

# ผลของวิธีการไม่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ ความหนืด และการแยกตัวของน้ำของแป้งกระจับ (*Trapa bispinosa*)

## Effect of Milling Methods on Physicochemical, Pasting Properties and Syneresis of Water Chestnut (*Trapa bispinosa*) Flour

วิจิตรา เหลี้ยวตระกูล\* และวชิรญา เหลี้ยวตระกูล

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

Wijitra Liaotrakoon\* and Vachiraya Liaotrakoon

Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Huntra, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000

Received: July 21, 2019; Accepted: August 16, 2019

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการไม่แป้งที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ ไม่เปียก ไม่แห้ง และไม่ผสมต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ ความหนืดและการแยกตัวของน้ำของแป้งกระจับ ผลจากการศึกษาพบว่าวิธีการไม่แป้งมีผลต่อสมบัติทางเคมีของแป้งกระจับ โดยแป้งกระจับไม่เปียกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด (ร้อยละ 87.74) แป้งกระจับไม่แห้งมีปริมาณไขมันและเถ้ามากที่สุด (ร้อยละ 1.89 และ 3.54 ตามลำดับ) ส่วนแป้งกระจับไม่ผสมมีปริมาณโปรตีนมากที่สุด (ร้อยละ 10.97) ( $p < 0.05$ ) แป้งกระจับมีปริมาณอะไมโลสสูงถึงร้อยละ 38.27 ขณะที่วิธีการไม่แป้งไม่มีผลต่อการละลายน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งกระจับ ( $p \geq 0.05$ ) วิธีการไม่แป้งมีผลต่อสมบัติความหนืดของแป้งกระจับ โดยแป้งกระจับไม่ผสมมีความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย ค่าความหนืดลดลง และค่าการคืนตัวสูงกว่าแป้งกระจับไม่เปียกและไม่แห้งตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) แป้งกระจับไม่ผสมมีการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งน้อยที่สุดแสดงถึงความคงตัวในการแช่เยือกแข็งและการละลายมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งกระจับไม่เปียกและไม่แห้ง ซึ่งสมบัติของแป้งกระจับที่ได้นั้น แป้งกระจับบนไม่ผสมมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเส้นและอาหารแช่เยือกแข็ง

คำสำคัญ : แป้งกระจับ; การไม่; สมบัติทางเคมีกายภาพ; สมบัติทางความหนืด; การแยกตัวของน้ำ

### Abstract

The objective of this study was to investigate the effect of milling methods (wet, dry and semi-dry milling) on physicochemical and pasting properties, and syneresis of water chestnut flour. It was

found that milling methods affected chemical compositions of water chestnut flour. The wet-milled water chestnut flour had the highest carbohydrate content (87.74 %). The dry-milled water chestnut flour had the highest fat and ash contents (1.89 and 3.54 %, respectively), and the semi-dry milled flour contained the highest protein content (10.97 %) ( $p < 0.05$ ). The water chestnut flour had a high amylose content (up to 38.27 %). On the other hand, these milling methods did not significantly affect the water solubility and swelling power of the flour ( $p \geq 0.05$ ). The milling methods affected the pasting properties of the flour significantly. The peak viscosity, final viscosity, breakdown and setback of semi-dry milled water chestnut flour were higher than those of the wet-milled and dry-milled flours, respectively ( $p < 0.05$ ). The syneresis of semi-dry milled water chestnut flour was the lowest, showing the highest freeze-thaw stability compared to the wet-milled and dry-milled flour. The semi-dry milled water chestnut flour has a potential to apply for noodle and frozen-food products due to its properties.

**Keywords:** water chestnut flour; milling; pasting property; physicochemical property; syneresis

## 1. คำนำ

กระฉับเป็นพืชน้ำล้มลุกพบมากในจังหวัดอ่างทอง สุพรรณบุรี พระนครศรีอยุธยา และชัยนาท ก้านใบพองตัวออกเพื่อช่วยพยุงตัวลอยเหนือน้ำ ลักษณะเป็นกอลอยน้ำ ผลหรือฝักกระฉับพันธุ์เขาแหลมมีลักษณะคล้ายหน่ว้วที่มีเขาออกมา 2 เขา เปลือกฝักเป็นเปลือกหนาและแข็งมีสีม่วงแดงถึงสีดำ ส่วนเนื้อด้านในเป็นก้อนขนาดใหญ่มีสีขาว คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อในฝักกระฉับสด 100 กรัม ให้พลังงาน 117 แคลอรี มีความชื้น 70 กรัม คาร์โบไฮเดรต 22.30-23.9 กรัม ซึ่งเป็นแป้ง 16 กรัม โปรตีน 4.4-4.7 กรัม ไขมัน 0.3 กรัม และมีวิตามินและแร่ธาตุ ได้แก่ วิตามินบีสอง วิตามินเอ ไนอาซิน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และเหล็ก รวมทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ซาโปนิน แอลคาลอยด์ และฟลาโวนอยด์ (บุญมา, 2550; Prafulla *et al.*, 2014)

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส โดยแป้งเป็นอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin) มีสัดส่วนขึ้นกับแป้งแต่ละชนิด

(Taggart, 2004) กระบวนการแปรรูปแป้งมีหลายวิธี แต่ละวิธีส่งผลทำให้ได้สมบัติของแป้งที่ต่างกัน ทำให้การนำแป้งไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างกันตามความต้องการของผู้บริโภค (สวนิต และคณะ, 2547; กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2550) แป้งนิยมใช้เป็นส่วนประกอบในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด มักทำหน้าที่เป็นสารให้ความชื้นหนืดและสารให้ความคงตัว ซึ่งมีผลโดยตรงกับเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย แป้งได้จาก การบดหรือไม่ส่วนต่าง ๆ ของพืชด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน จนได้แป้งที่มีลักษณะเป็นผงละเอียด วิธีการไม่แป้งนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมบัติทางความหนืดและสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง ส่วนใหญ่นิยมไม่แป้งด้วยวิธีไม่เปียก ไม่แห้ง และไม่ผสม โดยวิธีการไม่แป้งแบบไม่เปียกหรือไม่แห้ง นำวัตถุดิบมาทำความสะอาด แช่น้ำ และผ่านการไม่ด้วยเครื่องไม่พร้อมก้านน้ำในปริมาณที่เหมาะสม ทำให้ได้แป้งที่ละเอียดและสม่ำเสมอ ต่อจากนั้นจึงผ่านน้ำแป้งเข้าเครื่องแยกน้ำออกจากแป้ง นำเข้าเครื่องอบแป้งให้แห้ง จนเป็นผงแห้ง นำมาผ่านเข้าเครื่องบดแล้วร่อน เพื่อให้ได้แป้งที่มีขนาดสม่ำเสมอ

สำหรับการไม่แห้งเป็นการนำวัตถุดิบมาบดแห้งเป็นแป้งผงและร่อนผ่านเครื่องร่อน ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ใช้น้ำในการกระบวนการแปรรูปแป้ง ทำให้แป้งที่ได้จากการไม่แห้งมีลักษณะค่อนข้างหยาบ ส่วนการไม่แบบผสม เป็นกรรมวิธีการไม่ที่ผสมระหว่างไม่เปียกกับไม่แห้ง โดยนำวัตถุดิบหลังจากแช่น้ำจนนุ่มมาอบให้แห้ง นำมาบดละเอียด จากนั้นนำแป้งมาผ่านเข้าเครื่องร่อนแป้ง (วราทัศน์, 2539; ศันสนีย์ และคณะ, 2562) แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบ การเตรียมวัตถุดิบ และการไม่ที่ต่างกันส่งผลถึงสมบัติทางเคมีกายภาพ เคมีฟิสิกส์ ความหนืด และโครงสร้างของโมเลกุลสตาร์ชของแป้งที่ต่างกันไป โดยเฉพาะสมบัติความหนืดถือเป็นสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากของแป้ง พฤติกรรมความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวและต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของวัตถุดิบที่นำมาแปรรูปแป้ง (Prasad *et al.*, 2012; Liaotrakoon *et al.*, 2014; Asmeda *et al.*, 2015)

แป้งกระจับที่เตรียมโดยการการแช่แข็งและการลวก ผ่านกระบวนการการไม่แห้งและการไม่เปียกด้วยเครื่องไม่ stone mill และ ball mill มีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้ง โดยการไม่แห้งทำให้แป้งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าไม่เปียก และวิธีการไม่เปียกโดยแช่แข็งวัตถุดิบร่วมกับใช้เครื่องไม่ stone mill ทำให้แป้งมีความหนืดและความแข็งแรงของเจลสูงที่สุด (ขจี, 2543) ส่วนสตาร์ชจากกระจับมีปริมาณอะไมโลสสูง (ร้อยละ 29.62) ทำให้มีค่าความหนืดลดลงต่ำ และมีการคินตัวสูง (Tulyathan *et al.*, 2005) แป้งข้าวเหนียวไม่เปียกมีปริมาณโปรตีน ปริมาณผลผลิต ปริมาณสตาร์ชที่ถูกทำลาย (damaged starch) น้อยกว่า แต่มีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดมากกว่าแป้งไม่แห้งและไม่ผสม ( $p < 0.05$ ) วิธีการไม่แห้งข้าวเหนียวมีผลต่อสมบัติความหนืด โดยพบว่าแป้งข้าวเหนียวไม่เปียกมีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และค่าความหนืด

ลดลง (breakdown) สูงที่สุด แต่มีค่าการคินตัว (setback) และอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจล (pasting temperature) ต่ำที่สุด ( $p \geq 0.05$ ) (สุพิศตรา, 2545) ขณะที่แป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไม่แห้งมีขนาดอนุภาคใหญ่และมีสีเหลือง รวมทั้งมีดัชนีการดูดซับน้ำ ดัชนีการละลายน้ำ ค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง ค่าการคินตัว และความหนืดสุดท้ายสูงกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไม่เปียกและไม่ผสม (ศันสนีย์ และคณะ, 2562) วิธีการไม่เปียกและไม่แห้งมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเกาลัด (*Sterculia monosperma* Vent.) โดยแป้งเกาลัดไม่แห้งมีปริมาณโปรตีน ไขมันและถั่วมากกว่าแป้งไม่เปียก แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและอะไมโลสน้อยกว่า วิธีการไม่ผลต่อสีของแป้ง โดยแป้งไม่แห้งมีสีคล้ำกว่าแป้งไม่เปียก แป้งไม่แห้งมีการละลายน้ำสูงกว่า แต่ค่ากำลังการพองตัว และการคินตัวต่ำกว่าแป้งจากการไม่เปียก ซึ่งแป้งเกาลัดสามารถใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ซอส (มนทกานต์, 2549) การไม่เปียกและไม่แห้งมีผลต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งลูกเต๋อย (*Coix lacryma-jobi*) โดยแป้งลูกเต๋อยไม่เปียกมีความคงตัวในการแช่เยือกแข็งและการละลายมากกว่าแบบไม่แห้ง (Liaotrakoon *et al.*, 2014)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการไม่แห้งแบบไม่เปียก ไม่แห้ง และไม่ผสมต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ ความหนืด และการแยกตัวของน้ำของแป้งกระจับ เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากแป้งกระจับ โดยแป้งกระจับที่ได้จากมีศักยภาพไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ตามสมบัติของแป้งกระจับ

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 วัตถุดิบ

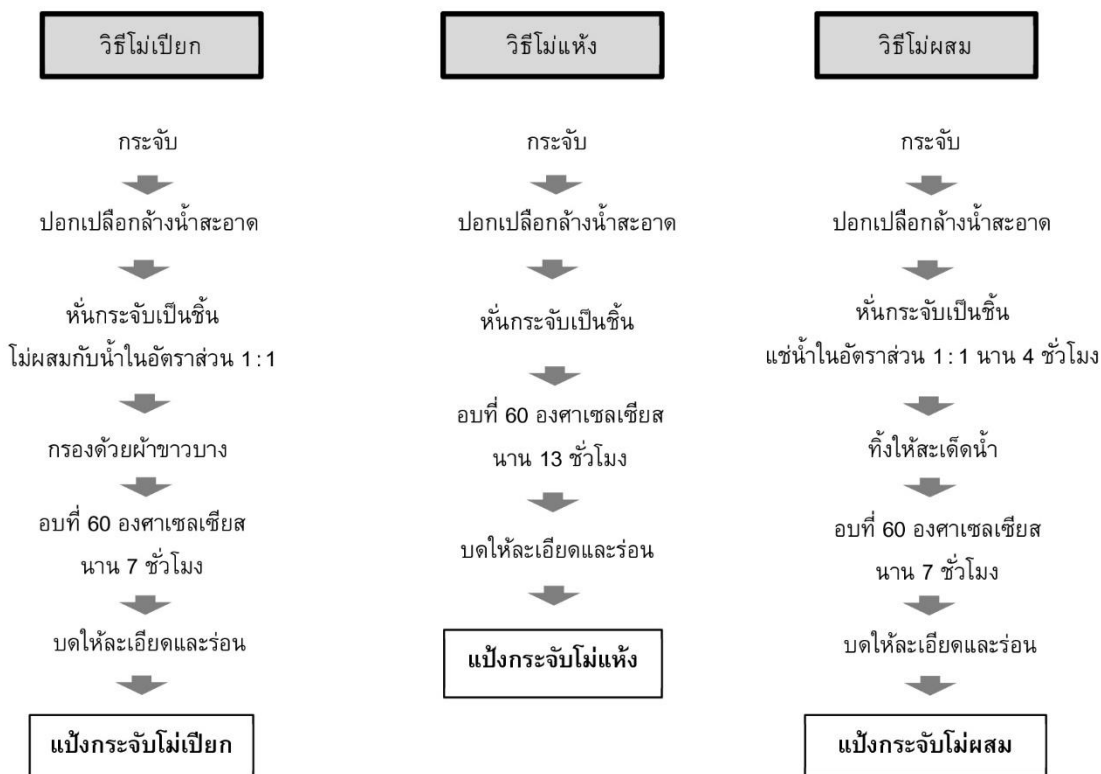
กระจับ (*Trapa bispinosa*) ปลูกที่อำเภอสามโก้ จังหวัดอ่างทอง เก็บเกี่ยวฝักกระจับที่แก่

เติมที่นำมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก และหั่น เนื้อในฝักกระเจี๊ยบให้มีขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร สำหรับนำเนื้อในฝักกระเจี๊ยบไปเตรียมแป้งกระเจี๊ยบ ด้วยวิธีไม่แบบต่าง ๆ ต่อไป

### 2.2 วิธีการไม่แป้งกระเจี๊ยบ

นำเนื้อในฝักกระเจี๊ยบมาเตรียมเป็นแป้ง กระเจี๊ยบด้วยวิธีการไม่ที่ต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ วิธีการไม่

เปียก วิธีการไม่แห้ง และวิธีการไม่ผสม (ดัดแปลง จาก Liaotrakoon และคณะ และ Asmeda และคณะ (2015) แสดงดังรูปที่ 1 จากนั้นนำแป้งกระเจี๊ยบที่ได้มาคำนวณปริมาณผลผลิต (% yield) โดยน้ำหนัก แป้งกระเจี๊ยบที่ได้จากการไม่แต่ละวิธีหารด้วยน้ำหนัก เนื้อในฝักกระเจี๊ยบก่อนกระบวนการแปรรูปแป้งคุณ ด้วย 100



รูปที่ 1 วิธีการไม่แป้งกระเจี๊ยบ

#### 2.2.1 การไม่เปียก

การเตรียมแป้งกระเจี๊ยบด้วยวิธีการไม่เปียก โดยนำกระเจี๊ยบมาไม่ในอัตราส่วนเนื้อในกระเจี๊ยบ ต่อ น้ำเป็น 1:1 ด้วยเครื่องไม่แป้ง (rice grinder) หลังจากผ่านการไม่แล้ว นำน้ำแป้งที่ได้มากรองด้วย ผ้าขาวบาง แล้วนำแป้งมาทำแห้งในตู้อบลมร้อน แบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง จากนั้นนำแป้งกระเจี๊ยบที่ได้มาบดด้วยเครื่อง

บดละเอียด (DXM-2000, Dxfill Machine) ร่อนแป้ง โดยใช้ตะแกรง (Retsch, Germany) ขนาด (mesh size) 2 มิลลิเมตร สำหรับนำแป้งไปวิเคราะห์ขนาด ของแป้ง แล้วใช้ตะแกรง (Retsch, Germany) ขนาด 250 ไมครอน สำหรับนำแป้งไปวิเคราะห์สมบัติเคมี ภายภาพอื่น ๆ สมบัติความหนืดและการแยกตัวของ น้ำจากเจลแป้ง และเก็บแป้งกระเจี๊ยบที่ได้ในถุง ปิดสนิท

### 2.2.2 การโม่แห้ง

สำหรับการเตรียมแป้งกระจับด้วยวิธีการโม่แห้ง นำกระจับไปอบในตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 13 ชั่วโมง จากนั้นนำแป้งกระจับที่ได้มาบดด้วยเครื่องบดละเอียด (DXM-2000, Dxfill Machine) ร่อนแป้งโดยใช้ตะแกรง (Retsch, Germany) ขนาด (mesh size) 2 มิลลิเมตร สำหรับนำแป้งไปวิเคราะห์ขนาดของแป้ง แล้วใช้ตะแกรง (Retsch, Germany) ขนาด 250 ไมครอน สำหรับนำแป้งไปวิเคราะห์สมบัติเคมีกายภาพอื่น ๆ สมบัติความหนืดและการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้ง และเก็บแป้งกระจับที่ได้ในถุงปิดสนิท

### 2.2.3 การโม่ผสม

การเตรียมแป้งกระจับด้วยวิธีการโม่ผสม นำกระจับมาแช่น้ำ โดยใช้อัตราส่วนกระจับต่อน้ำเป็น 1 : 1 นาน 4 ชั่วโมง นำกระจับมาสะเด็ดน้ำ และอบในตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 7 ชั่วโมง จากนั้นนำแป้งกระจับที่ได้มาบดด้วยเครื่องบดละเอียด (DXM-2000, Dxfill Machine) ร่อนแป้งโดยใช้ตะแกรง (Retsch, Germany) ขนาด (mesh size) 2 มิลลิเมตร สำหรับนำแป้งไปวิเคราะห์ขนาดของแป้ง แล้วใช้ตะแกรง (Retsch, Germany) ขนาด 250 ไมครอน สำหรับนำแป้งไปวิเคราะห์สมบัติเคมีกายภาพอื่น ๆ สมบัติความหนืดและการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้ง และเก็บแป้งกระจับที่ได้ในถุงปิดสนิท

## 2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

นำแป้งกระจับมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ โดยวิเคราะห์ค่าสี  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  โดยใช้เครื่องวัดค่าสี (HunterLab, UltraScan VISs/n: USVIS 1406) และคำนวณค่าดัชนีความขาว =  $100 - [(100-L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$  (ตันสนีย์ และคณะ, 2562) และวิเคราะห์ขนาด (particle size) ของแป้งกระจับ โดยใช้เครื่องร่อนแป้ง (Sieve shaker) ด้วย

ตะแกรงขนาด 45 ไมครอน ถึง 2 มิลลิเมตร (AS200 Control, Haan, Germany) สำหรับกำลังการพองตัวและค่าการละลายน้ำ (Liaotrakoon *et al.*, 2014) วิเคราะห์โดยชั่งแป้งกระจับ 1 กรัม เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันในหลอดหมุนเหวี่ยงและนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (NH 03801, USA) อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (2-16PK, Gerhardt, Germany) ที่ความเร็ว 3,000 รอบ/นาที นาน 10 นาที จากนั้นคำนวณกำลังการพองตัวจากน้ำหนักตะกอนต่อน้ำหนักตัวอย่าง รายงานผลเป็นกรัมเจล/กรัม ส่วนใสที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงนำไปอบในเตาอบลมร้อน (FED115, WTE binder, Germany) อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และคำนวณค่าการละลายน้ำเป็นร้อยละของน้ำหนักตะกอนในส่วนใสหลังการอบแห้งต่อน้ำหนักตัวอย่าง

วิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของแป้งกระจับตัวอย่างละ 3 ช้ำ ดังนี้ ปริมาณความชื้นด้วยวิธี hot air oven ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl method ปริมาณไขมันด้วยวิธี solvent extraction ปริมาณเถ้าด้วยวิธี dry ashing ปริมาณเยื่อใยด้วยวิธี solvent extraction (AOAC, 2000) และปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากการคำนวณ โดยรายงานผลเป็นร้อยละน้ำหนักฐานแห้ง (% dry basis) สำหรับปริมาณอะไมโลส วิเคราะห์โดยนำสารละลายแป้งมาวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (UV spectrophotometer, Genesys 10SUV-VIS) เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานอะไมโลสความเข้มข้นร้อยละ 8, 16, 24, 32 และ 40 (Juliano, 1971) ส่วนปริมาณน้ำอิสระ (water activity,  $a_w$ ) วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Aqualab 4TEV)

## 2.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความหนืด

วิเคราะห์สมบัติทางความหนืดของแป้ง กระจับโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว [Rapid Visco Amylograph (RVA), RVA 4500, Perten Instruments] โดยใช้ใบพัดแบบ paddle ที่ ความเร็วรอบ 160 รอบ/นาที ให้ความร้อนจาก อุณหภูมิ 40 จนถึง 92.5 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 3 องศาเซลเซียส/นาที คงอุณหภูมิที่ 92.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วลดอุณหภูมิเป็น 40 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 3 องศาเซลเซียส/นาที (ฉวีชัชชี และคณะ, 2559) จะได้กราฟ RVA และ นำมาวิเคราะห์สมบัติทางความหนืดของตัวอย่าง แป้ง ได้แก่ อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด ความหนืด สูงสุด ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าความ หนืดลดลง ค่าการคืนตัว และเวลาที่เกิดจุดสูงสุด ของความหนืด (peak time) ของแป้งกระจับเปรียบ เทียบกับแป้งทางการค้า ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้ง ข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพด โดย แป้งทางการค้าวิเคราะห์สมบัติทางความหนืดเช่น เดียวกันกับแป้งกระจับ วิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

## 2.5 การวิเคราะห์การแยกตัวของน้ำจาก เจลแป้ง (syneresis)

วิเคราะห์การแยกตัวของน้ำจากเจลแป้ง เพื่อแสดงความคงตัวในการแช่เยือกแข็งและการ ละลาย (freeze-thaw stability) ของแป้ง (ดัดแปลง จาก Charoenrein *et al.*, 2011) โดยเตรียมน้ำแป้ง กระจับร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก นำไปให้ความร้อนจน เกิดเจลทั้งหมด ซึ่งตัวอย่างเจลแป้งใส่หลอดหมุน เหวียงหลอดละ 10 กรัม นำไปแช่เยือกแข็งที่ อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้ว นำมาละลายโดยแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (NH 03801, USA) ที่ 30, 60 และ 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุน เหวี่ยง (2-16PK, Gerhardt, Germany) ที่ความเร็ว 4,600 รอบ/นาที นาน 10 นาที คำนวณปริมาณร้อยละการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้ง (% syneresis)

จากร้อยละของน้ำหนักน้ำที่แยกออกมาจากเจลแป้ง ต่อน้ำหนักเจลแป้งเริ่มต้น แช่เยือกแข็ง และละลาย ซ้ำจำนวน 5 รอบ และทดลอง 3 ซ้ำ

## 2.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาแสดงเป็นค่าเฉลี่ยและ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ค่าทางสถิติโดย วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

### 3.1 ผลวิธีการไม่แป้งต่อคุณภาพทางเคมี กายภาพของแป้งกระจับ

การศึกษากระบวนการไม่แป้งกระจับ ด้วยวิธีไม่เปียก ไม่แห้ง และไม่ผสม พบว่าปริมาณ ผลผลิตของแป้งกระจับที่ได้ร้อยละ 40.07-62.59 โดยแป้งกระจับไม่เปียกมีปริมาณผลผลิตมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ แป้งกระจับไม่ผสม และไม่แห้ง ตามลำดับ ตารางที่ 1 พบว่าวิธีการไม่มีผลต่อค่าสี  $L^*$  (ค่าความสว่าง)  $a^*$  (ค่าสีเขียว-สีแดง) และ  $b^*$  (ค่า สีน้ำเงิน-สีเหลือง) ของแป้งกระจับอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแป้งกระจับไม่แห้งมีค่า  $L^*$  น้อยที่สุด และมีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  มากที่สุด (96.10, 3.44 และ 9.32 ตามลำดับ) ส่งผลทำให้แป้งกระจับ ไม่แห้งมีค่าดัชนีความขาวน้อยที่สุด รองลงมาเป็น แป้งกระจับไม่ผสมและแบบไม่เปียก (42.73, 56.47 และ 67.66 ตามลำดับ) อาจเป็นเพราะวิธีการไม่แห้ง นั้นใช้เวลาในการอบนาน ความร้อนจึงเป็นตัวเร่ง การเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล แป้งไม่แห้งจึงมีสี น้ำตาลคล้ำ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของมณฑกานต์ (2549) ไนแป้งเกล็ด และรายงานของ Asmeda และคณะ (2015) ไนแป้งข้าว สำหรับการละลายน้ำ และกำลังการพองตัวของแป้งกระจับที่ผ่านการไม่ ทั้ง 3 วิธี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ( $p \geq 0.05$ ) โดยมีค่าการละลายน้ำร้อยละ 3.86-

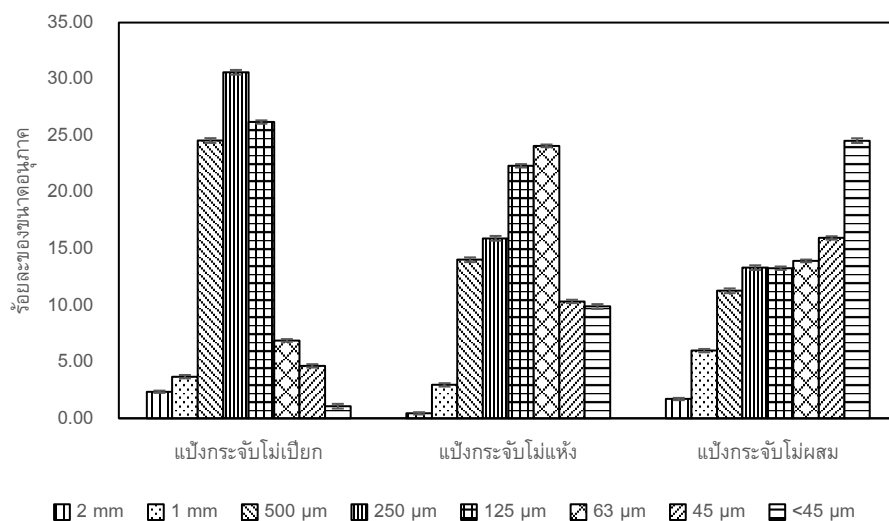
4.05 และกำลังการพองตัว 3.36-3.54 กรัมเจล/กรัม (ตารางที่ 1) อย่างไรก็ตาม พบว่าการไม่มีผลต่อการละลายน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งบางชนิด

เช่น แป้งลูกเดี๋ยย (Liaotrakoon et al., 2014) และแป้งข้าว (ศันสนีย์ และคณะ, 2562; Asmeda et al., 2015)

ตารางที่ 1 คุณภาพทางกายภาพของแป้งกระจับที่ไม่ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

คุณภาพทางกายภาพ	แป้งกระจับ		
	ไม่เปียก	ไม่แห้ง	ไม่ผสม
ค่าสี L* (ค่าความสว่าง)	99.13±0.52 <sup>a</sup>	96.10±0.91 <sup>bc</sup>	97.11±0.77 <sup>b</sup>
ค่าสี a* (ค่าสีเขียว-สีแดง)	2.30±0.08 <sup>c</sup>	3.44±0.11 <sup>a</sup>	2.78±0.10 <sup>b</sup>
ค่าสี b* (ค่าสีน้ำเงิน-สีเหลือง)	7.64±0.28 <sup>c</sup>	9.32±0.32 <sup>a</sup>	8.40±0.18 <sup>b</sup>
ดัชนีความขาว	67.66±1.85 <sup>a</sup>	42.73±0.33 <sup>c</sup>	56.47±0.47 <sup>b</sup>
ค่าการละลายน้ำ (ร้อยละ) <sup>ns</sup>	3.86±0.39	4.05±0.14	3.95±0.10
กำลังการพองตัว (กรัมเจล/กรัม) <sup>ns</sup>	3.36±0.50	3.38±0.22	3.54±0.08

อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 2 ขนาดอนุภาคของแป้งกระจับที่ไม่ด้วยวิธีต่างกัน

รูปที่ 2 พบว่าวิธีการไม่มีผลต่อขนาดของแป้ง โดยขนาดอนุภาคของแป้งกระจับไม่เปียกมีขนาดใหญ่ที่สุด (125-250 ไมครอน) รองลงมา คือขนาดอนุภาคของแป้งกระจับไม่แห้ง (63-125

ไมครอน) และแป้งกระจับแบบไม่ผสมมีขนาดเล็กที่สุด (โดยเฉลี่ยเล็กกว่า 45 ไมครอน) ทั้งนี้ขนาดอนุภาคของแป้งอาจขึ้นอยู่กับน้ำที่ใช้ในระหว่างกระบวนการผลิตแป้งและชนิดของเครื่องมือที่ใช้ใน

การไม่ สำหรับวิธีการไม่เปียก วัตถุประสงค์ที่มีความชื้น ได้รับแรงจากเครื่องไม่ไม่เต็มที อาจทำให้มีอนุภาค ขนาดใหญ่เกิดขึ้น และขนาดอาจไม่สม่ำเสมอ อนุภาคอาจเกาะกันเป็นกลุ่มใหญ่กว่าการไม่แห้ง

ขณะที่วัตถุประสงค์ที่มีความชื้นน้อยหรือแห้งจะได้รับแรง จากเครื่องไม่ได้มากกว่า ทำให้ได้อนุภาคขนาดเล็ก ได้มากกว่า (สวนิต และคณะ, 2547)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งกระจับที่ไม่ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

คุณภาพทางเคมี	แป้งกระจับ		
	ไม่เปียก	ไม่แห้ง	ไม่ผสม
ความชื้น (ร้อยละ)	10.94±0.06 <sup>ab</sup>	9.83±0.28 <sup>b</sup>	12.02±1.74 <sup>a</sup>
คาร์โบไฮเดรต* (ร้อยละ)	87.74±1.10 <sup>a</sup>	83.89±1.53 <sup>b</sup>	85.18±1.02 <sup>b</sup>
โปรตีน* (ร้อยละ)	7.16±1.08 <sup>b</sup>	9.15±1.45 <sup>a</sup>	10.97±0.66 <sup>a</sup>
ไขมัน* (ร้อยละ)	1.49±0.18 <sup>b</sup>	1.89±0.04 <sup>a</sup>	1.01±0.05 <sup>c</sup>
เยื่อใย* (ร้อยละ)	2.27±0.45 <sup>a</sup>	1.54±0.17 <sup>b</sup>	1.30±0.06 <sup>c</sup>
เถ้า* (ร้อยละ)	1.31±0.01 <sup>c</sup>	3.54±0.03 <sup>a</sup>	1.55±0.06 <sup>b</sup>
อะไมโลส* (ร้อยละ)	38.27±0.91 <sup>a</sup>	35.20±0.85 <sup>b</sup>	35.76±1.44 <sup>b</sup>
ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a <sub>w</sub> )	0.59±0.01 <sup>c</sup>	0.51±0.00 <sup>a</sup>	0.58±0.00 <sup>b</sup>
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.12±0.01 <sup>a</sup>	6.21±0.01 <sup>b</sup>	6.14±0.01 <sup>a</sup>

อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; \* คือ ร้อยละโดยน้ำหนักฐานแห้ง (% dry basis)

ตารางที่ 3 สมบัติทางความหนืดของแป้งกระจับที่ไม่ด้วยวิธีที่แตกต่างกันเทียบกับแป้งทางการค้า

แป้ง	สมบัติทางความหนืด				
	อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (°C)	ความหนืดสูงสุด (cP)	ค่าความหนืดลดลง (cP)	ความหนืดสุดท้าย (cP)	ค่าการคืนตัว (cP)
แป้งกระจับ					
แป้งกระจับไม่เปียก	86.73±0.44 <sup>b</sup>	4,348.67±75.22 <sup>d</sup>	1,150.33±14.89 <sup>e</sup>	6,072.67±51.21 <sup>b</sup>	2,874.33±74.85 <sup>d</sup>
แป้งกระจับไม่แห้ง	87.90±0.25 <sup>a</sup>	2,340.00±25.51 <sup>g</sup>	455.33±53.98 <sup>f</sup>	3,079.67±35.08 <sup>f</sup>	1,195.00±68.55 <sup>f</sup>
แป้งกระจับไม่ผสม	86.75±0.35 <sup>b</sup>	4,993.33±17.67 <sup>b</sup>	1,621.67±39.00 <sup>d</sup>	7,504.33±38.73 <sup>a</sup>	4,132.67±20.21 <sup>c</sup>
แป้งทางการค้า					
แป้งข้าวเจ้า	77.63±0.64 <sup>c</sup>	4,566.67±57.73 <sup>c</sup>	2,166.67±16.35 <sup>c</sup>	4,631.00±46.81 <sup>d</sup>	4,622.33±42.16 <sup>b</sup>
แป้งข้าวเหนียว	66.07±0.49 <sup>e</sup>	3,833.33±75.62 <sup>f</sup>	2,533.33±27.86 <sup>b</sup>	2,113.33±24.44 <sup>g</sup>	2,103.67±25.89 <sup>e</sup>
แป้งมันสำปะหลัง	65.46±0.68 <sup>e</sup>	6,633.33±27.25 <sup>a</sup>	5,233.13±24.67 <sup>a</sup>	4,159.00±59.45 <sup>e</sup>	4,156.33±18.93 <sup>c</sup>
แป้งข้าวโพด	70.57±0.55 <sup>d</sup>	4,033.33±35.64 <sup>e</sup>	1,200.00±50.00 <sup>e</sup>	5,832.33±28.16 <sup>c</sup>	5,830.33±28.16 <sup>a</sup>

อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวดิ่ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ตารางที่ 2 พบว่าวิธีการไม่แห้งมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของแป้งกระจัด แป้งกระจัดมีปริมาณความชื้นร้อยละ 9.83-12.02 โดยแป้งกระจัดไม่แห้งมีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด เนื่องจากไม่มีการใช้น้ำในระหว่างกระบวนการผลิต และพบว่าคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักของแป้งกระจัด (ร้อยละ 83.89-87.74) โดยแป้งกระจัดไม่เปียกมีคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด ส่วนแป้งกระจัดไม่ผสมมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด (ร้อยละ 10.97) รองลงมาคือ แป้งกระจัดไม่แห้งและไม่เปียก ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) แป้งกระจัดไม่แห้งมีปริมาณไขมันและเถ้ามากที่สุด เนื่องจากแป้งกระจัดไม่แห้งไม่ผ่านขั้นตอนที่อาจเป็นการชะเอาไขมันและแร่ธาตุบางชนิดที่ละลายน้ำออกไป (Metcalf and Lund, 1985; Chiang and Yeh, 2002) แป้งกระจัดมีปริมาณอะไมโลสสูงถึงร้อยละ 35.76-38.27 โดยแป้งกระจัดไม่เปียกมีปริมาณอะไมโลสมากกว่าแป้งกระจัดไม่ผสมและไม่แห้งตามลำดับ แป้งกระจัดที่ศึกษานี้มีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกับแป้งหัวจิ้ง (ร้อยละ 27.45-32.75) (ผาณิต, 2551) แต่มีปริมาณสูงกว่าแป้งข้าว (ร้อยละ 16.81-17.94) (คณสินธุ์ และคณะ, 2562) หากแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสมากกว่าร้อยละ 25 และมีค่าการคินตัวหรือค่าความหนืดเมื่อแป้งเย็นตัวสูง จะเหมาะสำหรับนำมาแปรรูปผลิตภัณฑ์เส้น (จรรูวรรณ, 2545) ความเป็นกรด-ด่างของแป้งกระจัดมีค่า 6.12-6.21 และค่า  $a_w$  แป้งกระจัดมีค่า 0.51-0.59 ซึ่งน้อยกว่า 0.60 ถือเป็นผลิตภัณฑ์แห้ง ค่า  $a_w$  นั้นเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่อาจเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียคุณภาพของแป้งได้ และส่งผลถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

### 3.2 ผลของวิธีการไม่ต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งกระจัด

ตารางที่ 3 พบว่าวิธีการไม่มีผลต่อสมบัติ

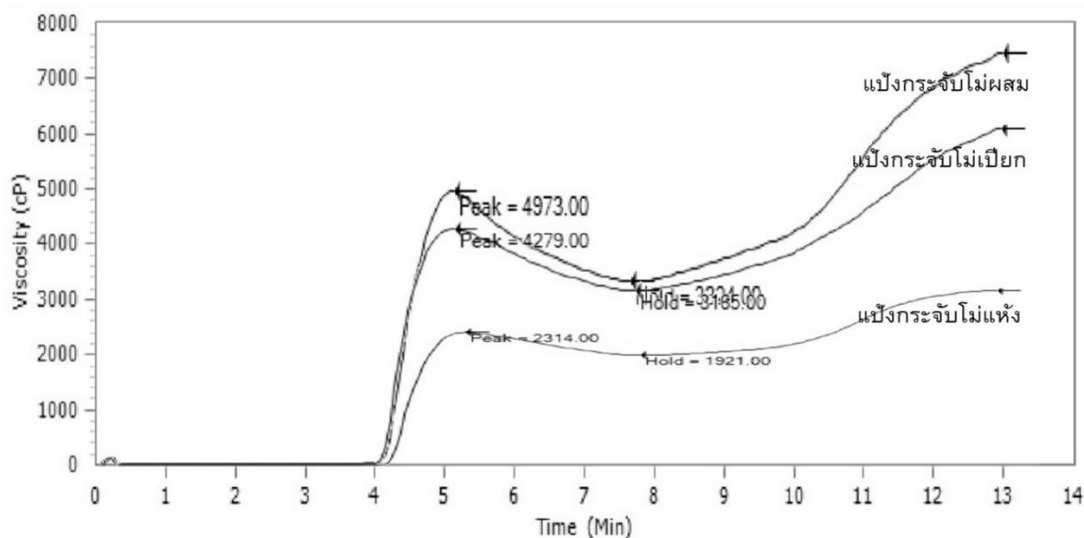
ทางความหนืดของแป้งกระจัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแป้งกระจัดไม่ผสมมีความหนืดสูงที่สุด โดยมีความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และค่าการคินตัวเป็น 4,993.33, 1,621.67, 7,504.33 และ 4,132.67 cP ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าแป้งกระจัดไม่เปียกและไม่แห้งตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากแป้งกระจัดไม่ผสมมีปริมาณไขมัน (ร้อยละ 1.01) น้อยกว่าแป้งกระจัดไม่เปียกและไม่แห้ง (ร้อยละ 1.49-1.89, ตารางที่ 2) ซึ่งไขมันที่มีในแป้งสามารถสร้างพันธะกับอะไมโลสเกิดเป็นโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่ไปเสริมให้เม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงขึ้น ซึ่งจะไปยังยังการพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ชทำให้แป้งมีค่าความหนืดสูงสุดต่ำลง (Hamaker, *et al.*, 1991; Hamaker and Griffin, 1993; Lim *et al.*, 1999) ขณะที่แป้งกระจัดไม่แห้งมีความหนืดต่ำที่สุด (ตารางที่ 3) โดยมีความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และค่าการคินตัวเป็น 2,340, 455.33, 3,079.67 และ 1,195 cP ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับรายงานความหนืดของแป้งกระจัดไม่แห้งของ ขจี (2543) อย่างไรก็ตาม พบว่าแป้งกระจัดที่ได้จากการไม่ทั้ง 3 วิธี มีความหนืดสูงกว่าแป้งกล้วยและแป้งลูกเดือย (จรรูวรรณ, 2553) นอกจากนี้การไม่ยังมีผลต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งข้าวบาสมัติ (Basmati) โดยแป้งข้าวบาสมัติไม่เปียกมีค่าความหนืดลดลงสูงที่สุด แต่มีค่าการคินตัวต่ำที่สุด ส่วนแป้งข้าวบาสมัติไม่ผสมมีค่าความหนืดสุดท้ายสูงที่สุด (Prasad *et al.*, 2012)

ตารางที่ 3 แป้งกระจัดมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (86.73-87.90 องศาเซลเซียส) สูงกว่าแป้งทางการค้าที่ทดลอง (65.46-77.63 องศาเซลเซียส) โดยแป้งกระจัดมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดใกล้เคียงกับสตาร์ชจากกระจัด (81-83 องศาเซลเซียส) (Tulyathan *et al.*, 2005) เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางความหนืดของแป้งกระจัดและแป้ง

ทางการค้าพบว่าแป้งกระจัดไม่เปียกมีสมบัติความหนืดใกล้เคียงกับแป้งข้าวโพด ยกเว้นค่าการคืนตัว และเวลาที่เกิดจุดสูงสุดของความหนืด และแป้งกระจัดไม่ผสมมีสมบัติความหนืดใกล้เคียงกับแป้งข้าวเจ้า แป้งกระจัดมีเวลาที่เกิดจุดสูงสุดของความหนืด 5.09-5.29 นาที ใกล้เคียงกับแป้งมันสำปะหลัง (4.95 นาที) ขณะที่แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวโพดมีเวลาที่เกิดจุดสูงสุดของความหนืดน้อยกว่า (1.11-1.80 นาที)

ความหนืดของแป้งกระจัดที่ไม่ทั้ง 3 วิธี แสดงเป็นกราฟ RVA ดังรูปที่ 3 เมื่อสารละลายแป้งกระจัดถึงอุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจล (86.73-87.90 องศาเซลเซียส) ความร้อนที่ให้น้ำแป้งจะทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและเริ่มมีความหนืด จากนั้นแป้งกระจัดจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงความหนืดสูงสุด (2,340.00-4,993.33 cP) เนื่องจาก

เม็ดแป้งที่แขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อาจมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้งและโมเลกุลของอะไมโลสบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลายแป้ง แล้วความหนืดของแป้งกระจัดจะลดลง เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้น ความหนืดจะเริ่มลดลง และเมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลอิสระที่กระจุกกระจายออกมาก็จะสามารถเคลื่อนที่มาจับกันและกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดสูงขึ้น ความหนืดที่กลับสูงขึ้นนี้อีกนี้เรียกว่าค่าการคืนตัว แสดงถึงการคืนตัวของแป้ง (retrogradation) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความหนืด ได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน และอุณหภูมิ โดยเฉพาะชนิดของแป้ง (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2550)



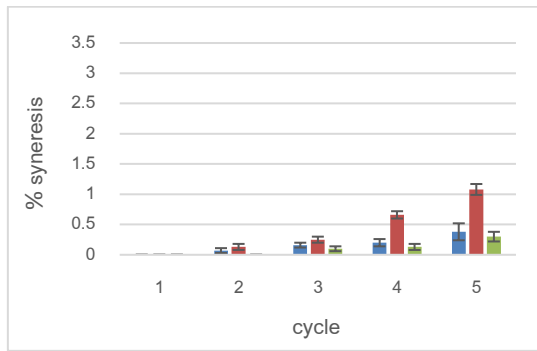
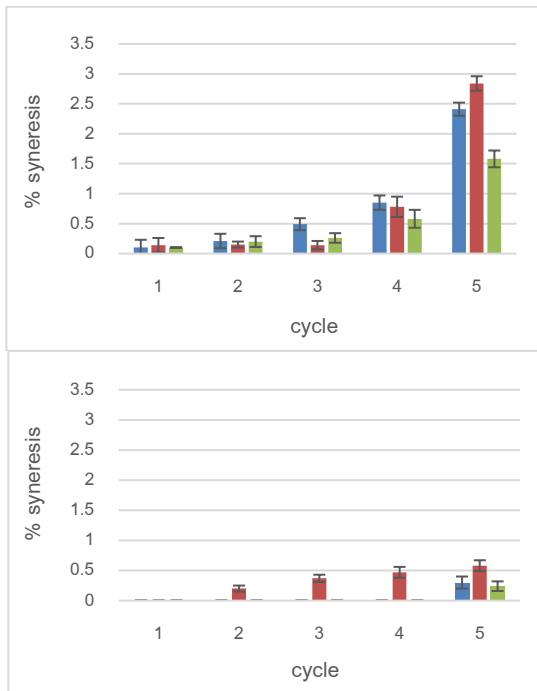
รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ของแป้งกระจัดที่ผ่านการไม่ด้วยวิธีต่าง ๆ

**3.3 ผลของวิธีการไม่ต่อการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งในการแช่เยือกแข็งและการละลายของแป้งกระจัด**

เมื่อแป้งกระจัดแช่แข็งและละลายที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 30, 60 และ 90 องศาเซลเซียส แป้งกระจัดที่ไม่ทั้ง 3 วิธี มีร้อยละการแยกตัวของน้ำ

จากเจลแข็งลดลง โดยมีร้อยละการแยกตัวของน้ำ ร้อยละ 1.58-2.84, 0.30-1.08 และ 0.24-0.58 ตามลำดับ เมื่อจำนวนรอบของการแช่แข็งและการละลายเพิ่มขึ้น แบ็งกระจับจะมีการแยกตัวของน้ำจากเจลแข็งเพิ่มขึ้น รูปที่ 4 พบว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบการแยกตัวของน้ำในแบ็งกระจับที่โมทั้ง 3 วิธี ทั้ง 5 รอบ และเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและการละลายเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในรอบที่ 4-5 ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เริ่มพบการแยกตัวของน้ำในแบ็งกระจับไม่เปียกและไม่แห้งในรอบที่ 2 และแบ็งกระจับไม่ผสมในรอบที่ 3 ของการแช่แข็งและการละลาย ร้อยละการแยกตัวของน้ำจากเจลแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้น เมื่อละลายที่อุณหภูมิสูง (90 องศาเซลเซียส) แบ็งกระจับไม่แห้งมีการแยกตัวของน้ำในรอบที่ 2 แต่แบ็งกระจับไม่ผสมและไม่เปียกพบการแยกตัวของน้ำในรอบที่ 5 ของการแช่แข็งและการละลาย ดังนั้นสรุปได้ว่าวิธีการไม่แบ็งมีผลต่อความคงตัวในการแช่เยือกแข็งและการละลายของ

แบ็งกระจับ โดยแบ็งกระจับไม่ผสมมีการแยกตัวของน้ำจากเจลแข็งน้อยกว่าแบ็งกระจับไม่เปียกและไม่แห้งตามลำดับ แสดงว่าแบ็งกระจับไม่ผสมมีความคงตัวในการแช่เยือกแข็งและการละลายดีที่สุด ดังนั้นแบ็งกระจับไม่ผสมอาจมีศักยภาพสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้การอุตสาหกรรมอาหารแช่เยือกแข็งได้ ส่วนอุณหภูมิในการละลายมีผลต่อร้อยละการแยกตัวของน้ำจากเจลแข็ง โดยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แบ็งกระจับมีร้อยละการแยกตัวของน้ำจากเจลแข็งมากที่สุด และเมื่อจำนวนรอบของการแช่เยือกแข็งและการละลายมากขึ้น โดยเฉพาะในรอบที่ 4-5 ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิดเจลาติโนเซชันและการคืนตัวของแบ็งกระจับ โดยแบ็งกระจับมีปริมาณอะไมโลสสูงมาก (ร้อยละ 35.20-38.27) เมื่อให้ความร้อนจนแบ็งเกิดการเจลาติโนเซชัน อะไมโลสจะถูกปล่อยออกมาจากเม็ดแบ็ง และเมื่อลดอุณหภูมิลง อะไมโลสจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่เป็นโครงสร้างเจลที่แข็งแรง ส่งผลให้เกิดการแยกตัวของน้ำจากเจลแข็งมาก ผลการทดลองมีแนวโน้มไป



รูปที่ 4 การแยกตัวของน้ำจากเจลแบ็งกระจับที่ไม่ด้วยวิธีต่าง ๆ โดยการแช่เยือกแข็งและละลายที่อุณหภูมิ 30, 60 และ 90 องศาเซลเซียส (■ = แบ็งกระจับไม่เปียก, ■ = แบ็งกระจับไม่แห้งเปียก และ ■ = แบ็งกระจับไม่ผสม)

ในทิศทางเดียวกันกับผลงานวิจัยของ Liaotrakoon และคณะ (2014) ในแป้งลูกเดือยที่พบร้อยละการแยกตัวของน้ำจากเจลแข็งมากที่สุดเมื่อละลายที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในรอบที่ 4-5

#### 4. สรุป

กระบวนการไม่แข็งกระจัดโดยวิธีการไม่ 3 วิธี คือ ไม่เปียก ไม่แห้ง และไม่ผสมมีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการ มีผลต่อสมบัติความหนืด และการแยกตัวของน้ำของแป้งกระจัดเป็นอย่างมาก การศึกษาพบว่าแป้งกระจัดที่ผ่านการไม่ ทั้ง 3 วิธี มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก (ร้อยละ 83.89-87.74) รองลงมา คือ โปรตีน (ร้อยละ 7.16-10.97) เถ้า (ร้อยละ 1.31-3.54) เยื่อใย (ร้อยละ 1.30-2.27) และไขมัน (ร้อยละ 1.01-1.89) ตามลำดับ โดยแป้งกระจัดไม่เปียกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด ขณะที่แป้งกระจัดไม่แห้งมีปริมาณไขมันและเถ้ามากที่สุด ส่วนแป้งกระจัดไม่ผสมมีปริมาณโปรตีนมากที่สุด ( $p < 0.05$ ) แป้งกระจัดมีปริมาณอะไมโลสสูงถึงร้อยละ 35.20-38.27 แต่วิธีการไม่ทั้งการไม่เปียก ไม่แห้ง และไม่ผสมไม่มีผลต่อกำลังการพองตัวและการละลายของแป้งกระจัด ( $p \geq 0.05$ ) นอกจากนี้แป้งกระจัดไม่ผสมยังมีร้อยละการแยกตัวของน้ำจากเจลแข็งน้อยที่สุด แสดงถึงความคงตัวในการแช่เยือกแข็งและการละลายมากที่สุด วิธีการไม่มีผลต่อสมบัติความหนืดของแป้งกระจัด โดยแป้งกระจัดไม่ผสมมีความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวสูงกว่าแป้งกระจัดไม่เปียกและไม่แห้งตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งสมบัติของแป้งกระจัดที่ได้แสดงให้เห็นว่าแป้งกระจัดมีศักยภาพที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารประเภทเส้น และอุตสาหกรรมอาหารแช่เยือกแข็ง รวมทั้งสามารถใช้แป้งกระจัดทดแทนแป้งสาลีในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารปลอดกลูเตน ซึ่งต้องมีการศึกษาวิจัย

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเหล่านี้จากแป้งกระจัดต่อไป

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ประจำปีงบประมาณ 2562

#### 6. รายการอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550, เทคโนโลยีของแป้ง, พิมพ์ครั้งที่ 4, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ฯ.
- ขจี บุญดี, 2543, ผลของวิธีการไม่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากกระจัด *Trapa bispinosa* Roxb., วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- จรรุวรรณ บางแวง, 2545, ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพขนมจีน, น. 336-346, ใน รายงานการประชุมวิชาการศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, ปทุมธานี.
- จรรุวรรณ บางแวง, อรรวรรณ จิตติธรรม, จารุรัตน์ พุ่มประเสริฐ และจิตภัทร มีบุปผา, 2553, การประเมินคุณสมบัติของแป้งพืช, น. 520-534, ใน รายงานผลงานวิจัย, สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- ฉัษชชี ฉัษปภาสัสมณ, สันทณีย์ ปัญจอนนั และดุษฎี อุตภาพ, 2559, ผลของการตัดแปรแป้งด้วยวิธีการใช้ความร้อนขึ้นต่อสมบัติและโครงสร้างของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A และ B, ว.วิจัยและพัฒนา มจร. 39(2): 257-270.
- บุญมา นียมวิทย์, 2550, กระจัด พืชโบราณอาหารพื้นบ้าน, ว.อาหาร 37(4): 315-317.
- ผาณิต รุจิรพิสิฐ, 2551, องค์ประกอบทางเคมีและ

- สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งฟลาวัวร์และสตาร์ชจากแห้วจีน, ว.วิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย 28(1): 168-178.
- มนทกานต์ เบญจพลากร, 2549, สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งและสตาร์ชจากเกาลัดน่าน *Sterculia monosperma* Vent., วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- วราทัศน์ วงศ์สุรไกร, 2539, แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวไทย, น. 48-60, ใน รายงานประชุมวิชาการและนิทรรศการเนื่องในงานมหกรรมข้าวไทยเกิดพระเกียรติ, กรุงเทพฯ.
- คันสนีย์ อุดมระติ, พัชรีย์ ตั้งตระกูล และงามจิตร โล่วิฑูร, 2562, ผลของวิธีการไม่ต่อสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ปลอดกลูเตน, ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 27(2): 311-325.
- สวินิต อิชยาวณิชย์, มณฑิรา นพรัตน์ และพรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์, 2547, คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และรีโอโลยีของแป้งข้าวเจ้าที่ผลิตโดยกระบวนการไม่เปียกและไม่แห้งในระดับอุตสาหกรรม, ว.วิจัยและพัฒนา มจร. 27(3): 357-374.
- สุพิศรา งามอรุเลิศ, 2545, ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของสตาร์ชข้าวเหนียว, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- AOAC, 2000, Official Methods of Analysis of the Association of the Official Analysis Chemists, Association of Official Analytical Chemists, Arlington.
- Asmeda, R., Noorlaila, A. and Norziah, M.H., 2015, Effects of different grinding methods on chemical and functional properties of MR211 rice flour, Int. J. Food Eng. 1: 111-114.
- Charoenrein, S., Tatirat, O., Rengsutthi, K. and Thongngam, M., 2011, Effect of konjac glucomannan on syneresis, textural properties and the microstructure of frozen rice starch gels, Carbohydr. Polym. 83: 291-296.
- Chiang, P.Y. and Yeh, A.I., 2002, Effect of soaking on wet-milling of rice, J. Cereal Sci. 35: 85-94.
- Hamaker, B., Griffin, V.K. and Moldenhauer, K.A.K., 1991, Potential influence of a starch granule-associated protein on cooked rice stickiness, J. Food Sci. 56: 1327-1329.
- Hamaker, B.R. and Griffin, V.K., 1993, Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting, Cereal Chem. 70: 377-380.
- Juliano, B.O., 1971, A simplified assay for milled-rice amylose, Cereal Sci. Today 16: 334-340.
- Liaotrakoon, W., Liaotrakoon, V., Wongsangtham, W. and Rodsiri, S., 2014, Influence of dry- and wet-milling processes on physicochemical properties, syneresis, pasting profile and microbial count of job's tear flour, Int. Food Res. J. 21: 1745-1749.
- Lim, S.T., Lee, J.H., Shin, D.H. and Lim, H.S., 1999, Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties, Starch/Stärke 51: 120-125.
- Metcalf, S.L. and Lund, D.B., 1985, Factors

- affecting water up take on milled rice, J. Food Sci. 50: 1676-1679.
- Prafulla, A., Amita, D., Shirishkumar, A. and Bhaskar, V.H., 2014, *Trapa bispinosa* Roxb.: A review on nutritional and pharmacological aspects, Adv. Pharm. Sci. 959830: 1-13.
- Prasad, K., Singh, Y. and Anil, A., 2012, Effects of grinding methods on the characteristics of Pusa 1121 rice flour, J. Trop. Agric. Food Sci. 40: 193-201.
- Taggart, P., 2004, Starch as an Ingredient: Manufacture and Applications, In Starch in Food Part III: Applications, Woodhead Publishing, Ltd., Cambridge.
- Tulyathan, V., Boondee K. and Mahawanich, T., 2005, Characteristics of starch from water chestnut (*Trapa Bispinosa* Roxb.), J. Food Biochem. 29: 337-348.