การพัฒนากระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูป: ผลของวิธีการและอุณหภูมิอบแห้ง

Drying Process Development of Instant Rice Product: Effects of Methods and Drying Temperature

จันทิมา ภูงามเงิน[1*] ชนิต ชนะปาลพันธุ์[2] ภัทลียา จักรสิงห์โต[2] สายฝน สีกานนท์[2] และ ธีรวรรณ สุวรรณ์[2]

Chanthima Phungamngoen[1*], Chanit Chanapanpan[2], Patareeya Jaksingto[2] Saifon Sikanon[2] and Teerawan suwan[2]

[1] *สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและการจัดการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*

[2] *สาขาวิชานวัตกรรมและเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*

[1]*Department of Agro-Industry Technology and Management, Faculty of Agro-Industry,*

King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[2]*Department of Innovation and Product Development Technology, Faculty of Agro-Industry,*

King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Received : 15 September 2015

Accepted : 4 May 2016

Published online : 26 May 2016

บทคัดย่อ

การอบแห้งข้าวสุกแบบ 2 ขั้นตอนในกระบวนการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการอบแห้งและอุณหภูมิในการอบแห้งข้าวสุก โดยทำการอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความดัน 80 มิลลิบาร์ ในขั้นตอนแรก แล้วเปรียบเทียบการอบแห้งในขั้นตอนที่สองระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดและเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาผลต่อค่าการหดตัว ระดับการเกิดเจลาติไนเซชัน อัตราการดูดน้ำคืน เนื้อสัมผัส และค่าสี จากผลการศึกษา พบว่าการอบแห้งขั้นตอนที่ 2 ด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดมีระดับการเกิดเจลาติไนเซชันสูงกว่าและมีค่าการหดตัวต่ำกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด พิจารณาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งข้าวพบว่าที่ 50 องศาเซลเซียส มีระดับเจลาติไนเซชันและค่าการหดตัวสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ค่าความแข็งและค่าความขาวของข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนตัว สำหรับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดมีค่าต่ำกว่าข้าวที่อบแห้งด้วยเครื่องแบบถาด ซึ่งผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูปในขั้นตอนที่สองด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดทำให้ข้าวมีคุณภาพดี จึงใช้เป็นทางเลือกในกระบวนการอบแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูปในระดับอุตสาหกรรมได้

คำสำคัญ :คุณสมบัติทางกายภาพ อบแห้งแบบสุญญากาศ อบแห้งแบบถาด อบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เจลาติไนเซชัน

*Corresponding author. E-mail : chanthimap@kmutnb.ac.th

Abstract

Two-step drying of cooked rice during instant rice process yields good quality product. The research aims to study drying methods and drying temperature. The process of drying instant rice with vacuum dried at a temperature of 90 °C and pressure 80 mbar for the first step of drying. Dried rice from fluidize bed drying and tray drying at temperature of 50, 60 and 70 °C were compared. The parameters considered were shrinkage, gelatinization level, rehydration ratio, texture and color. The results showed that the second step of drying by fluidized bed dryer gave higher gelatinization level and lower shrinkage than drying by tray dryer. Considering the effect of drying temperature on quality of dried rice it was found that drying temperature at 50 °C resulted in higher gelatinization level and higher shrinkage than those of 60 and 70 °C drying temperature, respectively. The hardness and whiteness of instant rice after rehydration were lower for samples dried by fluidize bed dryer than those by tray dryer. The results implied that second steps of drying by fluidize bed dryer provide better quality of instant rice product. This drying process can be an alternative to produce instant rice in an industrial scale.

Keywords : Physical properties, vacuum drying, tray drying, fluidized bed drying, gelatinization

บทนำ

ข้าวคืออาหารหลักของคนเอเชียและคนค่อนโลก ในอนาคตเมื่อประชากรของโลกเพิ่มมากขึ้น แต่ความสามารถของการผลิตข้าวยังอยู่ในระดับปัจจุบัน คงไม่เพียงพอต่อความต้องการบริโภค ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตข้าวเป็นพืชเกษตรหลักถึงร้อยละ 70 (Yimto, 2007) โดยไทยเป็นประเทศอันดับต้นๆ ที่ส่งข้าวออกจำหน่ายในตลาดโลก อย่างไรก็ตามสถานการณ์การค้าข้าวอย่างเสรีในปัจจุบันมีการแข่งขันกันรุนแรง ประเทศไทยจึงจำเป็นต้องปรับปรุงต้นทุนการผลิต ระบบการผลิต และกระบวนการส่งออก เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลก เพื่อรักษาความเป็นผู้นำการค้าข้าวในตลาดโลกต่อไป

ในสถานการณ์ปัจจุบันประชาชนต้องการความสะดวก รวดเร็ว รวมทั้งการประหยัดเวลาในการเตรียม ดังนั้นจำเป็นต้องมีกระบวนการแปรรูปข้าวให้เป็นข้าวสุกกึ่งสำเร็จรูป เพื่อตอบสนองความต้องการของประชาชน ให้สามารถเก็บไว้บริโภคนานๆ เนื่องจากข้าวกึ่งสำเร็จรูปสามารถเตรียมได้ง่ายและสะดวกในทุกโอกาสและทุกสถานการณ์ ทั้งยังสะดวกและประหยัดพลังงานในการขนส่ง รวมถึงเป็นการเพิ่มมูลค่าของข้าว การอบแห้งข้าวในกระบวนการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปเป็นกระบวนการที่มีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์คืนรูป การอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งมักพบปัญหาการคืนตัว และใช้เวลาในการอบนาน จึงทำให้ข้าวมีคุณภาพไม่ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตข้าวอบแห้งโดยใช้กระบวนการอบแห้งหลายขั้นตอน (Wang *et al*., 2015; Seremet *et al.,* 2016) ซึ่งในขั้นตอนแรกต้องใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูง เพื่อลดความชื้นที่ผิวหน้าของข้าวอย่างรวดเร็วก่อนที่ข้าวส่วนที่อยู่ใจกลางจะแห้ง ช่วยทำให้โครงสร้างอยู่ตัวป้องกันการหดตัว ซึ่งการหดตัวจะทำให้ความสามารถในการดูดน้ำคืนลดลง (Samual & Matz, 1991; Wang & Yu, 2007) วิธีที่นิยมมากโดยทั่วไปคือ การอบแห้งแบบไมโครเวฟ (Seremet *et al*., 2016) การอบแห้งแบบสุญญากาศ (Sngadkit, 2004; Wang & Yu,

2007) และการอบแห้งในขั้นตอนที่สองทำเพื่อรักษาคุณภาพของอาหารแห้ง โดยพยายามลดระยะเวลาในการอบแห้งลง ดังนั้นอาจใช้การอบแห้งแบบดั้งเดิม และการอบแห้งแบบอื่นๆ เช่น การอบแห้งแบบสุญญากาศ และการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็ก และทนต่อแรงกระแทกได้ ยกตัวอย่างเช่น Sangadkit (2004) ได้ทำการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป โดยใช้การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ ซึ่งทำให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีคุณภาพดี คือ มีค่าอัตราการดูดน้ำคืนสูง ค่าความแข็งและการเปลี่ยนแปลงสีต่ำ นอกจากนี้เทคโนโลยีการอบข้าวที่น่าสนใจอีกหนึ่งวิธี คือ การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidize bed drying) เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ทำให้วัตถุที่นำมาอบเคลื่อนที่ตลอดเวลาทำให้เกิดการผสมกันอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิภายในเบด (Bed) คงที่และสม่ำเสมอ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้สม่ำเสมอใกล้เคียงกัน และยังมีพื้นที่สัมผัสระหว่างวัตถุกับอากาศมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งชนิดอื่น จึงมีประโยชน์ในการอบแห้งที่ต้องการให้มีการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลสารมาก นอกจากนี้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดยังมีคุณสมบัติที่คล้ายกับของไหล จึงสามารถทำงานแบบต่อเนื่องได้ ซึ่งง่ายต่อการควบคุมและยังสามารถพัฒนาไปสู่ระดับอุตสาหกรรมต่อไปได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษากระบวนการอบแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูป โดยเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด และการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับการอบแห้งแบบถาด เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดกระบวนการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปต่อไป

วิธีการวิจัย

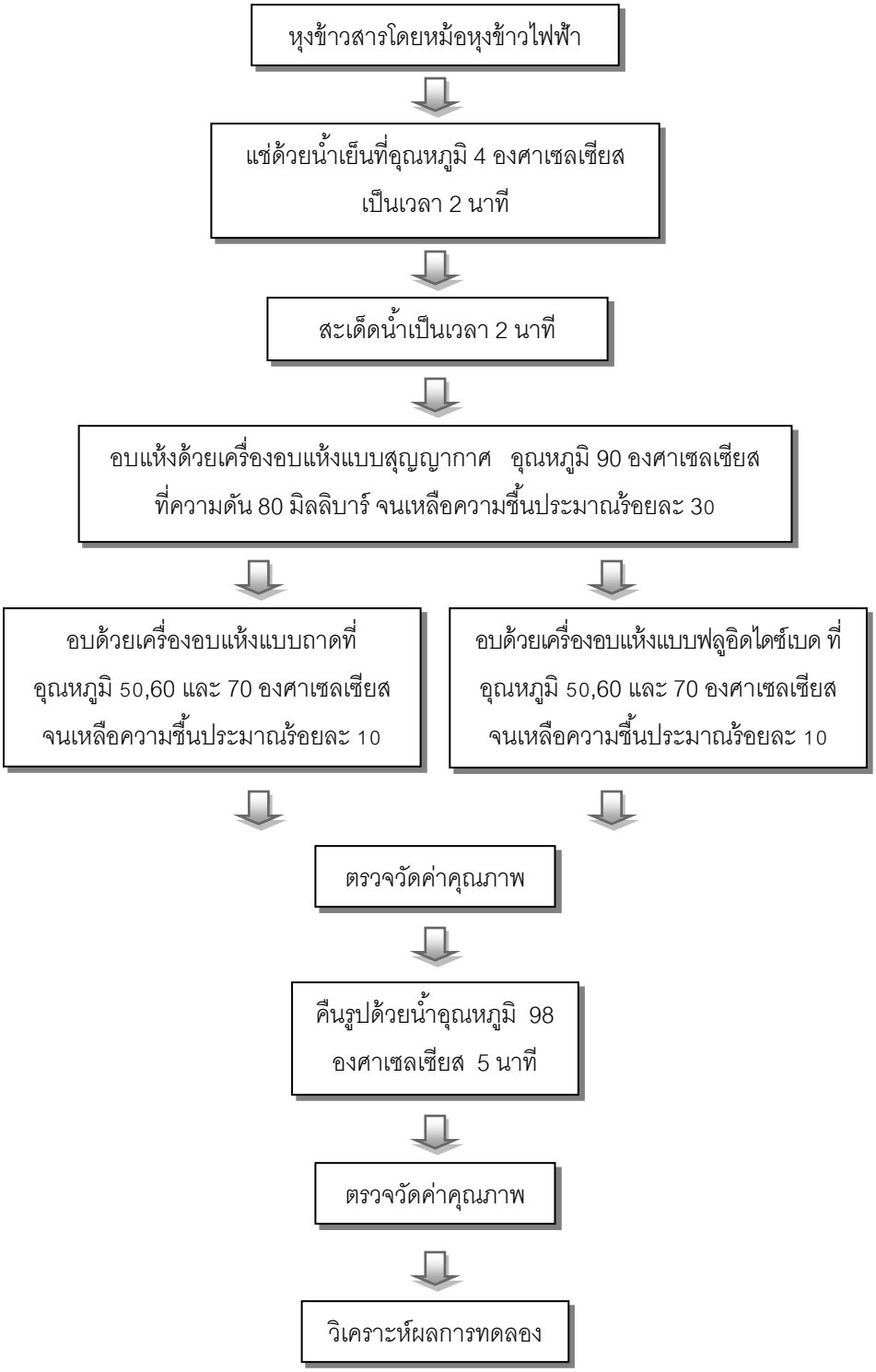
2.1. การศึกษาเวลาการอบแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูป

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาเวลาการอบแห้งของข้าวกึ่งสำเร็จรูป โดยในการทดลองจะทำการหุงข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ตราหงส์ทองด้วยใช้หม้อหุงข้าวไฟฟ้า (Sharp, เบญจรงค์ KSH-215 ขนาด 1.5 ลิตร ประเทศไทย) หุงให้เป็นข้าวสุกในอัตราส่วนข้าวสารต่อน้ำเท่ากับ 1:1.2 (w/w) จากนั้นนำไปแช่ด้วยน้ำเย็นทันทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้เมล็ดข้าวไม่เกาะติดกันเป็นก้อน (Sangakit, 2004) แล้วนำไปสะเด็ดน้ำ โดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง เป็นระยะเวลา 2 นาที เพื่อให้ข้าวไม่มีปริมาณน้ำเกาะอยู่มากจนเกินไปซึ่งมีผลต่อค่าความชื้นของข้าว

การศึกษาเวลาของกระบวนการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ (Memmert, VO200 29 L ประเทศเยอรมนี) ในขั้นตอนแรกนั้นใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 80 มิลลิบาร์ เพื่อให้ความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 30 (เป็นความชื้นที่กำหนดขึ้น และได้จากการทดลองเบื้องต้น) ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิและความดันดังกล่าวนี้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งไม่เกิน 10 นาที จึงทำให้ได้ปริมาณความชื้นจากการอบแห้งครั้งแรกลดลงเหลือร้อยละ 30 ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ทำการศึกษาเวลาในการอบแห้งเพื่อใช้เป็นเวลามาตรฐานในการอบแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูปของการอบแห้งขั้นตอนแรก โดยการสุ่มตัวอย่างในแต่ละระยะเวลาในการอบแห้ง

การอบแห้งในขั้นตอนที่สอง นำข้าวที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ (ความชื้นประมาณร้อยละ 30) มาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่ความเร็วลม 0.8 เมตร/วินาที (กล้วยน้ำไท ตู้อบแห้งระบบไฟฟ้า ขนาด 12 ถาด ประเทศไทย)หรือเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ความเร็วลม 2 เมตร/วินาที (ที่สร้างขึ้นเอง) อุณหภูมิที่ทำการศึกษาคือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส จนข้าวมีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 10 โดยทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อหาความชื้นในแต่ละเวลาตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2000) ขั้นตอนและรายละเอียดวิธีการทดลองแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนและรายละเอียดวิธีการทดลอง

2.2 การศึกษาค่าคุณภาพข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูป

ขั้นตอนนี้นำข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งแบบต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ค่าคุณภาพข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูป ได้แก่ ค่าการหดตัวและระดับเจลาติไนเซชันโดยทำการจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) โดยปัจจัยที่ทำการศึกษามี 2 ปัจจัย โดยปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดของเครื่องอบแห้งมี 2 ระดับ คือ เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดกับเครื่องอบแห้งแบบถาด และปัจจัยที่ 2 คือ อุณหภูมิของการอบแห้งมี 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นนำผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

2.2.1 การหดตัว (Shrinkage)

ในการวัดการหดตัวของผลิตภัณฑ์นั้นสามารถวัดได้โดยการวัดปริมาตรประสิทธิผลของผลิตภัณฑ์ (Effective volume) โดยวัดปริมาตรข้าวสุกก่อนทำการอบแห้งด้วยถ้วยตวงมาตรฐานขนาด 100 กรัม จากนั้นวัดปริมาตรอีกครั้งของข้าวสุกเดิมหลังการอบแห้งด้วยวิธีการและอุณหภูมิต่างๆ ด้วยถ้วยตวงมาตรฐานเดิม (Tamaisuk, 2003) แสดงดังสมการที่ (1)

$$\text{การหดตัว} = \frac{V}{V0} \qquad (1)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของข้าวสุกก่อนอบ

V_0 คือ ปริมาตรของข้าวสุกหลังอบ

2.2.2 ระดับเจลาติไนเซชัน (Gelatinization level)

ในการวัดระดับเจลาติไนเซชันนั้นใช้วิธี Differential alkaline solubility ซึ่งดัดแปลงจากวิธีการทดลองของ Sngadkit (2004) โดยนำข้าวในแต่ละสภาวะการทดลองมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส แล้วบดเป็นแป้งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 mesh จากนั้นนำตัวอย่าง 0.2 กรัมใส่ใน Erlenmeyer flasks ขนาด 125 mL แล้วเติมน้ำกลั่น 98 มิลลิลิตร, KOH 10 โมล 2.0 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันนาน 5 นาที แล้วนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็วรอบ 3000 รอบ/นาที นาน 15 นาที นำส่วนใส 1 มิลลิลิตร เติม HCl 0.5 โมล 0.4 มิลลิลิตร ตามด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) (Thermo Scientific, GENESYS 10 UV ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร หาค่าการดูดกลืนแสงแล้วนำมาเปรียบเทียบกับระดับเจลาติไนเซชันจากกราฟมาตรฐาน (Standard curve)

2.3 การศึกษาค่าคุณภาพข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูป

นำข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการอบแห้งในขั้นต้นมาทำการคืนรูป ซึ่งจากการทดลองในขั้นต้นที่ได้นำข้าวกึ่งสำเร็จรูปมาคืนรูปโดยเติมน้ำเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที (Sangadkit, 2004) พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อข้าวกึ่งสำเร็จรูปเท่ากับ 1.74:1 (w/w) มีความเหมาะสมในการคืนรูปมากที่สุด จากนั้นนำข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้หลังจากการคืนรูปมาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ได้แก่ อัตราการดูดน้ำคืน ลักษณะเนื้อสัมผัส และค่าสี มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 อัตราการดูดน้ำคืน (Rehydration ratio)

การวัดอัตราการดูดน้ำคืนซึ่งเปรียบเทียบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงสามารถทำได้โดยการวัดค่าน้ำหนักข้าวแห้งก่อนคืนรูปที่มีปริมาตรค่าหนึ่งแล้วนำข้าวไปทำการคืนรูปจากนั้นนำข้าวที่คืนรูปแล้วมาทำการวัดค่าน้ำหนัก (Smith *et al*, 1985) แสดงดังสมการที่ (2)

$$\text{Rehydration ration} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวที่คืนรูปแล้ว (กรัม)}}{\text{น้ำหนักข้าวแห้ง (กรัม)}} \quad (2)$$

2.3.2 เนื้อสัมผัส (Texture)

ในการวัดเนื้อสัมผัสของข้าวทำการวัดค่าความแข็ง (Hardness) โดยเลือกเมล็ดข้าวจำนวน 5 เมล็ด ที่มีขนาดใกล้เคียงกันและมีความสมบูรณ์ ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) (TA.XT plus, Stable Micro System, ประเทศอังกฤษ) ใช้ Load cell ขนาด 50,000 กรัม และใช้หัววัดแบบทรงกระบอก (Cylinder) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร

2.3.3 ค่าสี (Color)

วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) (Hunter Lab, Color Flex, ประเทศอเมริกา) ในระบบสี CIE *L*a*b** โดยใช้การสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffusion Reflection) ใช้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65 และกำหนดค่าผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน (Standard Observer) ที่ 10° แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณประเมินคุณภาพสีในรูปค่าความขาว (Whiteness) ซึ่งค่านี้สามารถบอกถึงความขาวของผลิตภัณฑ์โดยภาพรวมได้ ดังสมการที่ (3)

$$\text{Whiteness} = 100 - [(100-L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad (3)$$

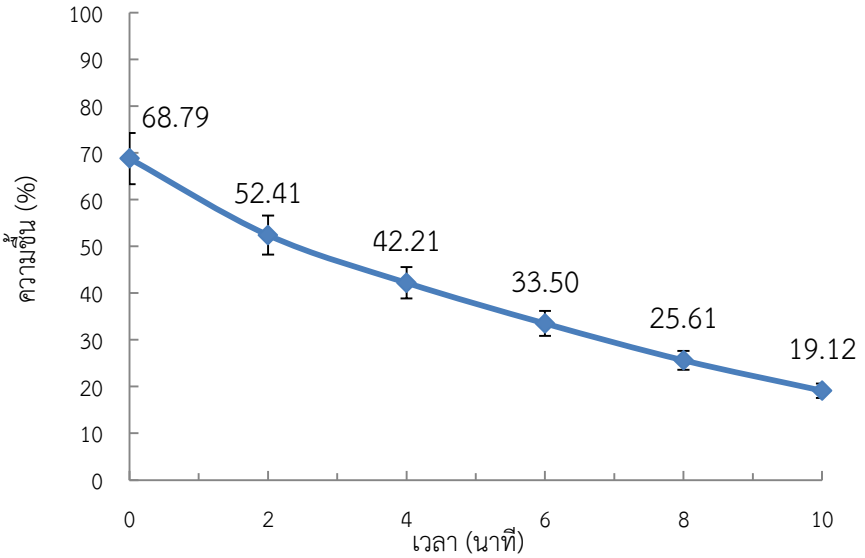
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการศึกษาเวลาการอบแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูป

การศึกษาเวลาในการอบแห้งในแต่ละขั้นตอนเพื่อให้ข้าวมีปริมาณความชื้นตามที่กำหนด พบว่าข้าวหุงมีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 68.79±1.59 (ฐานเปียก) เมื่อทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความดัน 80 มิลลิบาร์ ทำให้ความชื้นของข้าวลดลง แสดงดังภาพที่ 2 เนื่องจากในขั้นตอนนี้ใช้การอบแห้งอย่างรวดเร็วโดยใช้อุณหภูมิสูงและในช่วงแรกนี้ข้าวมีอัตราการอบแห้งแบบคงที่ ช่วยให้เกิดขอบแข็งทำให้โครงสร้างอยู่ตัวอันเป็นการป้องกันข้าวหดตัว (Yimto, 2007) จากภาพที่ 2 ข้าวหุงสุกมีความชื้นที่ระดับร้อยละ 30 จะต้องใช้เวลาในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศเป็นระยะเวลา 7 นาที จึงใช้เวลาดังกล่าวนี้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดค่าความชื้นของการอบแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูปในขั้นตอนการอบครั้งแรก

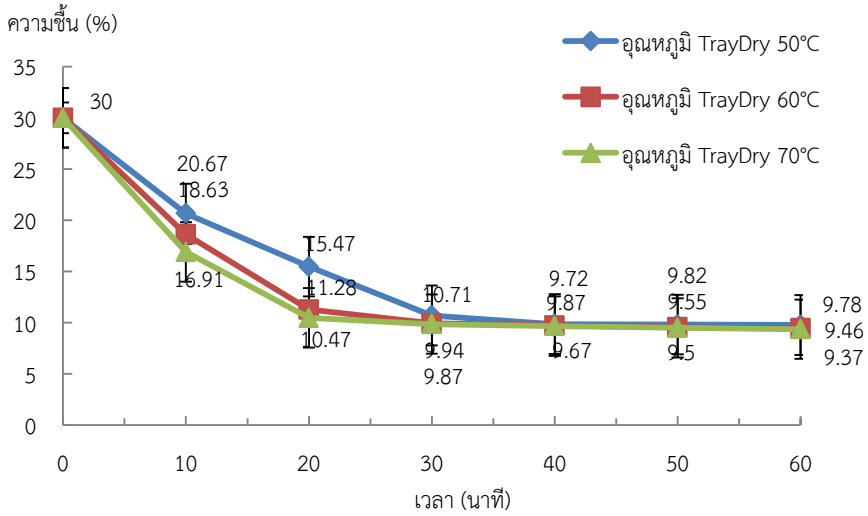
ผลการศึกษาเวลาการอบแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากปริมาณความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด หรือแบบฟลูอิดไดซ์เบด พบว่า เมื่อทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ทำให้ความชื้นของข้าวลดลงมากในช่วงแรกของการอบแห้งโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้อุณหภูมิสูง ดังภาพที่ 3 ดังนั้นเวลาในการอบแห้งที่ทำให้ปริมาณความชื้นข้าวกึ่งสำเร็จรูปไม่เกินร้อยละ 10 (ACFS, 2003) สำหรับอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส คือเป็นเวลา 30, 25 และ 20 นาที ตามลำดับ การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ทำให้ความชื้นของข้าวลดลงในลักษณะเดียวกันกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ดังภาพที่ 4 โดยเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศา

เซลเซียส คือ 15, 14 และ 12 นาที ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดใช้เวลาในการอบแห้ง น้อยกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด เนื่องจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดใช้หลักการในการพาลมร้อนมาสัมผัสกับผิวของเมล็ดข้าว ซึ่งวางเรียงอยู่บนถาดทำให้ข้าวได้รับลมร้อนเฉพาะผิวส่วนบนจึงมีพื้นที่ผิวในการให้ความร้อนน้อย ซึ่งแตกต่างไปจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ลมร้อนพาให้เมล็ดข้าวลอยตัวขึ้นจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสในการถ่ายเทความร้อนมากกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (Samitayathin, 1999; Taweerattanapanish *et al*, 1999)

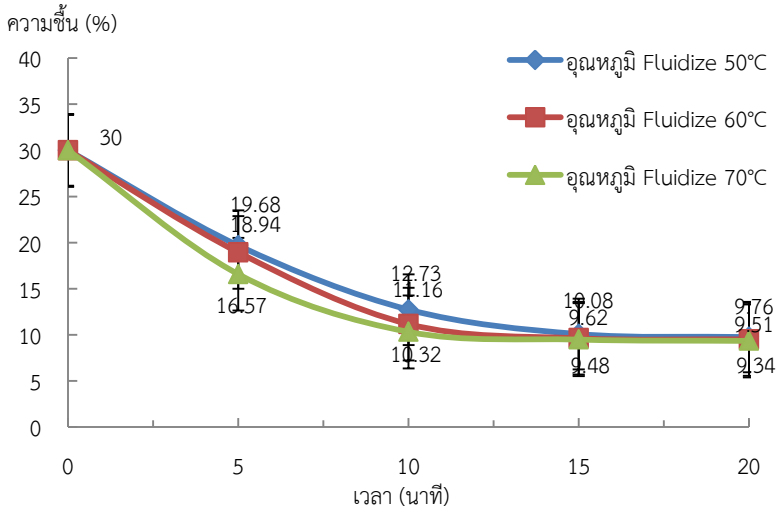


ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวหุงสุกด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

ผลการศึกษาเวลาการอบแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากปริมาณความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดหรือแบบฟลูอิดไดซ์เบด พบว่า เมื่อทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ทำให้ความชื้นของข้าวลดลงมากในช่วงแรกของการอบแห้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้อุณหภูมิสูง ดังภาพที่ 3 ดังนั้นเวลาในการอบแห้งที่ทำให้ปริมาณความชื้นข้าวกึ่งสำเร็จรูปไม่เกินร้อยละ 10 (ACFS, 2003) สำหรับอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส คือเป็นเวลา 30, 25 และ 20 นาที ตามลำดับ การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ทำให้ความชื้นของข้าวลดลงในลักษณะเดียวกันกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ดังภาพที่ 4 โดยเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส คือ 15, 14 และ 12 นาที ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด เนื่องจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดใช้หลักการในการพาลมร้อนมาสัมผัสกับผิวของเมล็ดข้าวซึ่งวางเรียงอยู่บนถาดทำให้ข้าวได้รับลมร้อนเฉพาะผิวส่วนบนจึงมีพื้นที่ผิวในการให้ความร้อนน้อย ซึ่งแตกต่างไปจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ลมร้อนพาให้เมล็ดข้าวลอยตัวขึ้นจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสในการถ่ายเทความร้อนมากกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (Samitayathin, 1999; Taweerattanapanish *et al*, 1999)



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวหุงสุกระหว่างการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับแบบถาด

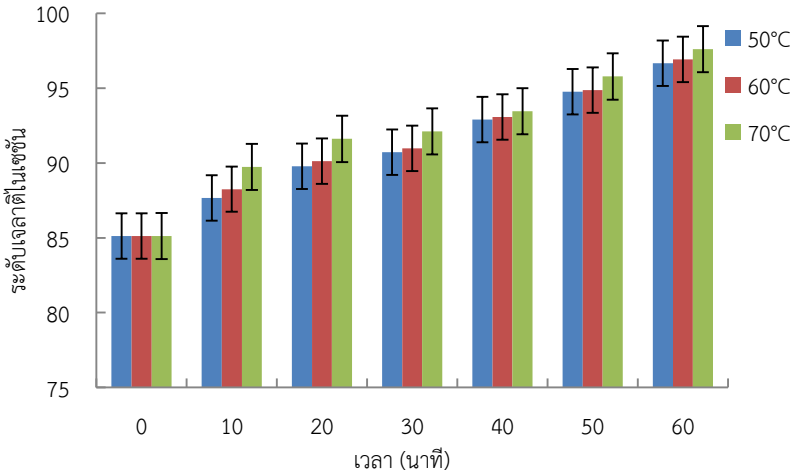


ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวหุงสุกระหว่างการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับแบบฟลูอิดไดซ์เบด

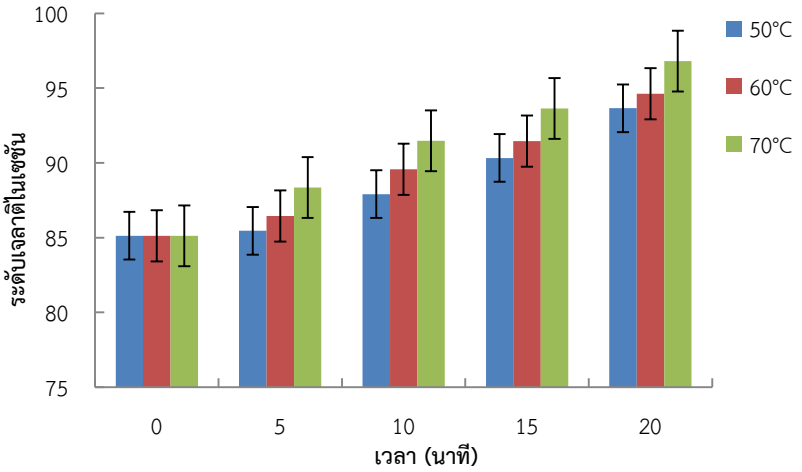
3.2 ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อระดับเจลาติไนเซชัน

ผลการศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูปต่อระดับเจลาติไนเซชัน แสดงดังภาพที่ 5-6 พบว่าระดับเจลาติไนเซชันของข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นทุกๆ อุณหภูมิที่ทำการศึกษา อันเนื่องมาจากความร้อนที่ข้าวได้รับจากการอบแห้งไปทำลายพันธะไฮโดรเจนของโครงสร้างโมเลกุลอะไมโลเพกตินจนเกิดเจลาติไนเซชัน (Nivikul, 2004) การใช้อุณหภูมิอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส จะให้ค่าระดับเจลาติไนเซชันสูงสุด รองลงมาคืออุณหภูมิ 60 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลของการเกิดเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งเมื่อพิจารณาเวลาการอบแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูปได้ช่วงเวลาที่ทำให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 ทั้งการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดและด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ทุกตัวอย่างมีระดับเจลาติไนเซชันมากกว่าร้อยละ 90 ถือเป็นระดับเจลาติไนเซชันที่มีความเหมาะสม เนื่องจากเป็นระดับที่เหมาะสมในการคืนตัวของข้าวกึ่งสำเร็จรูป (Soponronnarit *et al*, 2006) โดยสาเหตุของการเกิดเจลาติไนเซชันนั้นมาจากความร้อนจากการอบแห้งไปทำลายพันธะไฮโดรเจนที่เกาะเกี่ยวกันเองในบริเวณอสัณฐานของโครงสร้างโมเลกุลอะไมโลเพกติน ให้คลายตัวลง สามารถจับกับโมเลกุลของน้ำในส่วนผสมหรืออุ้มน้ำเข้าไปภายในเมล็ดสตาร์ชทำให้พองขึ้นเรื่อย ๆ (Nivikul, 2004) ดังนั้นยิ่งมีระดับเจลาติไนเซชันเพิ่มมากขึ้นก็ยิ่งทำให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปเกิดการคืนตัวได้ดีขึ้น

นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าเมื่อใช้อุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งที่เท่ากันในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดจะมีระดับเจลาติไนเซชันสูงกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด เนื่องจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ลมร้อนพาให้เมล็ดข้าวลอยตัวขึ้นจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสในการถ่ายเทความร้อนมากกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ดังนั้นความร้อนที่ได้รับมากกว่าจึงทำให้เกิดเจลาติไนเซชันกับเมล็ดข้าวได้มากกว่า



ภาพที่ 5 ผลของระยะเวลาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดต่อระดับเจลาติไนเซชัน



ภาพที่ 6 ผลของระยะเวลาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดต่อระดับเจลาติไนเซชัน

3.3 ผลการศึกษาคุณภาพข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูป

3.3.1 การหดตัว (Shrinkage)

จากตารางที่ 1 พบว่าค่าการหดตัวของข้าวกึ่งสำเร็จรูปด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดมีค่าการหดตัวสูงกว่าค่าการหดตัวของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดทุกๆ อุณหภูมิ เนื่องจากข้าวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดเป็นการทำแห้งอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tamaisuk (2003) ซึ่งพบว่าการอบแห้งอย่างรวดเร็วทำให้ข้าวมีค่าการหดน้อยลง และเมื่อสังเกตปัจจัยทางด้านอุณหภูมิการอบแห้งที่แตกต่างกัน พบว่าค่าการหดตัวของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะมีค่าการหดตัวต่ำกว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องมาจากความร้อนที่ได้รับจากการอบแห้งไประเหยน้ำจนทำให้เกิดช่องว่างขึ้นภายในเซลล์ของเมล็ดข้าวจึงทำให้เกิดการหดตัวจากผิวด้านนอก ดังนั้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่มีการให้ความร้อนเป็นระยะเวลานาน จึงทำให้เกิดการหดตัวเข้าไปภายในเมล็ดข้าวที่มากยิ่งขึ้น

3.3.2 ระดับเจลาติไนเซชัน (Gelatinization level)

ค่าระดับเจลาติไนเซชันของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะมีระดับเจลาติไนเซชันต่ำกว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อย่างไรก็ตามระดับการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวกึ่งสำเร็จรูปแต่ละสภาวะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากทุกสภาวะต้องทำให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 10 เหมือนกัน แม้จะใช้อุณหภูมิสูงแต่ก็ใช้เวลาสั้นกว่า ซึ่งข้าวที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีระดับเจลาติไนเซชันสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิอื่นเล็กน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thanyawanich (2002) ที่รายงานว่าการใช้เวลาในการอบแห้งข้าวหุงสุกเร็วมากขึ้นทำให้มีระดับเจลาติไนเซชันเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 1 ผลของวิธีการอบแห้งและอุณหภูมิในการอบแห้งต่อคุณภาพข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูป

ชนิดเครื่องอบแห้ง	อุณหภูมิ (°C)	ค่าการหดตัว	ระดับเจลาติไนเซชัน (%)
แบบถาด	50	2.227 ± 0.016^{c}	90.32 ± 0.57^{a}
	60	2.100 ± 0.017^{b}	90.56 ± 1.62^{a}
	70	1.927 ± 0.008^{a}	92.18 ± 2.19^{b}
แบบฟลูอิดไดซ์เบด	50	2.119 ± 0.029^{c}	90.22 ± 2.42^{a}
	60	2.037 ± 0.014^{b}	90.53 ± 1.26^{a}
	70	1.742 ± 0.009^{a}	91.61 ± 0.93^{ab}

หมายเหตุ: ค่าที่ได้ในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.4 ผลการศึกษาคุณภาพข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูป

3.4.1 อัตราการดูดน้ำคืน (Rehydration ratio)

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าอัตราการดูดน้ำคืนของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดมีค่าสูงกว่าค่าอัตราการดูดน้ำคืนของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากการอบแห้งแบบถาดทุกๆ อุณหภูมิ เนื่องจากข้าวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดมีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับลมร้อนที่มากกว่าจึงทำให้ข้าวได้รับความร้อนสูงขึ้น จึงเกิดลักษณะของความเป็นรูพรุนอยู่ภายในเมล็ดข้าว ข้าวอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าอัตราการดูดน้ำคืนสูงกว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องมาจากข้าวที่อบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้มีลักษณะของความเป็นรูพรุนอยู่ภายในเมล็ดข้าวที่มากกว่า จึงทำให้เกิดเป็นช่องว่างภายในซึ่งส่งผลให้มีค่าอัตราการดูดน้ำคืนของข้าวกึ่งสำเร็จรูปสูงด้วย แต่ถ้าข้าวที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ข้าวรับความร้อนไม่เพียงพอส่งผลให้ภายในเมล็ดข้าวยังคงมีลักษณะที่เป็นเจลอยู่ เกิดโครงสร้างที่รูพรุนน้อยจึงทำให้มีค่าอัตราการดูดน้ำคืนน้อย (Sangadkit, 2004) โดยค่าการหดตัวนั้นยังมีความสัมพันธ์กับอัตราการดูดน้ำคืนโดยหากมีค่าการหดตัวของข้าวที่ลดลงจะทำให้อัตราการดูดน้ำคืนมีค่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งส่งผลให้การพองตัวของเมล็ดข้าวมีมากขึ้นเนื่องจากน้ำสามารถเข้าไปยึดจับได้มาก (Tamaisuk, 2003)

3.4.2 ค่าความแข็ง (Hardness)

ค่าความแข็งของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากการอบแห้งแบบถาดมีค่าสูงกว่าค่าความแข็งของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดทุกๆ อุณหภูมิ โดยค่าความแข็งของข้าวสอดคล้องกับอัตราการดูดน้ำคืน เมื่อข้าวสามารถดูดน้ำคืนกลับได้เพิ่มขึ้นจะทำให้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีความแข็งลดลง จึงทำให้ค่าความแข็งของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะมีค่าความแข็งสูงกว่าข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลของวิธีการอบแห้งและอุณหภูมิในการอบแห้งต่อคุณภาพข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูป

ชนิดเครื่องอบแห้ง	อุณหภูมิ (°C)	อัตราการดูดน้ำคืน	ค่าความแข็ง (N)	ค่าความขาว
แบบถาด	50	2.139 ± 0.022^{a}	101.64 ± 8.32^{d}	56.37 ± 0.80^{ab}
	60	2.181 ± 0.022^{ab}	82.98 ± 4.46^{c}	60.51 ± 0.28^{cd}
	70	2.182 ± 0.012^{ab}	76.88 ± 1.22^{b}	60.85 ± 0.18^{cd}
แบบฟลูอิดไดซ์เบด	50	2.219 ± 0.028^{bc}	84.53 ± 6.76^{c}	54.86 ± 0.51^{a}
	60	2.340 ± 0.026^{d}	72.67 ± 1.86^{b}	60.16 ± 0.30^{c}
	70	2.421 ± 0.028^{f}	68.06 ± 1.11^{a}	60.42 ± 0.30^{cd}

หมายเหตุ: ค่าที่ได้ในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.4.3 ค่าความขาว (Whiteness)

ค่าความขาวของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดมีค่าต่ำกว่า ค่าความขาวของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากการอบแห้งแบบถาดทุกๆ อุณหภูมิ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ทางสถิติแล้ววิธีการอบแห้งไม่มีผลต่อค่าความขาวของข้าวอบแห้ง พิจารณาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งพบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นทำให้ข้าวมีค่าความขาวเพิ่มขึ้น ค่าความขาวของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าความขาวมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 50 องศาเซลเซียส ทำให้ข้าวมีค่าความขาวมากกว่า อย่างไรก็ตามการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้งสองแบบที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าความขาวไม่แตกต่างกันทางสถิติ เนื่องมาจากการอบแห้งในช่วงที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีอัตราการอบแห้งลดลงซึ่งส่งผลให้ไม่เกิดความแตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งนั้น โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Laohasawat (1998) ที่ทำการศึกษาผลของอุณภูมิในการอบแห้ง 50-70 องศาสเซลเซียส ต่อค่าความขาวของข้าวกึ่งสำเร็จรูป

สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองศึกษาระยะเวลาการอบแห้งข้าวกึ่งสำเร็จรูป พบว่า การอบแห้งในขั้นตอนแรกอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศต้องใช้เวลา 7 นาที จึงจะทำให้ข้าวมีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 30 และเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งขั้นที่ 2 โดยเครื่องอบแห้งแบบถาดใช้เวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30, 25 และ 20 นาที ตามลำดับ และเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งขั้นที่ 2 โดยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดใช้เวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15, 14 และ 12 นาที ตามลำดับ ซึ่งข้าวอบแห้งมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 และมีระดับเจลาติไนเซชันมากกว่า 90% ทุกสภาวะ

ผลการศึกษาค่าคุณภาพข้าวกึ่งสำเร็จรูปก่อนการคืนรูป พบว่า การอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดจะมีระดับเจลาติไนเซชันสูงกว่า และมีค่าการหดตัวต่ำกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด โดยการอบแห้ง

ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจะมีระดับเจลาติไนเซชัน และค่าการหดตัวสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในส่วนผลการศึกษาค่าคุณภาพข้าวกึ่งสำเร็จรูปหลังการคืนรูป พบว่า การอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดจะมีค่าอัตราการดูดน้ำคืนสูงกว่า มีค่าความแข็ง และค่าความขาวต่ำกว่าการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบถาด โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะมีค่าความแข็งต่ำกว่า ในทางกลับกันค่าอัตราการดูดน้ำคืน และค่าความขาวมีค่าสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 50 องศาเซลเซียส จากการพิจารณาคุณภาพข้าวก่อนและหลังการคืนตัว พบว่าการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดให้ผลการอบแห้งที่ดีกว่าการอบแห้งด้วยแบบสุญญากาศร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบถาด อย่างไรก็ตามควรมีการพัฒนาค่าความขาวของข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดเนื่องจากมีค่าต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนสำหรับดำเนินงานวิจัย และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

AOAC. (2000). The Association of Official Anallytical Chemistry. (16th ed.). Virginia: Arlington.

Laohasawat, K. (1998). Production instant rice technology. (1st ed.). Biological science program. Science service. Ministry of science and technology. Bangkok. 52 pages. (in Thai)

National Bureau of Agricultural Commudity and Food Standards (ACFS), (2003). *Instant product.* Ministry of agriculture and co-operatives. Thailand. (in Thai)

Nivikul, A. (2004). *Rice: Science and technology.* Kasetsart university. Bangkok. 366 pages. (in Thai)

Tamaisuk, P. (2003). *Cooked rice drying for producting instant rice*. School of Energy, Environment and Materials. King Mongkut's University Technology of Thonburi. 118 pages. (in Thai)

Taweerattanapanish, A., Soponronnarit, S., Wetchakama, S., Kongseri, N. and Wongpiyachon, S. (1999). Effects of drying on head rice yield using fluidization technique. *Drying Technology, 17*(1-2), 345-353.

Thanyawanich. S. (2002). The quality improvement of quick cooking rice production by freezing and microwave technique. Department of Food Science. King Mongkut's Institute Technology of Ladkrabang. 83 pages. (in Thai)

Samual, A. and Matz, S.M. (1991). *Chemistry and Technology of Cereal*. (92nd ed.). Verginia. 981 p.

Sangadkit, W. (2004). *Effects of preparation and drying processes on quality if instant rice*. Faculty of Engineering. King Mongkut's University Technology of Thonburi. 118 pages. (in Thai)

Smith, D.H., RAO, R.M., Lizzao, J.M. and Champagne. E. (1985). Chemical treatment and process modification for producing improved quick-cooking rice. *Journal of Food Science, 50*(4), 926-931.

Samityothin, S. (1999). *Study of Industrial scale paddy drying by fluidization technique*. School of Energy, Environment and Materials. King Mongkut's University Technology of Thonburi. 126 pages. (in Thai)

Seremet (Ceclu), L., Botez, E., Nistor, O., Andronoiu, D.G. and Mocanu, G. (2016). Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices. Food Chemistry, *195*, 104–109.

Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A., Jirajindalert, A. and Taechapairoj, C. (2006). Parboiling brown rice using super heated steam fluidization technique. *Journal of Food Engineering, 75*(3), 423–432.

Wang, H., Zhang, M. and Adhikari, B. (2015). Drying of shiitake mushroom by combining freeze-drying and mid-infrared radiation. Food and Bioproducts Processing, *94*, 507–517.

Yimto, C. (2007). *Food preservation*. (1st ed.). Bangkok: Odeon Strore. 216 pages. (in Thai)