

ผลของกระบวนการทำแห้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของครีมเทียมไขมันต่ำจากแป้งข้าว

Effect of Drying Processes on Physicochemical Properties of

Low Fat Non-Dairy Cream Powder from Rice Flour

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ^{1*}, ณัฐฐิกา ศิลาลาย¹, กมลพร ฉายสุริยะ¹ และ ชลธิรา สารวงษ์²Tunyaporn Sirilert^{1*}, Nattiga Silalai¹, Kamloporn Chaysuriya¹ and Choltira Sarawong²¹ ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม² ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ¹ Department of Food Technology, Faculty of Science, Siam University² Department of Food Technology and Nutrition, Faculty of Home Economics Technology,

Rajamangala University of Technology Krungthep

Received : 15 February 2017

Accepted : 2 June 2017

Published online : 16 June 2017

บทคัดย่อ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำแป้งข้าวมาทดแทนการใช้ไขมันพืชบางส่วนในการผลิตครีมเทียมไขมันต่ำ โดยแป้งข้าวสองชนิด คือ แป้งข้าวตราใบหยก และแป้งข้าวตราเพชรพานทอง ถูกนำมาใช้ในการผลิตครีมเทียมไขมันต่ำด้วยวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum drying) และแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) และเปรียบเทียบกับครีมเทียมไขมันต่ำทางการค้า จากผลการทดลองพบว่าปริมาณอะไมโลสของแป้งข้าว 2 ชนิด มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณอะไมโลสของแป้งข้าวตราใบหยกสูงกว่าแป้งข้าวตราเพชรพานทอง ซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization temperature) ที่สูงกว่าและค่าความหนืดที่ต่ำกว่าในแป้งข้าวตราใบหยก และเมื่อแปรปริมาณความเข้มข้นของแป้งข้าวทั้ง 2 ชนิด ที่ระดับร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก พบว่า สารละลายแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 จะให้อุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันและความหนืดที่ต่ำกว่าสารละลายแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 จากการศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง และแบบแช่เยือกแข็งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของครีมเทียมจากแป้งข้าวพบว่าวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะให้ผงครีมเทียมที่สว่างกว่าวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง และค่าการละลายของครีมเทียมที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าใกล้เคียงกับทางการค้า และสูงกว่าการทำแห้งแบบลูกกลิ้งซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของครีมเทียมไขมันต่ำ โดยครีมเทียมไขมันต่ำจากแป้งข้าวที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ เกาะกันเป็นก้อน และเป็นร่วน มากกว่าครีมเทียมไขมันต่ำจากแป้งข้าวที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ดังนั้นครีมเทียมไขมันต่ำจากแป้งข้าวที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้คุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับครีมเทียมไขมันต่ำทางการค้ามากที่สุด

คำสำคัญ : ครีมเทียมไขมันต่ำ แป้งข้าว การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เครื่องดื่มสำเร็จรูป

*Corresponding author. E-mail : tunyapornfood@gmail.com

Abstract

This research, rice flour was used to replace partial vegetable oil for producing non-dairy creamer in the present study. Two types of rice flour, “Bai Yok” and “Petchpanthong”, were used to produce non-dairy cream powder via drum drying and freeze drying processes compared to commercial non-dairy cream powder. Results showed that amylose content of rice flour between two brands was significantly different ($p < 0.05$). Amylose content of rice flour “Bai Yok” was higher than those of rice flour “Petchpanthong”, which was related to high gelatinization temperature and low viscosity in rice flour “Bai Yok”. As concentration of rice flour was adjusted, the results showed that gelatinization temperature and viscosity of 10% (w/w) rice flour concentration was lower than those of 15% (w/w) rice flour concentration. Effect of drying methods on physicochemical properties and sensory attributes of non-dairy cream powder from rice flour was also studied. It showed that the lightness of non-dairy cream powder with rice flour was higher in freeze drying process (F) than in drum drying process (D). Solubility of the non-dairy cream powder with rice flour obtained from freeze-drying process was closed to commercial and higher than that from drum-drying process. This was related to morphological characteristics. The morphology of non-dairy cream powder with freeze-drying process was irregularly, flaky and thick shapes with high porosity as compared to non-dairy cream powder with drum-drying process. Therefore, attributes of the non-dairy cream powder with 10% (w/w) rice flour produced by a freeze dryer was close to commercial non-dairy cream powder.

Keywords : low fat non-dairy cream, rice flour, freeze drying, drum drying, 3-in-1 drinking

บทนำ

ผลิตภัณฑ์ครีมเทียม (Non-dairy creamer) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากไขมันพืช ซึ่งปัจจุบันได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะกลุ่มของเครื่องดื่มสำเร็จรูป เช่น โกโก้ และกาแฟ เป็นต้น เนื่องจากครีมเทียมช่วยเพิ่มความกลมกล่อมและความหวานมันในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว การพัฒนาครีมเทียมในอุตสาหกรรมอาหารให้มีคุณสมบัติที่ดีนั้น นอกจากวัตถุดิบต้องมีคุณภาพที่ดีแล้ว ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมที่ดีจะต้องมีลักษณะสีขาวนวล กลิ่นรสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยไม่เกิดการแยกตัวของไขมัน (Oiling off) เนื่องจากผลิตภัณฑ์อิมัลชันประกอบด้วยส่วนของน้ำและน้ำมัน ปัญหาของการเกิดการแยกชั้นทั้งสองส่วนเกิดจากการรวมตัวของเม็ดไขมันที่มีขนาดใหญ่ในกระบวนการผลิต ดังนั้นการทำให้ไขมันมีขนาดเล็กลงรวมทั้งการใช้สารสเตบิลไลเซอร์ และสารอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกันจะสามารถทำให้อนุภาคของไขมันกระจายตัวมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำได้ (Qian & McClements, 2011) ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้สารดังกล่าวมากกว่าหนึ่งชนิดในการผลิตผลิตภัณฑ์ เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส กัวร์กัม และโลคัสบีนกัม เป็นต้น นอกจากนี้อิมัลชันที่ดียังต้องใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ในการปรับปรุงคุณสมบัติ เพื่อให้เกิดความคงตัวรวมทั้งลดแรงตึงผิว (surface tension) ช่วยป้องกันอิมัลชันไม่ให้แยกชั้น (Dickinson, 2009) โดยจะทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสทั้งสองเฟสหรือส่งเสริมการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดน้ำมัน ในเฟสต่อเนื่องได้อย่างสม่ำเสมอ ปัจจุบันมีสารอิมัลซิไฟเออร์ทางการค้าที่ถูกนำมาใช้มากมาย และที่รู้จักกันอีกชนิดหนึ่ง คือ N-CREAMER 46 ที่ผลิต

จากแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวเหนียวดัดแปร มีลักษณะเฉพาะตัวด้านความคงตัวของอิมัลชันที่ดี และละลายได้ในน้ำเย็น เมื่อให้ความร้อนที่ 160 องศาฟาเรนไฮด์ หรือ 71 องศาเซลเซียส จะทำให้โมเลกุลเกิดการกระจายตัวได้มากขึ้น ซึ่งจะเหมาะสำหรับอิมัลชันที่ต้องการความเสถียร นำมาประยุกต์ใช้ในอาหารผงที่ผ่านกระบวนการโดยใช้เครื่อง spray dry ผลิตภัณฑ์ครีมกาแฟหรือใช้ในระบบของเหลวอิมัลชัน เครื่องดื่มอิมัลชัน สลัด และอิมัลชันประเภท oil-in-water ชนิดต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้สารที่อยู่ในกลุ่มโพลีออกซีเอทิลีน ซอพิแทน โมโนสเตียเรท เช่น Tween 20 ก็จัดเป็นอิมัลซิไฟเออร์ในประเภทโพลีซอลเบท (Polysorbate) ประกอบด้วยซอลบิทอล (Sorbitol) เกาะอยู่กับกรดไขมัน ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัว และโครงสร้างมีกลุ่มของโพลีออกซีเอทิลีน (Polyoxyethylene group) จับอยู่กับซอลบิทอลจึงส่งผลให้มีความสามารถในการละลายในน้ำได้ดี (Müller *et al.*, 2008) แต่เนื่องจากปัจจุบันครีมที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นครีมเทียมที่ไม่ได้ผลิตมาจากนม มีส่วนประกอบจากมันเนยแล้วยังประกอบด้วยไขมันพืช เช่น ไขมันมะพร้าว มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวค่อนข้างสูง ส่งผลกระทบต่อระดับปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในร่างกายผู้บริโภค โดยมีรายงานว่าน้ำมันมะพร้าวจะลดปริมาณของ High density lipoprotein (HDL) ในขณะที่เดียวกันจะไปลดระดับของไตรกลีเซอไรด์ลง ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับโคเลสเตอรอลในเลือดอย่างมีนัยสำคัญ (Mann *et al.*, 1995; Nevin & Rajamohan, 2004) ดังนั้นการนำวัตถุดิบชนิดอื่นมาทดแทนจึงมีบทบาท และมีแนวโน้มมากขึ้น โดยเฉพาะข้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย และเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาพัฒนาปรับปรุงคุณภาพให้เป็นผลิตภัณฑ์ครีมเทียมในหลายรูปแบบได้ เนื่องจากข้าวประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ มากมายที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยมีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบร้อยละ 70-80 เส้นใยอาหารร้อยละ 0.7-3.9 และไขมันร้อยละ 0.3-2.8 (Dickinson, 2009) ยังพบรายงานการศึกษาปริมาณไขมันโดยรวมของข้าว 5 สายพันธุ์ พบว่าข้าวพันธุ์ กข 15 มีปริมาณไขมันโดยรวมเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับร้อยละ 1.65 รองลงมาคือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี พันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณไขมันโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.21, 1.19, 0.72 และ 0.58 ตามลำดับ (Müller *et al.*, 2008) ซึ่งปริมาณไขมันส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ที่จัดเป็นกรดไขมันจำเป็น ได้แก่ กรดโอเลอิก (oleic acid) กรดลิโนลิก (linoleic acid) และกรดลิโนลินิก (linolenic acid) เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่า เมล็ดพืชที่มีไขมันสูงมักมีโปรตีนสูงด้วย (Sompong *et al.*, 2011) ทั้งนี้ปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันยังช่วยในการเพิ่มปริมาตรและความหนืดโดยรวมทั้งหมด ดังนั้นการนำข้าวมาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจึงมีแนวโน้มมากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างโอกาสให้กับผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่ของวัตถุดิบข้าวในประเทศไทย ดังนั้นในงานวิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาครีมเทียมจากข้าว โดยศึกษาชนิดของสารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติทางด้านประสาทสัมผัสของครีมเทียมจากข้าว ซึ่งอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบันได้มีการพัฒนาครีมเทียมให้มีคุณสมบัติและคุณภาพที่ดีขึ้น และดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคมากขึ้น ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะพัฒนาครีมเทียมจากแป้งข้าวเพื่อลดการใช้ปริมาณน้ำมันรำข้าวซึ่งมีมูลค่าสูง โดยศึกษาถึงชนิดและปริมาณของแป้งข้าวในการผลิตครีมเทียมที่เปรียบเทียบกับกระบวนการทำแห้งแบบต่างๆ ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างสารละลายแป้งข้าวที่ใช้ในการผลิตครีมเทียมไขมันต่ำ

แป้งข้าวทางการค้าสองชนิดที่นำมาใช้ในการศึกษาคั้งนี้ คือ แป้งข้าวเจ้า (ตราใบหยก) และแป้งข้าวเจ้าดอกมะลิ 105 (ตราเพชรพานทอง) โดยเตรียมแป้งข้าวทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 ดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นนำสารละลายน้ำแป้งมาให้ความร้อน ณ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส กวนผสมด้วยเครื่องกวนผสมที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 25 นาที แล้วทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว จนสารละลายน้ำแป้งมีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เติมน้ำมันรำข้าว สารให้ความคงตัว CMC และ N-CREAMER 46 กวนผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นทำการเติมโปรตีนถั่วเหลือง (soy protein) และมอลโตเด็คซ์ตริน (maltodextrin DE16) กวนผสมด้วยเครื่องกวนต่อ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นผสมด้วยเครื่องไฮโมจิโนเซอร์ (ULTRA-TURRAX รุ่น T 25 basic) ที่ความเร็วสูง 19,000 รอบต่อนาที โดยควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และนำมาพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที (Sirilert *et al.*, 2013)

ตารางที่ 1 สูตรในการผลิตสารละลายครีมเทียมจากแป้งข้าว

ส่วนผสม	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
แป้งข้าวเจ้า (ตราใบหยก)	10	15	-	-
แป้งข้าวเจ้าหอมดอกมะลิ 105 (ตราเพชรพานทอง)	-	-	10	15
น้ำ	71	71	71	71
CMC	0.05	0.05	0.05	0.05
N-Creamer 46	3	3	3	3
Soy Protein	0.95	0.95	0.95	0.95
น้ำมันรำข้าว	5	5	5	5
Maltodextrin	10	5	10	5

นำตัวอย่างวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีคือ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน ปริมาณเส้นใย ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) และปริมาณอะไมโลส (Juliano, 1971)

2. ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของสารละลายครีมเทียมจากแป้งข้าว

นำสารละลายครีมเทียมจากแป้งข้าวที่ได้ในแต่ละสูตรมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ดังนี้ อุณหภูมิการเกิดเจลาคติไนเซชันและความหนืดโดยเครื่อง Rapid visco analyzer (model RVA SUPUR 3) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total Soluble Solid; TSS) ด้วยเครื่อง hand refractometer (model MC-RHB) ความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability; ES) ตัดแปลงจาก Demetriades and McClements (1998) และตรวจสอบชนิดของอิมัลชัน โดยวิธีการละลายและทดสอบด้วยกระดาษกรองขุบสารละลายโคบอลต์คลอไรด์ (Sirilert *et al.*, 2013)

3. ศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งต่อสมบัติทางกายภาพของครีมเทียมจากข้าว

คัดเลือกสูตรที่เหมาะสม จากคุณสมบัติทางกายภาพดังที่กล่าวมาข้างต้น มาศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งของสารละลายครีมเทียมจากแป้งข้าว โดยเปรียบเทียบกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) และกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum drying) ดังนี้

ในการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) สารละลายครีมเทียมจากข้าว ปริมาตร 250 มิลลิลิตรถูกเทใส่ถาดของเครื่องและนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็งเข้าเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (ยี่ห้อ CHRIST รุ่น Alpha 1-4 LDplus ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่อุณหภูมิ -51 องศาเซลเซียส ความดัน 0.001 mBar เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Caparino *et al.*, 2012) เก็บครีมเทียมไขมันต่ำจากข้าวที่ได้ใส่ถุงอะลูมิเนียมพอยด์ปิดสนิท

สำหรับการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum drying) นำสารละลายครีมเทียมจากข้าว ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (ยี่ห้อ Since OFM 1997 รุ่น DOFM 19/26 ประเทศไทย) เทสารละลายตัวอย่างระหว่างลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูก ที่มีอุณหภูมิลูกกลิ้งเท่ากับ 140°C ที่ระดับความเร็วรอบลูกกลิ้งที่ 0.5 รอบต่อนาที (Caparino *et al.*, 2012) เมื่อสารละลายครีมเทียมแห้ง ใบบิดของเครื่องจะทำการชูดตัวอย่างที่ติดอยู่บนลูกกลิ้งออกมาเป็นผง ลงบนถาดรอง ทำการเก็บครีมเทียมไขมันต่ำจากข้าวที่ได้ใส่ถุงอะลูมิเนียมพอยด์ปิดสนิท

นำครีมเทียมไขมันต่ำจากแป้งข้าวที่ผ่านการทำแห้งแบบทั้ง 2 วิธีไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี-กายภาพ คือ ค่า water activity ด้วยเครื่องวัด a_w (model Series 3 TE) ค่าสี (Color analysis) ด้วยเครื่องวัดค่าสี CIE ระบบ L*, a* และ b* (Hunterlab รุ่น Color flex) ในการวิเคราะห์จะทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ลักษณะโครงสร้างของอนุภาคผงครีมเทียมจากแป้งข้าว (morphology) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) กำลังขยาย 2000x และ 2500x โดยใช้กำลังไฟฟ้า 10 kV และขนาดอนุภาคของผงด้วยเครื่อง Laser Particle size distribution analyzer (model Mastersizer 3000) ขณะที่ความสามารถในการดูดความชื้น (Hygroscopicity) และการละลาย (Solubility) และค่าความหนาแน่นรวม (Bulk density) ของครีมเทียมไขมันต่ำจากแป้งข้าว สามารถวัดได้โดยการดัดแปลงตามวิธีของ Caparino *et al.* (2012)

4. ศึกษาความสามารถในการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ครีมเทียมไขมันต่ำจากแป้งข้าว

การคืนรูป (Reconstitution) ของครีมเทียมไขมันต่ำทุกสิ่งทดลองจะพิจารณาจากค่าความสามารถในการเปียกน้ำ (Wettability) และความสามารถในการจมตัว (Sinkability) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Sulieman *et al.* (2013)

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ค่าทางเคมีกายภาพ ในทุกสิ่งทดลองจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ ข้อมูลจะบันทึกด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตรวจสอบความแตกต่างด้วย DMRT (Duncan's Multiple Range Test) โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 16

ผลวิจัยและวิจารณ์ผล

1. องค์ประกอบทางเคมีกายภาพของแป้งข้าว

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าทั้ง 2 ชนิด คือ แป้งข้าวเจ้าตราใบหยก และแป้งข้าวเจ้าดอกมะลิ 105 ตราเพชรพานทอง ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ของปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และเถ้าของแป้งข้าวทั้ง 2 ชนิด แต่พบความแตกต่างของปริมาณอะไมโลส โดยแป้งข้าวเจ้าตราใบหยกมีปริมาณอะไมโลสเท่ากับร้อยละ 28.40 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มปริมาณอะไมโลสสูงคือ มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 25 ขณะที่แป้งข้าวเจ้าตราเพชรพานทอง มีปริมาณอะไมโลสเท่ากับร้อยละ 17.92 จะจัดอยู่ในกลุ่มปริมาณอะไมโลสต่ำที่มีปริมาณเท่ากับร้อยละ 10-19 (Kumar & Khush, 1986)

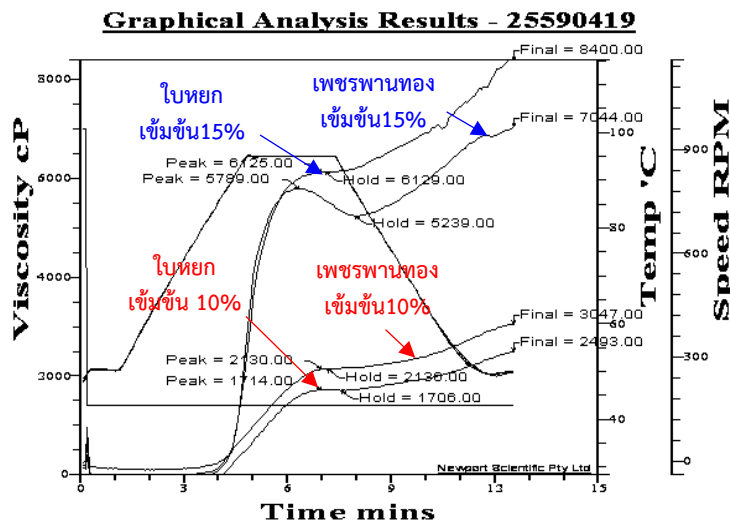
2. ชนิดและปริมาณของแป้งข้าวในการผลิตครีมเทียม

ผลของอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันของสารละลายครีมเทียมจากแป้งข้าวตราใบหยก และตราเพชรพานทอง แสดงให้เห็นว่าแป้งทั้งสองชนิดให้อุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันใกล้เคียงกัน (ช่วงระหว่าง $83.4-86.8^{\circ}\text{C}$) แต่เมื่อแปรผันที่ปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย พบความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) ของแป้งข้าวเจ้าตราใบหยก โดยที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 15 ให้อุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันสูงกว่าความเข้มข้นร้อยละ 10 ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันสูงมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสสูงตามลำดับ (Wansuksri *et al.*, 2005) ขณะที่ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มีความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) ของชนิดและปริมาณความเข้มข้น โดยสารละลายครีมเทียมจากแป้งข้าวตราเพชรพานทอง มีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าตราใบหยกที่ให้ค่าความหนืด สูงสุดมากกว่า อาจเป็นผลมาจากโครงสร้างอะไมโลสของสตาร์ชที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมันทำให้โมเลกุลอะไมโลสมีลักษณะโครงสร้างเป็นเกลียวม้วน ส่งผลให้โครงสร้างของสตาร์ชมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายสตาร์ชในกลุ่มที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจึงเกิดที่อุณหภูมิสูงกว่า (Yoshimoto *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2008) ขณะที่ปริมาณความเข้มข้นร้อยละ 15 จะให้ค่าความหนืดสูงสุดมากกว่าความเข้มข้นร้อยละ 10 ของแป้งทั้งสองชนิด เนื่องจากความเข้มข้นของแป้งต่ำความหนาแน่นของเม็ดแป้งจะมีน้อย ส่งผลให้ระยะห่างระหว่างเม็ดแป้งหรือพื้นที่ว่างในสารละลายมีค่ามาก ดังนั้นแม้ว่าการให้ความร้อนแก่สารละลายจะทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว แต่ค่าความหนืดของแป้งสูงจะเพิ่มขึ้นไม่มากนัก (Thaunkhong *et al.*, 2014) ดังภาพที่ 1

ตารางที่ 2 การเกิดเจลลิตีในเซชันและความหนืดของสารละลายครีมเทียมจากแป้งข้าว

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชัน ($^{\circ}\text{C}$)	ความหนืดสูงสุด (cP)
ใบหยก 10 %	83.4 ± 0.4^b	1628 ± 82.18^c
ใบหยก 15 %	86.8 ± 0.5^a	6117 ± 33.90^a
เพชรพานทอง 10 %	84.1 ± 1.2^b	2090 ± 37.68^b
เพชรพานทอง 15 %	84.4 ± 0.4^b	5750 ± 56.09^a

หมายเหตุ: ^{a,b,c} คืออักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 1 อุณหภูมิเจลาตีโนเซชันและความหนืดของสารละลายครีมเทียมจากแป้งข้าวที่ชนิดและความเข้มข้นต่างๆ

จากการศึกษาค่าของแข็งที่ละลายได้ และค่าความคงตัวของสารละลายครีมเทียมจากแป้งข้าวทั้งสองชนิด พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และค่าความคงตัวขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของสารละลายแป้งที่ใช้ โดยที่สารละลายแป้งตรา ใบหยกเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 17 และ 20 °Brix ในขณะที่มีค่าความคงตัวเท่ากับ ร้อยละ 82 และ 91 ตามลำดับ ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสารละลายแป้งตราเพชรพานทองเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 มีค่าเท่ากับ 19 และ 22 °Brix ขณะที่ค่าความคงตัวเท่ากับร้อยละ 98 และ 100 ตามลำดับ โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของแป้งข้าวทั้งสองชนิดจะส่งผลต่อค่าของแข็งที่ละลายได้และค่าความคงตัวที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปริมาณ ของแข็งที่ละลายได้และค่าความคงตัวนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wiset (2012) เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจน และการสร้างร่างแหสามมิติของอะไมโลสทำให้น้ำในโครงสร้างไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ จึงทำ ให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น และความคงตัวสูงขึ้น (Bahramparvar & Tehrani, 2011) เมื่อทำการวิเคราะห์ชนิดของ อิมัลชัน พบว่าสารละลายครีมเทียมจากแป้งข้าวทุกสิ่งทดลอง เป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil-in-water emulsion) ตรวจสอบได้จากการทดสอบด้วยวิธีการหยดอิมัลชันของตัวอย่างลงบนกระดาษกรองชุบสารละลายโคบอลต์คลอไรด์เข้มข้น 20% (Rattanapanon, 2014)

ดังนั้นจากข้อมูลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพข้างต้น พบความแตกต่างเพียงเล็กน้อยของชนิดและปริมาณแป้ง ข้าว คืออุณหภูมิการเกิดเจลาตีโนเซชันและความหนืด แต่ในการพัฒนาครีมเทียมจากแป้งข้าวเพื่อประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ เครื่องดื่มร้อน จำเป็นต้องให้ครีมเทียมที่ได้มีสมบัติในการเกิดเจลาตีโนเซชันต่ำและมีค่าความข้นหนืดน้อยเมื่ออยู่ในอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงคัดเลือกสารละลายครีมเทียมจากแป้งข้าวทั้งสองชนิดคือตราใบหยก และเพชรพานทอง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10

3. ผลของกระบวนการทำแห้งต่อสมบัติทางกายภาพของครีมเทียมจากข้าว

การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของครีมเทียมไขมันต่ำผงจากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying; F) และแบบลูกกลิ้ง (Drum drying; D) กับครีมเทียมผงทางการค้าตราคอฟฟี่เมต (Control) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะครีมเทียมจากแป้งข้าวผ่านกระบวนการทำแห้งต่างๆที่ความเข้มข้นร้อยละ 10

หมายเหตุ: ครีมเทียมไขมันต่ำทางการค้า (Control), ครีมเทียมไขมันต่ำจากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของแป้งตราโบหยก (F1), ครีมเทียมไขมันต่ำจากกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งของแป้งตราโบหยก (D1), ครีมเทียมไขมันต่ำจากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของแป้งตราเพชรพานทอง (F2) และครีมเทียมไขมันต่ำจากกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งของแป้งตราเพชรพานทอง (D2)

จากการทดลองพบความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) ของกระบวนการทำแห้งต่อค่าปริมาณน้ำอิสระ โดยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่าแบบลูกกลิ้งเพียงเล็กน้อย (ตารางที่ 3) ขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีค่าปริมาณน้ำอิสระสูงสุดเท่ากับ 0.43 ทั้งนี้ค่าดังกล่าวในทุกสิ่งทดลองยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอาหารของผลิตภัณฑ์กลุ่มอาหารแห้งที่กำหนดไว้คือ ต้องมีค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า 0.6 (James, 2000)

จากค่าความสว่าง (L^*) พบตัวอย่างควบคุมให้ค่าความสว่างสูงสุด รองลงมาคือตัวอย่างสารละลายครีมเทียมจากแป้งที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และครีมเทียมจากแป้งทุกชนิดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิลูกกลิ้งสูงถึง 140 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ครีมเทียมจากแป้งข้าวที่ได้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่สร้างสารประกอบสีน้ำตาลที่อุณหภูมิสูง และจากองค์ประกอบของน้ำตาลรีดิวซ์ทำปฏิกิริยากับโปรตีนในแป้งข้าว (Sirisoontarak & Noomhorm, 2007)

ตารางที่ 3 ค่าสีของครีมเทียมทางการค้าและครีมเทียมแป้งข้าวที่ผ่านกระบวนการทำแห้งต่างๆ

ตัวอย่าง	a_w	L^*	a^*	b^*
Control	0.43±0.03 ^a	95.01±0.08 ^a	0.21±0.07 ^e	10.76±0.27 ^e
F1	0.12±0.02 ^{cd}	86.02±0.08 ^c	1.09±0.13 ^c	15.90±0.17 ^c
F2	0.10±0.01 ^d	87.99±0.06 ^b	0.42±0.08 ^d	15.19±0.13 ^d
D1	0.14±0.01 ^{bc}	85.98±0.47 ^c	1.75±0.06 ^b	16.55±0.59 ^b
D2	0.16±0.01 ^b	84.03±0.14 ^d	3.08±0.01 ^a	19.87±0.17 ^a

หมายเหตุ: ^{a,b,c,d} คือ อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ครีมเทียมไขมันต่ำทางการค้า (Control), ครีมเทียมไขมันต่ำจากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของแป้งตราโบหยก (F1), ครีมเทียมไขมันต่ำจากกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งของแป้งตราโบหยก (D1), ครีมเทียมไขมันต่ำจากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งของแป้งตราเพชรพาทอง (F2) และครีมเทียมไขมันต่ำจากกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งของแป้งตราเพชรพาทอง (D2)

นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความหนาของฟิล์มบนผิวลูกกลิ้งและค่าความหนืด โดยตัวอย่างที่มีค่าความหนืดต่ำจะให้ความหนาของฟิล์มบนผิวลูกกลิ้งที่บางกว่า เมื่อสัมผัสกับความร้อนจะทำให้ตัวอย่างได้รับความร้อนให้สีน้ำตาลเข้มขึ้น ส่วนตัวอย่างครีมเทียมที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ใช้อุณหภูมิต่ำ -51 องศาเซลเซียส ภายใต้สุญญากาศสูง จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยลง (Patrsatapornkul, 2004)

จากการทดลองพบว่าค่าความหนาแน่น (Bulk density) ในทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับตัวอย่างควบคุม โดยค่าความหนาแน่นจะให้ค่าสูงสุด คือ 1.48 รองลงมาคือ ครีมเทียมจากแป้งข้าวทั้งสองชนิดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ในขณะที่ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างครีมเทียมไขมันต่ำจากแป้งข้าวทั้งสองชนิดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าต่ำ (ตารางที่ 4) ซึ่งค่า Bulk density จะสัมพันธ์กับ Compressibility Flowability Hausner ratio (HR) และขนาดอนุภาคของผงที่ได้ โดยขนาดอนุภาคในเชิงปริมาตร ค่า $D_{4,3}$ ของครีมเทียมไขมันต่ำจากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (83-88 μm) มีขนาดใหญ่กว่าครีมเทียมไขมันต่ำจากกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (75-76 μm) เนื่องจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะก่อให้เกิดรูอากาศ (porosity) ขนาดใหญ่ในระหว่างการระเหิดของน้ำแข็งภายในเซลล์ (Roos, 1995) จึงสอดคล้องกับสมบัติด้าน Wettability และ Sinkability ของครีมเทียมไขมันต่ำกรรมวิธีการทำแห้งที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามการที่ขนาดอนุภาคที่มีความเป็นรูพรุนมากนั้น คาดว่าจะสามารถเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสกับน้ำได้มากขึ้น ทำให้ตัวอย่างเปียกและจมได้เร็ว (Baldwin & Pearce, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติด้าน Wettability และ Sinkability ของครีมเทียมไขมันต่ำ

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพและขนาดอนุภาคของครีมเทียมทางการค้าและครีมเทียมแป้งข้าวที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying; F) และแบบลูกกลิ้ง (Drum drying; D)

ตัวอย่าง	สมบัติทางกายภาพ			
	Bulk density	Compressibility	Hausner ratio (HR)	ขนาดอนุภาค $D_{4,3}$ (μm)
Control	1.48±0.01 ^a	25.33±1.16 ^c	1.34±0.02 ^c	162.00±5.57 ^a
F1	1.12±0.13 ^c	45.67±0.58 ^a	1.58±0.15 ^b	88.73±3.11 ^b
F2	1.15±0.01 ^c	43.33±1.15 ^a	1.51±0.03 ^b	83.21±1.80 ^b
D1	1.32±0.01 ^b	36.33±6.35 ^b	1.74±0.05 ^a	75.63±1.62 ^c
D2	1.38±0.02 ^b	34.67±1.15 ^b	1.84±0.02 ^a	76.50±0.95 ^c

หมายเหตุ: ^{a,b,c,d} คืออักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากผลของกระบวนการทำแห้งทั้งสองชนิดต่อตัวอย่างครีมเทียมจากแป้งข้าวทูกสิ่งทดลอง แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตครีมเทียมทางการค้าใช้เครื่องมือที่ช่วยให้อนุภาคมีขนาดใหญ่และมีรูพรุนมาก จะทำให้มีความหนาแน่นต่ำ จึงสามารถละลาย และมีการไหลได้ดีกว่า ขณะที่ตัวอย่างครีมเทียมจากแป้งข้าวในการทดลองมีลักษณะเป็นผงที่มีการจับตัวกัน (cohesive powder) เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กและมีปริมาณไขมันอยู่ในส่วนประกอบ ส่งผลให้เกิดการจับรวมตัวกันได้ง่าย (Jiyipong, 2009) ซึ่งอาหารที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักสูง การเปียกของตัวอย่างมักจะมีแนวโน้มทำให้เกิดการจับเป็นก้อนแน่น โดยภายในยังคงมีผงอาหารแห้ง น้ำซึมผ่านได้ยาก การไหลของอาหารจึงเกิดขึ้นน้อย ดังนั้นการเพิ่มขนาดอนุภาคโดยนำผงมารวมกันอย่างหลวมๆ (Agglomeration) จะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำผ่านช่องว่างเกิดการละลายและให้อัตราการไหลได้ดีขึ้น (Baldwin & Pearce, 2005)

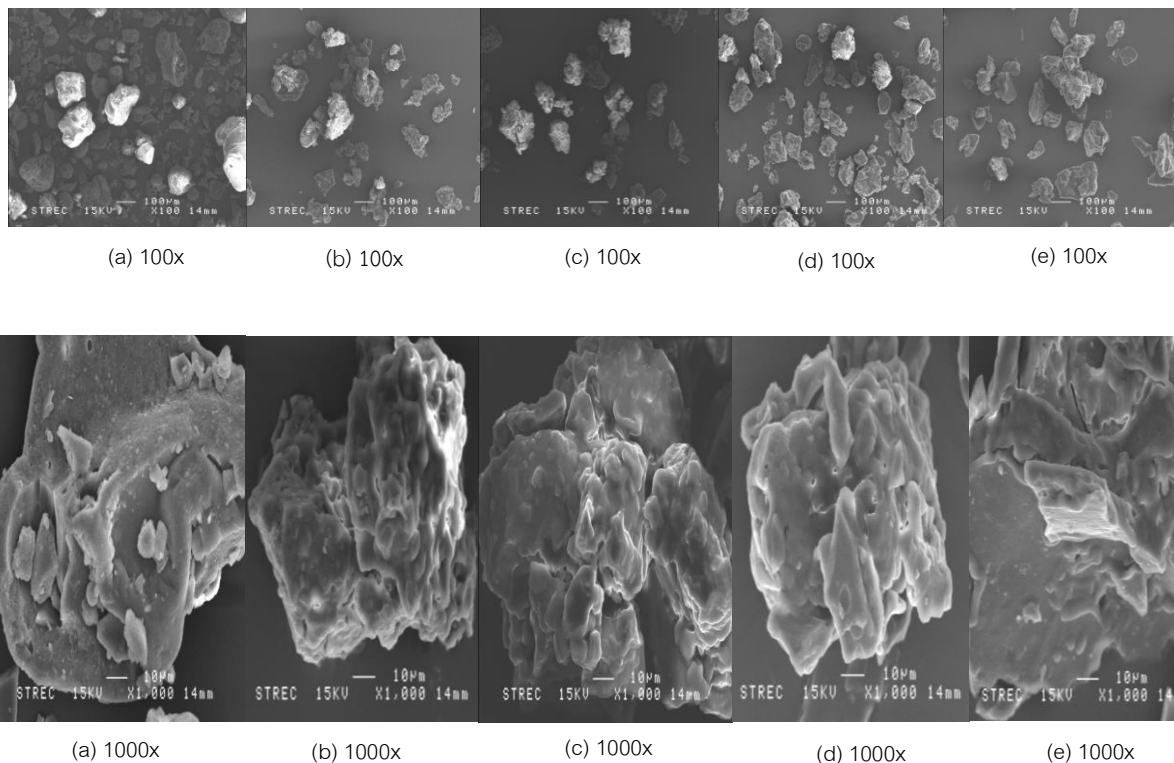
ตารางที่ 5 การดูดความชื้น และความสามารถในการละลายของครีมเทียมแป้งข้าวที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying; F) และแบบลูกกลิ้ง (Drum drying; D)

ตัวอย่าง	Hygroscopicity ^{ns} (%)	Solubility (%)
Control (ทางการค้า)	0.07±0.00	46.24±2.83 ^a
F1	0.07±0.01	45.14±0.61 ^a
F2	0.07±0.01	47.61±1.96 ^a
D1	0.07±0.00	38.99±1.54 ^b
D2	0.07±0.00	36.60±2.48 ^b

หมายเหตุ: ^{a,b,c,d} คืออักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

การดูดความชื้น (Hygroscopicity) ของครีมเทียมแป้งข้าวทั้งสองชนิดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งทั้งสองวิธี และตัวอย่างทางการค้า (Control) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ขณะที่ความสามารถในการละลายของครีมเทียมข้าวผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum drying) มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) กับครีมเทียมไขมันต่ำทางการค้าและครีมเทียมข้าวผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) โดยที่ครีมเทียมไขมันต่ำทางการค้าและครีมเทียมข้าวผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 5 ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการละลายขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมี ขนาด รูปร่างลักษณะโครงสร้างของอนุภาค ความหนาแน่นของอนุภาค และสถานะทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิในการละลาย (Monton *et al.*, 2014) จากการส่องกล้อง SEM เพื่อศึกษารูปร่างลักษณะโครงสร้างของครีมเทียมแป้งข้าว พบว่า ลักษณะโครงสร้างของครีมเทียมแป้งข้าวจากกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีลักษณะสัณฐานวิทยาที่ไม่แน่นอน ยึดเกาะกันเป็นก้อน มีขอบคมพื้นผิวขรุขระ และมีรูพรุนบนพื้นผิวมากกว่าครีมเทียมแป้งข้าวจากกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (ภาพที่ 3) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตครีมเทียมไขมันต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Haque and Roos (2006)



ภาพที่ 3 ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวและสัณฐานวิทยาของครีมเทียมไขมันต่ำจากแป้งข้าว (Morphology) ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) โดย Control (a), F1 (b), F2 (c), D1 (d), D2 (e) ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 1000 เท่า

การคืนรูปหรือการดูดน้ำกลับของครีมเทียมไขมันต่ำ ขึ้นอยู่กับปัจจัยของโครงร่างความเป็นรูพรุนของอนุภาคผง ขนาดของอนุภาค และความหนาแน่นโดยรวม ที่ส่งผลต่อค่าการคืนรูป (Reconstitution) ของครีมเทียมไขมันต่ำ (Tayeh, 2012) จากความสัมพันธ์ พบว่า ครีมเทียมไขมันต่ำจากแป้งข้าวที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีความสามารถในการละลายที่ใกล้เคียงกับครีมเทียมทางการค้า (ร้อยละ 46) คือ ร้อยละ 45-47 โดยเวลาในการทำ Wettability และ Sinkability ของครีมเทียมไขมันต่ำจากแป้งข้าวทั้งสองชนิดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 140.0 ± 17.1 วินาที ในขณะที่เวลาในการทำ Wettability และ Sinkability ของครีมเทียมไขมันต่ำจากแป้งข้าวทั้งสองชนิดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีค่าเท่ากับ 230.0 ± 17.3 วินาที และความสามารถในการละลายค่อนข้างต่ำกว่า คือ อยู่ในช่วงร้อยละ 36-38 จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ครีมเทียมไขมันต่ำที่ได้จากแป้งข้าวที่ต่างชนิดกันให้สมบัติทางกายภาพ เช่น ด้านสี ความหนาแน่น ขนาดอนุภาค และการละลายไม่แตกต่างกัน ในขณะที่กรรมวิธีการแปรรูปที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของครีมเทียมไขมันต่ำที่ได้จากแป้งข้าวทั้งสองชนิด

สรุปผลการวิจัย

แป้งข้าวทั้งสองชนิดมีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันใกล้เคียงกัน (ช่วงระหว่าง 83.4-86.8°C) การแปรปริมาณความเข้มข้นของสารละลายแป้ง จะส่งผลต่ออุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชัน โดยสารละลายแป้งที่เข้มข้นร้อยละ 15 จะมีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันสูงกว่าความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และค่าความคงตัวจะแปรผันตามปริมาณความเข้มข้นของสารละลายแป้ง โดยความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าความคงตัว และความหนืดมากขึ้น ซึ่งสารละลายครีมเทียมจากแป้งทั้งสองชนิดที่ปริมาณความเข้มข้นร้อยละ 10 เหมาะต่อการนำมาแปรรูปเป็นครีมเทียมไขมันต่ำ โดยผ่านการแปรรูปด้วยกระบวนการทำให้เป็นผงด้วยวิธีที่ต่างกัน 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง พบว่า กรรมวิธีการแปรรูปที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและลักษณะโครงสร้างของอนุภาคผงที่ได้แตกต่างกันด้วย คือ ครีมเทียมไขมันต่ำจากแป้งข้าวที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นผงแบบแช่เยือกแข็งจะให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า และค่าความหนาแน่นรวมที่ต่ำกว่าครีมเทียมไขมันต่ำจากแป้งข้าวที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นผงแบบลูกกลิ้ง

นอกจากนี้ครีมเทียมจากแป้งข้าวที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นผงแบบแช่เยือกแข็งจะให้สีที่สว่างกว่าแบบลูกกลิ้ง และลักษณะโครงสร้างของครีมเทียมแป้งข้าวผงจากกระบวนการทำให้เป็นผงแบบแช่เยือกแข็งจะให้ลักษณะสัณฐานวิทยาไม่แน่นอน ยึดเกาะกันเป็นก้อน มีขอบคม และรูพรุนค่อนข้างมาก ซึ่งส่งผลต่อการสมบัติละลายที่สูงขึ้น โดยครีมเทียมแป้งข้าวที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นผงแบบแช่เยือกแข็งมีการละลายที่สูงและใกล้เคียงกับทางการค้า ดังนั้น ครีมเทียมไขมันต่ำจากแป้งข้าวทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่ผ่านการทำให้เป็นผงแบบแช่เยือกแข็งให้คุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับครีมเทียมไขมันต่ำทางการค้ามากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. (2000). Official methods of analysis of AOAC international. 17th ed. Virginia, USA. Association of Official Analysis Chemists.
- Bahramparvar, M., & Tehrani, M.M. (2011). Application and functions of stabilizers in ice cream. *Food Reviews International*, 27, 389–407.
- Baldwin, A., & Pearce, D. (2005). Milk Powder. In C. Onwulata. (Ed), *Encapsulated and powdered foods*. (pp. 387-434). New York: Taylor and Francis Group, LLC.
- Caparino, O.A., Tang, J., Nindo, C.I., Sablani, S.S., Power, J.R., & Fellman, J.K. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 135-148.
- Dickinson, E. (2009). Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloids*, 23(6), 1473-1482.
- Haque, K., & Roos, Y.H. (2006). Differences in the physical state and thermal behavior of spray-dried and freeze-dried lactose and lactose/protein mixtures. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 7(1-2), 62-73.
- James, J.M. (2000). *Modern Food Microbiology*. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland.

- Jiyipong, P. (2009). Development of Nondairy Creamer from Coconut Protein. Master Thesis, Kasetsart University. (in Thai)
- Juliano, B.O. (1971). A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science Today*, 16, 334-340.
- Kumar, I., & Khush, G.S. (1986). Genetics of amylose content in rice (*Oryza sativa* L). *Journal of Genetics*, 65(1), 1-11.
- Li, L., Jiang, H., Campbell, M., Blancoc, M., & Jane, J. (2008). Characterization of maize amylose-extender (ae) mutant starches. Part I: Relationship between resistant starch contents and molecular structures. *Carbohydrate Polymers*, 74(3), 396-404.
- Mann, C.J., Sutherland, W., Chisholm, A., & Skeaff, M. (1995). Effects of coconut oil, butter, and safflower oil on lipids and lipoproteins in persons with moderately elevated cholesterol levels. *The Journal of Lipid Research*, 36, 1787-1795.
- Monton, C., Kraisintu, K., Suksaeree, J. & Charoenchai, L. (2014). Flowability study of herbal powder for solid dosage form preparation. *Journal of Science and Technology*, 22(5), 743-754.
- Müller, C.M.O., Yamashita, F., & Laurindo, J.B. (2008). Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. *Carbohydrate Polymers*, 72(1), 82-87.
- Nevin, K.G., & Rajamohan, T. (2004). Beneficial effects of virgin coconut oil on lipid parameters and in vitro LDL oxidation. *Clinical Biochemistry*, 37(9), 830-835.
- Patrsatapornkul, P. (2004). Lyophilization Technology. *Keep Kool*, 11, 20-22. (in Thai)
- Qian, C., & McClements, D.J. (2011). Formation of nanoemulsions stabilized by model food-grade emulsifiers using high-pressure homogenization: Factors affecting particle size. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1000-1008.
- Rattanapanon, N. (2014). *Food Chemistry*. Bangkok: Odeon Store Publisher. (in Thai)
- Roos YH. 1995. Phase Transitions in Foods. San Diego, CA: Academic Press. 360 p.
- Sirilert, T., Khomlert, S. & Boonpim, S. (2013). Study on the properties of stabilizers and emulsifier in nondairy creamer from rice and food application. *Journal of Food Technology, Siam University*, 8(1), 21-34. (in Thai)
- Sirisoontarak, P., & Noomhorm, A. (2007). Changes in physicochemical and sensory-properties of irradiated rice during storage. *Journal of Stored Products Research*, 43(3), 282-289.
- Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S., Linsberger-Marti, G., & Berghofer, E. (2011). Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. *Food Chemistry*, 124(1), 132-140.

- Suliman, A.M.E., Abdalla, S. A., & Salih, Z. A. (2013). Effect of conventional and oven drying on the physicochemical properties of two tomato cultivars fruit powder. *Food and Public Health* 2013, 3(6), 346-351.
- Tayeh, N. (2012). Effect of Spray Drying Conditions and Food Additives on Qualities of Dried Goat Milk. Master Thesis, Prince of Songkla University. (in Thai)
- Thaunkhong, K., Uttapap, D., & Pancha-arnon, S. (2014). Study on paste behavior of native and modified Canna starches for use as a thickening agent. *KMUTT Research and Development Journal*, 37(1), 61-76. (in Thai)
- Wansuksri, R., Ninchan, B., Piyachomkwan, K., Santisopasri, V., Petchalanuwat, C., & Sriroth, K. (2005). Correlation between physico-chemical properties and molecular structure of rice starches. In *Proceedings of 43rd Kasetsart University Annual Conference: Animals, Agro-Industry*. (pp. 649-659). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Wiset, L. (2012). Factors affecting the cooking qualities of rice. *Burapha Science Journal*, 17(1), 172-180.
- Yoshimoto, Y., Tashiro, J., Takenouchi, T., & Takeda, Y. (2000). Molecular structure and some physicochemical properties of high-amylose barley starches. *Cereal Chemistry*, 77(3), 279-285. (in Thai)