



อิทธิพลของการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดต่อสมบัติของแป้งมันสำปะหลังระหว่างการผลิตเดกซ์ทริน Effect of Infrared Heat Treatment on Properties of Tapioca Starch during Dextrin Production

พีรภัทร อุไรเวศ¹, ประสันต์ ชุ่มใจหาญ^{1*}

Peerapat Uraives¹, Prasarn Choomjaihan^{1*}

¹หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 10520

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520

*Corresponding author: Tel: +66-2-329-8337, E-mail: prasarn.ch@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

เดกซ์ทรินเป็นแป้งดัดแปรชนิดหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้านทั้งการผลิตอาหาร สิ่งทอ กระดาษ กาว เป็นต้น ซึ่งการผลิตเดกซ์ทรินทำได้โดยการไฮโดรไลซ์แป้งด้วยเอนไซม์ กรด หรือการให้ความร้อนแบ่งที่อุณหภูมิสูงโดยการได้ประยุกต์ใช้ความร้อนจากการนำและพาความร้อนเป็นหลัก แต่ยังไม่พบงานวิจัยใดที่มีการประยุกต์ใช้หลักการให้ความร้อนกับแป้งมันสำปะหลังเพื่อผลิตเดกซ์ทรินโดยวิธีการแผ่รังสี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของแป้งมันสำปะหลังที่ได้รับความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดระหว่างการผลิตเดกซ์ทริน โดยสมบัติที่มุ่งเน้นการศึกษาได้แก่ความหนืด ค่าการละลาย ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และโครงสร้างทางกายภาพของเม็ดแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดที่ระดับอุณหภูมิ 170, 190 และ 210°C เป็นเวลา 20 h เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงสมบัติของเดกซ์ทริน โดยแป้งมันสำปะหลังมีความชื้นเริ่มต้น 12.17%db จากการศึกษาการลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนส่งผลให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้งเล็กลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ความหนืดของแป้งลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน ในขณะที่ค่าการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแบ่ง จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าที่อุณหภูมิในการให้ความร้อนต่างกันที่เวลาเดียวกันความหนืดและค่าการละลายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 210°C มีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดและค่าการละลายมากที่สุด ผลการศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในสารละลายแป้งพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะสามารถวัดค่าได้เมื่อทำการให้ความร้อนแบ่งด้วยอุณหภูมิ 210°C เป็นเวลานานกว่า 8 h และมีค่าเพิ่มสูงสุดเมื่อผ่านไป 18 h

คำสำคัญ: อินฟราเรด, แป้งมันสำปะหลัง, เดกซ์ทริน

Abstract

Dextrin is one type of modified starch. Dextrin has been widely used in various processes, such as food, textile, paper, glue and so on. Dextrin was produced from hydrolyzed starch by enzymes, acid or heating at high temperature. However, there have been not many researches work on the heating by radiation heat transfer. Therefore, the aim of this research was to monitor the properties of Tapioca starch during Dextrin production by infrared radiation including viscosity, solubility, total soluble solid and structure of starch granules. Tapioca starch samples were heated by infrared heater at 170, 190 and 210°C for 20 h and were monitored the change of their properties. The initial moisture of Tapioca starch was 12.17%db. The results showed that, increasing of the heating temperature and time decreased the viscosity and average diameter of starch granules, while increased the solubility of starch. The viscosity, solubility and average diameter of starch granules of different heating temperature were significantly different ($p < 0.05$). Total soluble solid was able to be measured when the heating time was longer than 8 h with heating temperature of 210°C and the its maximum value was about 18 h.

Keywords: Infrared, Tapioca starch, Dextrin

1 บทนำ

มันสำปะหลัง (Tapioca) จัดเป็นพืชอยู่ในตระกูล Euphorbiaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz. (William et al., 2009) มันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้อย่างหลากหลายโดยส่วนมากมันสำปะหลังถูกนำไปผลิตเป็นแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อาหาร สิ่งทอ กระดาษ และกาบ เป็นต้น (William et al., 2009) ประเทศไทยส่งออกแป้งมันสำปะหลังสูงเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยมีมูลค่าการส่งออกกว่า 63,000 ล้านบาท แบ่งเป็นการส่งออกแปรรูป 21,000 ล้านบาท (สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2558)

เดกซ์ทริน (dextrin) ถือว่าเป็นแป้งดัดแปรชนิดหนึ่งที่ได้จากการไฮโดรไลซ์แป้งบางส่วนด้วยเอนไซม์ กรด ความร้อน หรือกรดร่วมกับความร้อน โดยมีลักษณะเป็นผงละเอียดที่มีขนาดเล็กกว่า $30\ \mu\text{m}$ (นิธิยา, 2557) โดยทั่วไปเดกซ์ทรินแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ เดกซ์ทรินขาว (white dextrin), เดกซ์ทรินเหลือง (yellow dextrin) และบริติชกัม (British gums) ซึ่งการผลิตเดกซ์ทรินแต่ละประเภทนั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน โดยพื้นฐานแล้วการผลิตเดกซ์ทรินทำได้โดยการให้ความร้อนแก่แป้ง (heat treatment) เป็นเวลา 10 ถึง 20 h โดยวิธีการคั่วหรือผ่านตัวกลางในการนำความร้อนเช่น เกลียว (extrusion) และถึงแก่เปลี่ยนแปลงความร้อนในลักษณะการกวน (vat dryer) ที่อุณหภูมิ 100 ถึง 200°C ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด เช่น โซดาไฟ (caustic soda) และบอแรกซ์ (borax) โดยที่การผลิตเดกซ์ทรินขาวใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา การผลิตเดกซ์ทรินเหลืองใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าแต่ตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยกว่าเดกซ์ทรินขาว สำหรับการผลิตบริติชกัมใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในระหว่างกระบวนการ สีของเดกซ์ทรินที่ได้รับหลังการให้ความร้อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน โดยเมื่อเวลาและอุณหภูมิในการให้ความร้อนกับแป้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สีของเดกซ์ทรินมีความเป็นสีเหลืองจนถึงน้ำตาลเข้มมากขึ้น (Radley, 1976)

สมบัติทั่วไปของเดกซ์ทรินคือ มีความหนืดน้อยกว่าแป้งละลายได้ดีในน้ำเย็น มีความสามารถในการจับตัวเป็นก้อน คุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ดี และมีความข้นหนืด (Radley, 1976) ทำให้เดกซ์ทรินถูกนำไปใช้ในการผลิตเป็นส่วนประกอบของอาหารและผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆ เช่น เพื่อผสมเป็นส่วนประกอบของยาเม็ดเพื่อให้เกิดการยึดเกาะกันดีขึ้นของส่วนผสมต่างๆ เพื่อการผลิตบรรจุภัณฑ์จากกระดาษ เพื่อการผลิตกาบอัดแบบ เพื่อการผลิตสิ่งทอ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ เพื่อผลิตสีน้ำ และเพื่อผลิตดอกไม้ไฟ เป็นต้น

รังสีอินฟราเรดเป็นการเหนี่ยวนำความร้อนรูปแบบหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถสร้างความร้อนที่ความยาวคลื่นประมาณ $0.76\ \mu\text{m} - 1\ \text{mm}$ ในลักษณะการแผ่รังสีสู่

วัตถุชีวภาพและวัตถุทางการเกษตร (ฤทธิชัย, 2554) รังสีอินฟราเรดถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการแปรรูปและแปรรูปกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารและการเกษตรอย่างแพร่หลาย (Hanamaka et al., 2006) ที่มีการให้ความร้อนเพื่อเพิ่มกลิ่นรส ที่ดีขึ้น เช่นในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ และการอบแห้งวัตถุทางการเกษตร และพืชสมุนไพร เพื่อช่วยเร่งสารสำคัญในการอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดกับการให้ความร้อนโดยการนำและการพาความร้อน พบว่าการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าการให้ความร้อนการนำและการพาความร้อน (Nowak and Leweciki, 2004) นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนสั้นกว่า การให้ความร้อนมีความสม่ำเสมอ มีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนสูง อุปกรณ์ที่ใช้งานมีความเรียบง่ายและประหยัดพลังงานมากกว่า (Krishnamurthy et al., 2009) ซึ่งโดยทั่วไปการให้ความร้อนในการผลิตเดกซ์ทรินจะใช้อุปกรณ์การถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน เช่น หม้อหรือเกลียวแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ใช้น้ำหรือไอน้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน (Radley, 1976)

ในปัจจุบันการผลิตเดกซ์ทรินโดยใช้ความร้อนจากรังสีอินฟราเรดยังไม่เป็นที่แพร่หลาย งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อที่จะทำการทดสอบสมบัติของเดกซ์ทรินที่ผ่านการให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดกับแป้งมันสำปะหลังได้แก่ โครงสร้างของเม็ดแป้ง ความหนืด ค่าการละลาย และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เนื่องจากสมบัติเหล่านี้เป็นตัวชี้วัดในการนำเดกซ์ทรินไปใช้ในงานที่แตกต่างกัน การศึกษาดังกล่าวจะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตเดกซ์ทรินและออกแบบการผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังจากโรงงานแป้งมันไทยทำ จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย ดำเนินวิเคราะห์หาความความชื้นเริ่มต้นมาตรฐาน (AOAC, 2010) จำนวน 50 ตัวอย่าง พบว่ามีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ $12.17 \pm 0.15\%$

2.2 การให้ความร้อนแป้งมันสำปะหลังด้วยรังสีอินฟราเรด

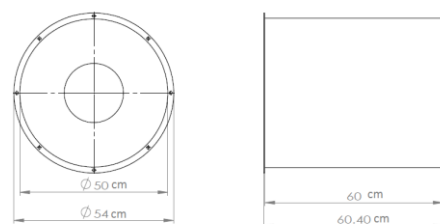


Figure 1 Cylindrical chamber for starch heat treatment.

อุปกรณ์ในการให้ความร้อนแป้งมันสำปะหลังสำหรับในการทดลองครั้งนี้ แสดงใน Figure 1 ถูกออกแบบและสร้างขึ้นเฉพาะเพื่อใช้ในการทดลอง มีลักษณะเป็นถังสเตนเลสทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 m ความยาว 0.6 m วางในแนวขนาดก้นพื้น หมุนโดยใช้มอเตอร์ขนาด 24 V ให้ความร้อนแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณ 5 kg ด้วยหลอดรังสีอินฟราเรด กำลังไฟ 850 W จำนวน 2 หลอด สามารถปรับความเร็วรอบในการหมุนได้โดยตัวต้านทาน (Potentiometer) และปรับกำลังไฟในการแผ่รังสีอินฟราเรดด้วยกล่องควบคุมกระแสไฟ ความหนาของแป้งมันสำปะหลัง 5 kg ประมาณ 8 cm ในถังทรงกระบอก ทำการพลิกกลับ 1 รอบทุกๆ 5 min ที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210°C ตามลำดับ และทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาหาสมบัติของแป้งมันสำปะหลังทุกๆ 2 h โดยให้ความร้อนแป้งมันสำปะหลังเป็นเวลาทั้งหมด 20 h

2.3 การศึกษาโครงสร้างของเม็ดแป้ง

การศึกษาโครงสร้างและความเสียหายของเม็ดแป้งศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) โดยการสุ่มตัวอย่างจากนั้นนำไปฉาบเคลือบทองเพื่อให้มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าด้วยเครื่อง Polaron Emitech (Quorum Technologies Ltd., SC7640, Laughton, UK) จากนั้นนำตัวอย่างไปตรวจสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (Carl Zeiss Co., EVO MA10, Oberkochen, Germany) ระดับกำลังขยาย 1,000 เท่า ค่าความต่างศักย์เร่ง (Accelerating voltage) 20 kV

2.4 การหาค่าความหนืด

วิธีการหาความหนืดได้ดัดแปลงวิธีการของ Bello-Perez et al. (2000) โดยทำละลายสตาร์ช 25 g ในน้ำกลั่น 500 ml นำไปให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการเจลาตไนเซชันในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 min โดยมีการคนอย่างต่อเนื่อง จากนั้นปล่อยให้อุณหภูมิลดลงจนถึง 25°C วัดความหนืดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด Rotational Viscometer (Brookfield, DV-E, Middleboro, USA) ที่ความเร็ว 100 rpm โดยใช้หัววัดหมายเลข s61 ถึง s64

2.5 การหาค่าการละลาย

วิธีการหาค่าการละลายทำโดยอ้างอิงวิธีการของ Dubois et al. (1956) โดยเตรียมแป้งประมาณ 0.02 g (w_1) ทำเป็นสารละลายแป้ง 1% (w/v) นำไปแช่ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 min จากนั้นปล่อยให้สารละลายเย็นตัวลงและนำสารละลายเทลงในหลอดหยั่งขนาด 2 ml ที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่อง Microcentrifuge (Labnet, Spectrafuge 7M, Mayfield, USA) ที่ระดับ 5000xg เป็นเวลา 30 min จากนั้นดูดของเหลวตอนบนใส่ภาชนะที่ทราบน้ำหนักแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 4 h แล้วนำไปชั่งน้ำหนักได้เป็นส่วนของแป้งที่ละลายน้ำ

ได้ (w_2) จากนั้นนำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณค่าการละลายดังที่แสดงในสมการที่ 1

$$\text{ค่าการละลาย (\%)} = \frac{w_2}{w_1} \times 100 \quad (1)$$

2.6 การหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

วิธีการศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทำการทดสอบโดยอ้างอิงวิธีการของ Sarifudin and Assiry (2014) โดยใช้สารละลายแป้ง 10% (w/v) จากนั้นทดสอบโดยใช้ Pocket Refractometer (Atago, Model PAL-1, Tokyo, Japan) โดยค่าที่ได้มีหน่วยเป็น %Brix

2.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Designs (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว One-Way ANOVA (analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาโครงสร้างของเม็ดแป้ง

ภาพขยายแสดงรูปร่างและความเสียหายของเม็ดแป้งธรรมชาติและแป้งที่ได้รับความร้อนแสดงใน Figure 2 เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็ดแป้งธรรมชาติมีค่าเท่ากับ $11.39 \pm 3.22 \mu\text{m}$ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Defloor et al. (1998) ที่รายงานว่าขนาดอนุภาคของเม็ดแป้งมันสำปะหลังมีค่าเท่ากับ 9.5 ถึง $13.6 \mu\text{m}$ โดยมีรูปร่างเป็นทรงรีและทรงกลมขนาดเล็ก จากการตรวจสอบด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy) พบว่าแป้งมีพื้นผิวเรียบและมีรอยแยกเล็กน้อย เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนพื้นผิวของแป้งมีพื้นผิวหยาบขึ้นและเกิดรอยแยกจากความร้อน โดยที่รอยแตกและการแยกกันของเม็ดแป้งมีมากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาและอุณหภูมิในการให้ความร้อน อาจเป็นเพราะแป้งสูญเสียความชื้นภายในเม็ดแป้งจึงทำให้เกิดการหดตัวและเกิดรอยแตกบริเวณพื้นผิวดังนั้นเมื่อเพิ่มเวลาและอุณหภูมิในการให้ความร้อน แป้งจึงมีลักษณะการหดตัวและมีรอยแตกเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Katz (1934) รายงานว่าการให้ความร้อนแป้งสาลีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 120°C ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแป้ง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ แป้งมันสำปะหลังสามารถดูดซับพลังงานความร้อนมากกว่า 210°C จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเม็ดแป้งเกิดความเสียหายในลักษณะที่ทำให้โครงสร้างของโมเลกุลเล็กลงเนื่องจากสลายตัวของพันธะเม็ดแป้ง (Thermal reaction) และผลของการได้รับอุณหภูมิสูงมากเกินไปส่งผลให้คาร์โบไฮเดรตในเม็ดแป้งเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

(Caramelization) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางเคมี-กายภาพของเม็ดแป้ง เมื่อได้รับความร้อนจากรังสีอินฟราเรดมากกว่าเกินไปส่งผลให้เม็ดแป้งมีขนาดลดลง เนื่องจากความร้อนส่วนเกินที่มากกว่าจะทำให้เกิดทำลายพันธะของโซ่ยาวของเม็ดแป้งให้สั้นลง โดยค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุลแป้งลดลงเมื่อเพิ่มเวลาและอุณหภูมิในการให้ความร้อนดังที่แสดงใน Table 1

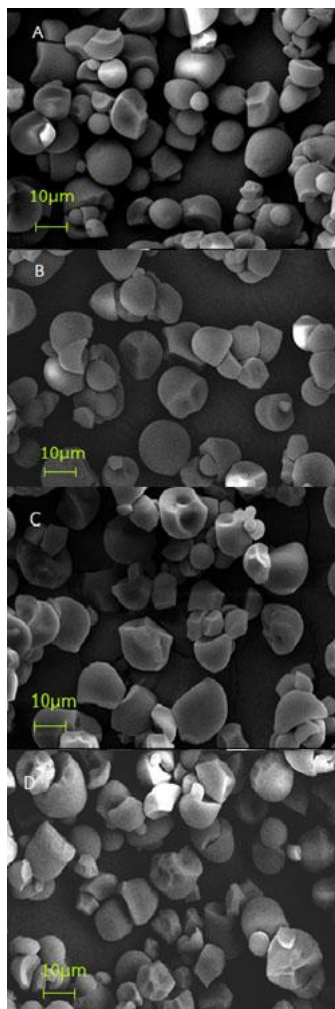


Figure 2 (A) Natural starch, (B) Heated starch at 170°C for 20 h, (C) Heated starch at 190°C for 20 h และ (D) Heated starch at 210°C for 20 h.

3.2 ผลการศึกษาความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแป้ง เมื่อแป้งได้รับความร้อน เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำและเกิดการพองตัวขึ้นเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลถูกทำลาย โดยที่การพองตัวนั้นจะทำให้ น้ำบริเวณรอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งจึงเคลื่อนที่ได้ยากทำให้เกิดความหนืดขึ้น (Zobel and Stephen, 1995)

Table 1 Average diameter of tapioca starch under IR heated for 10 and 20 h.

	Heating time (h)	Average diameter (µm)
Natural Starch*	-	11.39±3.22 ^a
170°C	10	9.56±3.40 ^{ab}
	20	9.42±4.40 ^{ab}
190°C	10	8.77±3.77 ^b
	20	8.41±4.03 ^b
210°C	10	8.37±3.65 ^b
	20	7.64 ±4.22 ^b

Superscripts indicate the statistically non-significant ($p<0.05$) for each column.

*Natural starch is defined as tapioca starch that is not heat-treated.

การศึกษาความหนืดของสารละลายแป้งได้ทำการวัดค่าความหนืดของแป้งที่ได้รับความร้อนจากหลอดรังสีอินฟราเรด ทุกๆ 2 h เป็นเวลา 20 h ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน โดยที่ความหนืดเริ่มต้นของแป้งมีค่าเท่ากับ $3,079.6 \pm 93.5$ cP ผลการทดลองแสดงดัง Figure 3 และ Table 2

Table 2 Viscosity value of heated tapioca starch under IR heating.

Heating time (h)	170°C	190°C	210°C
0	^a 3079.6±93.5 ^a	^a 3079.6±93.5 ^a	^a 3079.6±93.5 ^a
2	^a 2864.0±27.8 ^b	^b 2731.2±2.40 ^b	^c 2274.6±157 ^b
4	^a 2335.3±37.4 ^c	^b 1765.2±131 ^c	^c 1293.0±46.6 ^c
6	^a 1560.6±100 ^d	^b 3311.0±24.6 ^d	^c 113.7±3.20 ^d
8	^a 711.8±6.60 ^e	^b 102.6±5.00 ^e	^c 31.3±0.20 ^e
10	^a 590.9±17.0 ^f	^b 87.8±0.80 ^e	^c 15.3±0.10 ^e
12	^a 417.4±6.60 ^g	^b 70.2±0.70 ^{ef}	^c 11.7±0.10 ^e
14	^a 325.7±24.1 ^g	^b 36.8±1.10 ^f	^c 10.2±0.10 ^e
16	^a 287.3±27.1 ^{gh}	^b 28.1±0.10 ^f	^c 8.9±0.10 ^e
18	^a 249.0±3.40 ^h	^b 21.0±1.20 ^f	^c 7.5±0.10 ^e
20	^a 147.9±0.70 ⁱ	^b 20.5±0.10 ^f	^b 7.1±0.10 ^e

Superscripts and subscripts indicate the statistically non-significant ($p<0.05$) for each column and row, respectively.

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มเวลาและอุณหภูมิในการให้ความร้อนแป้งส่งผลให้ความหนืดมีค่าลดลงที่ทุกอุณหภูมิ การให้ความร้อน โดยการลดลงของความหนืดของแป้งที่อุณหภูมิสูงมีค่าสูงกว่ามีค่าที่เร็วกว่าในช่วงแรก หลังจากนั้นค่าความหนืดเริ่มมีค่าคงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อให้ความร้อนกับแป้งที่

ระดับอุณหภูมิ 190 และ 210°C หลังจากผ่าน 6 h เป็นต้นไป สำหรับที่อุณหภูมิ 170°C ค่าความหนืดมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามเวลาการให้ความร้อนเช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 190 และ 210°C แต่เมื่อผ่าน 8 h ไปแล้วนั้นอัตราการการลดลงของความหนืดมีค่าลดลงตามเวลาการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้น

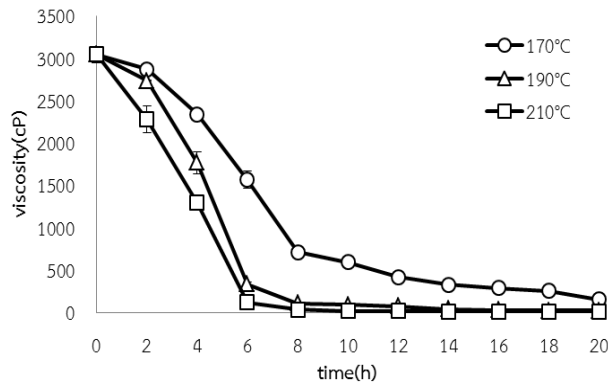


Figure 3 Changing of viscosity of heated tapioca starch under IR heating versus heating time.

ความหนืดที่ลดลงเกิดจากโมเลกุลของแป้งมีขนาดเล็กลงเมื่อแป้งได้รับความร้อน ทำให้เมื่อแป้งพองตัวจะดูดซับน้ำบริเวณรอบๆ เม็ดแป้งได้น้อยส่งผลให้ความหนืดมีค่าลดลง (Zobel and Stephen, 1995) นอกจากนี้ยังมีรายงานของ อโนชา และคณะ (2555) ที่ได้ทำการดัดแปรแป้งข้าวเหนียวด้วยรังสีไมโครเวฟในการให้ความร้อนเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งดีขึ้น โดยแป้งข้าวเหนียวดัดแปรสตรัคเจอร์ด้วยไมโครเวฟมีคุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ที่เปลี่ยนแปลงไปจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร โดยมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นการเกิด เจลาไทไนเซชัน และค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น แต่ค่าพารามิเตอร์ด้านความหนืดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเหนียวปกติ

3.3 ผลการศึกษาการละลาย

Figure 4 แสดงผลการศึกษาการละลายของสารละลายแป้งได้ทำการทดสอบค่าการละลายของแป้งที่ได้รับความร้อนจากหลอดรังสีอินฟราเรดทุกๆ 2 h เป็นเวลา 20 h ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน โดยที่ค่าการละลายเริ่มต้นของแป้งมีค่าเท่ากับ $0.56 \pm 0.63\%$ ผลการศึกษาค่าการละลายของแป้งที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210°C เป็นเวลา 20 h พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแก่แป้ง ส่งผลให้ค่าการละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนส่งผลให้พันธะของแป้งถูกทำลาย ส่งผลให้ความยาวของพันธะสั้นลง ทำให้แป้งละลายน้ำได้ดีขึ้น (Harper, 1992) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Noranizan et al. (2010) ได้ทำการทดลองเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนแป้งสาธิต, แป้งสาธิต, แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่ง ที่อุณหภูมิ 100, 110 และ 120°C เป็นเวลา 1 และ 2 h พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน

ส่งผลให้กำลังการพองตัวและค่าการละลายเพิ่มขึ้น โดยผลการทดสอบค่าการละลายและความแตกต่างทางสถิติได้แสดงใน Table 3

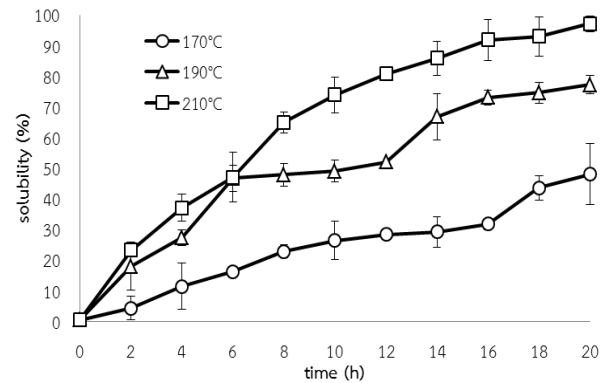


Figure 4 Changing of solubility of heated tapioca starch under IR heating versus heating time.

Table 3 Solubility value of heated tapioca starch under IR heating.

Heating time (h)	Solubility (%)		
	170°C	190°C	210°C
0	0.56 ± 0.63^e	0.56 ± 0.63^f	0.56 ± 0.63^g
2	4.40 ± 3.92^e	17.97 ± 7.82^e	23.30 ± 1.84^f
4	11.47 ± 7.56^{de}	27.34 ± 2.68^d	37.08 ± 4.45^e
6	16.30 ± 1.73^{cd}	46.68 ± 4.27^c	47.01 ± 8.13^e
8	22.80 ± 2.16^{bc}	47.88 ± 3.75^c	64.92 ± 3.52^d
10	26.41 ± 6.19^b	48.98 ± 3.52^c	73.90 ± 5.86^{cd}
12	28.37 ± 0.96^b	51.96 ± 0.12^c	80.72 ± 0.58^{bc}
14	29.22 ± 5.01^b	66.77 ± 7.49^b	85.84 ± 5.49^{abc}
16	31.73 ± 1.87^b	73.00 ± 2.46^{ab}	91.81 ± 12.75^{ab}
18	43.60 ± 3.97^a	74.63 ± 3.48^{ab}	92.96 ± 7.32^{ab}
20	48.08 ± 9.98^a	77.26 ± 2.92^a	97.13 ± 2.62^a

Superscripts and subscripts indicate the statistically non-significant ($p < 0.05$) for each column and row, respectively.

3.4 ผลการศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

Figure 5 และ Table 4 เป็นผลการศึกษาหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยเมื่อแป้งที่ได้รับความร้อนจากหลอดรังสีอินฟราเรดทุกๆ 2 h เป็นเวลา 20 h ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน โดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของแป้งธรรมชาติมีค่าเท่ากับ 0 %Brix ผลการศึกษาค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของแป้งที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210°C เป็นเวลา 20 h พบว่าการให้ความร้อนที่ 210°C เป็นเวลามากกว่า 8 h จึงจะส่งผลให้แป้งเกิดของแข็งที่ละลายน้ำได้และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อน เนื่องจากความร้อนที่อุณหภูมิต่ำไม่สามารถไฮโดรไลซ์โมเลกุลของพันธะไฮโดรเจนของแป้งได้ (Harper, 1992) ปริมาณของแข็งที่

ละลายน้ำได้ของแป้งจึงแสดงผลเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน

Table 4 Total soluble solids value of heated tapioca starch under IR heating.

Heating time (h)	Total soluble solids (%) 210°C
8	-
10	1.20 ± 0.08 ^f
12	3.53 ± 0.05 ^e
14	4.87 ± 0.05 ^d
16	5.00 ± 0.14 ^c
18	5.47 ± 0.05 ^b
20	5.60 ± 0.00 ^a

Superscripts indicate the statistically non-significant ($p < 0.05$) for each column.

ผลการศึกษาปริมาณของแป้งที่ละลายน้ำได้แตกต่างจากผลการศึกษาค่าการละลายเนื่องจากการทดสอบปริมาณของแป้งที่ละลายน้ำได้เป็นการทดสอบโดยใช้แป้งอุณหภูมิปกติในขณะที่การทดสอบค่าการละลายเป็นการทดสอบโดยใช้แป้งที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชันของแป้ง ดังนั้นผลการศึกษาปริมาณของแป้งที่ละลายน้ำได้จึงเป็นการบ่งบอกปริมาณของแป้งหรือองค์ประกอบของแป้งที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น โดยผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Katz (1934) ที่ได้ทำการให้ความร้อนแป้งสาลีที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าเมื่อให้ความร้อนแป้งสาลีที่อุณหภูมิสูงกว่า 180°C ส่งผลให้ความสามารถในการละลายในน้ำเย็นเพิ่มขึ้น ในขณะที่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการละลายในน้ำเย็น

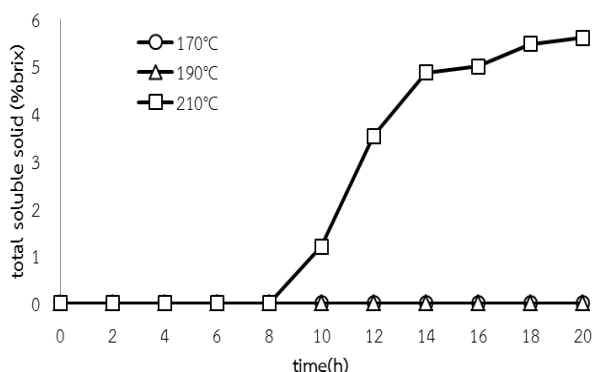


Figure 5 Changing of total soluble solids of heated tapioca starch under IR heating versus heating time.

4 สรุป

จากการทดลองให้ความร้อนแป้งมันสำปะหลังโดยใช้รังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 210°C ส่งผลให้ความหนืดลดลงมากที่สุด

สอดคล้องกับผลการศึกษานาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กที่สุด ในขณะที่ค่าการละลายเพิ่มขึ้นมากที่สุดเช่นกัน ปริมาณของแป้งที่ละลายน้ำได้สามารถวัดค่าได้เมื่อทำการให้ความร้อนแป้งที่อุณหภูมิ 210°C เป็นเวลามากกว่า 10 h ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 210°C ส่งผลให้แป้งมันสำปะหลังมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเดกซ์ทรินมากที่สุดที่เวลามากกว่า 10 h โดยผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นศักยภาพของการใช้รังสีอินฟราเรดในการให้ความร้อนเพื่อผลิตเดกซ์ทรินจากแป้งมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้รับไปต่อยอดในการผลิตเดกซ์ทรินจากแป้งมันสำปะหลังในระดับอุตสาหกรรม

5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อวัสดุ อุปกรณ์และสถานที่สำหรับการทดลอง

6 เอกสารอ้างอิง

- นิธิยา รัตนพานนท์. 2557. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 5: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ กรุงเทพฯ.
- สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. 2558. สถิติส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไทย กรุงเทพฯ. แหล่งข้อมูล: <http://www.thaitaplocastarch.org>. เข้าถึงเมื่อ 4 เมษายน 2558.
- อนิชา สุขสมบูรณ์, พัลลภ ไพพงษ์, กรกช หล่อโลหการ, กิตติญาณ เชี่ยวเชิงคำ, มนต์ราม อินทศิริ, อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. การใช้ประโยชน์จากข้าว. นิทรรศการงานวิจัยบนเส้นทางงานวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ปี 2550 งานเกษตรแฟร์ ประจำปี 2550. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ฤทธิชัย อัครวราชย์. 2554. เทคโนโลยีการสร้างความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 17(1), 41-52.
- Bello-Pérez, L.A., Romero-Manilla, R., Paredes-López, O. 2000. Preparation and Properties of Physically Modified Banana Starch Prepared by Alcoholic Alkaline Treatment. Starch 52(5), 154-159.
- Defloor, I., Dehing, I., Delcour, J.A. 1998. Physico-chemical properties of cassava starch. Starch 50, 58-64.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., Smith, F. 1956. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. Analytical Chemistry 28(3), 350-356.

- Hanamaka, D., Furuse, T., Han, W., Tanaka, S. 2006. Effect of the wavelength of infrared heaters on inactivation of bacterial spores at various water activities. *International Journal of Food Microbiology* 108(2), 281–285.
- Harper, J. 1992. Extrusion processing of starch. In: Alexander, R.J., Zobel, H.F. (Eds.), *Developments in Carbohydrate Chemistry*. American Association of Cereal Chemists, USA.
- ICUMSA 2009. *International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis - The Determination of Refractometric Dry Substance (RDS%) of Molasses Accepted and Very Pure Syrups (Liquid Sugars), Thick Juice and Run-off Syrups-Methods Book GS4/3/8-13*. Peterborough-UK.
- Katz, J.R. 1934. Dextrin (British gum) formed by heating dry starch. *Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas* 53, 555-560.
- Krishnamurthy, K., Khurana, H.K., Jun, S., Irudayaraj J., Demicri, A. 2009. Food Processing Operations Modeling: Design and Analysis. In Jun, S. and Irudayaraj, J.M. (Eds.), *Food Science and Technology Series*, (2nd ed.) Boca Raton, FL: CRC Press, 13-142.
- AOAC. 2010. *Official Methods of Analysis*. (18th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.: USA.
- Noranizan, M.A., Dzulkifly, M.H., Russly, A.R. 2010. Effect of heat treatment on the physico-chemical properties of starch from different botanical sources. *International Food Research Journal* 17, 127–135.
- Radley, J.A. 1976. *Industrial Uses of Starch and its Derivatives*. Springer Science & Business Media.
- Sarifudin, A., Assiry A. 2014. Some physicochemical properties of dextrin produced by extrusion process. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 13, 100–106.
- William, F.B., Kuakoon, P., Klanarong, S. 2009. *Tapioca/Cassava Starch: Production and Use*. Starch. Chemistry and Technology. (3rd ed.).
- Zobel, F.Z., Stephen, A.M. 1995. Starch: structure, analysis and application. In: A. M., Stephen (Eds.), *Food polysaccharides and their application* (pp. 19–66). New York: Taylor & Francis.