^6$$

เมื่อ

$a = 5 \times 10^{-3}$, $b = 0.25 \times 10^{-9}$, $c = -31 \times 10^{-17}$

2.4.6 โครงสร้างของเครื่องอบแห้งแบบหมุน

1) โครงสร้างหลัก (Main body) โครงสร้างหลักเป็นถังรูปทรงกระบอกทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ในกรณีที่ต้องใช้งานที่อุณหภูมิสูงๆบางครั้งจะบุด้านในของผนังด้วยปลอกทนความร้อน เครื่องอบแห้งที่ใช้งานจริง มีตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร ถึง 3 เมตร และความยาวตั้งแต่ 2 เมตร ถึง 50 เมตร

2) ตัวตัก (Flights) ใช้ในการแบ่งกระจายผลิตภัณฑ์อบแห้งให้ทั่วผนังของถังอบแห้ง และเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างความร้อนกับผลิตภัณฑ์อบแห้งเนื่องจากรูปร่าง และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนไปในระหว่างการอบ

การคำนวณจำนวนตัวตัก (Flights)

$$\frac{n}{D_r} = 8 - 10 \qquad (24)$$

D_r = เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)ของตัวถังอบแห้ง

n = จำนวนตัวตัก

3) ความสูงในแนวรัศมีของตัวตัก ที่ผนังด้านในของตัวถังอบแห้ง

$$h = \left[\frac{1}{12} - \frac{1}{8}\right] D_r \qquad (25)$$

4) อัตราส่วนของวัสดุที่อยู่ในถังอบแห้ง(Hold-up), x (%)

อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในเครื่องหมาย x หมายถึง อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ภาคตัดขวางที่ถูกครอบครองโดยผลิตภัณฑ์กับพื้นที่ภาคตัดขวางของตัวถังอบแห้ง ($\pi D_r^2 / 4$) ค่าที่เหมาะสมที่สุดของ x มีค่าอยู่ระหว่าง 5-15%

5) กำลังสำหรับขับเคลื่อนการหมุนของถังอบอบแห้ง (Power,P)

วิธีการคำนวณสามารถประมาณค่าคร่าวๆได้จาก

$$P = D_r L \qquad (26)$$

เมื่อ L = ความยาวของถังอบ (m)

6) การหาอัตราการหมุนของถังอบแห้ง

จำนวนรอบของการหมุน N (rpm) ของตัวถังอบแห้งโดยจะคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$ND_r = 7\text{-}12 \text{m/min} \qquad (27)$$

เมื่อ D_r = เส้นผ่านศูนย์กลาง (m) ของตัวถังอบแห้ง

7) มอเตอร์ตัวขับเคลื่อนการหมุนของถังอบแห้ง

ตัวปรับความเร็วรอบ คือ ตัวปรับความเร็วรอบใช้หลักการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพู่เลย์

สมการคำนวณ

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D}{d} \qquad (28)$$

เมื่อ

n_1 = ความเร็วรอบที่ออกจากมอเตอร์, rpm

n_2 = ความเร็วรอบที่ออกจากชุดทดรอบ, rpm

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของพู่เลย์ที่คงที่, m

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของพู่เลย์ที่เปลี่ยนแปลง, m

2.4.7 ลักษณะเด่นของเครื่องอบแห้งแบบหมุน

1) สามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ปริมาณมากอย่างต่อเนื่องได้ เครื่องอบแห้งแบบหมุนเหมาะสำหรับงานอบแห้งอย่างต่อเนื่องในปริมาณมากๆ มีหลายเครื่องที่ระเหยความชื้นมากกว่า 10 ตัน/ชั่วโมง

2) สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะของผลิตภัณฑ์อบแห้งได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งประเภทอื่นๆ และสามารถปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ป้อนเข้าได้ในช่วงกว้างกว่า

3) สามารถใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิสูงได้ โครงสร้างของเครื่องอบแห้งแบบหมุนสามารถทนอุณหภูมิสูงๆได้ ผลิตภัณฑ์อบแห้งหลายๆชนิดสามารถอบแห้งด้วยอุณหภูมิหลายร้อยองศาเซลเซียสได้ถ้าใช้การไหลแบบตามกัน ในกรณีเช่นนั้นจะกินกำลังไฟน้อยกว่าเครื่องอบแห้งประเภทอื่น อีกทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธภาพเชิงความร้อนให้สูงเกิน 70% ถ้านำอากาศส่วนใหญ่ที่ใช้แล้วกลับมาใช้งานอีก เครื่องอบแห้งแบบหมุนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์พวกปูนซิเมนต์อย่างต่อเนื่องในปริมาณมากและที่อุณหภูมิสูงๆ

2.4.*8* การดูแลรักษาเครื่องอบแห้งแบบหมุน

การบำรุงรักษาเครื่องอบแห้งที่สำคัญ คือ ต้องดูแลให้เกิดการหล่อลื่นอย่างดีของชิ้นส่วนที่หมุน โดยการชโลมน้ำมันหล่อลื่น การใส่จารบีลูกปืน (Bearing)นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องคอยตรวจด้วยสายตาเพื่อไม่ให้เกิดการสึกกร่อน การสั่นสะเทือน เสียงผิดปกติ พลังงานสูงๆ ต่ำๆเป็นต้นหากพบสิ่งผิดปกติใดๆ จะต้องดำเนินมาตรการแก้ไขโดยเร็ว

2.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง

หาสมรรถนะและศักยภาพของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกแบบถงหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว(LPG) โดยพิจารณาจาก เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานและคุณภาพของพริกที่ได้ ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดรูปแบบการทดลองด้วยการควบคุมอุณหภูมิ อัตราการหมุนของถังอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง ในการหาวมรรถนะของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) ได้จากสมการ

$$\eta = \frac{output}{input} \times 100 \qquad (29)$$

เมื่อ

η = ประสิทธิภาพของระบบอบแห้ง, %

$output$ = พลังงานที่ใช้ในการระเหยของน้ำจากวัสดุ, MJ

$input$ = พลังงานทั้งหมดที่ใช้กับเครื่องอบแห้ง, MJ

2.6 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐ์ศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis) เป็นวิธีการกำหนดผลตอบแทนรวม หรือผลิตภาพ หรือความสามารถในการทำกำไรต่อสังคมโดยส่วนรวม หรือระบบเศรษฐกิจที่ทรัพยากรทั้งหมดได้ทุ่มเทให้กับโครงการโดยไม่คำนึงว่าใครในสังคมจะเป็นผู้รับผลประโยชน์เหล่านั้นหรือกล่าวได้ว่าการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์มีทรรศนะเพื่อสังคมเป็นส่วนรวม (The Society as a Whole) [39] การวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบพริกและคั่วพริกสดแบบถังหมุนโดยใช้ความร้อนจากแก๊ส LPG [40]

สมการในการคำนวณหาต้นทุนการอบแห้งผลิตภัณฑ์

การคำนวณหามูลค่าเงินปัจจุบัน (Present worth) จากมูลค่าเงินในอนาคต (Future worth) สมารถหาได้จากสมการ

$$PW = CL + \sum_{j=1}^{n}\left[\frac{F_n}{(1+i)^n}\right] \qquad (30)$$

เมื่อ

PW = มูลค่าเงินในปัจจุบัน (บาท)

CL = เงินลงทุน ณ ปีที่ 0 (บาท)

F_n = มูลค่าเงินในอนาคต (บาท)

i = อัตราดอกเบี้ยรายปี (%)

j = ปีที่ 1

n = จำนวนปี

การคำนวณค่าใช้จ่ายที่เท่ากัน (LeveliZed annual cost , LAC) ตลอดอายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง ซึ่งเป็นการคำนวณหาต้นทุนของการอบแห้ง สามารถหาได้จากสมการ

$$LAC = PW \times CRF \qquad (31)$$

เมื่อ

LAC = ต้นทุนในการอบแห้งพริกรายปี

CRF = ผลตอบแทนเงินลงทุน (Capital Recovery Factor)

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

กรณีหาต้นทุนการอบแห้งต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ($LACW$)

จาก $LACW = LAC / WEP$ (31)

WEP = ปริมาณน้ำระเหยออกจากพริก, kg/year

กรณีหาต้นทุนการอบแห้งต่อกิโลกรัมพริกแห้ง ($LACC$)

$$LACC = LAC / DC \quad (32)$$

DC = ปริมาณพริกแห้ง,kg/year

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิพัฒน์ อมตฉายา [41.] ศึกษาการอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งพริกแบบหมุน โดยใช้ความร้อนจาก Heater ขนาด 12000 W โครงสร้างของเครื่องอบแห้งแบบหมุนประกอบด้วย ชุดป้อนพริก โดยมีมอเตอร์ตัวป้อนขนาด 1/4 hp ชุดทดรอบอัตราทด 1: 60 ถังอบแห้งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง0.4 m ยาว 1.8 m มอเตอร์ขับเคลื่อนการหมุนของถังอบแห้งขนาด 1 hp ชุดทดรอบมีอัตราการทด 1:10 ปรับรอบโดยใช้หลักการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพู่เล่ย์ พัดลมเป่าอากาศที่ใช้ขนาด 400 W เพื่อพาความร้อนจาก Heater เข้าสู่ถังอบแห้ง เพื่อทำการอบแห้งพริกที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 9 kg ที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 78-84 wb จนมีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 15 wb และน้ำหนักสุดท้ายของพริกประมาณ 2.3 kg

ชนากานต์ อาษาสุจริต [42.] ศึกษาการอบแห้งพริกชี้ฟ้าแดงด้วยพลังงานความร้อนที่ได้จากมวลชีวภาพ (Producer gas) พบว่าพริกชี้ฟ้าแดงที่อบได้ปราศจากสิ่งปนเปื้อนและฝุ่นละออง ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของพริกชี้ฟ้าแดง คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง และอัตราการไหลของอากาศ สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมคือ อัตราการไหลของอากาศ 0.082 kg/s อุณหภูมิในห้องอบเฉลี่ย 63.23 ^{0}C ใช้อบพริกชี้ฟ้าแดง 17.18 kg ที่ความชื้นเริ่มต้น 86.02 %wb จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายลดลงเหลือ 33.46 MJ/kg H_2O evap. โดยมีต้นทุนที่ใช้ในการระเหยน้ำ 1 kg ออกจากพริกชี้ฟ้าแดงของเครื่องอบนี้ 54.25 Baht/kg H_2O evap. เมื่อกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง 10 ปี

สวิก เพ็งอัน [43] ศึกษาการอบแห้งพริกโดยใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพของแหล่งน้ำพุร้อนอำเภอสันกำแพง ในโรงบ่มใบยาสูบต้นแบบพบว่าอุณหภูมิระหว่าง 50-60 ^{0}C เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเวลาที่ใช้ในการอบแห้งพริกแดง และพริกสดเท่ากับ 72 และ 108 h ตามลำดับ และอัตราส่วนในการแปรสภาพน้ำหนักสอต่อน้ำหนักแห้งเท่ากับ 5.20 : 1 และ 4.38 : 1 ตามลำดับ โดยพริกแห้งที่อบได้มีคุณภาพดี มีสีสดใส และเป็นที่ต้องการของตลาดซึ่งจะสามารถลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร นอกจากนี้ยังสามารถดัดแปลงไปใช้ในการอบแห้งผลผลิตการเกษตรชนิดอื่นๆได้อีกด้วย

สรุศักดิ์ เทียบรัตน์ [26.] ศึกษาและออกแบบเครื่องอบแห้งพริกและกระเทียมที่ใช้พลังงานความร้อนทิ้งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ ที่มีอุณหภูมิประมาณ 80 ^{0}C ผ่านเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Finned tube ขนาด 10×50×30 cm^3 จำนวน 4 แผง ในการอบใช้พัดลมขนาด 2 hp 1,420 rpm เป่าอากาศผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเข้าสู่ห้องอบแห้งขนาด 2.1×

2.4×2.1 m^3 เพื่อทำการอบผลิตภัณฑ์ พบว่า สภาวะและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบพริกหนัก 450 kg ที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 76% มาตรฐานเปียก จนมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 13% มาตรฐานเปียก โดยในการอบแห้งจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องอบประมาณ 50.4 ^0C ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 46 ชั่วโมง มีการใช้อัตราการไหลของน้ำร้อนและอากาศเท่ากับ 1 kg/s เมื่อศึกษาถึงความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งจะใช้พลังงานจากแหล่งพลังงาน 2 แหล่ง คือ พลังงานความร้อนทิ้งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานไฟฟ้าที่ให้กับมอเตอร์ รวมเป็นการใช้พลังงานในการอบแห้งพริกทั้งสิ้นเท่ากับ 13,313.32 MJ หรือ 40.49 MJ/kg H_20 evap.โดยสามารถประหยัดพลังงานสิ้นเปลืองได้ 96.5% โดยมีต้นทุนที่ใช้ในการระเหยน้ำ 1 kg ออกจากพริก 21.80 Baht/kg H_2O evap. และมีต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์แห้งเท่ากับ 50 Baht/kg dried chilli เมื่อเปรียบเทียบกับแก๊สหุงต้ม และการใช้ไฟฟ้า พบว่าต้นทุนการระเหยน้ำ 1 kg เท่ากับ 32.39 Baht/ H_2O evap. ระยะเวลาในการอบแห้งพริก 60 วัน

ณอคุณ สิทธิพงศ์ [44] ได้ศึกษาเครื่องอบแห้งเครื่องอบแห้งพืชหลายชนิด จากการทดลองสำหรับความหนาแน่นของผลผลิตต่างๆ สามารถหาได้โดยการวัดที่สภาวะต่างๆโดยตรง พบว่าที่สภาวะสดของพริกเล็ก และพริกใหญ่จะมีความเปียกชื้น และความหนาแน่นตามลำดับดังนี้ คือ 75%wb, 340 kg/m^3 , 83%wb, 325% kg/m^3 ที่สภาวะแห้ง 13%wb, 145 kg/m^3, 13%wb, 80 kg/m^3 จากการทดลองการอบแห้งในโรงอบแห้งขนาดเล็กซึ่งใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงพบว่าประสิทธิภาพในการอบแห้งพริกใหญ่ และพริกเล็กดีที่สุดจะมีค่าเท่ากันคือ 82% ซึ่งความชื้นเริ่มต้น 80%wb , 76.5%wb เวลาในการอบแห้ง 43, 60 h และใช้ฟืนทั้งหมด 218 kg, 162 kg ตามลำดับ ผลจากการทดลองการอบแห้งในโรงบ่มใบยาสูบดัดแปลง ซึ่งใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง พบว่าประสิทธิภาพในการอบแห้งของพริก 14.7% ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้น 78% wb ความชื้นสุดท้าย 6%wb เวลาในการอบแห้ง 111 h และฟืนที่ใช้ 910 kg

เพียรพรรณ สุภะโคตร [27] ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกแบบอุณหภูมิสองขั้น โดยใช้พริกพันธุ์จินดา และพันธุ์หัวเรือย่น โดยการทำแห้งขั้นที่หนึ่งที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งในแต่ละอุณหภูมิใช้เวลาในการทำแห้ง 3 4 และ 5 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาสภาวะที่เหมาะสม จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งขั้นที่สองที่ระดับ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 13 (น้ำหนักแห้ง) จากการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งขั้นที่หนึ่งพบว่า อุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้นจะส่งผลเสียต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของพริกพันธุ์จินดาและพริกพันธุ์หัวเรือย่น ($p \leq 0.05$) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลพบว่าโดยส่วนมากปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้งขั้นที่หนึ่งไม่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ

และสมบัติทางเคมีของพริกพันธุ์จินดาและพันธุ์หัวเรือย่น ($p > 0.05$) และพบว่าปัจจัยของเวลาในการทำแห้งขั้นที่หนึ่งไม่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีในพริกทั้งสองสายพันธุ์ ($p > 0.05$) เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ ≥อุณหภูมิระดับต่างๆ พบว่า การทำแห้งพริกพันธุ์จินดา และพริกพันธุ์หัวเรือย่นในขั้นที่หนึ่ง ที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส สามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของพริกได้ดีกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ($p \leq 0.05$) แต่พบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประหยัดพลังงานมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พริกทั้งสองสายพันธุ์มีค่ามุมของสีสูง มีร้อยละการหดตัวต่ำซึ่งสัมพันธ์กับอัตราการดูดน้ำกลับสูง และสามารถคงปริมาณกรดแอสคอร์บิก สารประกอบฟีนอลิก ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณสารแคปไซซิน และได้ไฮโดรแคปไซซินได้สูง เมื่อพิจารณาปัจจัยของเวลาในการทำแห้งขั้นที่หนึ่งมีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของพริก โดยพบว่าการทำแห้งที่เวลา 3 ชั่วโมงสำหรับพริกพันธุจินดา และ 4 ชั่วโมงสำหรับพริกพันธุ์หัวเรือย่น ทำให้สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีดีกว่าเวลาในการทำแห้งอื่นๆ สำหรับการทำแห้งขั้นที่สองของพริกทั้งสองสายพันธุ์ พบว่าการทำแห้งแบบอุณหภูมิสองขั้นสามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของพริกได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบอุณหภูมิขั้นเดียว ($p \leq 0.05$) พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งขั้นที่สองเพิ่มขึ้นสามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีได้ดีกว่าการทำแห้งขั้นที่สองที่อุณหภูมิต่ำ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าการทำแห้งพริกทั้งสองสายพันธุ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ในขั้นที่หนึ่ง แล้วตามด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในขั้นที่สอง เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำพริกแห้ง

ณัฐวุฒิ ดุษฎี และจงจิตร์ หิรัญลาภ [45] ศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม โดยทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้ง เพื่อศึกษาเทคนิคและความเป็นไปได้ในการอบแห้งผลไม้ ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นบางส่วน จากการทดสอบสมรรถนะของตู้โดยใช้กล้วยน้ำว้า โดยพิจารณาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งคือ อุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ อัตราการไหลเวียนกลับของอากาศ โดยดูในแง่คุณภาพที่ได้ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งและพลังงานที่ใช้ จากนั้นวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งมีค่าประมาณ 60 ^{0}C อัตราการไหลจำเพาะของอากาศประมาณ 10 kg dried air/h/kg dried banana อัตราส่วนเวียนกลับประมาณ 80% จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี เวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้น และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าต่ำ จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า มีจุดคุ้มทุน 3.6 ปี ที่ความแตกต่างของราคากล้วยอบแห้งในตู้และตากกลางแจ้งเท่ากับ 3 Baht/kg และโดยเฉลี่ยจะประหยัดพลังงานไฟฟ้าของตัวอุ่นอากาศได้ 33%

ยงยุทธ พืชกมุทร [46] ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกโดยอาศัยการนำความร้อน และการพาความร้อน เครื่องอบแห้งแบบหมุนทำงานโดยการถ่ายเทความร้อนจากอากาศ ซึ่งได้การเผาไหม้ของแกลบที่เตาเผา สู่อากาศและตัวถังทรงกระบอกผ่านท่อถ่ายเทความร้อน ซึ่งติดครีบโดยรอบขณะทำการอบแห้ง ข้าวจะเคลื่อนที่ไปตามสกรู ซึ่งติดอยู่ด้านในของตัวถังทรงกระบอก

การทดลอง แบ่งออกเป็น 4 ระบบโดยผลการทดลองจะเปรียบเทียบคุณภาพของข้าวกับที่ผึ่งลมและตากแดด

ระบบ 1 อบแห้งต่อเนื่อง

ระบบ 2 อบแล้วพักข้าวไว้ในกระสอบ 1 ชั่วโมง ของแต่ละเที่ยวการอบ

ระบบ 3 อบแล้วพึ่งข้าวไว้กับพื้น ที่มีความหนาประมาณ 4-5 cm เป็นเวลา ½ ชั่วโมง ก่อนอบรอบต่อไป

ระบบ 4 เหมือนระบบที่ 3 แต่ใช้เวลาผึ่ง 1 ชั่วโมง

จากการทดลองพบว่า ระบบ 4 ให้อัตราการอบแห้งสูงสุด คุณภาพของข้าวมีค่าใกล้เคียงกับที่ผึ่งลม แต่ดีกว่าตากแดด

การอบแห้งนี้สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองลอการิทึม อย่างง่าย

$$MR = \frac{(M_{in} - M_{eq})}{(M_{out} - M_{eq})} \qquad (34)$$

$$MR = EXP(-Kt)$$

เมื่อ

MR = อัตราความชื้น

M_{in} = ความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_{out} = ความชื้นข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยว, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_{eq} = ความชื้นสมดุล, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

t = เวลาที่ใช้อบแห้ง, min

K = Specific heat ratio, 1/min

ไพบูลย์ โรจน์วิบูลย์ชัย [37] ศึกษาการอบแห้งข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดไหลตามกัน ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน คือ การทดลองสมการ Residence time และการทดลองเพื่อศึกษาข้อมูลของการอบแห้งเช่น การสิ้นเปลืองพลังงาน และการถ่ายเทความร้อน สำหรับการทดลองหาสมการ Residence time มีตัวแปรที่ต้องศึกษาคือ อัตราการป้อนเมล็ดข้าวโพด (5, 10, 15, 20 RPM) ความลาดเอียงของตัวถังทรงกระบอก (0.3, 0.5, 0.7, 1 degree) และความเร็วลม (0.5, 0.7, 1 kg/min) ผลการทดลองแสดงว่า เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนข้าวโพด อัตราการหมุนตังถังทรงกระบอก ความลาดเอียงของตัวถังทรงกระบอกหรือความเร็วลม Residence time จากการ

ทดลองได้ผลดีพอสมควร แต่สมการที่ได้นี้ยังไม่ได้พิจารณาผลกระทบที่เกิดจากความชื้น และขนาดของเมล็ดข้าวโพด ส่วนการศึกษาการอบแห้งพบว่า สามารถนำสมการการอบแห้งแบบชั้นบางมาอธิบายการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบหมุนได้ สมการอบแห้งแบบชั้นบางที่นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองนี้ ใช้สมการ Thompson และการสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องอบแห้งแบบหมุนขึ้นกับปริมาณข้าวโพดที่อยู่ในตัวถังทรงกระบอก (Hold-up) เมื่อปริมาณข้าวโพดมากขึ้น การสิ้นเปลืองพลังงานจะน้อย และยังขึ้นกับความชื้นของข้าวโพดอีกด้วย การศึกษาการถ่ายเทความร้อน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เทียบต่อปริมาตรของตัวถังทรงกระบอกขึ้นกับ ความเร็วลม ปริมาณข้าวโพดที่อยู่ภายในตัวถังทรงกระบอก และอัตราการหมุนของตัวถังทรงกระบอก

ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์ [47] ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพริกแบบชั้นบางโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ศึกษาคุณลักษณะของการอบแห้งพริก และการพัฒนาแบบจำลองการอบแห้งพริกแบบชั้นบาง วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาคือพริกพันธุ์จินดา ควบคุมอุณหภูมิการอบแห้ง 6 ระดับอุณหภูมิคือ 50 60 70 80 และ 100 องศาเซลเซียส ความเร็วของลมร้อน 3 ระดับ 4 5 และ 6 เมตรต่อวินาที เครื่องอบแห้งประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ ชุดกำเนิดลมร้อน ชุดขดลวดความร้อน และห้องอบแห้ง จากการศึกษาพบว่าเวลาในการอบแห้งลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งและความเร็วของลมร้อนมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ความเร็วของลมร้อนมีผลต่อการเคลื่อนที่ของพริกที่อยู่ภายในห้องอบ และการเคลื่อนที่ออกจากห้องอบแห้งแบบต่อเนื่องในการศึกษานี้ได้จุดที่เหมาะสมในการอบแห้งคือ อุณหภูมิการอบแห้ง 90 องศาเซลเซียส ความเร็วลมร้อน 5 เมตรต่อวินาที เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 3 ชั่วโมง ความชื้นต่ำกว่า 13% มาตรฐานเปียก โดยลักษณะทางการภาพของพริกมีสีแดงสด ผิวมันวาว ไม่มีกลิ่นไหม้ มีความเหี่ยวย่นน้อย เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการลดลงของปริมาณสารแคปไซซิน แต่ทว่าเมื่อเปรียบเทียบสารแคปไซซินที่มากกว่า และยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิและความเร็วของลมร้อนเพิ่มขึ้นอัตราการใช้พลังงานในการอบแห้งนั้นมีค่าน้อยลง เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยลง ในการศึกษานี้ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นแบบจำลองเอ็มไพริกัลแบบชั้นบางโดยพัฒนามาจากแบบจำลองของ Henderson กับ Aghabaslo และคณะ โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เชิงเส้น ใช้ค่าทางสถิติเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของข้อมูลซึ่งประกอบไปด้วย ดัชนีแสดงค่าการตัดสินใจ (R^2) ดัชนีปรับแก้ค่าการตัดสินใจ (Adj.R^2) และค่ารวมของสัมประสิทธิ์ความผิดพลาด (SSE) ซึ่งจะได้ในรูปสมการ

$$MR = ae^{\left(\frac{-kt}{1+bt}\right)} \qquad (35)$$

โดยผลที่ได้จากสมการสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความชื้นของพริกที่ผ่านการอบแห้งและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพลังงานของการอบแห้ง ในแต่ละเงื่อนไขการทดลองได้เป็นอย่างดี

และในการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งนั้นคือตัวแปรที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการลดลงของความชื้นและเวลาในการอบแห้งพริก

Ergunes and Tarhan, 2006; Condori et al., 2001[48.]ได้พัฒนาวิธีการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพริกหลังการอบแห้ง ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถลดระยะเวลาในการทำแห้ง และลดการปนเปื้อนของพริกหลังการอบแห้ง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการอบแห้งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารมากหรือน้อยขึ้นกับธรรมชาติของอาหาร และสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง

สุภาพรรณ จิตรจักร และภัทรพร วีระชาติ [49]ได้ทำการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพริกสายพันธุ์หัวเรือ พันธุ์หัวเรือย่น และพันธุ์ซุปเปอร์ฮอท โดยทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่าการหดตัวมีผลต่ออัตราการทำแห้ง โดยพบว่าพริกมีร้อยละการหดตัวมากเป็นผลให้มีอัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้น และพบว่าพริกพันธุ์ซุปเปอร์ฮอทและพันธุ์หัวเรือมีการหดตัวไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่พันธุ์หัวเรือย่นมีการหดตัวน้อยที่สุด ($p>0.05$) เนื่องจากลักษณะโครงสร้างภายในของพริกหัวเรือย่นมีความเป็นรูกลวงน้อย และพริกมีความหนาแน่นมาก เมื่อผ่านการทำแห้งทำให้ความแข็งแรงในการทนทานต่อการยุบตัวมากจึงทำให้พริกมีการหดตัวน้อย และเมื่อเปรียบเทียบแต่ละสายพันธุ์ที่สภาวะเดียวกัน พบว่าพริกพันธุ์ซุปเปอร์ฮอทจะมีการหดตัวสูงที่สุด รองลงมาคือพันธุ์หัวเรือ และพันธุ์หัวเรือย่นตามลำดับ เนื่องจากพริกพันธุ์ซุปเปอร์ฮอทมีช่องว่างของอากาศระหว่างเนื้อกับไส้มาก โดยในระหว่างการทำแห้งทำให้พริกไม่สามารถพยุงรูปร่างให้เหมือนเดิมได้จึงทำให้พริกมีการหดตัวมาก นั่นแสดงว่าพันธุ์พริกมีผลต่อการหดตัวของพริกหลังการทำแห้ง

Fraeye et al.[50] พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของผัก และผลไม้เป็นดัชนีที่มีความสำคัญที่บ่งบอกคุณภาพของผักผลไม้ โดยความแน่นเนื้อของผนังเซลล์พืชเกิดจากผนังเซลล์ประกอบด้วยโพลีแซ็คคาไรด์ 3 ชนิด คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและเพคติน ซึ่งโดยปกติจะพบเพคตินบริเวณผนังเซลล์ของพืชซึ่งทำหน้าที่เชื่อมเซลล์ต่างๆ เข้าด้วยกันจึงทำให้โครงสร้างเซลล์มีความแข็งแรง องอาจ เด็ดดวง, (2553) [51] พบว่าส่วนมากลักษณะเนื้อสัมผัสจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการปม การเก็บรักษา และกระบวนการแปรรูป เนื่องจากเพคตินเกิดการละลายจากผนังเซลล์ในส่วน middle lamella ระหว่างผนังเซลล์ละลายออกมาภายนอกเซลล์ นอกจากนี้ sila et al. (2006) [52]พบว่าระหว่างกระบวนการให้ให้ความร้อน ทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์พืชถูกทำลายส่งผลให้สารเพคตินเกิดการละลายออกจากผนังเซลล์ในส่วนของ middle lamella ระหว่างผนังเซลล์ ทำให้ความแน่นเนื้อของผักและผลไม้ลดลง และ Ni.et al. (2005)[53] ได้ศึกษาผลของการลวกผักต่อการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผักดดยทำการลวกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที พบว่าทั้งเวลา และอุณหภูมิในการลวกทำให้ความแน่นเนื้อของผักลดลง และความแน่นเนื้อที่ลดลงมีความสัมพันธุ์กับการเกิดปฏิกิริยา β-elimination เกิดขึ้นกับกรดกาแลกทูโลนิกที่มีหมู่คาร์บอกซิ

ลถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยเมทานอลจะทำให้ได้เพคตินชนิด low methoxyl pectin เพราะหมู่เมทธิลเอสเทอร์ถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยเมทานอล ซึ่งเกิดจากความร้อนเป็นตัวเร่งการทำงานของเอ็นไซด์ pectin methylesterase ดังนั้นการลดปริมาณเพคตินที่มีหมู่คาร์บอกซิลถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยเมทานอล จึงเป็นการลดการเกิดปฏิกิริยา β-elimination และเป็นการลดการสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสระหว่างกระบวนการให้ความร้อน

Phomkong et al. (2009) [54] ได้ศึกษาผลของการแช่สารเคมีต่อการทำแห้งพริกพันธุ์หัวเรือย่น โดยทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.34 ± 0.88 เมตร/วินาที พบว่าการแช่พริกในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 (w/w) ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 (w/w) ทำให้พริกมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนมากกว่าสภาวะอื่นๆ โดยการใช้กล้องจุลทรรศ์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด (SEM) ส่งผลให้เกิดการทำแห้งได้อย่างเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพริกที่แช่ในสารละลายอื่นๆ เนื่องจากแคลเซียมไอออนทำปฏิกิริยากับเพคตินในผนังเซลล์ของพริก ทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์มีมีความแข็งแรงมากขึ้นเกิดการหดตัวน้อย และมีความเป็นรูพรุนมากขึ้น เป็นผลให้สามารถลดเวลาในการทำแห้งได้ เนื่องจากพริกมีความเป็นรูพรุนสูงส่งผลทำให้น้ำเกิดการเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลทำให้ใช้เวลาในการทำแห้งลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Vega-Galvez et al.,(2008) [55] ที่ศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้งต่อคุณภาพของพริกพันธุ์เบลล์ (Var.Lamuyo) หลังการดูดน้ำกลับ (rehydration) โดยนำพริกมาแช่ในสารละลาย NaCl ความเข้มข้นร้อยละ 20 (w/w), $CaCl_2$ ความเข้มข้นร้อยละ 1 (w/w) และ $Na_2S_2O_5$ ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 (w/w) เป็นเวลา 10 นาที โดยควบคุมการแช่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และเปรียบเทียบกับการอบแห้งที่อุณหภูมิระหว่าง 50-80 องศาเซลเซียส และเมื่อนำพริกที่ผ่านการอบแห้งมาศึกษาโครงสร้างด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) พบว่าโครงสร้างของพริกที่แช่ในสารละลาย $Na_2S_2O_5$ ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 (w/w) ก่อนการอบแห้งถูกทำลายน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพริกที่ไม่มีการแช่สารเคมี และพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้โครงสร้างเซลล์ของพริกถูกทำลายมากขึ้น

จากการสำรวจและศึกษาการอบแห้งพริกจากเอกสาร งานวิจัยต่างๆ พบว่ามีความพยายามในการพัฒนาการอบแห้ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้ง ด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่แตกต่างกันออกไป เช่นพัฒนาด้านพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง พัฒนาตัวเครื่องอบแห้ง ทั้งหมดนี้ก็เพื่อช่วยแก้ปัญหาด้านการตากแห้งพริกจากวิธีการธรรมชาติ และเพื่อลดปัญหาด้านมลภาวะให้น้อยลง รวมถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดที่ใช้ LPG เป็นแหล่งพลังงานความร้อนของงานวิจัยนี้ คาดหวังว่าจะสามารถนำไปใช้ในการอบแห้งและคั่วพริกสดได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับอุตสาหกรรมชุมชนแปรรูปพริกและกลุ่มผู้สนใจ

บทที่ 3

ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องอบและคั่วพริกแบบถังหมุน

การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องคั่วพริกแบบถังหมุน ในการออกแบบจะแสดงวิธีการคำนวณเพื่อหาขนาดของส่วนประกอบของเครื่องคั่วพริก ตลอดจนเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้เครื่องคั่วพริกแบบถังหมุนที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามต้องการ

1. การคำนวณหากำลังของมอเตอร์ (P, Hp) สำหรับขับเคลื่อนการหมุนของถังอบแห้ง หาได้จากสมการ

$$P = D_r L$$

เมื่อ D_r = เส้นผ่านศูนย์กลาง, m ของตัวถังอบแห้ง

L = ความยาวของถัง, m

แทนค่า D_r = 0.6 m และ L = 1.5 m ลงในสมการข้างต้น จะได้

$$P = 0.6 \times (1.5)$$

$$P = 0.9 \text{ Hp}$$

ดังนั้น จึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาดประมาณ 1 แรงม้า

2. การหาอัตราการหมุนของถังอบแห้ง

จำนวนรอบของการหมุน (N , rpm) ของตัวถังอบแห้งโดยจะคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$ND_r = \text{7-12 m/min}$$

แทนค่า D = 0.6 m และกำหนดให้จำนวนรอบของการหมุน เป็น 7 9 และ 12 m/min แทนค่าลงในสมการข้างตัน จะได้

$$N = \frac{7}{0.6}$$

$$= 11 \text{ rpm}$$

$$N = \frac{9}{0.6}$$

$$N = \frac{12}{0.6}$$

$$= 20 \text{ rpm}$$

ในทางปฏิบัติแล้วค่าเหล่านี้ทำให้เกิดการเสียหายต่อพริกที่อบเนื่องจากมีอัตราการหมุนเร็วเกินไป จึงมีการทดลองเพื่อหาความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ไม่ทำให้พริกเสียหาย ปรากฏว่าได้ความเร็วรอบในการหมุนที่ 5 rpm

3. การคำนวณจำนวนตัวตัก ($n = \frac{1}{8} D_r$)

$$\frac{n}{D_r} = 8 - 10$$

เลือกจำนวนตัวตักน้อยที่สุด

$$\frac{n}{D_r} = 8$$

$$n = 8 \times 0.6 = 4.8 \text{ ตัว}$$

เลือกจำนวนตัวตักมากที่สุด

$$\frac{n}{D_r} = 10$$

$$n = 10 \times 0.6 = 6 \text{ ตัว}$$

ฉะนั้นเมื่อพิจารณารูปแบบถังและพริกที่ใช้จึงเลือกตัวตักที่ 5 ตัว

4. คำนวณความสูงในแนวรัศมีของตัวตัก (Flight) ที่ผนังด้านในของตัวถังอบแห้ง

$$h = \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{8}\right) D_r$$

เลือกเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยที่สุด

$$h = \frac{1}{12} D_r$$

$$h = \frac{0.6}{12} = 0.05 \quad \text{เมตร}$$

เลือกเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด

$$h = \frac{1}{8} D_r$$

$$h = \frac{0.6}{8} = 0.075 \quad \text{เมตร}$$

จากการพิจารณาที่ถังอบแห้งจะเลือกความสูงของตัวตักที่ 0.075 เมตร

5. การหาปริมาณพริกที่เหมาะสมกับเครื่องคั่วพริก

การหาปริมาณพริกที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการอบแห้งอย่างมีประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง โดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ภาคตัดขวางที่ถูกครอบครองโดยผลิตภัณฑ์กับพื้นที่

ภาคตัดขวางของตัวถังอบแห้ง ($\pi D_r^2 / 4$) ค่าที่เหมาะสมที่สุด มีค่า 5-15 % ขั้นตอนจากการทดลองนี้จะใช้ค่าที่ 10 % ซึ่งเป็นค่ากลาง และปริมาณพริกที่ใช้ 13 กิโลกรัม

คำนวณค่าได้จากสมการต่อไปนี้

ปริมาตรถังทรงกระบอก = $\pi R^2 L$

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการจะได้

ถังอบแห้งปริมาตร = π x $(0.3)^2$ x (1.5)

= 0.423 m^3

เมื่อความหนาแน่นพริก = 318 kg/m^3

จะได้ มวล = 0.423 ×318

= 134.51 kg

เมื่อเลือกปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ใส่อยู่ในถังอบแห้ง 5 % ของปริมาตรในถังอบแห้ง

จากปริมาตรถังอบแห้ง 100 % บรรจุพริกได้ = 134.51 kg

ถ้าปริมาตรถังอบพริก 5 % บรรจุพริกได้ = x kg

$$x = \frac{5 \times 134.51}{100}$$

= 6.72 kg

เมื่อเลือกปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ใส่อยู่ในถังอบแห้ง 10 % ของปริมาตรภายในถังอบแห้ง

จากปริมาตรถังอบแห้ง 100 % บรรจุพริกได้ = 134.51 kg

ถ้าปริมาตรถังอบแห้ง 10 % บรรจุพริกได้ = x kg

$$x = \frac{10 \times 134.51}{100}$$

= 13.45 kg

จึงเลือกปริมาณพริกที่ใส่ในถังที่ 13 กิโลกรัม

เมื่อเลือกปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ใส่อยู่ในถังอบแห้ง 15 % ของปริมาตรในถังอบแห้ง

จากปริมาตรถังอบแห้ง 100 % บรรจุพริกได้ = 134.51 kg

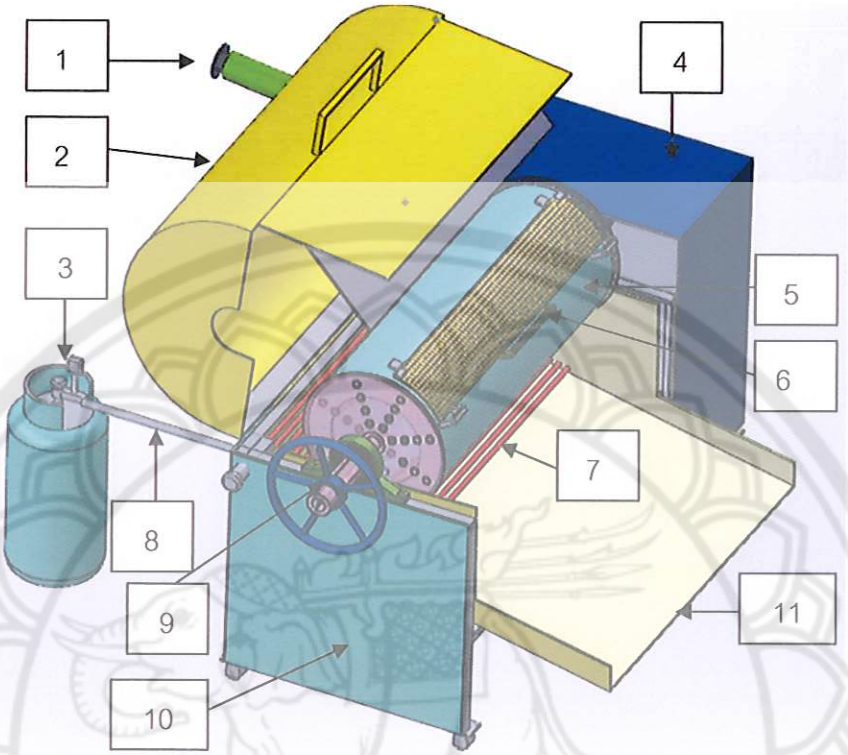
ถ้าปริมาตรถังอบพริก 15 % บรรจุพริกได้ = x kg

$$x = \frac{15 \times 134.51}{100}$$

= 20.17 kg

3.2 วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือวัด ที่ใช้ในงานวิจัย

การออกแบบเครื่องคั่วพริกแบบถังหมุนที่ใช้พลังงานความร้อนจากแก๊ส LPG นี้มีลักษณะและส่วนประกอบต่างๆดังแสดงในภาพ 3.1



ภาพ 3.1 เครื่องคั่วพริกที่ออกแบบเสร็จ

เครื่องคั่วพริกแห้งที่ออกแบบเสร็จประกอบด้วยส่วนประกอบดังนี้

หมายเลข 1 ท่อระบายอากาศ

หมายเลข 2 ฝาครอบถังอบ

หมายเลข 3 ถังแก๊ส

หมายเลข 4 ระบบควบคุมการทำงาน

หมายเลข 5 ถังทรงกระบอก

หมายเลข 6 ที่เปิดฝาทรงกระบอกสำหรับใส่พริกในถัง

หมายเลข 7 ท่อแก๊สใต้ถังทรงกระบอก

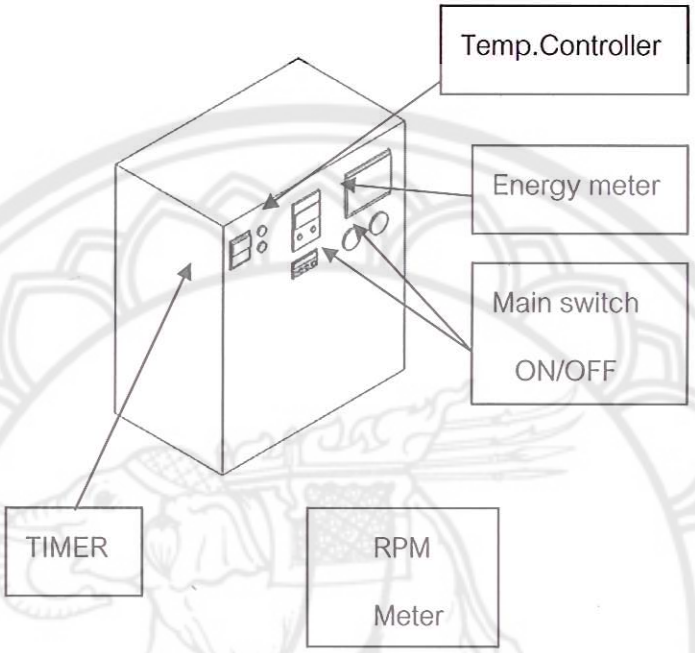
หมายเลข 8 ท่อส่งแก๊ส

หมายเลข 9 มือหมุนสำหรับบังคับถัง

หมายเลข 10 ตู้คลอบถังอบ

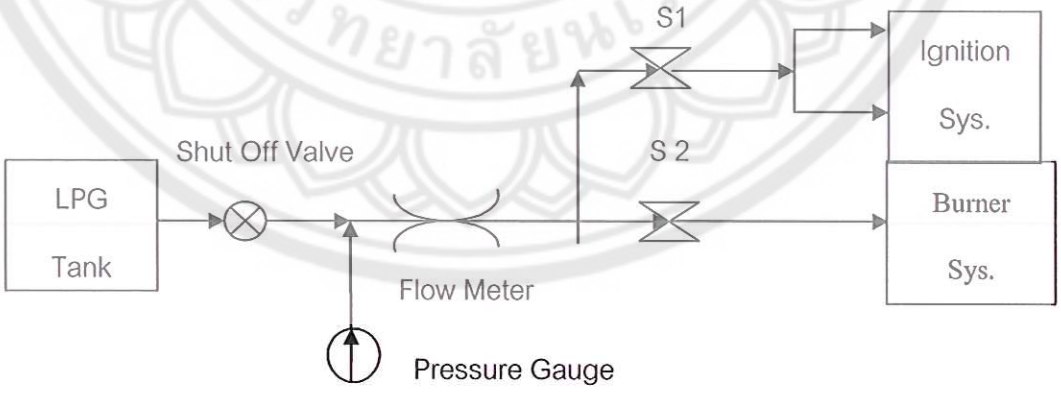
หมายเลข 11 ถาดรองพริกที่ออกจากถังอบ

1) ชุดระบบควบคุม แสดงดังรูปที่ 3.2 เป็นระบบที่ควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้ง ได้ตามความต้องการ ส่วนประกอบมีดังนี้ เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เครื่องควบคุมความเร็วรอบของถังอบ เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า สวิทต์ไฟฟ้า เปิด-ปิด ระบบควบคุม



ภาพ 3.2 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของเครื่อง

2) ชุดระบบควบคุมแก๊ส LPG ไปยังเครื่องอบแห้งขณะทำการอบแห้งลักษณะเป็นตามแผนผัง (ภาพที่ 3.3) ซึ่ง ประกอบด้วย ถังแก๊ส LPG เครื่องวัดความดันในถังแก๊ส เครื่องวัดการไหลของแก๊ส สวิตซ์เปิด-ปิดแก๊สไปยังท่อส่งแก๊สใต้ถังอบสวิตซ์เปิดแก๊สไปยังหัวล่อแก๊ส



ภาพ 3.3 การออกแบบแผงวงจรควบคุมแก๊สและทางเดินของแก๊สไปยังเครื่องอบแห้ง

องค์ประกอบต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสด แสดงภาพที่ 3.4 – 3.12 ซึ่งภาพต่าง ๆ แสดงถึงองค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องที่ได้ทำการออกแบบและสร้างในการศึกษานี้ โดยรูปที่

3.12 แสดงถึง เครื่องอบแห้งและคั่วพริกที่พร้อมใช้งาน ซึ่งมีการหุ้มฉนวนที่ถังหมุน เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนและอันตรายในระหว่างการใช้งาน

ภาพ 3.4 ชุดท่อ PVC ที่ออกจากถังแก๊สเข้าเครื่องอบ

ภาพ 3.4 ตำแหน่งการวางชุดท่อแก๊สใต้ถังอบ และตำแหน่งหัวล่อ

ภาพ 3.6 ลักษณะภายในถังอบ

ภาพ 3.7 ชุดพู่เลย์ที่ต่อเข้ากับมอเตอร์และที่วัดอุณหภูมิในถังอบ

ภาพ 3.8 ลักษณะการวางพริกสดในถัง

ภาพ 3.9 จุดไฟที่หัวล่อแก๊ส และท่อส่งแก๊สใต้ถังอบ

ภาพ 3.10 ปรับความดันแก๊สในถัง และในท่อส่งแก๊ส

ภาพ 3.11 ระบบปรับความเร็วรอบขอถังหมุน และ อุณหภูมิจากตู้ควบคุม

ภาพ 3.12 เครื่องอบแห้งพริก และคั่วพริกแบบถังหมุนที่พร้อมใช้งาน

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก สำหรับ ชั่งน้ำหนักของแก๊สหุงต้ม เพื่อตรวจสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการทดลอง

3.2.2 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ ใช้สำหรับวัดขนาดของพริกที่ใช้ในการทดลอง

3.2.3 เครื่องวัดความดันในถังแก๊ส และ เครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊สในท่อ PVC ทั้งสองเครื่องวัดใช้สำหรับตรวจสอบสมบัติของแก๊สหุงต้มในระหว่างการทดลอง

3.2.3 เครื่องตั้งค่าความเร็วรอบของถังอบแห้งแบบหมุน ใช้สำหรับการปรับความเร็วรอบในการหมุนของถังอบแห้ง

3.2.4 เครื่องวัดสี Minolta Color Reader CR-10 Minolta CO.LTD JAPAN ในการอบแห้งสีที่ได้ภายหลังการอบแห้งมีความสำคัญ ดังนั้น เครื่องวัดสี จึงใช้สำหรับการตรวจสอบสีของพริกที่ได้ระหว่างการอบแห้ง

3.2.5 เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า ระบบดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง SHIMADZU UX6200H Max 6200 g Min o.5 g er = 0.1 g d = 0.01 g ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของพริกในระหว่างการทดลอง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อัตราการสูญเสียน้ำในระหว่างการอบแห้ง

3.2.6 เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบดิจิตอล 4 ตำแหน่ง AB 204-S MAX 210 g MIN 10 mg e = 10mg ,d = 0.1 mg ใช้สำหรับการชั่งน้ำหนักพริก สำหรับการวิเคราะห์หาค่าความชื้นเริ่มต้นหรือความชื้นสุดท้าย ที่ต้องการความละเอียดสูง

3.2.7 เครื่องตั้งค่าอุณหภูมิภายในถังอบแห้ง จะใช้ เทอร์โมคัปเปิลแบบ เค ต่อเข้าภายในถังอบแห้งกับเครื่องรับแบบดิจิตอลซึ่งตั้งค่าอุณหภูมิได้ต้องการ

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

เพื่อให้การวิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์จึงได้มีการดำเนินการดังนี้

3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

1) เตรียมพริกพันธ์จินดาสำหรับทดลองทดสอบเครื่องอบแห้ง

เตรียมพริกพันธุ์จินดา โดยซื้อจากเกษตรกร อำเภอขามสะแกแสง และอำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา เลือกพริกที่มีสีแดงสดทั้งผล ไม่มีรอยแผล ไม่มีร่อยรอยสัตว์กัด หรือแทะ และพริกไม่เน่าเสีย ดังรูปที่ 3.13 นำมาบรรจุในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (polyethylene) เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2-3 วัน ก่อนการทดลอง จากนั้นล้างด้วยน้ำประปาที่อุณหภูมิห้องให้สะอาดสองครั้ง แล้วผึ่งให้สะเด็ดน้ำ 15 นาที แล้วนำไปลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนพริกพันธุ์จินดาแดงสด 500 กรัม ต่อน้ำ 2 ลิตร เป็นเวลา 3 นาที สำหรับการเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 กิโลกรัม เพิ่มเวลาอีก 1-2 นาที นำขึ้นมาจากน้ำร้อนทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จะได้พริกก่อนการอบแห้งที่มีสีจางลงเล็กน้อย ดังรูปที่ 3.14 ก่อนนำเข้าเครื่องอบแห้งให้ชั่งน้ำหนักก่อนและชั่งหลังการอบแห้งทำเช่นนี้ตลอดการทดลองเพื่อหาอัตราการอบแห้ง

ภาพ 3.13 พริกสดหลังการคัดแยก

ภาพ 3.14 พริกลวดในน้ำเดือด

2) สำหรับกลุ่มตัวอย่าง

กำหนดขนาดของพริกที่จะใช้ทดลองเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างโดยการคัดเลือกพันธุ์พริกพันธุ์จินดาที่มีขนาดใกล้เคียงกันมากที่สุดสีแดงสด ไม่มีแผล ไม่มีรอยสัตว์กัด หรือแทะ และไม่เน่าเสีย มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตรงส่วนหัวได้ค่าเฉลี่ย 7.145×10^{-3} เมตร วัดความยาวของพริกได้ค่าเฉลี่ย 5.41×10^{-2} เมตร โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และน้ำหนักพริก จากเครื่องชั่งไฟฟ้าแบบดิจิตอลได้ค่าเฉลี่ย 1.59×10^{-3} กิโลกรัม จากนั้นเด็ดขั่วพริกออกล้างน้ำประปาที่อุณหภูมิห้องให้สะอาดสองครั้ง ผึ่งให้สะเด็ดน้ำทิ้งไว้ 15 นาที แล้วนำไปลวกที่น้ำร้อนอุณหภูมิ 100 ศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนพริกพันธุ์จินดา 500 กรัมต่อน้ำ 2 ลิตร เป็นเวลา 3 นาที ผึ่งไว้ให้สะเด็ดน้ำ 15 นาที ทิ้ง

ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักพริกแล้วเก็บใส่ถุงตัวอย่าง ก่อนนำเข้าเครื่องอบแห้งเพื่อหาอัตราการอบแห้ง การวัดขนาดของพริกค่าที่ได้จากการวัดจะนำไปสู่การหาค่า เส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาวพริก และน้ำหนักพริก สูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของกลุ่มตัวอย่างแล้วบันทึกผลลงในตาราง

ภาพ 3.15 พริกหลังการคักแยก

ภาพ 3.16 พริกลวกกลุ่มตัวอย่าง

3.3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง และเก็บข้อมูล

1) หาปริมาณพริกที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการอบแห้งอย่างมีประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง โดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ภาคตัดขวางที่ถูกครอบครองโดยผลิตภัณฑ์กับพื้นที่ภาคตัดขวางของตัวถังอบแห้ง ($\pi D_r^2 / 4$) ค่าที่เหมาะสมที่สุด มีค่า 5-15 % ขั้นตอนจากการทดลองนี้จะใช้ค่าที่ 10 % ซึ่งเป็นค่ากลาง และปริมาณพริกที่ใช้ 13 กิโลกรัม

2) เตรียมความพร้อมของเครื่องอบแห้งแบบหมุน โดยการตั้งอุณหภูมิ และปรับความเร็วรอบการหมุนของถังอบแห้งให้ได้ตามความต้องการ รวมถึงการเตรียมความพร้อมของเครื่องมือวัด

3) ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความชื้นของพริกพันธุ์

1. เตรียมกระป๋องอะลูมิเนียมเท่ากับกลุ่มตัวอย่างมาทำความสะอาดให้ปราศจากความชื้นและฝุ่นละออง

2. นำกระป๋องอะลูมิเนียมที่เตรียมไว้ไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบ 2 ชั่วโมง

3. นำกระป๋องอะลูมิเนียมที่อบเสร็จไปดูดความชื้นจากโถดูดความชื้น ใช้เวลาอบ 2 ชั่วโมง

4. ชั่งน้ำหนักกระป๋องอะลูมิเนียมที่ดูดความชื้นเสร็จจากข้อที่ 3 ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง บันทึกผล

5. เก็บพริกจากกลุ่มตัวอย่าง จากเครื่องคั่วพริกที่สร้างขึ้นมาหั่นให้ละเอียด นำลงไปใส่ในกระป๋องอะลูมิเนียมที่เตรียมไว้จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่งบันทึกผล

6. นำพริกจากข้อที่ 5 ไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำออกมาดูดความชื้นจากโถดูดความชื้น 2 ชั่วโมง

7. นำกระป๋องอะลูมิเนียม จากข้อ 6 จากโถดูดความชื้นมาชั่งน้ำหนักครั้งสุดท้ายบันทึกผล

8. นำผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลไปใช้คำนวณหาเปอร์เซนต์ความชื้นมาตรฐานเปียก และมาตรฐานแห้ง

9. จากข้อ 1-8 ทำทั้งหมด 2 ซ้ำ

4) ทดสอบการอบแห้งพริกจากเครื่องอบแห้ง

พริกจินดาที่ใช้ทดสอบนำมาจากหัวข้อ 3.2.1 ข้อที่ 1 ปริมาณพริกจินดาที่ใช้ทดลอง 13 กิโลกรัม ต่อการอบ 1 ครั้ง ทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ความเร็วรอบ 3 ระดับ คือ 3 5 และ 7 rpm ที่อุณหภูมิคงที่ เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของพริกแห้ง เช่นการแตก การหัก สีพริก เนื่องจากแรงเหวี่ยงจากการหมุนของถังอบแห้ง เมื่อได้ ความเร็วรอบที่เหมาะสมแล้วต่อไปหาอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 6 ระดับ คือ 60 70 80 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบคงที่ เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้ง ทั้งหมดพิจารณาที่ความชื้นเริ่มต้น 77. 63 % wb และให้มีความชื้นสุดท้าย 13 % wb สำหรับพริกแห้ง และ 6 % wb สำหรับพริกแห้งกรอบพร้อมป่น การทดสอบดังกล่าวมีจุดประส่งเพื่อต้องการหาสภาวะการทดลองที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกจินดาโดยพิจารณาคุณภาพของพริกที่สภาวะการทดลองต่างๆ และการสิ้นเปลืองพลังงาน บันทึกผลทุกๆชั่วโมง

5) หาสมรรถนะและศักยภาพของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยพิจารณาจาก เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงาน และคุณภาพของพริกที่ได้ ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดรูปแบบการทดลองด้วยการควบคุมอุณหภูมิ อัตราการหมุนของถังอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง ในการหาวมรรถนะของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) ได้จากสมการ

$$\eta = \frac{output}{input} \times 100$$

เมื่อ

η = ประสิทธิภาพของระบบอบแห้ง, %

output = พลังงานที่ใช้ในการระเหยของน้ำจากวัสดุ, MJ

= มวลของน้ำระเหยออกจากวัตถุ × ความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำ

= $m_w \times h_{fg}$

input = พลังงานทั้งหมดที่ใช้กับเครื่องอบแห้ง, MJ

= ค่าพลังงานพลังงานความร้อน × ปริมาณแก๊งLPGที่ใช้ในการอบแห้ง

= $HV \times m_{LPG}$

โดยที่ 1 kg ของแก๊ส LPG มีค่าพลังงานความร้อน 50.22 MJ

3.3.4 วิเคราะห์หลักการทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์หาต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้ง โดยทำการวิเคราะห์ต้นทุนของเครื่องอบแห้งทั้งระบบ ในลักษณะ Levelized Annual Cost (LAC) ได้แก่ เงินลงทุนสำหรับเครื่องอบแห้งและอุปกรณ์ทั้งระบบ ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา และเปลี่ยนชิ้นส่วนอุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง ราคาพริกสด ค่าจ้างแรงงานคน เป็นต้น ซึ่งสามารถจำแนกต้นทุนของการอบแห้งผลิตภัณฑ์ออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1) เงินลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดทั้งระบบ (Capital investment)

2) ค่าใช้จ่ายด้านการดูแลรักษา และเปลี่ยนชิ้นส่วนของอุปกรณ์ (Operating and Maintanace)

3) ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง (LPG)

4) ราคาพริกสด

สมการในการคำนวณหาต้นทุนการอบแห้งผลิตภัณฑ์

การคำนวณหามูลค่าเงินปัจจุบัน (Present worth) จากมูลค่าเงินในอนาคต (Future worth) สมารถหาได้จากสมการ

$$PW = CL + \sum_{j=1}^{n}\left[\frac{F_n}{(1+i)^n}\right]$$

เมื่อ

PW = มูลค่าเงินในปัจจุบัน, บาท

CL = เงินลงทุน ณ ปีที่ 0, บาท

F_n = มูลค่าเงินในอนาคต, บาท

i = อัตราดอกเบี้ยรายปี, %

j = ปีที่ 1

n = จำนวนปี

การคำนวณค่าใช้จ่ายที่เท่ากัน (LeveliZed annual cost , LAC) ตลอดอายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง ซึ่งเป็นการคำนวณหาต้นทุนของการอบแห้ง สามารถหาได้จากสมการ

$$LAC = PW \times CRF$$

เมื่อ LAC = ต้นทุนในการอบแห้งพริกรายปี, บาท

CRF = ผลตอบแทนเงินลงทุน (Capital Recovery Factor)

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

กรณีหาต้นทุนการอบแห้งต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ($LACW$)

จาก $LACW = LAC / WEP$

WEP = ปริมาณน้ำระเหยออกจากพริก, kg/year

กรณีหาต้นทุนการอบแห้งต่อกิโลกรัมพริกแห้ง ($LACC$)

จาก $LACC = LAC / DC$

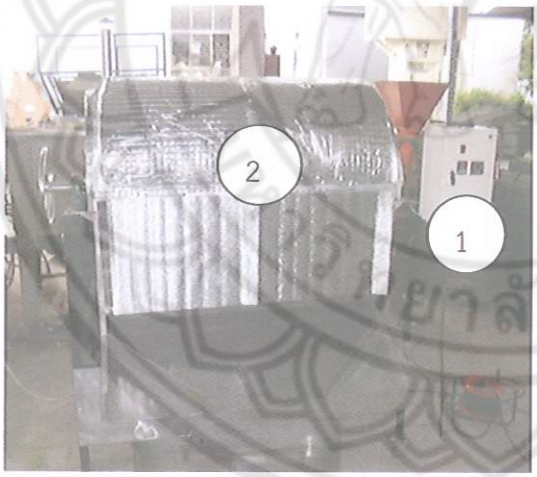
DC = ปริมาณพริกแห้ง,kg/year

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 รายละเอียดและหลักการของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกแบบถังหมุน

เครื่องอบแห้งและคั่วพริกที่ทำการออกแบบและสร้างในการศึกษานี้ เป็นเครื่องอบแห้งแบบถังหมุนที่มีแก๊สปิโตรเลี่ยมเหลวหรือแก๊สหุงต้ม (LPG) เป็นแหล่งพลังงานความร้อน เครื่องอบแห้งและคั่วพริกนี้มีลักษณะเด่น คือ สามารถอบและคั่วพริกได้ในขั้นตอนเดียว ทำให้สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งและคั่วพริกลงได้ เครื่องอบแห้งและคั่วพริกนี้ ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ระบบควบคุม ระบบส่งแก๊ส และ ตัวเครื่องอบแห้งและคั่วพริก โดยเครื่องอบแห้งและคั่วพริกที่สร้างขึ้นในโครงการวิจัยนี้แสดงดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 โดยหมาย เลข 1 ในภาพที่ 4.1 คือ ระบบควบคุมที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิและความเร็วรอบในการหมุนของเครื่อง หมายเลข 2 คือ ตัวเครื่องอบแห้งและคั่วพริก ส่วนภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงแก๊สหุงต้ม ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนกับเครื่องอบแห้งและคั่วพริก



ภาพที่ 4.1 ระบบควบคุมและตัวเครื่องอบแห้งและคั่วพริก

ภาพที่ 4.2 แหล่งเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเครื่องอบแห้งและคั่วพริก

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งและคั่วพริก โดยเครื่องอบแห้งและคั่วพริกนี้มีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ที่มีหลักการทำงานดังต่อไปนี้

4.1.1 ระบบควบคุม ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิและความเร็วรอบในการหมุนของเครื่องอบแห้ง ซึ่งส่วนประกอบมีดังนี้ 1. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เครื่องนี้จะต่อหัววัดของเทอร์โมคัปเปิลเข้าไปภายในแกนจนถึงส่วนกลางถังอบสำหรับวัดอุณหภูมิภายในถัง ทำหน้าที่ควบคุม

อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งให้ได้ตามที่ต้องการ 2. เครื่องควบคุมความเร็วรอบของถังอบจะต่อเข้ากับมอเตอร์เพื่อทดรอบมอเตอร์ให้ได้ตามต้องการ 3.เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าใช้ที่ใช้สำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์ของถังหมุนในระหว่างการใช้งาน 4. สวิตช์ไฟฟ้า เปิด-ปิด ระบบควบคุม เพื่อแสดงสถานะการใช้งานของเครื่องอบแห้งและคั่วพริก

4.1.2 ระบบส่งแก๊ส ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของแก๊สหุ้งต้มในการให้ความร้อนกับเครื่องอบแห้งและคั่วพริก ประกอบด้วย 1. ถังแก๊ส LPG ที่ติดตั้งเครื่องวัดความดันในถังแก๊ส และเครื่องวัดแรงดันแก๊สในท่อส่งแก๊ส ทำหน้าที่เป็นแหล่งเชื้อเพลิงให้กับเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสด 2. สวิตช์เปิด-ปิดแก๊สไปยังท่อส่งแก๊สที่แยกออกเป็น สองทาง ทางที่หนึ่งต่อเข้าไปยังหัวล่อใต้ถังแก๊ส ทางที่สองต่อไปยังท่อแก๊สทองเหลืองที่เจาะรูสำหรับเป็นทางออกของแก๊ส วางอยู่ใต้ถังคั่วพริก ระบบนี้จะทำงานอัตโนมัติในการให้ความร้อนกับพริก เมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องอบและคั่วพริกไม่ถึงตามที่ตั้งไว้

4.1.3 เครื่องอบแห้งพริกและคั่วพริกแบบถังหมุนที่ใช้แก๊ส LPG เป็นแหล่งพลังงาน จะประกอบด้วยถังรูปทรงกระบอก 2 ชั้น โดยส่วนประกอบชั้นนอก คือ ฝาครอบตู้ทรงกระบอกฝาครึ่งหุ้มด้วยฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนพร้อมฝาปิด ด้านบนซ้ายตู้ครอบมีท่อลมระบายอากาศออกจากถังอบแห้ง ส่วนล่างเป็นตู้สี่เหลี่ยมป้องกันอันตรายจากเครื่องขณะใช้งาน และถังรูปทรงกระบอกชั้นใน ทำหน้าที่เป็นส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์ โครงสร้างประกอบด้วยถังอบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร ยาว 1.50 เมตร ด้านหัว-ท้ายเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.006 เมตร ข้างละ 32 รู ในการระบายอากาศร้อนออกจากถังอบ แกนถังอบทรงกระบอกต่อเข้ากับพู่เลย์ พร้อมสายพาน 2 ชุด ชุดที่ 1 ชุดทดรอบของมอเตอร์ ขนาด ½ แรงม้า ประกอบด้วยพู่เลย์ขนาด 14 นิ้ว และ 2.5 นิ้ว สายพานร่อง B-60 ชุดที่ 2 ชุดต่อเข้ากับแกนถังทรงกระบอก ประกอบด้วยพู่เลย์ขนาด 14 นิ้ว และ 4 นิ้ว สายพานร่อง B-102 ใช้ควบคุมความเร็วรอบของถังอบแห้ง แกนของพู่เลย์ 14 นิ้ว จะสอดที่วัดอุณหภูมิเทอร์โมคอปเปิลเข้าไปในถังอบแห้งใช้วัดอุณหภูมิในถังอบ

4.2 การทดสอบความเร็วรอบของการหมุนของเครื่อง

การวิเคราะห์หาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับเครื่องอบและคั่วพริก โดยการทดสอบที่ความเร็วรอบของการหมุนถัง 3 ระดับ คือ 3 rpm 5 rpm และ 7 rpm น้ำหนักพริกที่ทดลอง 13 กิโลกรัม อุณหภูมิที่ใช้ทดลอง 105 องศาเซลเซียส กำหนดให้ระยะเวลาในการอบแห้งไม่เกิน 14 ชั่วโมง ทำการอบแห้งและคั่วพริก ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 78 %wb จนกระทั่งได้ความชื้นพริกหลังอบประมาณ 13 %wb เพื่อดูคุณภาพพริกที่เหมาะสม ในพิจารณาถึงคุณภาพพริกที่เหมาะสม จะพิจารณาที่

คุณภาพที่เป็นต้องการของตลาด คือ ความชื้นร้อยละ 13 %wb สีน้ำตาลแดงเข้ม และการแตกหักของเม็ดพริก ซึ่งการทดสอบนี้ จะพิจารณาถึงความเหมาะสมของการหมุนของเครื่องที่เหมาะสม ซึ่งการหมุนของเครื่องอบและคั่วพริกนี้จะมีผลทำให้เกิดการแตกหักของเม็ดพริกภายหลังการอบและคั่ว ดังนั้น ในขั้นตอนนี้จะพิจารณาถึงการแตกหักของเม็ดพริกที่เป็นหลัก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 วิเคราะห์ความเร็วรอบของการหมุนถังที่เหมาะสมของของเครื่อง

การทดลอง	ความเร็วรอบ (rpm)	อัตราความชื้น (%wb)		ระยะเวลา (h)	สี	ร้อยละการแตกหัก
		เริ่มต้น	สุดท้าย			
1	3	77.63	12.75	6		73%
2	5	77.63	12.56	6		52%
3	7	77.63	11.07	6		91%

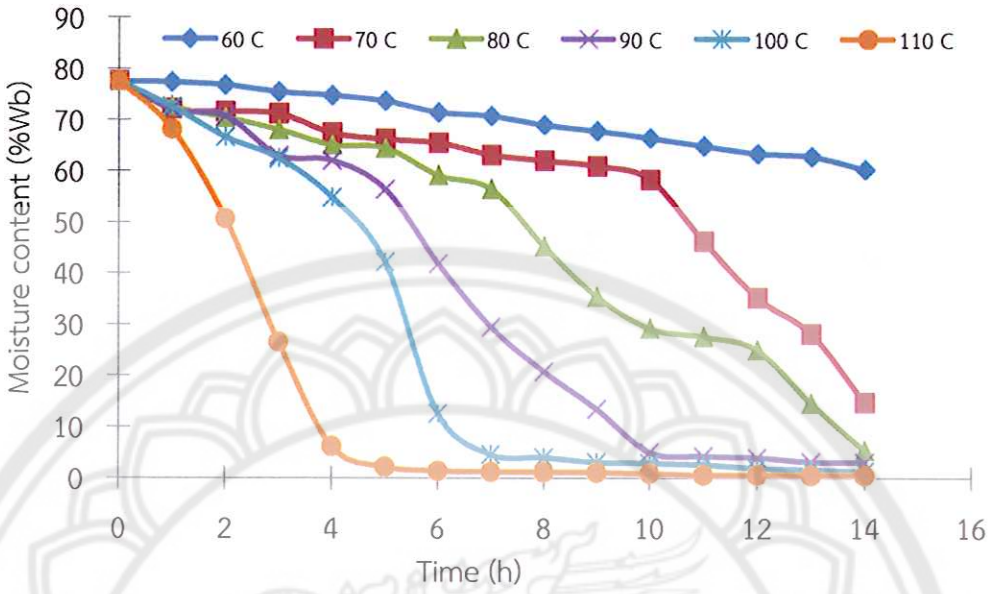
จากการทดสอบที่ความเร็วรอบทั้ง 3 ระดับ พบว่า ความชื้นสุดท้ายของพริกแห้งที่ได้ไม่เกิน 13%wb ที่ระยะเวลาในการอบแห้ง 6 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาความชื้นที่ได้จากความเร็วในการหมุนของถังอบที่ 3 rpm 5 rpm และ 7 rpm นั้น ความชื้นที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อพิจารณาถึงสีของพริกที่ได้ภายหลังการอบ พบว่า ที่อัตราการหมุน 3 rpm มีสีเข้มที่สุด เนื่องจากการสัมผัสกับความร้อนมากที่สุด สีพริกคั่วที่ได้จากเครื่องอบที่ใกล้เคียงกับความต้องการของตลาดที่สุด คือสีน้ำตาลแดง ซึ่งจะได้จากการทดลองที่ความเร็วในการหมุนของถังที่ 5 rpm และ 7 rpm จากนั้นพิจารณาที่ร้อยละของการแตกหักน้อย พบว่า ที่ความเร็วรอบของการหมุนถังอบ คือ 5 rpm มีการแตกหักของเม็ดพริกน้อยที่สุดคือ 52% ซึ่งการแตกหักที่เกิดขึ้นเกิดจากแรงเหวี่ยงในถังหมุน และการตกทับของเมล็ดพริก ดังนั้น จากผลของคุณภาพของพริกที่ได้จากการทดลอง พบว่า ความเร็วรอบที่เหมาะสมในการหมุนของถังอบ คือ 5 rpm เพราะ มีเปอร์เซนต์การแตกหักน้อยที่สุด และมีสีที่ได้ใกล้เคียงกับความต้องการของท้องตลาดมากที่สุด เมื่อพิจารณาการอบจากพริกสดจนได้พริกคั่วแห้ง พบว่า เปอร์เซนต์การแตกหักค่อนข้างสูงจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงเงื่อนไขบางอย่างเพื่อลดการแตกหัก แต่สามารถนำไปใช้กับกลุ่มอุตสาหกรรมแปรรูปพริกจะเหมาะสมได้เลย เนื่องจากอุตสาหกรรมเหล่านี้ จะใช้พริกป่นเป็นหลัก

4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริก

การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งและคั่วพริกด้วยเครื่องอบแห้งและคั่วพริกแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊ส LPG ที่สร้างขึ้น ข้อมูลในตาราง 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นกับที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 14 ชั่วโมง ทำการทดลองที่ความเร็วรอบ 5 rpm ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์ความเร็วรอบในการหมุนของเครื่องอบแห้ง ในการทดสอบนี้ เป็นการทดสอบเพื่อหาระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่ความชื้นสุดท้ายประมาณ 13 %wb จากความชื้นเริ่มต้นของพริก 77.63 %wb และภาพที่ 4.3 แสดงเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกในระหว่างการทดลองที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตาราง 4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นเฉลี่ยระหว่างการอบแห้งและคั่วพริกที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ระยะเวลา (h)	อุณหภูมิที่ใช้ (^{O}C)					
	60	70	80	90	100	110
0	77.63	77.63	77.63	77.63	77.63	77.63
1	77.46	72.26	72.73	72.04	72.68	68.25
2	76.89	71.29	70.51	70.78	66.72	50.72
3	75.59	71.68	68.11	63.12	62.54	26.59
4	74.89	67.52	65.17	62.14	54.92	6.18
5	73.81	66.33	64.54	56.50	42.26	2.16
6	71.59	65.60	59.20	41.93	12.56	1.19
7	70.86	63.25	56.44	29.52	4.54	1.12
8	69.10	62.14	45.22	20.81	3.00	1.37
9	67.90	61.05	35.42	13.45	2.50	1.06
10	66.54	58.43	29.17	5.03	3.96	0.84
11	64.98	46.30	24.17	4.25	1.88	0.55
12	63.50	35.29	24.97	3.95	2.54	0.53
13	62.89	28.17	14.53	3.12	1.57	0.51
14	60.35	14.77	5.29	3.01	1.23	0.50



ภาพ 4.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความชื้นเฉลี่ยระหว่างการอบแห้งและคั่วพริกที่อุณหภูมิต่างๆ

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริกที่ 60 70 80 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริก 14 ชั่วโมง ความเร็วรอบที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ตัวเครื่อง 5 rpm การทดลองนี้ใช้ในการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวเครื่อง โดยการพิจารณาจาก สี การแตกหักของเม็ดพริก ความชื้น และ ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ไม่เกิน 14 ชั่วโมง (เป็นระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งพริกของผู้ประกอบการ) จากการทดลองใช้ปริมาณพริกสด 13 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้น 77.63 % wb โดยความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ คือ ประมาณ 13 %wb จากผลการทดลอง พบว่า

- เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิที่ใช้คือ 60°C ความชื้นในแต่ละชั่วโมงเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อยจนถึงชั่วโมงที่ 14 ความชื้นลดลงเหลือ 68.82 %wb ใช้แก๊ส LPG ไปทั้งหมด 2.9 กิโลกรัม แสดงว่าความชื้นสุดท้ายของพริกสูงมาก ถ้าต้องการให้ความชื้นลดลงจนได้มาตรฐานพริกแห้งนั้นจะต้องเพิ่มเวลาในการอบขึ้นอีก ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนด เรื่องระยะเวลาในการอบแห้ง

- เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิที่ใช้คือ 70 °C ความชื้นในชั่วโมงที่ 1 -10 ลดลงเล็กน้อย และลดลงมากในชั่วโมงที่ 11 -14 ได้ความชื้นสุดท้าย 14.77%wb และความชื้นนี้ใกล้เคียงกับมาตรฐานพริกแห้ง ใช้แก๊ส LPG ไปทั้งหมด 3.8 กิโลกรัม แต่คุณภาพของพริกไม่ตรงกับความต้องการ พริกแตกหักมาก สีไม่เหมาะสม

- เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิที่ใช้คือ 80 °C ความชื้นของพริกในชั่วโมงที่ 1-6 ความชื้นลดลงเล็กน้อย และลดลงมากในชั่วโมงที่ 7-14 แต่ในชั่วโมงที่ 13 ความชื้นลดลงถึง 14.53 %wb ซึ่งใกล้

กับความชื้นมาตรฐานพริกแห้ง เช่นกัน ในชั่วโมงที่ 13 นี้ใช้แก๊สไปทั้งหมด 5.2 กิโลกรัม คุณภาพของพริกตรงกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย

- เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิที่ใช้คือ 90 °C จากชั่วโมงที่ 1-10 ความชื้นลดลงมากและสม่ำเสมอ จนถึงความชื้นสมดุลในชั่วโมงที่ 11-14 ที่อุณหภูมินี้ในชั่วโมงที่ 9 ความชื้นลดลงเหลือ 13.45 %wb ใช้แก๊สไปทั้งหมด 5.2 กิโลกรัม เป็นความชื้นที่ตรงกับมาตรฐานพริกแห้งที่สุด แต่คุณภาพของพริกไม่ตรงกับความต้องการ พริกแตกหักมาก สีพริกเข้มมาก

- เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิที่ใช้คือ 100 °C ในชั่วโมงที่ 1-6 ความชื้นลดลงเร็วมาก ชั่งโมงที่ 6-9 ความชื้นลดลงเล็กน้อย จนความชื้นสมดุลในชั่งโมงที่ 10-14 และในชั่วโมงที่ 6 ความชื้นลดลงเหลือ 12.56 %wb เป็นความชื้นที่ใกล้เคียงกับความชื้นมาตรฐานพริกแห้ง ใช้แก๊สไปทั้งหมด 4.2กิโลกรัม แต่คุณภาพพริกไม่ตรงกับความต้องการ แตกหักมาก สีพริกเข้มมาก

- เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิที่ใช้คือ 110 °C ในชั่วโมงที่ 1-4 ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว ในชั่วโมงที่ 4-6 ความชื้นลดลงเล็กน้อย จนความชื้นสมดุลในชั่วโมงที่ 7-14 และในชั่วโมงที่ 4 ความชื้นลดลงเหลือ 6.18%wb เป็นความชื้นที่ใกล้เคียงกับความชื้นมาตรฐานพริกแห้งใช้แก๊สไปทั้งหมด 2.4 กิโลกรัม แต่คุณภาพของพริกไม่ตรงกับความต้องการ พริกแตกหักมาก สีพริกเข้มมาก

เมื่อพิจารณาสมบัติต่าง ๆ ของพริกที่ได้จากการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้อบแห้งและคั่วพริกในขั้นตอนเดียวของเครื่องอบแห้งที่ออกแบบและสร้างในงานวิจัยนี้ พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 80 °C ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 13 ชั่วโมง ได้พริกที่มีคุณภาพตามความต้องการของท้องตลาด

4.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งและคั่วพริก

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกแบบถังหมุนที่ใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม ที่สร้างขึ้นในการวิจัยนี้ ตารางที่ 4.3 แสดงถึง ระยะเวลาในการอบและคั่วพริก พลังงานที่ใช้ (Q_{input}) คือ ผลคูณระหว่างค่าความร้อนของแก๊สหุงต้มและปริมาณแก๊สหุงต้มที่ใช้ในการอบและคั่วพริก พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ (Q_{output}) คือ ผลคูณระหว่างปริมาณน้ำที่ระเหยกับค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอของน้ำ เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ต่อความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และระยะเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสม

4.4.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริก

เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริก สำหรับพริกสดที่มีความชื้นเริ่มต้น ประมาณ 78 %wb จนกระทั่งมีความชื้นสุดท้าย ประมาณ 13 %wb ภายในระยะเวลาไม่เกิน 14 ชั่วโมง พบว่า ที่อุณหภูมิ 60 ^{O}C ไม่สามารถอบและคั่วพริกให้มีความชื้นลดลงเหลือ 13 %wb ได้ภายในระยะเวลา 14 ชั่วโมง โดยความชื้นสุดท้ายเหลือเพียง 64.82 %wb เท่านั้น สำหรับอุณหภูมิที่ 70 – 110 ^{O}C นั่น ระยะเวลาในการอบแห้งและคั่วพริกจะเป็นดังนั้น คือ ที่อุณหภูมิ 70 ^{O}C มีระยะเวลาในการอบแห้งและคั่วพริก คือ 14 ชั่วโมงได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 14.77 %wb ซึ่งเป็นความชื้นที่ใกล้เคียงกับการอบแห้งและคั่วพริกที่อุณหภูมิ 80 ^{O}C แต่ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงเหลือ 13 ชั่วโมง ในการอบแห้งและคั่วพริกที่อุณหภูมิ 90 ^{O}C 100 ^{O}C และ 110 ^{O}C นั้น มีระยะเวลาในการอบแห้งและคั่วคือ 9 ชั่วมง 6 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ และความชื้นสุดท้าย คือ 13.45 %wb 12.56 %wb และ 6.18 %wb ดังตารางที่ 4.2

4.4.2 อัตราการอบแห้งและคั่วพริกของเครื่อง

อัตราการอบแห้งและคั่วพริก คือ ความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกต่อหน่วยเวลา ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์อัตราการอบแห้งและคั่วพริกตั้งแต่ความชื้นเริ่มต้น 77.68 %wb จนกระทั้งได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 13 %wb หรือที่ระยะเวลาในการอบแห้ง 14 ชั่วโมง ในกรณีที่ทำการอบแห้งและคั่วพริกที่อุณหภูมิ 60 ^{O}C โดยตารางที่ 4.3 แสดงอัตราการอบแห้ง (ในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งและคั่วพริกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อัตราการอบแห้งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบและคั่วพริกเพิ่มมากขึ้น โดยอัตราการอบแห้ง (%db/h) ของการอบแห้งและคั่วพริกที่อุณหภูมิ 80 ^{O}C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งและคั่วพริก ให้พริกที่คุณภาพตรงความต้องการของตลาด คือ 25.39 %db/h และมีอัตราการอบแห้งสูงสุดอยู่ที่ 85.11 %db/h ที่อุณหภูมิการอบแห้งและคั่วพริก 110 ^{O}C ส่วนการอัตราการอบแห้งที่น้อยที่สุดของที่สามารถทำให้พริกคั่วที่ได้มีความชื้นประมาณ 13 %wb หรือ 15 %db อยู่ที่ 23.55 %db/h ที่อุณหภูมิภายในเครื่อง 70 ^{O}C

ตารางที่ 4.3 อัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ระยะเวลา (h)	อุณหภูมิที่ใช้ (^{O}C)					
	60	70	80	90	100	110
1	3.37	86.54	80.32	89.37	81.00	132.07
2	10.94	7.38	27.61	15.42	65.55	112.04
3	23.04	4.80	25.52	71.08	33.53	66.70
4	11.42	40.43	26.47	7.02	45.12	29.63
5	16.42	10.88	5.10	34.25	48.64	
6	29.84	6.30	36.91	57.68	58.83	
7	8.82	18.59	15.53	30.32		
8	19.55	7.98	47.02	15.61		
9	12.10	7.39	27.70	10.74		
10	12.66	16.18	13.66			
11	13.31	54.34	3.10			
12	11.58	31.68	4.80			
13	4.50	15.32	16.28			
14	17.26	21.89				
เฉลี่ย	13.92	23.55	25.39	36.83	55.44	85.11

4.4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของในการระเหยน้ำของเครื่องคั่วพริกแบบถังหมุนที่ใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม ซึ่งในการวิเคราะห์นี้ จะวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ป้อนให้กับเครื่องอบแห้งและคั่วพริกเฉพาะ คือ ชื้อเพลิงสำหรับการให้ความร้อนเท่านั้น แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่า

- ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกต่ำที่สุด 7.40% เนื่องจากการระเหยน้ำออกจากเม็ดพริกในช่วงแรกเป็นไปได้น้อย เมื่ออบถึงชั่วโมงที่ 14 พบว่า ความชื้นสุดท้ายของพริกที่อุณหภูมิน้ำมีความชื้นสูงกว่าที่ตลาดต้องการ โดยความชื้นที่ได้จากการทดลองนี้ คือ 64.82 %wb ซึ่งจากข้อกำหนดของระยะเวลาในการอบแห้งไม่เกิน 14 ชั่วโมง จึงเป็นสภาวะการทำงานที่ไม่เหมาะสม

- ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งและคั่วพริก คือ 11.56 % ซึ่งเป็นประสิทธิภาพที่อยู่ในลำดับรองลงมาจากประสิทธิภาพเครื่องสูงสุด แต่เมื่อพิจารณาคุณภาพของพริก สี และการแตกหักยังไม่เหมาะสมกับความต้องการ มีอัตราการสิ้นเปลืองแก๊สหุงต้ม 0.27 kg/h

- ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เครื่องมีประสิทธิภาพในการระเหยน้ำ 8.47% ปริมาณแก๊สที่ใช้ 5.2 กิโลกรัม ระยะเวลาที่ใช้อบแห้ง 13 ชั่วโมง ที่อุณหภูมินี้พริกจะมีคุณภาพดีที่สุด เช่น สีเหมาะสมที่สุด และการแตกหักน้อยที่สุด ซึ่งตรงกับความต้องการของกลุ่มอุตสาหกรรมแปรรูปพริก สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองแก๊สหุงต้ม คือ 0.40 kg/h ซึ่งมีค่ามากกว่าการอบแห้งและคั่วพริกที่ 70 ^{o}C ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการอบแห้งของการอบและคั่วพริกที่ 70 ^{o}C และ 80 ^{o}C มีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก แต่ความสิ้นเปลืองแก๊สหุงต้มของการอบแห้งและคั่วพริกที่ 80 ^{o}C มีการสิ้นเปลืองแก๊สหุ้งต้มมากว่าที่อุณหภูมิ 70 ^{o}C ถึงร้อยละ 36.8 ของการอบแห้งที่ 70 ^{o}C

- ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เครื่องมีประสิทธิภาพในการระเยหน้ำ 8.42 % ซึ่งใกล้เคียงกับ 8.51% ที่อุณหภูมิการอบแห้งและคั่วพริก 80 ^{o}C ระยะเวลาในการอบแห้งต่างกัน 5 ชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาคุณภาพของพริกที่ 90 องศาเซลเซียสแล้วพริกไม่เหมาะสมกับความต้องการ

- ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เครื่องมีประสิทธิภาพในการระเหยน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 10.37 % พริกมีคุณภาพจะมีสีน้ำตาลเข้มมาก และการแตกหักมีมาก แสดงว่าคุณภาพของพริกไม่ดี ไม่เหมาะสมกับความต้องการ

- ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เครื่องมีประสิทธิภาพสูงสุด 18.28 % ระยะเวลาที่ใช้อบแห้งน้อยสุด ปริมาณแก๊สที่ใช้น้อยที่สุด คุณภาพพริกที่ได้เป็นเช่นเดียวกันกับอุณหภูมิ 100 ^{o}C ที่ไม่ตรงกับความต้องการของตลาด

ตาราง 4.4 ประสิทธิภาพในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (^{o}C)	ระยะเวลา (h)	ปริมาณแก๊ส (kg)	น้ำหนัก (kg)			Q_{output} (kJ)	Q_{input} (kJ)	η (%)
			เริ่มต้น	สุดท้าย	น้ำระเหย			
60	14	2.9	13	8.32	4.68	10,576.80	142,959.27	7.40
70	14	3.8	13	3.42	9.58	21,650.80	187,325.94	11.56
80	13	5.2	13	3.39	9.61	21,718.60	256,340.76	8.47
90	9	5.2	13	3.35	9.65	21,809.00	256,340.76	8.51
100	6	4.2	13	3.31	9.69	21,899.40	207,044.46	10.58
110	4	2.4	13	3.10	9.90	22,374.00	118,311.12	18.91

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการระเหยน้ำของเครื่องคั่วพริกแบบถังหมุนที่ใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม ที่อุณหภูมิ 60 70 80 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส เมื่อไม่คิดการสูญเสียพลังงานจากมอเตอร์ ในตารางที่ 4.4 สามารถการคำนวณจากสมการ

$$\eta = \frac{output}{input} \times 100$$

$$\eta = \frac{m_w h_{fg}}{Q_{LPG}} \times 100$$

เมื่อ η = ประสิทธิภาพของระบบอบแห้ว,%

m_w = อัตราการระเหยของน้ำ,kg

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ,kJ/kg

Q_{LPG} = ความร้อนที่ได้จากแก๊ส LPG

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปคำนวนหาค่าประสิทธิภาพในการระเยหน้ำของเครื่องอบแห้งและคั่วพริก โดยค่าของตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการอบแห้งและคั่วพริกที่อุณหภูมิ 80 °C ที่มีการใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม เป็นดังนี้

	น้ำหนักพริกเริ่มต้น	=	13.00	kg
	น้ำหนักพริกสุดท้าย	=	3.39	kg
ดังนั้น	น้ำหนักน้ำที่ระเหยออกจากพริก	=	9.61	kg
	ความสิ้นเปลืองแก๊สหุงต้ม	=	5.20	kg
เมื่อ	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ	=	2,260.00	kJ/kg
	ค่าความร้อนของแก๊สหุงต้ม	=	49,296.30	kJ/kg

สามารถคำนวณประสิทธิภาพในการระเหยน้ำของระบบอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C

$$\eta = \frac{9.61 \times 2,260}{5.20 \times 49,296.3} \times 100$$

$$= 8.47\ \%$$

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเทคนิคของการใช้เครื่องอบแห้งและคั่วพริกนี้ สามารถสรุปถึงสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งและคั่วพริก คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและคั่ว คือ 80 °C ทำการอบแห้งและคั่วพริกที่ความชื้นเริ่มต้น ประมาณ 78 %wb (355 %db) จนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 15 %wb (18 %db) มีอัตราการระเหยน้ำเฉลี่ย คือ 25.39 %db/h อัตราการสิ้นเปลืองแก๊สหุงต้ม คือ 0.40 kg/h ประสิทธิภาพในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งและคั่วพริก คือ 8.47 %

4.5 การวิเคราะห์หลักการทางเศรษฐศาสตร์

ข้อมูลที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบพริกและคั่วพริกสดแบบถังหมุนโดยใช้ความร้อนจากแก๊สแก๊สหุงต้ม ในการวิเคราะห์นี้จะวิเคราะห์ต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริกต่อหน่วยของพริกแห้งและกิโลกรัมน้ำที่ระเหย สมมุติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นดังนี้ คือ

1. เงินลงทุนในการสร้างเครื่อง 90,000 บาท
2. กำหนดอัตราดอกเบี้ยตลอดอายุการใช้งาน 7 %
3. กำหนดอายุการใช้งานของเครื่อง 10 ปี
4. ค่าบำรุงรักษารายปี 10% ของมูลค่าเครื่อง ซึ่งเงินค่าบำรุงรักษาในส่วนนี้จะเป็นค่าบำรุงรักษามอเตอร์ ค่าบำรุงรักษาระบบควบคุม คิดเป็น 9,000 บาท
5. ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้ง (แก๊สหุงต้ม) 32,448 บาท/ปี
6. ราคาพริกสดหน้าสวน กรมวิชาการเกษตร (พืชสวน) 52,728 กิโลกรัม/ปี
7. ปริมาณพริกแห้ง 1,029.6 กิโลกรัม/ปี
8. ปริมาณพริกสด 4,056 กิโลกรัม/ปี
9. ปริมาณน้ำระเหยออกจากพริก 3,026.4 กิโลกรัม/ปี
10. ไม่คิดมูลค่าซากของเครื่อง
11. ไม่คิดค่าจ้างแรงงาน

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ทางการเงินของการอบแห้งพริก โดยใช้พลังงานจาก LPG ที่อัตราเงินเฟ้อ 2.2 % อัตราดอกเบี้ย 7 % ในปี 2556

Unit:Baht

year	Dryer	O&M Cost	Energy Cost	Cost of fresh Chilli	Total	Present value
0	90,000				90,000	90,000
1		9,000	32,448	52,728	94,176.00	88,014.95
2		9,198	33,616.85	53,888.01	96,702.86	84,464.02
3		9,400.35	33,891.41	55,073.55	98,365.31	80,295.39
4		9,607.16	34,637.02	56,285.17	100,529.19	76,693.23
5		9,818.52	35,399.04	57,523.44	102,741.00	73,252.91
6		10,034.52	36,177.82	58,788.96	105,001.30	69,966.79
7		10,255.28	36,973.73	60,082.31	107,311.32	66,828.09
8		10,480.90	37,788.32	61,404.12	109,673.34	63,830.88
9		10,711.48	38,618.47	62,755.01	112,084.96	60,966.79
10		10,947.13	39,468.07	64,135.62	114,550.82	58,231.82
				Total value	812,544.87 Baht	

จากข้อมูลสามารถนำมาประเมินค่าใช้จ่ายรายปี(Levelized Annual Cost, ,LAC) ของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจาก LPG ได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายรายปี = Present Worth × Capital Recovery Factor

$$LAC = PW \times CRF$$

$$= 812,544.87\left[\frac{0.07(1+0.07)^{10}}{(1+0.07)^{10}-1}\right]$$

= 116,112.66 บาท

ในการหาต้นทุนการอบแห้งต่อกิโลกรัมน้ำระเหย (LACW)

จาก LACW = LAC / WEP

= 116,112.66 / 3,026.4

= 38.36 บาท / กิโลกรัมน้ำระเหย

ในการหาต้นทุนการอบแห้งต่อกิโลกรัมพริกแห้ง

จาก LACC = LAC / DC

= 116,112.66 / 1029.6

= 112.77 บาท / กิโลกรัมพริกแห้ง

จากนั้นทำการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องอบแห้งและคั่วพริกในจำหน่าย จากข้อมูลข้างต้น ใช้เป็นสมมุติฐานในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องอบแห้งและคั่วพริก ดังนี้

- ต้นทุนในการอบแห้งและคั่วพริก 113 บาทต่อกิโลกรัมพริกแห้ง
- ผลิตพริกคั่วได้ 1,030 กิโลกรัม
- ต้นทุนของเครื่องอบแห้ง 9,000 บาท
- ค่าใช้จ่ายรายปีของการอบแห้งและคั่วพริก 116,113 บาท
- วิเคราะห์ราคาขายที่ 120-200 บาท

ทำการวิเคราะห์ต้นทุนจากสมมุติฐานข้างต้น ได้ผลดังตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงถึง รายได้ ผลกำไร และ จุดคุ้มทุนที่ราคาขายต่าง ๆ

ตารางที่ 4.6 จุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องอบแห้งและคั่วพริก

ราคาขาย (บาท)	รายได้	กำไร	จุดคุ้มทุน (ปี)	
120	123,600.00	7,487.00	12.02	12 ปี 8 วัน
130	133,900.00	17,787.00	5.06	5 ปี 22 วัน
140	144,200.00	28,087.00	3.20	3 ปี 2 เดือน 12 วัน
150	154,500.00	38,387.00	2.34	2 ปี 4 เดือน 3 วัน
160	164,800.00	48,687.00	1.85	1 ปี 10 เดือน 6 วัน
170	175,100.00	58,987.00	1.53	1 ปี 6 เดือน 11 วัน
180	185,400.00	69,287.00	1.30	1 ปี 3 เดือน 18 วัน
190	195,700.00	79,587.00	1.13	1 ปี 1 เดือน 17 วัน
200	206,000.00	89,887.00	1.00	1 ปี

จากตารางที่ 4.6 พบว่า เมื่อกำหนดราคาขายพริกคั่วเป็นกิโลกรัม 120 บาท จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 12 ปี 8 วัน ซึ่งเป็นราคาขายที่เป็นไปไม่ได้ เนื่องจากสมมุติฐานในการวิเคราะห์ราคาขายนี้ กำหนดให้อายุของเครื่องอบแห้งเพียง 10 ปี แต่เมื่อราคาขายพริกคั่วเพิ่มขึ้นเป็น 130 บาท จุดคุ้มทุนจะลดลงอยู่ที่ประมาณ 5 ปี (5 ปี 22 วัน) เมื่อกำหนดให้ราคาขายสูงขึ้น จุดคุ้มทุนก็ลดลง และจะลดลงเหลือ 1 ปี ที่ราคาขายพริกคั่ว 200 บาทต่อกิโลกรัม จากข้อมูลนี้เอง แสดงให้เห็นว่า การใช้เครื่องอบแห้งและคั่วพริกมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เนื่องจากจุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องอบแห้งและคั่วพริกประมาณ 5 ปี ที่ราคาขายเพียง 130 บาท ที่อายุการใช้งานของเครื่อง 10 ปี

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดขึ้น แล้วศึกษาถึงสมรรถนะของเครื่อง แหล่งพลังงานความร้อนที่นำมาใช้กับเครื่องได้จากแก๊สหุงต้ม และ ทำการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งด้วย สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 ลักษณะของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดและหลักการทำงาน

โครงสร้างของเครื่องประกอบด้วย ถังบรรจุผลิตภัณฑ์ขนาด 60 cm x cm ด้านหัวและด้านท้ายของถังเจาะรูเพื่อการระบายอากาศชื้นออกจากถัง หัวและท้ายถังต่อแกนออกมา ด้านหนึ่งต่อเข้ากับตัวจับเพื่อบังคับถังให้หมุนขณะเตรียมการ อีกด้านหนึ่งต่อเข้ากัมพูเลย์ที่พ่วงต่อเข้าพู่เลย์อีกชุดหนึ่งที่ติดกับแกนของมอเตอร์ พู่เลย์ที่ติดกับมอเตอร์ทำหน้าที่บังคับการหมุนของถัง ส่วนชุดที่ติดกับถังหมุนจะทำหน้าที่ทดรอบให้ได้ตามความต้องการ และจะทำงานเมื่อมีการเปิด-ปิดสวิตช์ที่ตัวควบคุมการทำงานที่ระบบควบคุม ซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิภายในถังอบให้คงที่ตลอดการทดลอง ระบบควบคุมความเร็วในการหมุนของถังที่ 5 rpm เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องนี้ ชุดควบคุมการไหลของแก๊สจากถังแก๊สไปยังหัวล่อแก๊ส และท่อแก๊สใต้ถังอบ แก๊สจะไหลออกมาที่ท่อแก๊สเมื่ออุณหภูมิในถังต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ และจะถูกตัดแก๊สเมื่ออุณหภูมิในถังอบสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ ±3 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องใช้พริกจินดา 13 กิโลกรัมที่ใช้ความชื้นเริ่มต้นที่ 77.63%wb และความชื้นสุดท้ายประมาณ 13 %wb คุณภาพพริกเป็นไปตามที่ต้องการ เช่นสีพริกแดงสด และ การแตกหักน้อยที่สุด

5.2 ผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการอบแห้งและคั่วพริกจินดา

การหาสภาวะการทำงานที่ใช้ในการทดลองของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊ส LPG ทำการอบพริกที่ใช้ความชื้นเริ่มต้นที่ 77.63%wb และความชื้นสุดท้ายประมาณ 13 %wb ปริมาณพริก 13 กิลกรัม มีดังต่อไปนี้

5.2.1 อุณหภูมิ สำหรับการอบแห้งจากการวิจัยพบว่า เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 80 90 100 110 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะได้พริกคุณภาพดีที่สุด พริกมีสีแดงสดใสเป็นที่ยอมรับของตลาด และกลุ่มเป้าหมาย ส่วนที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้ต้องใช้เวลาอีกนานจึงจะได้

ความชื้นตามที่ต้องการทำให้เสียเวลามาก นอกจากนั้นความร้อนยังไล่ความชื้นออกจากเมล็ดพริกได้ช้าทำให้เมล็ดแตกออกทำให้เสียรูปไปในปริมาณที่มาก ส่วนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส ทำให้สีพริกเข้มและสีไหม้เกิดการไหม้ก่อนสุก และไม่เป็นที่ต้องการของกลุ่มเป้าหมายและตลาด นอกจากนั้นยังเปลืองพลังงานมาก

5.2.2 เวลาในการอบแห้งและคั่วพริกสด ที่สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ผลคือที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่พริกความชื้นเริ่มต้นที่ 77.63%wb ลดลงจนเหลือความชื้น 14.53%wb ใช้เวลากับ 13 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่พริกมีคุณภาพดีที่สุด ตรงตามความต้องการ

5.2.3 อัตราการหมุนของถังอบ จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องที่ความเร็วรอบต่างๆเพื่อทดสอบแรงเหวี่ยงของถังที่ทำให้พริกเสียรูป และการระบายความชื้นออกจากพริกเนื่องจากการเคลื่อนที่ในถังได้เหมาะสมพบว่าที่ความเร็วรอบ 5 rpm พริกมีลักษณะคงรูปมากที่สุด และคุณภาพดีที่สุด

5.2.4 ความสิ้นเปลืองพลังงาน เมื่อพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนของแก๊สหุงต้มที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริกจินดาแดงสดที่ 13 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้น 77.63%wb จนความชื้นสุดท้ายเหลือ 14.53%wb .ใช้เวลาไป 13 ชั่วโมง ปริมาณแก๊สที่ใช้ไป 5.2 กิโลกรัม คิดเป็นพลังงานความร้อน 261.144 MJ หรือ 261,144 kJ .ใช้เงินค่าพลังงานไป 104 บาทต่อครั้ง

5.3 ต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริกสด

ในการวิเคราะห์ต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริกสดใช้วิธี Levelized Annual Cost โดยพิจารณาที่เงื่อนไขการทำงานที่เหมาะในเชิงเทคนิค ซึ่งกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องอบแห้งและคั่วพริก 10 ปี พบว่าต้นทุนการอบแห้งสำหรับใช้ในการระเหยของน้ำออกจากพริกจินดาสดมีค่า 38.63 บาทต่อกิโลกรัมน้ำระเหย เป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องระเหยน้ำ 1 กิโลกรัม ออกจากพริก และต้นทุนต่อหน่วยพริกแห้ง 112.77 บาท ซึ่งค่าใช้จ่ายนี้รวมค่าสร้างเครื่องอบ ค่าบำรุง ค่าพริกสด และค่าพลังงาน ส่วนค่าแรงจะไม่มีเนื่องจากว่า กลุ่มเป้าหมายเป็นกลุมแปรรูปพริก เพราะฉนั้นแรงงานก็จะใช้แรงงานในกลุ่มสมาชิก เป็นการประหยัดทุนในอีกส่วนหนึ่ง และจุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องอบแห้งและคั่วพริกสำหรับจำหน่าย ที่ราคาขาย 130 บาทต่อกิโลกรัม พบว่า จุดคุ้มทุนอยู่ที่ประมาณ 5 ปี 22 วัน ที่อายุการใช้งานของเครื่องอบแห้งและคั่วพริก 10 ปี

5.4 ข้อเสนอแนะ

เครื่องอบแห้งและคั่วพริกนี้ใช้ความร้อนจากแก๊สหุงต้ม การพัฒนาศักยภาพเครื่องสามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1. เพื่อให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มที่ ควรจะใช้เครื่องอบนี้ไปทดลองอบแห้งกับพืชชนิดอื่นๆ**เช่น** ถั่ว ข้าวโพด เป็นต้น

2. ควรนำเครื่องอบแห้งนี้ไปทดลองกับแหล่งพลังงานความร้อนอื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบต้น**ทุน**ด้านพลังงาน

3. ควรถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อนำไปสู่อุตสาหกรรมการอบแห้งพริกในระดับอุตสาหกรรม**ขนาด**ย่อม และขนาดใหญ่ เพื่อขยายขนาดเครื่องให้ใหญ่ขึ้นต่อไป

4. ควรศึกษาค้นคว้ารูปแบบของตัวตักภายในถังอบแห้ง และพัฒนารูปแบบของตัวตัก เพื่อ**ลด**การสูญเสียลักษณะเฉพาะให้น้อยที่สุด

5. งานวิจัยนี้เหมาะสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน กลุ่มเกษตรชุมชน กลุ่มการงานอาชีพชุม**ชน**ที่แปรรูปพริกในรูปแบบต่างๆ

บรรณานุกรม

[1] Kaleemullah, S. and Kailappan, R. (2005). **Drying kinetics of red in a rotary drying, Biosystems Engineering**.92: 15-23

[2] บุญส่ง เอกพงษ์ และคณะ. (2550). **รายงานฉบับบสมบูรณ์โครงการสภาพการตลาดพริกจังหวัดอุบลราชธานีและศรีษะเกษ**. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนันการวิจัย

[3] กมล เลิศรัตน์. (2553). **การแปรรูปพริกและผลิตภัณฑ์พริกในประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: งานวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา. (2537). **เอกสารวิชาการเรื่องพริก**. กรุงเทพฯ: กองส่งเสริมพืช สวนกรมส่งเสริมการเกษตร.หน้า 1

[5] สำนักงานส่งเสริมจการเกษตร. (2554). **ผลผลิตทางการเกษตรปี 2554**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 48

[6] วสุ อมฤตสุทธิ์ พรพิมล สุริยภัทร และรักเกียรติ แสนประเสริฐ. (2549). **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการการศึกษาสภาพการผลิตและความสัมพันธ์ของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อผลผลิตคุณภาพ และปริมาณสาร capsicin ในพริกพันธุ์การค้า กรณีศึกษา: จังหวัดอุบลราชธานีและศรีสะเกษ**. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนวิจัย.

[7] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2554). **ปริมาณของสินค้าส่งออกจำหน่ายต่างประเทศ ปี 2554**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรร์. หน้า 30

[8] กรมวิชาการเกษตร. (2552). **สรรพคุณของพริก** ฐานความรู้ด้านพืช. htt://www.doa.go.th/plant/chilli.htm. มีนาคม 2555.

[9] กรมวิชาการเกษตร. (2548). **พริก** ฐานความรู้ด้านพืช. htt://www.doa.go.th/pl_data/CHILLI/ISTAT/st01. Htm1. มีนาคม 2555

[10] สถาบันแพทย์แผนไทย. (2542). **สมุนไพรไทยกับวัฒนธรรมไทย ตอนที่ 2 ไม้ริมรั้ว**. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.

[11] Peason. D. (1976). **The Chemical Analysis of Food**. 7th edn, Churchilli, Lifvingstone, London. 350 p.

[12] นนทวัฒน์ ปรีดาภัทรพงษ์. (2537). **การผลิตโอลิโอเรซินและสีน้ำมันจากพริก**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[13] ทวีศักดิ์ นวลพลับ. (2537). **การปลูกพริก**. นนทบุรี. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[14] กรองแก้ว เนาสราญ และ วุฒิชัย นุตกุล. (2535). **ปริมาณองค์ประกอบของสารรสเผ็ดร้อนจากพริก.** วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.34(3): 133-134.

[15] จิรายุ อุทัยทวีป และ นพรัตน์ แซ่ลี้. (2539). **การเตรียมสารสกัดพริกบริสุทธิ์ 2: พัฒนาครีมพริกและศึกษาผลต่อ blood flow ที่ผิวหนังคน.** วิทยานิพนธ์ ภศบ., มหาวิทยาลัยมหิดล.

[16] ธำรงศักดิ์ สิงโตขำ และนงลักษณ์ ตรงเมธีรัตน์. (2534). **สารที่ให้รสเผ็ดในพริกขี้หนู.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยมหิดล.

[17] Fujimoto, k.,Seki, k. and kaneda, T. (1974). **Antioxidative Substance in Red** Journal of Food Science and Technology. 21(2): 86-89 pp.

[18] จงรักษ์ แก้วประดิษฐ์. (2550). **พริก (Chilli) ตอนที่** 2 htt://librarry.uru.ac.th/webdb/images/charpa_Chilli_3.htm. มีนาคม 2555

[19] รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ. (2540). **พืชเครื่องเทศสมุนไพร.กรุงเทพฯ:** โรงพิมพ์โอเดียนสโตร์. หน้า 66-73

[20] Purseglove, J.W. (1969). **Tropical Crop;Dicotyledon 2, Longmans,Green and Co.Ltd,**London, UK. 719 pp.

[21] จุไร ศยามานนท์. (2523). **การวิเคราะห์ปริมาณสารแคปไซซินในพริกพันธุ์ห้วยสีทนโดยใช้วิธี** High Pressure Liquid Chromatography (HPLC) HPLC Analysis of Capsaicin in Huey See Ton Chilli. ศูนย์ทดสอบและมาตรฐาน สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.3:21-27

[22] สัมพันธ์ คัมภิรานนท์. (2546). **พริกเรื่องเผ็ดร้อนที่น่ารู้.** วารสารพริก. 18(19):45:54.

[23] อุดมลักษณ์ อุ่นจิตต์วรรธนะ พิศวาส บัวรา นรินทร์ และอุดม คำชา. (2548). ผลงานวิจัย **ประจำปี วิจัยหาปริมาณสารแคปไซซินในพริกพันธุ์ต่างๆ และแหล่งปลูกต่างๆ.** กรุงเทพฯ: สำนักงานวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรบูรณาการกับสถาบันวิจัยพืชสวน

[24] สำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคตะวันตก. (2524). **โครงการปรับปรุงระบบส่งเสริมการเกษตรของประเทศไทย.** ราชบุรี: พืชศาสตร์.หน้า 1-2

[25] กรมส่งเสริมการเกษตร. (2530). **เครื่องเทศ.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ หน้า 58-62

[26] สุรศักดิ์ เทียบรัตน์. (2540). **การอบแห้งพริกและกระเทียบโดยใช้พลังงานความร้อนทิ้งจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน.** วิทยานิพนธ์ วศม., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี, กรุงเทพฯ.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[27] เพียรพรรณ สุภะโคตร. (2554). **การหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกแบบอุณหภูมิสองขั้น.** วิทยานิพน์ วทม., มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.

[28] อริยะ แสนทวีสุข. (2552). **แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบสูบความร้อน** วิทยานิพนธ์ วศม., มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

[29] อินทรชิต หอวิจิตร.(2536). **อุณหพลศาสตร์ 2** . ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[30] Slon, C.E. 1967). **Chemecal Engineering**, Vol. 74, No. 14 New York: McGraw-Hill, pp. 162-214.

[31] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2540). **การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท**. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[32] S.Phoungchandang & J.L. Woods.(2002).**Solar Drying of Banana:Mathmatical Model,Laboratory Simulation,and Field Data Compared.** The financial support for the project provide by The Royal Thai government.Bangkok:The Royal Thai Government.

[33] กรมวิชาการเกษตร และมหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2551).

[34] วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. (2536). **คู่มืออุปกรณ์การอบแห้งในอุตสาหกรรมเคมี** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ไทยญี่ปุ่น.

[35] ไพบูลย์ โรจน์วิบูลย์ชัย . (2533). **การอบแห้งข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งแบบหมุน.** วิทยานิพนธ์ วศม., ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

[36] Holman, J.P., (1986). **Heat transfer,** Sixth Edition, Singapore, McGraw-Hill, pp.288-295.

[37] วันชัย ริจิรวนิช และชอุ่ม พลอยมีค่า. (2535). **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หน้า 45-75

[38] พิพัฒน์ อมตฉายา. (2549). **เครื่องอบแห้งพริกแบบหมุน.** นครราชสีมา: งานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

[39] ชนากานต์ อาษาสุจริต. (2538). **การอบแห้งพริกโดยใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซชีวมวล** วิทยานิพนธ์ วทม., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรงเทพฯ.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[40] สวิก เพ็งอัน. (2531). "**การอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพของแหล่งน้ำพุร้อนอำเภอสันกำแพงในโรงบ่มใบยาสูบต้นแบบ**,"เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการ เรื่องเครื่องมือและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่ เหมาะสม, วันที่ 6-7 ตุลามคม 2531. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หน้า 5-8

[41] ฌอคุณ สิทธิพงศ์. (2531). "**โครงการเครื่องอบแห้งพืชหลายชนิด**," การประชุมสัมมนา**ทางวิชาการเรื่องเครื่องมือและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม, วันที่ 6-7 ตุลามคม 2531**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 2-5

[42] ณัฐวุฒิ ดุษฎี และ จงจิตร์ หิรัญลาภ. (2535). **การอบแห้งกล้วยน้ำหว้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานเสริม การปรุชุมทางวิชาการเรื่องความก้าวหน้าทางวิศวกรรมเคมี วันที่ 25-26 มิถุนายน 2553**. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 15 หน้า

[43] ยงยุทธ พืชกมุทร. (2529). **เครื่องอบแห้งแบบหมุน**. กรุงเทพฯ: การประชุมทางวิชาการประจำปี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 24 หน้า 15-27

[44] ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์. (2554). **การอบแห้งพริกแบบชั้นบางโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง**. วิทยานิพนธ์ ปรด., มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

[45] Ergones,G. and Tarhan,S. (2006). **Color retention of pepper by chemical pretreatment during greenhouse and open sun drying**. Journal of Food Engineering. 76:446-452

[46] สุภาพรรณ จิตจักร และภัทรพร วีระชาติ. (2549). **การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและความร้อนจำเพาะของพริกพันธุ์หัวเรือ พันธุ์หัวเรือย่น และพันธุ์ซุปเปอร์ฮอท ขณะอบแห้ง**.สาขาวิชาอุตสาหกกรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

[47] Feaeye,I., De Roeck,A., Duvetter T., Verlent, I., Hendrickx, M. and Loey, V. (2007). **Influence of pectin properties and processing conditions on thermal pectin degradation**, Journal of Food Chemistry. 555-563.

[48] องอาจ เด็ดดวง. (2553).**การเปรียบเทียบเพกตินสกัดจากฝรั่งสามชนิดกับเพกตินมาตรฐาน**. วิทยานิพนธุ์. กศม., มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[49] Sila,D. N., Smout, C.,Elliot, F., VanLoey, A. and Hendrickx, M. (2006). **Non-enzymatic depolymerization of carrot texture during thermal processing**, Journal of Food Science. 71:1-9

บรรณานุกรม (ต่อ)

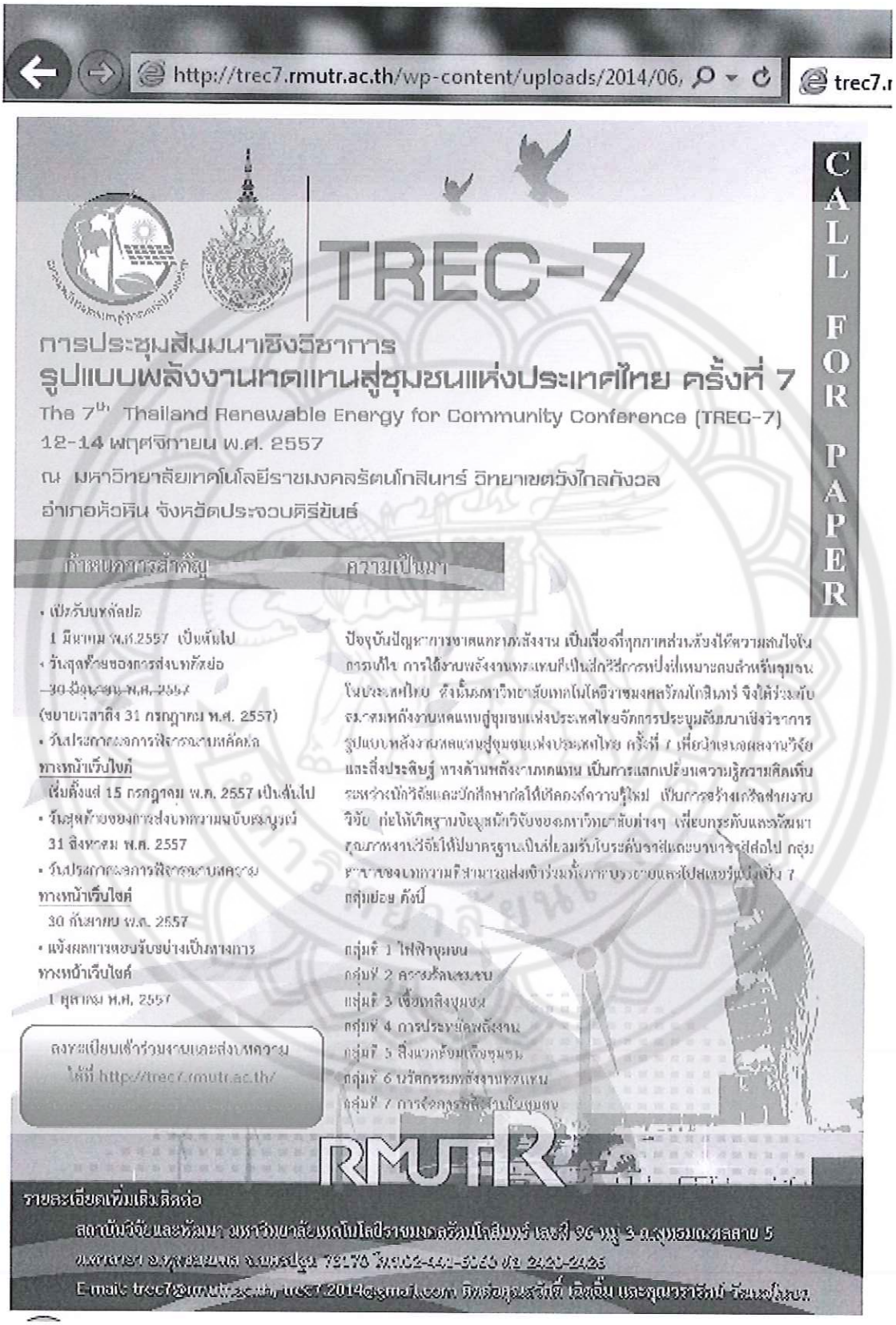
[50] Ni, L., Lin, D. and Barrett, D. M. (2005X). **Pectin methylesterase catalyzed firming effects on low temperature blanced vegetable,** Lournal of Food Engineering. 70: 546-55

[51] Phomkong, W., Thammarutwasik, P. and Soponronnarit, S. (2009). **Effect of drying air temperature and chemical pretreatment on quality of dried chilli,** International Food Research Journal. 16: 441-454

[52] Vaga –Galvez, A., Lemus-Mondaga, R., Bilbao-Sainz, C., Fito, P. and Andres, A. (2008). **Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (Capsicum annuum, L.var.Lamuyo),** Journal of Food Engineering. 85:42-50

ภาคผนวก ก.

ร่างบทความเผยแพร่


http://trec7.rmutr.ac.th/wp-content/uploads/2014/06/
trec7.r
TREC-7
การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ
รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7
The 7th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-7)
12-14 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557
ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล
อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
CALL FOR PAPER
กำหนดการสำคัญ
ความเป็นมา
• เปิดรับบทคัดย่อ
1 มีนาคม พ.ศ.2557 เป็นต้นไป
• วันสุดท้ายของการส่งบทคัดย่อ
30 มิถุนายน พ.ศ. 2557
(ขยายเวลาถึง 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2557)
• วันประกาศผลการพิจารณาบทคัดย่อ
ทางหน้าเว็บไซต์
เริ่มตั้งแต่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2557 เป็นต้นไป
• วันสุดท้ายของการส่งบทความฉบับสมบูรณ์
31 สิงหาคม พ.ศ. 2557
• วันประกาศผลการพิจารณาบทความ
ทางหน้าเว็บไซต์
30 กันยายน พ.ศ. 2557
• แจ้งผลการตอบรับอย่างเป็นทางการ
ทางหน้าเว็บไซต์
1 ตุลาคม พ.ศ. 2557
ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนพลังงาน เป็นเรื่องที่ทุกภาคส่วนต่างให้ความสนใจในการแก้ไข การใช้งานพลังงานทดแทนก็เป็นสิ่งหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับชุมชนในประเทศไทย ดังนั้นมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ จึงได้ร่วมกับ ... พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย จัดการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 เพื่อนำเสนอผลงานวิจัย และสิ่งประดิษฐ์ ทางด้านพลังงานทดแทน เป็นการแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดเห็น ระหว่างนักวิจัยและนักศึกษาก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ เป็นการสร้างเครือข่ายงานวิจัย ก่อให้เกิดฐานข้อมูลนักวิจัยของมหาวิทยาลัยต่างๆ เพื่อยกระดับและพัฒนาคุณภาพงานวิจัยให้เป็นมาตรฐานเป็นที่ยอมรับในระดับชาติและนานาชาติต่อไป กลุ่มเป้าหมายของบทความที่สามารถส่งเข้าร่วมนำเสนอได้ทั้งภาคบรรยายและโปสเตอร์แบ่งเป็น 7 กลุ่มเช่น ดังนี้
กลุ่มที่ 1 ไฟฟ้าชุมชน
กลุ่มที่ 2 ความร้อนชุมชน
กลุ่มที่ 3 เชื้อเพลิงชุมชน
กลุ่มที่ 4 การประหยัดพลังงาน
กลุ่มที่ 5 สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน
กลุ่มที่ 6 นวัตกรรมพลังงานทดแทน
กลุ่มที่ 7 การจัดการพลังงานในชุมชน
ลงทะเบียนเข้าร่วมงานและส่งบทความ
ได้ที่ http://trec7.rmutr.ac.th/
RMUTR
รายละเอียดเพิ่มเติมติดต่อ
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ เลขที่ 96 หมู่ 3 ต.สุขยม อ.เมือง จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77170 โทร 032-441-500 ต่อ 2421-2426
E-mail: trec7@rmutr.ac.th, trec7.2014@gmail.com ติดต่อคุณสวิตต์ เอี่ยมฉิ่น และคุณวราภรณ์ วันเพ็ญนา

เครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดแบบถังหมุน

Rotary Dryer and Roaster for Fresh Chili

ศิรินุช จินดารักษ์
กลยุทธ ทะกอง
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ถ.พิษณุโลก-นครสวรรค์ อ. เมือง จ. พิษณุโลก 65000
โทร 055 963143 , โทรสาร 055 963501

E-mail sirinus_gol@yahoo.com and Fussion_ll@hotmail..com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดแบบถังหมุน ที่ใช้พลังงานความร้อนจากแก๊ส LPG ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริกสดในเครื่องเดียวกัน โดยให้ความร้อนจากแก๊ส LPG ถ่ายเทผ่านแผ่นโลหะเข้าสู่ภายในถังทรงกระบอกขนาด 60 cm x 150 cm ความร้อนจะไปขับไล่ความชื้นออกจากพริก และทำการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องที่ความเร็วรอบของถังหมุน 3 rpm,5 rpm,7 rpm ที่อุณหภูมิเท่ากันคือ 105 เซลเซียส พริกที่ใช้ทดสอบเป็นพริกสด 13 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้น 77.63 %wb และที่ความชื้นสุดท้ายประมาณ 13%wb แล้วเปรียบเทียบคุณภาพพริกปรากฏว่าที่ความเร็วรอบ 5 rpm พริกมีคุณภาพดีที่สุดทั้ง สีแดงสด และการแตกหักเนื่องจากแรงเหวี่ยง และการตกทับกันของพริกน้อยที่สุด เพราะฉนั้นที่ความเร็วรอบ 5 rpm จึงเป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมของเครื่องอบนี้

จากนั้นศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมของเครื่องซึ่งเป็นการศึกษาทางด้านเทคนิคของเครื่องเนื่องจากการอบแห้งและคั่วพริกสด ทดสอบที่พริก 13 กิโลกรัม เวลาที่ใช้ทดสอบ 14 ชั่วโมง ความเร็วรอบที่ใช้ทดสอบ 5 rpm เท่ากัน พริกมีความชื้นเริ่มต้น 77.63%wb และให้มีความชื้นสุดท้าย 13 %wb อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ 60 70 80 90 100 110 องศาเซลเซียส แล้วเปรียบเทียบคุณภาพพริกที่ได้ เปรียบเทียบการสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสด ผลปรากฏว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พริกมีคุณภาพดีที่สุดนั้นคือพริกมีสีแดงสดตรงกับพริกที่ขายกันตามท้องตลาดและตรงกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย พลังงานที่ใช้ไป 261,144.00 kJ และประสิทธิภาพของเครื่อง 8.48 % ถึงแม้จะไม่ใช่พลังงานที่น้อยที่สุดจากการทดลอง และไม่ใช่ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดจากการทดลองเปรียบเทียบทั้ง 6 ระดับอุณภูมิ แต่เมื่อพิจารณาที่คุณภาพพริกจะตรงกับความต้องการมากที่สุด เมื่อวิเคราะห์ทางการเงินของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดที่ใช้พลังงานความร้อนจากแก๊ส LPG ค่าใช้จ่ายรายปี 116,112.66 บาท โดยที่ต้นทุนที่ใช้ในการระเหยของน้ำออกจากพริก 1 กิโลกรัมออกไป มีค่า 38.36 บาท เมื่อกำหนดอายุการใช้ งานของเครื่อง 10 ปี

คำสำคัญ

เครื่องอบและคั่วพริก,แก๊สปิโตรเลี่ยมเหลว (LPG),พริกจินดา, ประสิทธิภาพของเครื่อง,หลักการทางเศรษฐศาสตร์

Abstract

The objective of this is research to design dryers rotary roaster for fresh chili by using heat energy from LPG used in drying and roaster fresh chili.The heat energy from LPG transferred through thin into cylindrical tank 60 cm width x 150 cm length. The heat energy will cause the moisture out of chili. and test conditions appropriate drying and speed of rotation. The speed of rotation drying is 3 rpm, 5 rpm, and 7 rpm that equal temperature. The test is a chili fresh13 kg from initial moisture content 77.63%wb to final moisture content 13 %wb and compare the quality of chili. The speed of rotation 5 rpm make best quality chili Both red color and deduct as centrifugal force and the smallest fall. The speed of rotation 5 rpm is appropriate speed for drying

Next the conditional study appropriate of drying. this is technical education of the dryer due to drying and roasting fresh chili tested at 13 kg and period time 14 hour The rotation speed of 5 rpm as well. The chili have initial moisture content 77.63%wb and final moisture content 13%wb.The temperature tested 60 70 80 90 100 110 $^{\circ}$C. Compare has quality of chili ,compare to the lower energy and compare the efficiency of dryers and roasted chili. The results showed that the temperature 80 $^{\circ}$C the best quality chili.it is a red chili and match chili sold in the market and prospect. Drying energy consumed 261.144 MJ or 261,144 kJ and efficiency 8.84 % although It is not the minimum energy and It is not the best quality from experiment but considering the chili will meet most needs. Financial of the system was analysis in unit of dry products. Annual cost is 116,112.66 baht. The cost is about 112.73 baht/dry chili. Determine the life time of system is 10 years

Keyword

drying and roaster of fresh chilli / liquid petroleum gas (LPG) / jinda type / efficiancy / principles of economics

1.บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่ มีอาชีพเกษตรกรรม พืชที่ปลูกจะเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เช่นพืชจำนวนหวก ข้าว ข้าวโพด มัน สำปะหลัง ถั่วอ้อย พริก ฯลฯ ผลผลิตที่ได้จากการปลูกพืชในแต่ละฤดูกาลนั้นจะได้ปริมาณมาก จนบางครั้งเกิดปัญหาให้กับเกษตรกร และผลผลิตที่ได้จะต้องจำหน่ายโดยเร็ว เพราะพริกสดจะทำให้เกิดการเสื่อมเสียได้ง่าย และมีอายุในการเก็บรักษาสั้น เพื่อลดการสูญเสียลักษณะเฉพาะของผลผลิตไป ซึ่งอาจเกิดจากการเน่าเสียจากความชื้นหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ผลผลิตไม่เหมาะที่จะนำไปเก็บรักษา เกษตรกรจึงต้องลดความชื้นของผลผลิตลงโดยวิธีการตากแดด หรือการอบแห้งด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งการตากแดดจะใช้เวลานานมากกว่า 1 อาทิตย์ เพื่อลดความชื้นลงให้ความชื้นสุดท้ายเหลือร้อยละ 4-13 % (น้ำหนักแห้ง) [1] และการทำแห้งเป็นการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ในอาหาร ส่งผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ทำให้อาหารสามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น ดังนั้นการทำแห้งพริกจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งในการชะลอการเสื่อมเสียของพริกและสะดวกในการขนส่งอีกด้วย นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลผลิต จากวิธีการดังกล่าวเกษตรได้เปลี่ยนวิธีเก็บรักษามาเป็นการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบในการสร้างผลิตภัณฑ์ และใช้ประกอบอาหารในครัวเรือนเช่น แป้งมันต่างๆ น้ำตาลผงชูส พริกป่น พริกแกงชนิดต่างๆ

พริกเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญกับประเทศไทย ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตพริกค่อนข้างสูง โดยในปี พ.ศ. 2549-2550 มีพื้นที่ปลูกพริกโดยรวม 474,717 ไร่ ได้ผลผลิตสด 333,672 ตันต่อปี โดยพริกที่มีความสำคัญมี 5 ชนิด คือ พริกขี้หนูเล็ก พริกขี้หนูใหญ่ พริกยักษ์ พริกหยวก และพริกใหญ่ พริกที่นิยมปลูกมากที่สุดได้แก่ พริกขี้หนูเล็ก และพริกขี้หนูใหญ่ โดยมีแหล่งเพราะปลูกที่สำคัญอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย [2] ตัวอย่างเช่นเกษตรอำเภอขามสะแกแสง จังหวัดนครราชสีมา มีการปลูกพืชเป็นอาชีพหลักรองจากข้าวคิดเป็นร้อยละ 40 ของพื้นที่ทั้งหมด ผลผลิตพริกที่ได้ในปี 2554 ได้ผลผลิต 1,636 ตัน ในแต่ละปีจะได้ผลผลิตเป็นจำนวนมาก รูปแบบการจำหน่ายพริกของเกษตรมีหลายรูปแบบเช่นพริกสด (ดิบและสุก) พริกแห้ง พริกป่น เนื่องจากในช่วงเก็บเกี่ยวพริกนั้นพริกสุกมีปริมาณมากจนล้นตลาด ไม่สามารถจำหน่ายได้ทันเวลาทำให้พริกเน่าเสีย เกษตรกรจึงเปลี่ยนรูปแบบการจำหน่ายโดยทำให้เป็นพริกแห้ง ซึ่งใช้วิธีการตากแดด แต่การตากแดดมีข้อจำกัดมากมายและเกิดปัญหาต่างๆตามมา เกษตรกรบางกลุ่มจึงหันมาใช้การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแทนการตากแดด จะทำให้พริกแห้งเร็ว และเก็บผลผลิตไว้จำหน่าย

ในระยะเวลานานได้ นอกจากนี้แล้วเกษตรกรได้เปลี่ยนจากการเก็บรักษาไว้จำหน่ายในรูปพริกแห้งมาเป็นการแปรรูปผลผลิตจากพริกโดยทำเป็นพริกป่น พริกแกง อาหารสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมจากพริกอีกมากมาย [3] การแปรรูปพริกโดยเฉพาะพริกป่นนั้นจะต้องนำพริกแห้งไปอบหรือคั่วให้กรอบตามความต้องการก่อนที่จะนำเข้าเครื่องบดละเอียด ถึงจะได้พริกป่นออกมา และในปัจจุบันเกษตรอำเภอขามสะแกแสง จังหวัดนครราชสีมา ได้มีการจำหน่ายพริกรูปพริกแห้ง และเพิ่มวิธีแปรรูปผลผลิตจากพริกจำนวนมากมาย จนเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารที่มีวัตถุดิบคือพริก ทำให้พริกแปรรูปนี้มีชื่อเสียงมากขึ้น ส่งจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ ทำรายได้ให้กับจังหวัดปีละมากมาย แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นจากกลุ่มเกษตรกรคือ การตากแดดซึ่งใช้เวลานาน และสูญเสียลักษณะบางอย่างของพริกไปทำให้พริกคุณภาพไม่มี และการคั่วพริกใช้วิธีเดิมคือใช้กะทะ ซึ่งเกิดปัญหาในเรื่องกลิ่นอุน แสบร้อน ได้ปริมาณน้อยจากการคั่วแต่ละครั้ง ใช้พริกแห้งครั้งละ 1-2 เท่านั้น ใช้เวลา 1.30 ชั่วโมง ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่เพียงพอกับความต้องการในแต่ละครั้ง เนื่องจากต้องการพริกคั่วจำนวนมาก จึงต้องทำให้เสียเวลาและสิ้นเปลืองพลังงานมาก ในแต่ละครั้งทำพริกแปรรูป

จากปัญหาข้างต้นนั้น ทำให้คิดเกิดแนวทางแก้ไขด้วยวิธีการสร้างเครื่องอบแห้งและคั่วพริกโดยใช้ถังความร้อนแบบถังหมุน เป็นถังอบแห้งลักษณะทรงกระบอกควบคุมการทำงานโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ปรับค่าเวลาอบและอุณหภูมิของถังอบได้ และใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยไม่ต้องนำพริกไปตากแดดในการนำแห้ง และไม่ต้องใช้แรงงานในการคั่ว ได้ปริมาณพริกมากพอ ไม่แสบร้อน ไม่ได้รับกลิ่นอุน ประหยัดเวลา ไม่ยุ่งยากจากการใช้ สะดวกสบายในการทำงาน ปลอดภัยทางด้านร่างกาย และด้านการบริโภค

2.วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพริกแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลี่ยมเหลว (LPG)
2. ศึกษาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกและคั่วพริกด้วยเครื่องอบแห้งพริกแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลี่ยมเหลว (LPG)
3. วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพริกแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลี่ยมเหลว (LPG)
4. วิเคราะห์หลักการทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งพริกแบบถังหมุนจากการใช้พลังงานแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG)

3.ทฤษฎี กรอบแนวคิดการวิจัยและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 หลักการอบแห้งเมล็ดพืช [4]

โดยทั่วไปเรามักใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ทั้งนี้เพราะสามารถอบแห้งได้เร็วและได้ความชื้นของเมล็ดพืชต่ำตามที่ต้องการ อุณหภูมิของอากาศจะสูงเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการนำเมล็ดพืชไปใช้งาน วิธีและเทคนิคที่ใช้ในการอบแห้งโดยมากเรามักจะเลือกเอาอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้ได้โดยคุณภาพของเมล็ดพืชไม่เสียหาย เพราะจะทำให้อบแห้งได้เร็ว มีผลให้เครื่องอบแห้งที่ต้องใช้มีขนาดเล็กลง ทำให้การลงทุนต่ำ ในการอบแห้งบางวิธีเราอาจใช้อากาศแวดล้อมในการอบแห้ง เช่น วิธีการอบแห้งในถังเก็บ คือ อบแห้งเมล็ดพืชภายในถังถังที่ใช้เก็บรักษา การใช้อากาศอบแห้งที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เมล็ดพืชทางด้านล่างของถังซึ่งสัมผัสกับลมร้อนก่อน

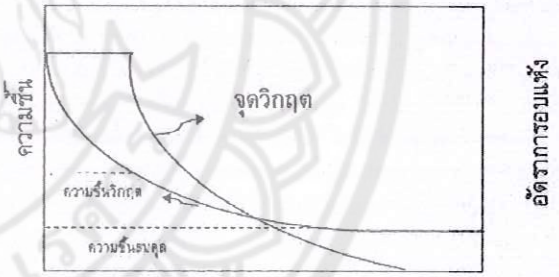
แห้งเกินกว่าที่ต้องการส่วนเมล็ดพืชทางด้านบนบนของถังซึ่งสัมผัสกับลมร้อนที่หลังจะยังชื้นอยู่

ในขณะที่อากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นเมล็ดพืช จะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลชื้นพร้อมๆกัน ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังเมล็ดพืชและทำให้น้ำที่บริเวณผิวเมล็ดระเหยเข้าไปอยู่ในอากาศ เป็นผลให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง และความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูงขึ้น ส่วนเมล็ดพืชจะมีความชื้นลดต่ำลง และหากความชื้นลดลงมากพอแล้วอุณหภูมิของเมล็ดพืชก็จะเริ่มสูงขึ้นด้วย จนในที่สุดเมล็ดพืชจะมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง ความชื้นลดลงจนถึงระดับความชื้นสมดุล เมื่อเมล็ดพืชแห้งดีแล้วจะให้เมล็ดพืชสัมผัสกับอากาศแวดล้อมเพื่อให้อุณหภูมิของเมล็ดพืชลดต่ำลง หากเก็บเมล็ดพืชทั้งที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่อาจเกิดปัญหาการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งมีผลให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศทำให้เมล็ดพืชในบริเวณที่มีการควบแน่นมีความชื้นสูงขึ้นโดยมากมักจะเป็นที่ชั้นบนๆและจะเป็นจุดเริ่มต้นของการแพร่เชื้อราและแมลงต่อไป

3.1.1 การอบแห้งเมล็ดพืช

การอบแห้งเมล็ดพืชเป็นลักษณะการเคลื่อนย้ายของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการทำแห้ง (การสูญเสียน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร) การอบแห้งเมล็ดพืชจะแบ่งอัตราการอบแห้งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วยอัตราการอบแห้งคงที่และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง 1)ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ถ้าผลิตภัณฑ์มีเนื้อโปร่ง การเคลื่อนที่เป็นแบบการไหลผ่านช่องแคบ (Capillary flow) น้ำเคลื่อนที่มาที่ผิวผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการระเหยกลายเป็นไอ จึงทำให้ผิวผลิตภัณฑ์เปียกชุ่มด้วยน้ำ การระเหยของน้ำเกิดขึ้นอย่างอิสระด้วยอัตราเร็วคงที่ จึงเรียกการอบแห้งช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ 2)ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เกิดจากเมื่อการไหลผ่านช่องแคบหมดไป น้ำต้องเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ที่ช้าลงมากจนมาที่ผิวไม่เพียงพอผิวผลิตภัณฑ์จึงแห้ง การระเหยจะเกิดขึ้นได้ช้าลง อัตราการทำแห้งจึงลดลง เรียกการอบแห้งช่วงนี้ว่าช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นของอากาศในตู้อบสมดุลกับความชื้นของผลิตภัณฑ์

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ [5] เนื่องจากอัตราการอบแห้งอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ดังนั้นอัตราการถ่ายเทมวลจึงถูกควบคุมโดยกระบวนการถ่ายเทมวลจากภายในวัสดุไปยังผิววัสดุ เป็นที่เข้าใจกันว่า การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลวจะเกิดขึ้นในระยะแรกๆ ขณะที่วัสดุยังมีความชื้นสูง แต่เมื่อความชื้นลดลงมากๆ น้ำอาจเคลื่อนที่ในรูปของไอน้ำ จากเหตุผลดังกล่าวแสดงว่าความเร็วลมไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง



ภาพ 1 การอบแห้งวัสดุจากสิ่งมีชีวิตในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงและคงที่ข้อมูลจากสมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2537) [5]

3.1.2 อัตราการอบแห้งคงที่ [5]

ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างวัสดุและอากาศจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณรอบๆผิววัสดุเท่านั้น ตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งคือ อุณหภูมิ ความสัมพัทธ์ และความเร็วลม อัตราการอบแห้งสามารถหาได้ ดังนี้

$$m_w = h'_D \rho_a A\left(W_{w\infty} - W_\infty\right) \quad (1)$$

$$m_w = h' A\left(W_\infty - T_{w\infty}\right) / h_{fg} \quad (2)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ , m^2

h' คือ สัมประสิทธิการพาความร้อน , $kJ/m^2.h.^oC$

h'_D คือ สัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อน , $kJ/m^2.h(kg/m^3)$

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ , kJ/kg

m คือ อัตราการไหลเชิงมวล , kg/h

W คือ อัตราส่วนความชื้น , kg water/kg dry air

ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ , kg/m^3

สัญลักษณ์กำกับล่าง

wb คือ กระเปาะเปียก และ ∞ คือ น้ำ

สำหรับระบบไอน้ำและอากาศมีความสัมพันธ์ระหว่าง h' , h'_D ดังนี้

$$h' / h'_D = \rho_a G_a$$

เมื่อ Ga คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศต่อหน่วยพื้นที่ , kg/m^2.h

โดยค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพการสัมผัสระหว่างวัสดุและลมร้อน หาได้ในกรณีต่อไปนี้

1) กรณีลมร้อนไหลขนานกับแผ่นวัสดุ

$$h' = CG_a^{0.8} \quad (3)$$

เมื่อ C คือ ค่าคงที่ระหว่าง 0.0748 – 0.101

2) กรณีลมร้อนไหลตั้งฉากกับแผ่นวัสดุ

$$h' = 4.206G_a^{0.37} \quad (4)$$

3) กรณีลมร้อนไหลผ่านวัสดุกลมเดี่ยว

$$Nu = 2+0.65aRe^{1/2}Pr^{1/3} \quad (5)$$

โดยที่ $Nu = h' D_p/K_a$

$Re = D_p V_a \rho_a/m_a$

$Pr = C_a \mu_a/K_a = 0.7$

เมื่อ Nu คือ ตัวเลขนัสเซลล์

Re คือ ตัวเลขเรย์โนลด์

Pr คือ ตัวเลขแพรนด์เทิล

D_p คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง, m

K_a คือ สภาพนำความร้อนของลมร้อน, kJ/m.h°C

μ_a คือ ความหนืดของลมร้อน,kg/m.h

C_a คือ ความร้อนจำเพาะของลมร้อน,kJ/kg.°C

3.1.3 อัตราการอบแห้งลดลง [4]

ช่วงอัตราการอบแหงลดลง ความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต การถ่ายเทความร้อนและมวลไม่เพียงเกิดขึ้นที่ผิวของวัสดุเท่านั้น แต่เกิดภายในเนื้อวัสดุด้วย การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมายังผิวช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เป็นผลมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น สามารถเขียนเป็นสมการของอัตราการถ่ายเทมวลรวมได้ ดังนี้

$$m_w = -AD(\partial C / \partial X) \quad (6)$$

เมื่อ m_w คือ อัตราการถ่ายเทมวล, kg/h

A คือ พื้นที่การถ่ายเทมวล, m^2

C คือ ความเข้มข้นของความชื้น,kg/m^3

X คือ ระยะ,m

D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น,m^2/h

จากกฎทรงมวลพบว่า อัตราการเคลื่อนที่ของมวลเข้าปริมาตรบังคับเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของมวลภายในปริมาตรบังคับรวมกับอัตราการเคลื่อนที่ของมวลออกจากปริมาตรบังคับ โดยพบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าลงที่ในช่วงความชื้นของวัสดุที่ไม่กว้างมากจะได้

$$\partial m / \partial t = D\left(\partial^2 m / \partial x^2 + \partial^2 m / \partial^2 m / \partial y^2 + \partial^2 m / \partial z^2\right) \quad (7)$$

เมื่อกำหนดภาวะเริ่มต้นและภาวะของเขตสำหรับวัสดุรูปทรงสี่เหลี่ยมซึ่งมี ความกว้าง ความยาว และความหนา ดังนี้

$$M(x,y,z0) = M_{in}$$

$$M(0,y,z,t) = M(x,0,z,t) = M(x,y,0,t) = M_{eq}$$

$$M(1x,y,z,t) = M(x,1y,z,t) = M(x,y,1z,t) = M_{eq}$$

กำหนดให้ $MR = (M - M_{eq}) / (M_{in} - M_{eq})$ (8)

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น

M คือ ความชื้นเฉลี่ย,เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ,เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุลของวัสดุ,เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

จะได้

$$\partial MR / \partial t = D\left(\partial^2 MR / \partial x^2 + \partial^2 MR / \partial^2 MR / \partial y^2 + \partial^2 MR / \partial z^2\right) \quad (9)$$

โดยที่เขียนสมการ 7 ในระบบหนึ่งมิติได้ว่า

$$\partial m / \partial t = D\left(\partial^2 m / \partial t^2 + (C / r)\partial m / \partial t\right)$$

เมื่อ C = 0 สำหรับการแพร่ความชื้นในวัสดุแผ่นบางซึ่งกว้างและยาวมาก

C = 1 สำหรับการแพร่ความชื้นในแนวรัศมีของวัสดุทรงกระบอกยาวมาก

C = 2 สำหรับการแพร่ความชื้นในแนวรัศมีของวัสดุทรงกลม

r = ระยะในแนวรัศมี

มีภาวะเริ่มต้นและภาวะขอบเขตดังนี้

$$M(r,0) = M_{in}$$

$$M(r_0,0) = M_{eq}$$

สำหรับวัสดุทรงกระบอก จากกฎการแพร่ของ Fick จะได้สมการคือ

$$MR = \sum_{n=1}^{\infty}\left(4 / \lambda_n^2\right)\exp\left(-\lambda_n^2 D / r^2\right) \quad (10)$$

เมื่อทำการกระจายอนุกรมในสมการ 10 โดยที่กำหนดให้ระยะเวลาในการอบแห้งนานทำให้พจน์ 2,3,4.....สามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้นสมการที่ 10 จะเหลือเพียงพจน์แรกเท่านั้น [6] คือ

$$MR = \left(4 / \lambda_n^2\right)\exp\left(-\lambda_n^2 D / r^2\right) \quad (11)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น

λ_n คือ รากของเบสเซลฟังก์ชั่นอันดับที่ศูนย์มีค่าเท่ากับ 2.405

r คือ รัศมีของวัสดุ

D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น

สำหรับวัสดุรูปทรงสี่เหลี่ยมหาคำตอบของสมการ 9 โดยวิธีแยกตัวประกอบสำหรับระบบแกนโหลาร์สามมิติได้ดังนี้ โดยสมมติว่า

$$MR(x,y,z,t) = MR_x(x,t).MR_y(y,t).MR_z(z,t) \quad (12)$$

แทนค่า $MR(x,y,z,t)$ จากสมการ 12 ลงในสมการ 9 จะได้ว่า

$$MR(t) = \left(8 = \pi^2\right)^3 \sum_{i=3}^{\infty}\sum_{j=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{\infty}\left(1 / (2i+1)^2 .1 / (2j+1)^2 .1 / (2k+1)^2\right)$$

$$\exp\left(-\left((2i+1)^2 / 1_x^2 + (2i+1)^2 / 1_y^2 + (2i+1)^2 / 1_z^2\right)\pi^2 Dt\right) \quad (13)$$

สำหรับวัสดุทรงกลม

$$MR = \left(6 / \pi^2\right)\sum_{p=1}^{\infty}\left(1 / p^2\right)\exp\left(-p^2\pi^2 x^2 / 9\right) \quad (14)$$

เมื่อ x คือ $(A / V)\,Dt^{1/2}$

A คือ พื้นที่ผิว, m^2

V คือ ปริมาตร, m^3

3.1.4 ความชื้นสมดุล [7]

ในกระบวนการอบแห้งวัสดุด้วยอากาศร้อนที่มีสภาวะคงที่ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ จะพบว่าความชื้นของวัสดุลดต่ำลงจนถึงจุดๆหนึ่งซึ่งไม่เปลี่ยนแปลงขณะนั้นความชื้นในวัสดุจะมีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่

โดยรอบ และอุณหภูมิของวัสดุก็เท่ากับอุณหภูมิของอากาศโดยรอบด้วย จึงเรียกความชื้นค่านี้ว่า ความชื้นสมดุล โดยความชื้นสมดุลนี้จะขึ้นกับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

สำหรับงานวิจัยของ S.Phoungchandang และ J.L.Woods ทำการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลของกล้วยสุกโดยใช้รูปแบบสมการ Modified-Oswin Equation [6] ได้ผลการทดลองตามสมการ

$$M_{eq} = \left(16.68 - \left(0.1212T_p\right)\right) / \left[\frac{1}{RH_b} - 1\right]^{1.0465} \quad (15)$$

โดยที่ $RH_b = \frac{1}{x}\frac{W}{(0.6220+W)}$

$$x = P_{ws} / P_a$$

เมื่อ M_{eq} คือ ความชื้นสมดุลของวัสดุ

RH_b คือ ความชื้นสัมพัทธ์ที่พื้นผิวของวัสดุ

T_p คือ อุณหภูมิที่พื้นผิวของวัสดุ

x คือ อัตราส่วนความดัน

P_{ws} คือ ความดันไออิ่มตัวของน้ำ,kPa

P_a คือ ความดันบรรยากาศ,kPa

3.2 ลักษณะเด่นของเครื่องอบแห้งแบบหมุน

1) สามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ปริมาณมากอย่างต่อเนื่องได้ เครื่องอบแห้งแบบหมุนเหมาะสำหรับงานอบแห้งอย่างต่อเนื่องในปริมาณมากๆ มีหลายเครื่องที่ระเหยความชื้นมากกว่า 10 ตัน/ชั่วโมง

2) สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะของผลิตภัณฑ์อบแห้งได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งประเภทอื่นๆ และสามารถปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ป้อนเข้าได้ในช่วงกว้างกว่า

3) สามารถใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิสูงได้ โครงสร้างของเครื่องอบแห้งแบบหมุนสามารถทนอุณหภูมิสูงๆได้ ผลิตภัณฑ์อบแห้งหลายๆชนิดสามารถอบแห้งด้วยอุณหภูมิหลายร้อยองศาเซลเซียสได้ ถ้าใช้การไหลแบบตามกัน ในกรณีเช่นนั้นจะกินกำลังไฟน้อยกว่าเครื่องอบแห้งประเภทอื่น อีกทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงเกิน 70% ถ้านำอากาศส่วนใหญ่ที่ใช้แล้วกลับมาใช้งานอีก เครื่องอบแห้งแบบหมุนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์พวกปูนซีเมนต์อย่างต่อเนื่องในปริมาณมากและที่อุณหภูมิสูงๆ

3.3 การดูแลรักษาเครื่องอบแห้งแบบหมุน

การบำรุงรักษาเครื่องอบแห้งที่สำคัญ คือ ต้องดูแลให้เกิดการหล่อลื่นอย่างดีของชิ้นส่วนที่หมุน โดยการขโลมน้ำมันหล่อลื่น การใส่จารบีลูกปืน (Bearing)นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องคอยตรวจด้วยสายตาเพื่อไม่ให้เกิดการสึกกร่อน การสั่นสะเทือน เสียงผิดปกติ พลังงานสูงๆ ต่ำๆเป็นต้นหากพบสิ่งผิดปกติใดๆ จะต้องดำเนินมาตรการแก้ไขโดยเร็ว

3.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง

หาสมรรถนะและศักยภาพของเครื่องอบแห้งและตู้พริกแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว(LPG) โดยพิจารณาจาก เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงาน และคุณภาพของพริกที่ได้ ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดรูปแบบการทดลองด้วยการควบคุมอุณหภูมิ อัตราการหมุนของถังอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง ในการหาวมรรถนะของเครื่องอบแห้งและตู้พริกสดแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) ได้

จากสมการ $$\eta = \frac{output}{input} \times 100 \quad (16)$$

เมื่อ η = ประสิทธิภาพของระบบอบแห้ง, %

$output$ = พลังงานที่ใช้ในการระเหยของน้ำจากวัสดุ, MJ

$input$ = พลังงานทั้งหมดที่ใช้กับเครื่องอบแห้ง, MJ

3.5 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐ์ศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis) **เป็นวิธีการกำหนด**ผลตอบแทนรวม หรือผลิตภาพ หรือความสามารถในการทำกำไรต่อ**สังคมโดยส่วนรวม**หรือระบบเศรษฐกิจที่ทรัพยากรทั้งหมดได้หุ่มเทให้กับโครงการโดย**ไม่คำนึงว่าใครใน**สังคมจะเป็นผู้รับผลประโยชน์ เหล่านั้นหรือกล่าวได้ว่าการวิเคราะห์**ด้านเศรษฐศาสตร์**มีทรรศนะเพื่อสังคมเป็นส่วนรวม (The Society as a Whole) [8] **การวิเคราะห์**ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบพริกและตู้พริกสดแบบถังหมุน**โดยใช้ความร้อน**จากแก๊ส LPG [9]

สมการในการคำนวณหาต้นทุนการอบแห้งผลิตภัณฑ์

การคำนวณหามูลค่าเงินปัจจุบัน (Present worth) จากมูลค่า**เงินในอนาคต**(Future worth) สมารถหาได้จากสมการ

$$PW = CL + \sum_{j=1}^{n}\left[\frac{F_n}{(1+i)^n}\right] \quad (17)$$

เมื่อ PW = มูลค่าเงินในปัจจุบัน (บาท)

CL = เงินลงทุน ณ ปีที่ 0 (บาท)

F_n = มูลค่าเงินในอนาคต (บาท)

i = อัตราดอกเบี้ยรายปี (%)

j = ปีที่ 1

n = จำนวนปี

การคำนวณค่าใช้จ่ายที่เท่ากัน (LeveliZed annual cost , LAC) ตลอดอายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง ซึ่งเป็นการคำนวณหาต้นทุน**ของการอบแห้ง**สามารถหาได้จากสมการ

$$LAC = PW \times CRF \quad (18)$$

เมื่อ LAC = ต้นทุนในการอบแห้งพริกรายปี

CRF = ผลตอบแทนเงินลงทุน (Capital Recovery Factor)

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

กรณีหาต้นทุนการอบแห้งต่อกิโลกรัมน้ำระเหย ($LACW$)

จาก $LACW = LAC / WEP \quad (19)$

WEP = ปริมาณน้ำระเหยออกจากพริก, kg/year

กรณีหาต้นทุนการอบแห้งต่อกิโลกรัมพริกแห้ง ($LACC$)

จาก $LACC = LAC / DC \quad (20)$

DC = ปริมาณพริกแห้ง,kg/year

พิพัฒน์ อมตฉายา [10] ศึกษาการอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งพริกแบบหมุน โดยใช้ความร้อนจาก Heater ขนาด 12000 W โครงสร้างของเครื่องอบแห้งแบบหมุนประกอบด้วย ชุดป้อนพริก โดยมีมอเตอร์ตัวป้อนขนาด 1/4 hp ชุดทดรอบอัตราทด 1: 60 ถังอบแห้งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง0.4 m ยาว 1.8 m มอเตอร์ขับเคลื่อนการหมุนของถังอบแห้งขนาด 1 hp ชุดทดรอบมีอัตราการทด 1:10 ปรับรอบโดยใช้หลักการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพู่เล่ย์ พัดลมเป่าอากาศที่ใช้ขนาด 400 W เพื่อพาความร้อนจาก Heater เข้าสู่ถังอบแห้ง เพื่อทำการอบแห้งพริกที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 9 kg ที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 78-84 wb จนมีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 15 wb และน้ำหนักสุดท้ายของพริกประมาณ 2.3 kg

ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์ [11] ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพริกแบบชั้นบางโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง ศึกษาคุณลักษณะของการอบแห้งพริก และการพัฒนาแบบจำลองการอบแห้งพริกแบบชั้นบาง วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาคือพริกพันธุ์จินดา ควบคุมอุณหภูมิการอบแห้ง 6 ระดับอุณหภูมิคือ 50 60 70 80 และ 100 องศาเซลเซียส ความเร็วของลมร้อน 3 ระดับ 4 5 และ 6 เมตรต่อวินาที เครื่องอบแห้งประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ ชุดกำเนิดลมร้อน ชุดชดลาดความร้อน และห้องอบแห้ง จากการศึกษาพบว่าเวลาในการอบแห้งลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งและความเร็วของลมร้อนมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ความเร็วของลมร้อนมีผลต่อการเคลื่อนที่ของพริกที่อยู่ภายในห้องอบ และการเคลื่อนที่ออกจากห้องอบแห้งแบบต่อเนื่องในการศึกษานี้ได้จุดที่เหมาะสมในการอบแห้งคือ อุณหภูมิการอบแห้ง 90 องศาเซลเซียส ความเร็วลมร้อน 5 เมตรต่อวินาที เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 3 ชั่วโมง ความชื้นต่ำกว่า 13% มาตรฐานเปียก โดยลักษณะทางกายภาพของพริกมีสีแดงสด ผิวมันวาว ไม่มีกลิ่นไหม้ มีความเหี่ยวย่นน้อย เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการลดลงของปริมาณสารแคปไซซิน แต่พบว่าเมื่อเปรียบเทียบสารแคปไซซินที่มากกว่า และยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิและความเร็วของลมร้อนเพิ่มขึ้นอัตราการใช้พลังงานในการอบแห้งนั้นมีค่าน้อยลงเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยลง ในการศึกษานี้ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นแบบจำลองเอ็มไพริกัลแบบชั้นบางโดยพัฒนามาจากแบบจำลองของ Henderson กับ Aghabaslo และคณะ โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เชิงเส้น ใช้ค่าทางสถิติเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของข้อมูลซึ่งประกอบไปด้วย ดัชนีแสดงค่าการตัดสินใจ (R^2) ดัชนีปรับแก้ค่าการตัดสินใจ ($Adj.R^2$) และค่ารวมของสัมประสิทธิ์ความผิดพลาด (SSE) ซึ่งจะได้ในรูปสมการ

$$MR = ae^{\left(\frac{-kt}{1+kt}\right)} \qquad (21)$$

โดยผลที่ได้จากสมการสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความชื้นของพริกที่ผ่านการอบแห้ง และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพลังงานของการอบแห้ง ในแต่ละเงื่อนไขการทดลองได้เป็นอย่างดี และในการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งนั้นคือตัวแปรที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการลดลงของความชื้นและเวลาในการอบแห้งพริก

4.วิธีดำเนินงาน

4.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1.1 เตรียมพริกพันธ์จินดาสำหรับทดลองทดสอบเครื่องอบแห้ง

เตรียมพริกพันธุ์จินดา โดยซื้อจากเกษตรกร อำเภอชามสะแกแสง และอำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา เลือกพริกที่มีสีแดงสดทั้งผล ไม่มีรอยแผล ไม่มีร่อยรอยสัตว์กัด หรือแทะ และพริกไม่เน่าเสีย นำมาบรรจุในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (polyethylene) เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2-3 วัน ก่อนการทดลอง จากนั้นล้างด้วยน้ำประปาที่อุณหภูมิห้องให้สะอาดสองครั้ง แล้วผึ่งให้สะเด็ดน้ำ 15 นาที แล้วนำไปลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนพริกพันธุ์จินดาแดงสด 500 กรัม ต่อน้ำ 2 ลิตร เป็นเวลา 3 นาที สำหรับการเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 กิโลกรัม เพิ่มเวลาอีก 1-2 นาที นำขึ้นมาจากน้ำร้อนทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำเข้าเครื่องอบแห้งให้ชั่งน้ำหนักก่อน และชั่งหลังการอบแห้งทำเช่นนี้ตลอดการทดลองเพื่อหาอัตราการอบแห้ง

ภาพ 2 พริกหลังการคัดแยก

ภาพ 3 พริกลวดในน้ำเดือด

4.1.2 สำหรับกลุ่มตัวอย่าง

กำหนดขนาดของพริกที่จะใช้ทดลองเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างโดยการคัดเลือกพันธุ์พริกพันธุ์จินดาที่มีขนาดใกล้เคียงกันมากที่สุดสีแดงสด ไม่มีแผล ไม่มีรอยสัตว์กัด หรือแทะ และไม่เน่าเสีย มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตรงส่วนหัวได้ค่าเฉลี่ย 0.007145 เมตร วัดความยาวของพริกได้ค่าเฉลี่ย 0.05409 เมตร โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และน้ำหนักพริก จากเครื่องชั่งไฟฟ้าแบบดิจิตอลได้ค่าเฉลี่ย 0.0015929 กิโลกรัม จากนั้นเด็ดขั้วพริกออกล้างน้ำประปาที่อุณหภูมิห้องให้สะอาดสองครั้ง ผึ่งให้สะเด็ดน้ำทิ้งไว้ 15 นาที แล้วนำไปลวกที่น้ำร้อนอุณหภูมิ 100 ศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนพริกพันธุ์จินดา 500 กรัมต่อน้ำ 2 ลิตร เป็นเวลา 3 นาที ผึ่งไว้ให้สะเด็ดน้ำ 15 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักพริกแล้วเก็บใส่ถุงตัวอย่าง ก่อนนำเข้าเครื่องอบแห้งเพื่อหาอัตราการอบแห้ง การวัดขนาดของพริกค่าที่ได้จากการวัดจะนำไปสู่การหาค่า เส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาวพริก และน้ำหนักพริก สูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างแล้วบันทึกผลลงในตาราง

ภาพ 4 พริกหลังการคัดแยก

ภาพ 5 พริกลวกกลุ่มตัวอย่าง

4.1.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง และเก็บข้อมูล

1) หาปริมาณพริกที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการอบแห้งอย่างมีประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง โดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ภาคตัดขวางที่ถูกลอบครองโดยผลิตภัณฑ์กับพื้นที่ภาคตัดขวางของตัวถังอบแห้ง ($\pi D_t^2 / 4$) ค่าที่เหมาะสมที่สุด มีค่า 5-15 % ขั้นตอนจากการทดลองนี้จะใช้ค่าที่ 10 % ซึ่งเป็นค่ากลาง และปริมาณพริกที่ใช้ 13 กิโลกรัม

2) เตรียมความพร้อมของเครื่องอบแห้งแบบหมุน โดยการตั้งอุณหภูมิ และปรับความเร็วรอบการหมุนของถังอบแห้งให้ได้ตามความต้องการ รวมถึงการเตรียมความพร้อมของเครื่องมือวัด

3) ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความชื้นของพริกพันธุ์

1. เตรียมกระป๋องอะลูมิเนียมเท่ากับกลุ่มตัวอย่างมาทำความสะอาดให้ปราสจากความชื้นและฝุ่นละออง

2. นำกระป๋องอะลูมิเนียมที่เตรียมไว้ไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบ 2 ชั่วโมง

3. นำกระป๋องอะลูมิเนียมที่อบเสร็จไปดูดความชื้นจากโถดูดความชื้น ใช้เวลาอบ 2 ชั่วโมง

4. ชั่งน้ำหนักกระป๋องอะลูมิเนียมที่ดูดความชื้นเสร็จจากข้อที่ 3 ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง บันทึกผล

5. เก็บพริกจากกลุ่มตัวอย่าง จากเครื่องคั่วพริกที่สร้างขึ้นมาหั่นให้ละเอียดนำลงไปใส่ในกระป๋องอะลูมิเนียมที่เตรียมไว้จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่งบันทึกผล

6. นำพริกจากข้อที่ 5 ไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำออกมาดูดความชื้นจากโถดูดความชื้น 2 ชั่วโมง

7. นำกระป๋องอะลูมิเนียม จากข้อ 6 จากโถดูดความชื้นมาชั่งน้ำหนักครั้งสุดท้ายบันทึกผล

8. นำผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลไปใช้คำนวณหาเปอร์เซนต์ความชื้นมาตรฐานเปียก และมาตรฐานแห้ง

9. จากข้อ 1-8 ทำทั้งหมด 2 ซ้ำ

4) ทดสอบการอบแห้งพริกจากเครื่องอบแห้ง พริกจินดาที่ใช้ทดสอบนำมาจากหัวข้อ 4.1.1 ปริมาณพริกจินดาที่ใช้ทดลอง 13 กิโลกรัม ต่อการอบ 1 ครั้ง ทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ความเร็วรอบ 3 ระดับ คือ 3 5 และ 7 rpm ที่อุณหภูมิคงที่เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของพริกแห้ง เช่นการแตก การหัก สีพริก เนื่องจากแรงเหวี่ยงจากการหมุนของถังอบแห้ง เมื่อได้ ความเร็วรอบที่เหมาะสมแล้วต่อไปหาอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 6 ระดับ คือ 60 70 80 90 100 และ 110

องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบคงที่ เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้ง ทั้งหมดพิจารณาที่ความชื้นเริ่มต้น 77. 63 % wb และให้มีความชื้นสุดท้าย 13 % wb สำหรับพริกแห้ง และ 6 % wb สำหรับพริกแห้งกรอบพร้อมป่น การทดสอบดังกล่าวมีจุดประสงค์เพื่อต้องการหาสภาวะการทดลองที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกจินดาโดยพิจารณาคุณภาพของพริกที่สภาวะการทดลองต่างๆ และการสิ้นเปลืองพลังงาน บันทึกผลทุกๆชั่วโมง

5) หาสมรรถนะและศักยภาพของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว(LPG) โดยพิจารณาจาก เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงาน และคุณภาพของพริกที่ได้ ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดรูปแบบการทดลองด้วยการควบคุมอุณหภูมิ อัตราการหมุนของถังอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง ในการหาวมรรถนะของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG)

6) วิเคราะห์หลักการทางเศรษฐศาสตร์ การวิเคราะห์หาต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้ง โดยทำการวิเคราะห์ต้นทุนของเครื่องอบแห้งทั้งระบบ ในลักษณะ Levelized Annual Cost (LAC) ได้แก่ เงินลงทุนสำหรับเครื่องอบแห้งและอุปกรณ์ทั้งระบบ ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา และเปลี่ยนชิ้นส่วนอุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง ราคาพริกสด ค่าจ้างแรงงานคน เป็นต้น ซึ่งสามารถจำแนกต้นทุนของการอบแห้งผลิตภัณฑ์ออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1 เงินลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดทั้งระบบ (Capital investment)

2 ค่าใช้จ่ายด้านการดูแลรักษา และเปลี่ยนชิ้นส่วนของอุปกรณ์ (Operating and Maintanace)

3 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง (LPG)

4 ราคาพริกสด

5.ผลการศึกษา/การทดลอง

5.1 รายละเอียดและหลักการของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกแบบถังหมุน

ภาพ 6 หลักการทำงานของเครื่อง

การทำงานของเครื่องแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 ระบบควบคุมส่วนประกอบมีดังนี้ 1)เครื่องควบคุมอุณหภูมิเครื่องนี้จะต่อหัววัดของเทอร์โมคัปเปิลเข้าไปภายในแกนจนถึงส่วนกลางถังอบสำหรับวัดอุณหภูมิภายในถัง 2)เครื่องควบคุมความเร็วรอบของถังอบจะต่อเข้ากับมอเตอร์เพื่อทดสอบรอบมอเตอร์ให้ได้ตามต้องการ 3)เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าใช้ควบคุมปริมาณไฟฟ้าที่เข้าไปยังมอเตอร์ให้มีค่าคงที่ 4)สวิทช์ไฟฟ้า เปิด-ปิด ระบบลวบคุม

ส่วนที่ 2 ระบบส่งแก๊ส ประกอบด้วย 1)ถังแก๊ส LPG ที่ติดตั้งเครื่องวัดความดันในถังแก๊ส และเครื่องวัดแรงดันแก๊สในท่อส่งแก๊ส 2) สวิทช์เปิด-ปิดแก๊สไปยังท่อส่งแก๊สที่แยกออกเป็น สองทาง ทางที่หนึ่งต่อเข้าไปยังหัวล่อให้ถังแก๊ส ทางที่สองต่อไปยังท่อแก๊สหองเหลืองที่เจาะรูสำหรับเป็นทางออกของแก๊ส วางอยู่ใต้ถังคั่วพริก

ส่วนที่ 3 เครื่องอบแห้งพริกและคั่วพริกแบบถังหมุนที่ใช้แก๊ส LPG เป็นแหล่งพลังงาน ประกอบด้วยส่วนนอก คือฝาครอบตู้ทรงกระบอกฝาครึ่งหุ้มด้วยฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนพร้อมฝาปิด ด้านบนซ้ายตู้ครอบมีท่อลมระบายอากาศออกจากถังอบแห้ง ส่วนล่างเป็นตู้สี่เหลี่ยมป้องกันอันตรายจากเครื่องขณะใช้งาน ส่วนในประกอบด้วยถังอบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร ยาว 1.50 เมตร ด้านหัว-ท้ายเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.006 เมตร ข้างละ 32 รู ในการระบายอากาศร้อนออกจากถังอบแกนถังอบทรงกระบอกต่อเข้ากับพู่เลย์ พร้อมสายพาน 2 ชุด ชุดที่ 1 ชุดทดรอบของมอเตอร์ ขนาด ½ แรงม้า ประกอบด้วยพู่เลย์ขนาด 14 นิ้ว และ 2.5 นิ้ว สายพานร่อง B-60 ชุดที่ 2 ชุดต่อเข้ากับแกนถังทรงกระบอก ประกอบด้วยพู่เลย์ขนาด 14 นิ้ว และ 4 นิ้ว สายพานร่อง B-102 ใช้ควบคุมความเร็วรอบของถังอบแห้ง แกนของพู่เลย์ 14 นิ้ว จะสอดที่วัดอุณหภูมิเทอร์โมคอปเปิลเข้าไปในถังอบแห้งใช้วัดอุณหภูมิในถังอบ

5.2 การวิเคราะห์ความเร็วรอบของการหมุนของเครื่อง

การวิเคราะห์หาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับเครื่องอบและคั่วพริก โดยการทดสอบที่ความเร็วรอบของการหมุนถัง 3 ระดับ คือ 3 rpm , 5 rpm และ 7 rpm น้ำหนักพริกที่ทดลอง 13 กิโลกรัม อุณหภูมิที่ใช้ทดลอง 105 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 14 ชั่วโมง ความชื้นพริกเริ่มต้น 77.63%wb ความชื้นพริกหลังอบประมาณ 13 %wb เพื่อดูคุณภาพพริกที่เหมาะสม

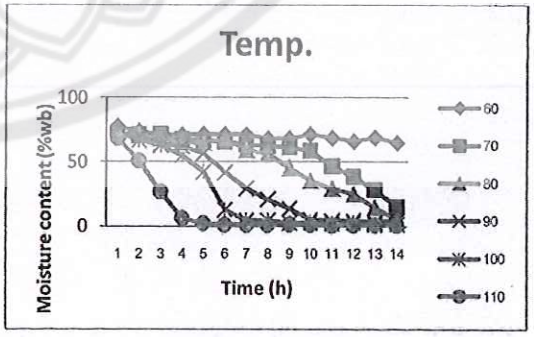
ตาราง 1 วิเคราะห์ความเร็วรอบของการหมุนถังที่เหมาะสมของของเครื่อง

การทดลอง	ความเร็วรอบ (rpm)	อัตราการชื้น(%wb)		ระยะเวลา (h)	สี	เปอร์เซนต์แตกหัก
		เริ่มต้น	สุดท้าย			
1	3	77.63	12.75	6		73%
2	5	77.63	12.56	6		52%
3	7	77.63	11.07	6		90.60%

จากการทดสอบที่ความเร็วรอบทั้ง 3 ระดับ พบว่าน้ำหนักพริกแห้งสุดท้ายที่ได้ประมาณ 3.35 กิโลกรัม ระยะเวลาอบที่ได้ความชื้นที่เหมาะสมประมาณ 13%wb อยู่ในชั่วโมงที่ 6 จากการอบ 14 ชั่วโมง สีพริกที่เหมาะสมที่สุดคือสีน้ำตาลแดง เปอร์เซนการแตกหักน้อยที่สุดคือ 52% การแตกหักที่เกิดขึ้นเกิดจากแรงเหวี่ยงในถังหมุน และการตกกับของเมล็ดพริก ซึ่งการวิเคราะห์จะบอกถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้งานของเครื่อง จากการวิเคราะห์ทั้งหมดนี้ที่ความเร็วรอบ 5 rpm เป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องนี้สำหรับการนำไปใช้งาน นั้นคือมีสีที่เหมาะสม เปอร์เซนต์การแตกหักน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาการอบจากพริกสดจนได้พริกแห้ง จะเห็นว่าเปอร์เซนต์การแตกหักค่อนข้างสูงจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงเงื่อนไขบางอย่างเพื่อลดการแตกหัก แต่สำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมแปรรูปพริกจะเหมาะสมที่สุด

5.3 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริก

การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งและคั่วพริกด้วยเครื่องอบแห้งและคั่วพริกแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊ส LPG ที่สร้างขึ้น ข้อมูลในตารางเป็นการเปรียบเทียบอัตราความชื้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 14 ชั่วโมง ทดลองที่ความเร็วรอบ 5 rpm ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์เครื่องอบแห้ง



ภาพ 7 เปรียบเทียบความชื้นเฉลี่ยระหว่างการอบแห้งและคั่วพริกที่อุณหภูมิต่างๆ

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนความชื้น กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริกที่ 60 70 80 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริก 14 ชั่วโมง ความเร็วรอบที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ตัวเครื่อง 5 rpm การทดลองนี้ใช้ในการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวเครื่อง จากการทดลองใช้ปริมาณพริกสด 13 กิโลกรัม อัตราความชื้นเริ่มต้น 77.63 % wb เมื่ออบที่อุณหภูมิ 60°C ความชื้นในแต่ละชั่วโมงเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อย จนถึงชั่วโมงที่ 14 ความชื้นลดลงเหลือ 68.82%wb ใช้แก๊ส LPG ไปทั้งหมด 2.9 กิโลกรัม แสดงว่าความชื้นสุดท้ายของพริกสูงมาก ถ้าต้องการให้ความชื้นลดลงจนได้มาตรฐานพริกแห้งนั้นจะต้องเพิ่มเวลาในการอบขึ้นอีก เมื่ออบที่อุณหภูมิ 70 °C ความชื้นในชั่วโมงที่ 1 -10 ลดลงเล็กน้อย และลดลงมากในชั่วโมงที่ 11 -14 ได้ความชื้นสุดท้าย 14.77%wb และความชื้นนี้ใกล้เคียงกับมาตรฐานพริกแห้ง ใช้แก๊ส LPG ไปทั้งหมด 3.8 กิโลกรัม แต่คุณภาพของพริกไม่ตรงกับความต้องการ พริกแตกหักมาก สีไม่เหมาะสม อบที่อุณหภูมิ 80 °C ความชื้นของพริกในชั่วโมงที่ 1-6 ความชื้นลดลงเล็กน้อย และลดลงมากในชั่วโมงที่ 7-14 แต่ในชั่วโมงที่ 13 ความชื้นลดลงถึง 14.53 %wb ซึ่งใกล้กับความชื้นมาตรฐานพริกแห้ง เช่นกัน ในชั่วโมงที่ 13 นี้ใช้แก๊สไปทั้งหมด 5.2กิโลกรัม คุณภาพของพริกตรงกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย อบที่อุณหภูมิ 90 °C จากชั่วโมงที่ 1-10 ความชื้นลดลงมากและสม่ำเสมอ จนถึงความชื้นสมดุลในชั่วโมงที่ 11-14 ที่อุณหภูมินี้ในชั่วโมงที่ 9 ความชื้นลดลงเหลือ 13.45 %wb ใช้แก๊สไปทั้งหมด 5.2 กิโลกรัม เป็นความชื้นที่ตรงกับมาตรฐานพริกแห้งที่สุด แต่คุณภาพของพริกไม่ตรงกับความต้องการ พริกแตกหักมาก สีพริกเข้มมาก อบที่อุณหภูมิ 100 °C ในชั่วโมงที่ 1-6 ความชื้นลดลงเร็วมาก ชั่วโมงที่ 6-9 ความชื้นลดลงเล็กน้อย จนความชื้นสมดุลในชั่วโมงที่ 10-14 และในชั่วโมงที่ 6 ความชื้นลดลงเหลือ 12.56 %wb เป็นความชื้นที่ใกล้เคียงกับความชื้นมาตรฐานพริกแห้ง ใช้แก๊สไปทั้งหมด 4.2กิโลกรัม แต่คุณภาพพริกไม่ตรงกับความต้องการ แตกหักมาก สีพริกเข้มมาก อบที่อุณหภูมิ 110 °C.ในชั่วโมงที่ 1-4 ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว ในชั่วโมงที่ 4-6 ความชื้นลดลงเล็กน้อย จนความชื้นสมดุลในชั่วโมงที่ 7-14 และในชั่วโมงที่ 4 ความชื้นลดลงเหลือ 6.18%wb เป็นความชื้นที่ใกล้เคียงกับความชื้นมาตรฐานพริกแห้งใช้แก๊สไปทั้งหมด 2.4 กิโลกรัม แต่คุณภาพของพริกไม่ตรงกับความต้องการ พริกแตกหักมาก สีพริกเข้มมาก

5.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่อง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกแบบถังหมุนที่ใช้พลังงานความร้อนจากแก๊ส LPG ที่สร้างขึ้น ข้อมูลจากตารางเป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ต่อความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และระยะเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสม

ตาราง 2 ผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ต่อความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (h)	ปริมาณแก๊ส (kg)	น้ำหนัก(kg) เริ่มต้น	สุดท้าย	น้ำระเหย	Q_{output} (kJ)	Q_{input} (kJ)	η (%)
60	14	2.9	13	8.32	4.68	11,036.844	145,338	7.57%
70	14	3.8	13	3.42	9.57	22,370.433	190,836	11.71%
80	13	5.2	13	3.39	9.61	22,154.894	261,144	8.48%
90	9	5.2	13	3.35	9.65	21,938.49	261,144	8.42%
100	6	4.2	13	3.31	9.69	21,880.02	210,924	10.37%
110	4	2.4	13	3.10	9.90	22,042.35	120,528	18.28%

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องคั่วพริกแบบถังหมุนที่ใช้พลังงานความร้อนจากแก๊ส LPG พบว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเครื่องจะมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด 7.57% เมื่ออบถึงชั่วโมงที่ 14 พบว่าพริกมีความชื้นสูงมาก คุณภาพไม่เหมาะสม ต้องเพิ่มระยะเวลาในการอบแห้งขึ้นอีกจึงจะได้พริกแห้งที่มีความชื้นเหมาะสม ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เครื่องมีประสิทธิภาพ 11.71% ซึ่งเป็นประสิทธิภาพที่อยู่ในลำดับรองลงมาจากประสิทธิภาพเครื่องสูงสุด แต่เมื่อพิจารณาคุณภาพของพริก สี และการแตกหักยังไม่เหมาะสมกับความต้องการ ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เครื่องมีประสิทธิภาพสูงสุด 18.28% ระยะเวลาที่ใช้อบแห้งน้อยสุด ปริมาณแก๊สที่ใช้น้อยที่สุด ในช่วงพริกที่อบแห้งจะมีสีน้ำตาลเข้มมาก และการแตกหักมีมาก แสดงว่าคุณภาพของพริกไม่ดี ไม่เหมาะสมกับความต้องการ ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของเครื่องจะสูงที่สุดก็ตาม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เครื่องมีประสิทธิภาพ 10.37% พริกมีคุณภาพเช่นเดียวกันกับอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เครื่องมีประสิทธิภาพ 8.48% ปริมาณแก๊สที่ใช้ 5.2 กิโลกรัม ระยะเวลาที่ใช้อบแห้ง 13 ชั่วโมง ที่อุณหภูมินี้พริกจะมีคุณภาพดีที่สุด เช่น สีเหมาะสมที่สุด และการแตกหักน้อยที่สุด ซึ่งตรงกับความต้องการของกลุ่มอุตสาหกรรมแปรรูปพริก ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เครื่องมีประสิทธิภาพ 8.42% ซึ่งใกล้เคียงกับ 8.48% มาก แต่เมื่อพิจารณาคุณภาพของพริกที่ 90 องศาเซลเซียสแล้วพริกไม่เหมาะสมกับความต้องการ

5.5 การวิเคราะห์หลักการทางเศรษฐศาสตร์

ตาราง 3 การวิเคราะห์ทางการเงินของการอบแห้งพริก โดยใช้พลังงานจาก LPG ที่ อัตราเงินเฟ้อ 2.2 % อัตราดอกเบี้ย 7 % .ในปี 2556

Unit:Baht

year	Dryer	O&M Cost	Energy Cost	Cost of fresh Chili	Total	Present value
0	90,000				90,000	90,000
1		9,000	32,448	52,728	94,176.00	88,014.95
2		9,198	33,616.85	53,888.01	96,702.86	84,464.02
3		9,400.35	33,891.41	55,073.55	98,365.31	80,295.39
4		9,607.16	34,637.02	56,285.17	100,529.19	76,693.23
5		9,818.52	35,399.04	57,523.44	102,741.00	73,252.91
6		10,034.52	36,177.82	58,788.96	105,001.30	69,966.79
7		10,255.28	36,973.73	60,082.31	107,311.32	66,828.09
8		10,480.90	37,788.32	61,404.12	109,673.34	63,830.88
9		10,711.48	38,618.47	62,755.01	112,084.96	60,966.79
10		10,947.13	39,468.07	64,135.62	114,550.82	58,231.82
					Total value Baht	812,544.87

จากข้อมูลสามารถนำมาประเมินค่าใช้จ่ายรายปี(Levelized Annual Cost,LAC) ของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดแบบถังหมุนโดยใช้พลังงานความร้อนจาก LPG ได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายรายปี = Present Worth × Capital Recovery Factor

$$LAC = PW \times CRF$$

$$= 812,544.87\left[\frac{0.07(1+0.07)^{10}}{(1+0.07)^{10}-1}\right]$$

= 116,112.66 บาท

ในการหาต้นทุนการอบแห้งต่อกิโลกรัมน้ำระเหย (LACW)

จาก LACW = LAC / WEP

= 116,112.66 / 3,026.4

= 38.36 บาท / กิโลกรัมพริกสด

ในการหาต้นทุนการอบแห้งต่อกิโลกรัมพริกแห้ง

จาก LACC = LAC / DC

= 116,112.66 / 1029.6

= 112.77 บาท / กิโลกรัมพริกแห้ง

6.บทสรุป

6.1 ลักษณะของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดและหลักการทำงาน

โครงสร้างของเครื่องประกอบด้วย ถังบรรจุผลิตภัณฑ์ขนาด 60 cm x cm ด้านหัวและด้านท้ายของถังเจาะรูเพื่อการระบายอากาศขึ้นออกจากถัง หัวและท้ายถังต่อแกนออกมา ด้านหนึ่งต่อเข้ากับตัวจับเพื่อบังคับถังให้หมุนขณะเตรียมการ อีกด้านหนึ่งต่อ

เข้ากับพูเลย์ที่ห่วงต่อเข้าพู่เลย์อีกชุดหนึ่งที่ติดกับแกนของมอเตอร์ พู่เลย์ที่ติดกับมอเตอร์ทำหน้าที่บังคับการหมุนของถัง ส่วนชุดที่ติดกับถังหมุนจะทำหน้าที่หลรอบให้ได้ตามความต้องการ และจะทำงานเมื่อมีการเปิด-ปิดสวิตช์ที่ตัวควบคุมการทำงานที่ระบบควบคุม ซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิภายในถังอบให้คงที่ตลอดการทดลอง ระบบควบคุมความเร็วในการหมุนของถังที่ 5 rpm เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องนี้ ชุดควบคุมการไหลของแก๊สจากถังแก๊สไปยังหัวล่อแก๊ส และท่อแก๊สใต้ถังอบ แก๊สจะไหลออกมาที่ท่อแก๊สเมื่ออุณหภูมิในถังต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ และจะถูกตัดแก๊สเมื่ออุณหภูมิในถังอบสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ ± 3 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องใช้พริกจินดา 13 กิโลกรัมที่ใช้ความชื้นเริ่มต้นที่ 77.63%wb และความชื้นสุดท้ายประมาณ 13 %wb คุณภาพพริกเป็นไปตามที่ต้องการ เช่นสีพริกแดงสด และ การแตกหักน้อยที่สุด

6.2 ผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการอบแห้งและคั่วพริกจินดา

การหาสภาวะการทำงานที่ใช้ในการทดลองของเครื่องอบแห้งและคั่วพริกสด โดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊ส LPG ทำการอบพริกที่ใช้ความชื้นเริ่มต้นที่ 77.63%wb และความชื้นสุดท้ายประมาณ 13 %wb ปริมาณพริก 13 กิลกรัม มีดังต่อไปนี้

6.2.1 อุณหภูมิ สำหรับการอบแห้งจากการวิจัยพบว่า เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 80 90 100 110 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะได้พริกคุณภาพดีที่สุด พริกมีสีแดงสดใส เป็นที่ยอมรับของตลาด และกลุ่มเป้าหมาย ส่วนที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้ต้องใช้เวลาอีกนานจึงจะได้ความชื้นตามที่ต้องการทำให้เสียเวลามาก นอกจากนั้นความร้อนยังไล่ความชื้นออกจากเมล็ดพริกได้ช้าทำให้เมล็ดแตกออกทำให้เสียรูปไปในปริมาณที่มาก ส่วนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส ทำให้สีพริกเข้มและสีไหม้เกิดการไหม้ก่อนสุก และไม่เป็นที่ต้องการของกลุ่มเป้าหมายและตลาด นอกจากนั้นยังเปลืองพลังงานมาก

6.2.2 เวลาในการอบแห้งและคั่วพริกสด ที่สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ผลคือที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่พริกความชื้นเริ่มต้นที่ 77.63%wb ลดลงจนเหลือความชื้น 14.53%wb ใช้เวลากับ 13 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่พริกมีคุณภาพดีที่สุด ตรงตามความต้องการ

6.2.3 อัตราการหมุนของถังอบ จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องที่ความเร็วรอบต่างๆเพื่อทดสอบแรงเหวี่ยงของถังที่ทำให้พริกเสียรูป และการระบายความชื้นออกจากพริกเนื่องจากการเคลื่อนที่ในถังได้เหมาะสมพบว่าที่ความเร็วรอบ 5 rpm พริกมีลักษณะคงรูปมากที่สุด และคุณภาพดีที่สุด

6.3 ความสิ้นเปลืองพลังงาน

เมื่อพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนของแก๊ส LPG ที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริกจินดาแดงสดที่ 13 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้น 77.63%wb จนความชื้นสุดท้ายเหลือ 14.53%wb ใช้เวลาไป 13 ชั่วโมง ปริมาณแก๊สที่ใช้ไป 5.2 กิโลกรัม คิดเป็นพลังงานความร้อน 261.144 MJ หรือ 261,144 kJ ใช้เงินค่าพลังงานไป 104 บาทต่อครั้ง

6.4 ต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริกสด

ในการวิเคราะห์ต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งและคั่วพริกสดใช้วิธี Levelized Annual Cost โดยพิจารณาที่เงื่อนไขการทำงานที่เหมาะในเชิงเทคนิค ซึ่งกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องอบแห้งและคั่วพริก 10 ปี พบว่าต้นทุนการอบแห้งสำหรับใช้ในการระเหยของน้ำออกจากพริกจินดาสดมีค่า 38.63 บาทต่อกิโลกรัมน้ำระเหย เป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องระเหยน้ำ 1 กิโลกรัม ออกจากพริก ซึ่งค่าใช้จ่ายนี้รวมค่าสร้างเครื่องอบ ค่าบำรุง ค่าพริกสด และค่าพลังงาน ส่วนค่าแรงจะไม่มีเนื่องจากว่า กลุ่มเป้าหมายเป็นกลุ่มแปรรูปพริก เพราะฉนั้นแรงงานก็จะใช้แรงงานในกลุ่มสมาชิก เป็นการประหยัดทุนในอีกส่วนหนึ่ง

7. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นการศึกษาทางเทคนิคเป็นส่วนใหญ่ โดยนำเอาพลังงานความร้อนจากแก๊ส LPG มาใช้ และขั้นตอนต่อไปนี้สามารถที่จะพัฒนาศักยภาพเครื่องต่อไปได้

7.1 ควรจะใช้เครื่องอบนี้ไปทดลองอบแห้งกับพืชชนิดอื่นๆเช่น ถั่ว ข้าวโพด เป็นต้น

7.2 ควรนำเครื่องอบแห้งนี้ไปทดลองกับแหล่งพลังงานความร้อนอื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนด้านพลังงาน

7.3 ควรถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อนำไปสู่อุตสาหกรรมการอบแห้งพริกในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม และขนาดใหญ่ เพื่อขยายขนาดเครื่องให้ใหญ่ขึ้นต่อไป

7.4 ควรศึกษาค้นคว้ารูปแบบของตัวตักภายในถังอบแห้ง และพัฒนารูปแบบของตัวสัก เพื่อลดการสูญเสียลักษณะเฉพาะให้น้อยที่สุด

7.5 งานวิจัยนี้เหมาะสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมชุมชน กลุ่มเกษตรชุมชน กลุ่มการงานอาชีพชุมชน ที่แปรรูปพริกในรูปแบบต่างๆ

8. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย และให้เงินทุนสนับสนุนการวิจัย และพัฒนา ประเภทประยุกต์ กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย ในครั้งนี้จากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2555 ซึ่งเป็นทุนที่สนับสนุนงานวิจัยอย่างจริงจังและต่อเนื่องมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และเครื่องมือในการสร้างและตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง ผู้ทำวิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงขอขอบพระคุณไว้เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

9.เอกสารอ้างอิง

[1] Kaleemullah, S. and Kailappan, R. (2005). Drying kinetics of red in a rotary drying Biosystems Engineering.92: 15-23

[2] บุญส่ง เอกพงษ์ และคณะ. (2550). รายงานฉบับบสมบูรณ์โครงการสภาพการตลาดพริก จังหวัดอุบลราชธานีและศรีษะเกษ. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

[3] กมล เลิศรัตน์. (2553). การแปรรูปพริกและผลิตภัณฑ์พริกในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: งานวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[5] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์.(2537). การอบแห้งเมล็ดพืช. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[6] S.Phoungchandang & J.L. Woods.(2002).Solar Drying of Banana:Mathmatical Model,Laboratory Simulation,and Field Data Compared. The financial support for the project provide by The Royal Thai government.Bangkok:The Royal Thai Government.

[7] อริยะ แสนทวีลุข. (2552). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบสูบความร้อน วิทยานิพนธ์ วศม., มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

[8] ปกรศ์พรรน์ ณะคำปา. (2552). อิทธิพลของต้นทุนภายนอกต่ออัตราการรับซื้อไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม), สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

[9] วันชัย ริจิรวนิช และชอุ่ม พลอยมีค่า. (2535). เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หน้า 45-75

[10] พิทัฒน์ อมฉายา. (2549). เครื่องอบแห้งพริกแบบหมุน. นครราชสีมา: งานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

[11] ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์. (2554). การอบแห้งพริกแบบชั้นบางโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ ปรด., มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เลขทะเบียน.....

หนังสือยินยอมการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการบนเว็บไซต์ ฐานข้อมูล NU Digital Repository (http://obj.lib.nu.ac.th/media/) สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตามที่ข้าพเจ้า ผศ.ดร.ศิรินุช จินดารักษ์ (ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์) ได้ส่งผลงานทางวิชาการการรายงานการวิจัย (เรื่อง) รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดแบบถังหมุน

ปีที่พิมพ์ 2557

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานทางวิชาการเป็นลิขสิทธิ์ของข้าพเจ้า ผศ.ดร.ศิรินุช จินดารักษ์ (ผู้วิจัยร่วม) นายกลยุทธ ทะกอง เป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ร่วม และเพื่อให้ผลงานทางวิชาการของข้าพเจ้าเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและสาธารณชน จึงอนุญาตให้เผยแพร่ผลงาน ดังนี้

☑ อนุญาตให้เผยแพร่

☐ ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ เนื่องจาก.....

.....

.....

ลงชื่อ .....

(นาง ดร.ศิรินุช จินดารักษ์)

วันที่ 3/11/58

หมายเหตุ ลิขสิทธิ์ใดๆ ที่ปรากฏอยู่ในผลงานนี้เป็นความรับผิดชอบของเจ้าของผลงาน ไม่ใช่ของสำนักหอสมุด