

## ผลของสภาวะการแปรรูปแป้งมันสำปะหลัง ต่อปริมาณแป้งทนการย่อย

### Effect of Processing Conditions on Resistant Starch Content from Tapioca Starch

ธนพล รัตนจรัสโรจน์<sup>1\*</sup> และ วรณυχ ศรีเจษฎารักษ์<sup>2</sup>

Tanaphol Rattanasaraj<sup>1\*</sup> and Voranuch Srijesdaruk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

<sup>2</sup>อาจารย์ประจำ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

<sup>1\*</sup>Graduate student in Master of Science of Technology Faculty, Khonkaen University, Muang, Khonkaen, Thailand 40002

<sup>2</sup>Lecturer of Technology Faculty, Khonkaen University, Muang, Khonkaen, Thailand 40002

\*Corresponding author, E-mail: toonas23@gmail.com

#### บทคัดย่อ

แป้งมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่สร้างรายได้หลักให้แก่ประเทศไทย แต่หากเปรียบเทียบกับราคาแป้งจากธัญพืชชนิดอื่นจะมีราคาที่ต่ำกว่ามาก ดังนั้นจึงมีการแปรรูปแป้งมันสำปะหลังให้อยู่ในรูปอาหารเพื่อสุขภาพ เช่น แป้งทนการย่อย (Resistant Starch, RS) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อน (90 °ซ) หรือหม้อนึ่งความดัน (121 °ซ) ร่วมกับการใช้กรดแลคติก (0, 10, 100 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร) อุณหภูมิการบ่ม (30, 60, 95 °ซ) และระยะเวลาการจัดเก็บที่อุณหภูมิ 7 °ซ (0, 7, 14 วัน) พบว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อปริมาณ RS โดยสภาวะที่ให้ RS สูงที่สุดคือการให้ความร้อนแบบอ่างน้ำร้อน ใช้กรดแลคติกที่ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร อุณหภูมิการบ่มที่ 30 °ซ และจัดเก็บที่ 0 วัน (RS = 18.89 %) และในการให้ความร้อนแบบหม้อนึ่งความดัน คือการใช้กรดแลคติกที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร อุณหภูมิการบ่มที่ 30 °ซ และจัดเก็บที่ 0 วัน (RS = 16.21%)

**คำสำคัญ:** แป้งมันสำปะหลัง แป้งทนการย่อย

#### Abstract

Tapioca starch is the main product of Thailand that can make the great incomes. But it has a lower price when comparing with cereal starch. Therefore, tapioca starch was processed to healthy food such as Resistant Starch (RS). This research had studied the waterbath heat treatment (90 °C) or Autoclaved heat treatment (121 °C) with Lactic acid (0, 10, 100 mmol/L), incubated temperature (30, 60, and 95 °C) and storage time at 7°C (0, 7, and 14 days). It was found that all three factors affected RS content. The highest RS content conditions were waterbath heat treatment with 100 mmol/L lactic acid, 30 °C incubated temperature, 0 day storage time (RS = 18.89%) and

autoclaved heat treatment with 10 mmol/L lactic acid, 30 °C incubated temperature and 0 day storage time (RS = 16.21%).

**Keywords:** *tapioca starch, Resistant Starch (RS)*

## 1. บทนำ

มันสำปะหลังจัดเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Manihot esculenta Crantz* มีชื่อสามัญเรียกหลายชื่อตามภาษาต่างๆ ที่ได้ยินกันมากได้แก่ Cassava, Yuca, Mandioca, Manioc, Tapioca ในประเทศไทยมันสำปะหลังเป็นพืชที่ทำรายได้ให้เกษตรกรมากเป็นอันดับที่ 4 รองจากยางพารา อ้อย และข้าว และเป็นประเทศที่ส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังออกมากที่สุดในโลก โดยมีมูลค่าการส่งออกในปี 2556 ถึงกว่า 40,000 ล้านบาท อย่างไรก็ตาม หากเปรียบเทียบมูลค่าของแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งจากธัญพืชชนิดอื่น จะพบว่าแป้งมันสำปะหลังจะมีราคาที่สูงกว่ามาก (กรมการค้าระหว่างประเทศ, 2557) ดังนั้น การพัฒนากระบวนการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าของมันสำปะหลังด้วยวิธีการต่างๆ เช่นแปรรูปเป็นอาหารเพื่อสุขภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น มันสำปะหลังจัดเป็นอาหารในกลุ่มอาหารคาร์โบไฮเดรต เมื่อผ่านกระบวนการย่อยและถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย มีผลทำให้ระดับน้ำตาลในกระแสเลือดมีค่าสูงขึ้น จึงอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อผู้บริโภคในบางกลุ่ม เช่นในกลุ่มผู้ป่วยโรคเบาหวานที่มีความบกพร่องในการควบคุมระดับน้ำตาล เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการพัฒนากระบวนการตัดแปลงโครงสร้างแป้งให้มีความสามารถในการทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ หรือเรียกแป้งชนิดนี้ว่า แป้งที่ทนต่อการย่อยของเอนไซม์ (Resistant Starch, RS)

RS หมายถึง แป้งและผลิตภัณฑ์ของแป้งที่ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์หรือถูกดูดซึมเข้าสู่

ลำไส้เล็กของมนุษย์ จึงทำให้ RS นั้นมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับเส้นใยอาหาร (dietary - fiber) ซึ่งมีประโยชน์ต่อระบบขับถ่ายและการหมุนเวียนของโลหิต โดยทั่วไป RS สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด แต่ RS ที่ได้รับความสนใจในวงการอุตสาหกรรมคือ RS ชนิดที่ 3 หรือที่เรียกว่า Retrograded starch เกิดจากการคืนตัวหรือ recrystallization ของอะมิโลสที่มีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสม เกิดเป็น RS ที่มีความคงทนต่อความร้อนในกระบวนการแปรรูป (Onyango et al., 2006) และไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก เมื่อ RS ที่ไม่ถูกย่อยผ่านมาถึงส่วนของลำไส้ใหญ่ จะถูกย่อยด้วยจุลินทรีย์ภายในลำไส้ใหญ่ ได้เป็นกรดไขมันสายสั้น เช่น กรดบิวทิริก เป็นต้น โดยกรดบิวทิริกที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ใหญ่ (Leeman et al., 2006) นอกจากนี้กรดไขมันสายสั้นที่ได้ยังสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค การบริโภค RS หรือเส้นใยอาหารมีส่วนช่วยป้องกันหรือลดภาวะโรคอ้วน และมีบทบาทในการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในหลอดเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันในหลอดเลือด โรคหัวใจและโรคเบาหวาน (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2550) กรดบิวทิริกที่สร้างขึ้นมาเข้าไปช่วยในการปรับสภาวะตอนปลายของลำไส้ใหญ่ และยับยั้งการเจริญของเซลล์ที่ผิดปกติ (transformed cell) สามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในลำไส้ได้ (Kim, 2006) โดยปกติแล้ว RS จะสามารถผลิตได้จากหลายวิธี เช่นการใช้เอนไซม์

การใช้สารเคมี หรือการใช้วิธีทางกายภาพ เช่น ความร้อน เป็นต้น การผลิต RS ด้วยความร้อนจึงเป็นวิธีที่น่าสนใจ เนื่องจากมีต้นทุนที่ไม่สูง และสามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องมือที่มีอยู่แล้วในโรงงานอุตสาหกรรมได้ Onyanggo (2006) ใช้ความร้อนจากหม้อนึ่งความดัน ร่วมกับการใช้กรดแลคติก และ อุณหภูมิการบ่ม พบว่ามีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ RS ในแป้งมันสำปะหลัง และ Chou (2010) ได้ใช้วิธีให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งความดัน และอ่างน้ำร้อน ร่วมกับเวลาในการจัดเก็บที่อุณหภูมิสูง พบว่ามีผลทำให้ได้ปริมาณ RS ที่สูงในแป้งมันฝรั่ง ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงสนใจศึกษาสภาวะการผลิต โดยการใช้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งความดัน และอ่างน้ำร้อน ร่วมกับการใช้กรดแลคติกความเข้มข้นต่างๆ อุณหภูมิการบ่ม และจัดเก็บที่อุณหภูมิสูงที่เวลาแตกต่างกันเพื่อศึกษาผลของสภาวะการผลิตต่อปริมาณ RS ซึ่งเป็นชนิดที่ 3

## 2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของสภาวะการผลิต RS ด้วยวิธีใช้ความร้อน (แบบอ่างน้ำร้อนหรือหม้อนึ่งความดัน) ร่วมกับกรดแลคติก อุณหภูมิการบ่ม และเวลาการจัดเก็บ ต่อปริมาณ RS จากแป้งมันสำปะหลัง

## 3. อุปกรณ์และวิธีการ

### 3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำแป้งเนทีฟมันสำปะหลัง ที่ได้จากบริษัท คาร์กิล Lot 12 07 25 ผลิตวันที่ 25 /07/12 ขนาดบรรจุ 50 กิโลกรัมมาแบ่งบรรจุไว้ในถุงซิปล (Nylon/PE) ขนาด 5 กิโลกรัมและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง สุ่มตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์และดำเนินการวิจัย

### 3.2 การศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ

#### 3.2.1 วิเคราะห์ความชื้นของแป้งตัวอย่าง ตามวิธี

AOAC (1995)

#### 3.2.2 วิเคราะห์ปริมาณ RS ในแป้งตัวอย่าง โดยวิธีของ Chou (2010)

นำตัวอย่างแป้งที่ต้องการวิเคราะห์ (0.4 กรัม น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในหลอดปั่นเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนักแน่นอน เติมสารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์ (pH 6.0, 55.6 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร) 20 มิลลิลิตร และ เอนไซม์ แอลฟา-อะไมเลส (Sigma A-3176) 0.16 กรัม บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และนำมาปรับ pH ให้เป็น 4.5 ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก (2 มิลลิลิตร/100 มิลลิลิตร) จากนั้นเติมเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (Sigma A-7095) 0.4 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาปั่นเหวี่ยงที่ 4000 x g เป็นเวลา 15 นาที (Sorvall Legend Mach 1.6 R, Thermo Fisher scientific, Germany) นำส่วนที่ตกตะกอนมาเติมสารละลายฟอสเฟต บัฟเฟอร์ (pH 7.5, 0.08 โมลาร์) 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเอนไซม์โปรทีเอส (Sigma P-2143) 0.4 กรัม บ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ก่อนนำมาปั่นเหวี่ยงที่ 6000 x g เป็นเวลา 15 นาที ก่อนนำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ โดยปริมาณ RS คำนวณได้ดังนี้ ปริมาณ RS (% น้ำหนักแห้ง) = (น้ำหนักของ RS × 100%) / น้ำหนักของตัวอย่าง

#### 3.3 การศึกษาปัจจัยของการย่อยด้วยกรด อุณหภูมิการบ่ม และระยะเวลาในการเก็บจากการให้ความร้อนแบบอ่างน้ำร้อนต่อปริมาณ RS ในแป้งมันสำปะหลัง

นำแป้งเนทีฟมันสำปะหลัง มาทำให้เกิดสภาวะวนลอยด้วยกรดแลคติกที่มีความเข้มข้น 0, 10, 100 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร จากนั้นนำมาให้ความร้อนแบบอ่างน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำการบ่มที่อุณหภูมิ 30, 60 และ 95 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ก่อนเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 7

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 7 และ 14 วัน แล้วนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ RS โดยวิธีของ Chou et al. (2010) ออกแบบการทดลองแบบ Split in Split Plot ทำการทดลอง 2 ซ้ำ จะได้จำนวนการทดลอง ทั้งหมด 54 การทดลอง

3.4 การศึกษาปัจจัยของการย่อยด้วยกรด อุณหภูมิการบ่ม และระยะเวลาในการเก็บจากการให้ความร้อนแบบหม้อนึ่งความดันต่อปริมาณ RS ในแป้งมันสำปะหลัง

นำแป้งเนทีฟมันสำปะหลังมาทำให้เกิดสารแขวนลอยด้วยสารละลายกรดแลคติกที่มีความเข้มข้น 0, 10, 100 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร จากนั้นนำมาให้ความร้อนแบบหม้อนึ่งความดัน ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 30, 60 และ 95 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ก่อนเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 7 และ 14 วัน แล้วนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ RS โดยวิธีของ Chou (2010) ออกแบบการทดลองแบบ Split in Split Plot ทำการทดลอง 2 ซ้ำ จะได้จำนวนการทดลอง ทั้งหมด 54 การทดลอง

3.5 ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ RS จากแป้งมันสำปะหลังที่ผลิต ด้วยวิธีอ่างน้ำร้อน วิธีหม้อนึ่งความดัน และแป้งเนทีฟมันสำปะหลัง

นำตัวอย่างแป้งที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบอ่างน้ำร้อนและหม้อนึ่งความดันที่มีปริมาณ RS สูงที่สุดมาเปรียบเทียบกับปริมาณ RS ของแป้งเนทีฟมันสำปะหลัง ออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomize Design (CRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

3.6 การวิเคราะห์สถิติ

นำข้อมูลจากการทดลองมาวิเคราะห์สถิติด้วยโปรแกรม SPSS version 13 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

##### 4.1 คุณภาพของวัตถุดิบ

แป้งเนทีฟมันสำปะหลังพบว่า มีความชื้นร้อยละ (%)  $13.3 \pm 0.025$  และมีปริมาณ RS ในแป้งเนทีฟมันสำปะหลัง ร้อยละ (%)  $82.50 \pm 0.04$  ซึ่งไม่คงทนต่อความร้อนและเอนไซม์ แต่เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนและทำให้เกิดเจล จะพบปริมาณ RS (ชนิดที่ 3) ร้อยละ (%)  $1.71 \pm 0.02$  อย่างไรก็ตามในงานวิจัยฉบับนี้จะทำการศึกษาในส่วนของ RS ชนิดที่ 3 ซึ่งมีคงทนต่อความร้อนและทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์

4.2 ผลของความเข้มข้นกรด อุณหภูมิการบ่ม และเวลาการจกเก็บ จากการให้ความร้อนแบบอ่างน้ำร้อนต่อปริมาณ RS ในแป้งมันสำปะหลัง

เมื่อสารแขวนลอยของแป้งเนทีฟมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นกรดแลคติก 0, 10, 100 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร ผ่านการให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงและนำมาบ่มที่อุณหภูมิ 30, 60, 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 7 และ 14 วัน พบว่าปัจจัยร่วมของความเข้มข้นของกรดแลคติก อุณหภูมิการบ่ม และเวลาการจกเก็บมีผลต่อปริมาณ RS อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 1) การผลิต RS โดยการให้ความร้อนแบบอ่างน้ำร้อน ใช้สารละลายกรดแลคติก ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร บ่มภายใต้อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และจัดเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น 0 วัน จะให้

ปริมาณ RS สูงที่สุดร้อยละ  $18.89 \pm 0.20$  เนื่องจากกรดที่ความเข้มข้นสูง จะสามารถทำให้เกิดการตัดสายอะมิโลส ของแป้งให้เป็นโมเลกุลที่สั้นลง ซึ่งเอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาคืนตัว (retrogradation) เมื่อใช้อุณหภูมิการบ่มที่ต่ำ (30 องศาเซลเซียส) ซึ่งอะมิโลส โมเลกุลสั้นที่มีขนาดที่เหมาะสม จะสามารถรวมตัวกันเกิดเป็นผลึกที่มีโครงสร้างที่หนาแน่นทำให้เอนไซม์ แอลฟาอะมิเลส ไม่สามารถเข้าย่อยได้ จึงมีคุณสมบัติเป็น RS (Cai et al., 2010) โดยไม่ใช้เวลาเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ใช้กรดที่ความเข้มข้นเดียวกัน แต่ทำการบ่มที่อุณหภูมิสูง (95 องศาเซลเซียส) พบว่าอุณหภูมิการบ่มที่สูง เมื่อร่วมกับกรดที่ความเข้มข้นสูง จะทำให้สายอะมิโลสถูกตัดเป็นโมเลกุลที่สั้นมากเกินไป ทำให้การคืนตัวของอะมิโลสเกิดได้น้อย (Cai et al., 2010) มีผลทำให้ปริมาณ RS ต่ำคือร้อยละ  $1.46 \pm 0.02$  แต่ที่สภาวะผลิตเดียวกันแต่จัดเก็บที่ 7 วัน ลดอุณหภูมิการบ่มคือ 60 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณ RS มีค่าเพิ่มสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าผลของการใช้ความเข้มข้นกรดที่สูง แต่ใช้อุณหภูมิการบ่มที่ต่ำทำให้ได้โมเลกุลของอะมิโลสที่มีความยาวเหมาะสม ทำให้เกิดความคืนตัวมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ความเข้มข้นกรดต่ำ (0, 10 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร) อุณหภูมิการบ่มที่ต่ำ (30 องศาเซลเซียส) เมื่อจัดเก็บในอุณหภูมิตู้เย็น ยาวนานเป็นวัน หรือสัปดาห์ จะทำให้เกิดการคืนตัวของอะมิโลสที่คืนตัวสามารถคืนตัวส่งผลให้มีปริมาณ RS สูงขึ้น (Garcia-Alonso et al., 1999) อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ความเข้มข้นกรดที่สูงขึ้นและอุณหภูมิการบ่มที่สูงขึ้น ระยะเวลาการจัดเก็บในตู้เย็น จะมีผลต่อปริมาณ RS เพียงเล็กน้อย

4.3 ผลของความเข้มข้นกรด อุณหภูมิการบ่ม และเวลาการจัดเก็บ จากการใช้ความร้อนแบบหม้อนึ่งความดันต่อปริมาณ RS ในแป้งมันสำปะหลัง

สารแขวนลอยของแป้งเนทีฟมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นกรดแลคติก 0, 10, 100 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร นำมาให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งความดัน ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงและบ่มที่อุณหภูมิ 30, 60, 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 7 และ 14 วัน พบว่าปัจจัยร่วมของความเข้มข้นของตัวทำละลาย อุณหภูมิการบ่ม และเวลาการจัดเก็บมีผลต่อปริมาณ RS อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 2 โดยพบว่าสภาวะการผลิตที่ใช้สารละลายกรดแลคติก ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร บ่มภายใต้อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นเวลา 0 วัน ให้ปริมาณ RS สูงที่สุด คือร้อยละ  $16.21 \pm 0.19$  (ตารางที่ 2) เนื่องจากการให้ความร้อนด้วยวิธีหม้อนึ่งความดัน จะให้อุณหภูมิที่สูง ภายใต้ความดันที่สูงถึง 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งสภาวะที่รุนแรงมีผลทำให้สายของอะมิโลสในแป้งมันสำปะหลังถูกตัดเป็นโมเลกุลสายสั้น ดังนั้นเมื่อใช้ร่วมกับกรดแลคติกที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมและใช้อุณหภูมิในการบ่มที่ต่ำ (30 องศาเซลเซียส) จะทำให้การตัดโมเลกุลของอะมิโลสได้ขนาดที่เหมาะสมต่อการคืนตัว (Onyango et al., 2006) แต่หากมีการใช้กรดความเข้มข้นสูง (100 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร) ร่วมกับอุณหภูมิการบ่มที่สูง (95 องศาเซลเซียส) พบว่า ปริมาณ RS ที่ได้มีปริมาณต่ำ คือร้อยละ  $0.25 \pm 0.00$  เนื่องจากร้อนและความดันที่สูง ร่วมกับการใช้ความเข้มข้นกรดสูง ทำให้สายของอะมิโลสถูกตัดอย่างรุนแรง ส่งผลให้โมเลกุลของอะมิโลส ถูกตัดมากเกินไปจนมีขนาดที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดการคืนตัวลดลง (Cai et al., 2010) ซึ่งสังเกตได้จากความหนืดของเจลแป้งที่ลดลง การคืนตัวที่ลดลงนี้ส่งผลให้ได้ปริมาณ RS ที่ต่ำ แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นกรดต่ำและใช้เวลาในการจัดเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็นนาน

เป็นวันหรือสัปดาห์ พบว่าเกิดการกินตัวของอะมิโลเพคตินเพิ่มขึ้นจึงส่งผลทำให้ปริมาณ RS เพิ่มขึ้น (Garcia-Alonso et al., 1999) แต่หากใช้กรดที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น จะพบว่าปริมาณ RS มีค่าลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยของกรดยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Onyang et al., 2006) แม้จะเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น

4.4 ผลเปรียบเทียบปริมาณ RS จากแป้งมันสำปะหลังที่ผลิต ด้วยวิธีอ่างน้ำร้อน วิธีหม้อนึ่งความดัน และแป้งเนทีฟมันสำปะหลัง

สภาวะการผลิตเมื่อให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อน (บ่มที่ 30 องศาเซลเซียส, ความเข้มข้นกรดแลคติก 100 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร, จัดเก็บที่ 0 วัน) และสภาวะการให้ความร้อนด้วยหม้อนึ่งความดัน (บ่มที่ 30 องศาเซลเซียส, ความเข้มข้นกรดแลคติก 10 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร, จัดเก็บในตู้เย็นที่ 0 วัน) ที่ให้ปริมาณ RS สูงสุด เปรียบกับแป้งเนทีฟมันสำปะหลัง พบว่าสภาวะการผลิตด้วยอ่างน้ำร้อน (18.89%) ให้ปริมาณ RS ที่สูงกว่า สภาวะการผลิตด้วยหม้อนึ่งความดัน (16.21%) และแป้งเนทีฟมันสำปะหลัง (1.71%) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสภาวะการผลิตการให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อนเหมาะสมต่อการเกิด RS มากที่สุด อาจเนื่องจากการให้อุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปทำให้สามารถตัดสายอะมิโลสได้โมเลกุลสั้น ซึ่งมีความยาวในช่วงที่เหมาะสมต่อการเกิดการกินตัว ทำให้สามารถรวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างแบบเกลียวคู่ ซึ่งมีความคงตัวด้วยพันธะไฮโดรเจน จึงทำให้ทนต่อความร้อน (Haralampu, 2000) นอกจากนี้การที่โครงสร้างผลึกมีความหนาแน่นจะทำให้เอนไซม์แอลฟาอะมิเลสไม่สามารถเข้าย่อยได้

## 5. การอภิปรายผล

ผลิตภัณฑ์ RS ที่ได้จากระบวนการแปรรูปนี้มีคุณสมบัติที่สำคัญคือสามารถละลายในน้ำ เย็นและ

ดูดความชื้นได้ เนื่องจากการให้ความร้อนที่สูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตินซ์ ทำให้พันธะไฮโดรเจนของแป้งถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจึงสามารถเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ และในระหว่างกระบวนการอบแห้งจะทำให้แป้งเกิดรูพรุน จึงส่งผลให้มีการละลายเพิ่มขึ้น (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2550) ดังนั้นหากศึกษาการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ จึงควรนำผลิตภัณฑ์ RS ที่ได้มาผสมในเครื่องดื่มชงเพื่อสุขภาพ โดยอาจมีการแต่งกลิ่น รส ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจะสามารถเพิ่มมูลค่าของแป้งมันสำปะหลัง

## 6. บทสรุป

แป้งมันสำปะหลังที่ให้ความร้อนด้วยวิธีอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ร่วมกับกรดแลคติกความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร บ่มที่ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยไม่จัดเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น มีผลให้ปริมาณ RS ที่ได้มีค่าสูงคือร้อยละ  $18.89 \pm 0.20$  ส่วนแป้งมันสำปะหลังที่ให้ความร้อนด้วยวิธีหม้อนึ่งความดัน อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ร่วมกับกรดแลคติกความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ต่อลิตร บ่มที่ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยไม่จัดเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น ให้ปริมาณ RS สูงที่สุดคือร้อยละ  $16.21 \pm 0.19$  และเมื่อเปรียบเทียบสภาวะการผลิตที่ให้ RS สูงที่สุด จากให้ความร้อนด้วยวิธีอ่างน้ำร้อนและหม้อนึ่งความดันเทียบกับปริมาณ RS จากแป้งเนทีฟมันสำปะหลัง (1.71%) พบว่าวิธีการให้ความร้อนด้วยอ่างน้ำร้อนเป็นสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดในการเกิด RS สูงที่สุด อย่างไรก็ตามยังคงมีปัจจัยที่สำคัญต่อการเกิด RS เช่น เวลาการให้ความร้อน และระยะเวลาในการบ่ม รวมถึงการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ยังต้องศึกษาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

**ตารางที่ 1** ปริมาณ RS จากเป็งมันสำปะหลังที่ได้จากสภาวะการผลิตโดยวิธีการให้ความร้อนแบบอ่างน้ำร้อน

อุณหภูมิการบ่ม	ความเข้มข้นกรด	เวลาการเก็บรักษา	ปริมาณ RS (%)
30 °C	0 mmol/L	0 วัน	8.86 ± 0.21 <sup>mn</sup>
		7 วัน	14.81 ± 0.09 <sup>d</sup>
		14 วัน	16.93 ± 0.16 <sup>c</sup>
	10 mmol/L	0 วัน	11.78 ± 0.14 <sup>i</sup>
		7 วัน	13.77 ± 0.21 <sup>f</sup>
		14 วัน	14.32 ± 0.29 <sup>c</sup>
	100 mmol/L	0 วัน	18.89 ± 0.20 <sup>a</sup>
		7 วัน	16.81 ± 0.25 <sup>c</sup>
		14 วัน	18.39 ± 0.18 <sup>b</sup>
60 °C	0 mmol/L	0 วัน	8.08 ± 0.08 <sup>o</sup>
		7 วัน	8.97 ± 0.11 <sup>mn</sup>
		14 วัน	9.17 ± 0.02 <sup>m</sup>
	10 mmol/L	0 วัน	14.72 ± 0.08 <sup>d</sup>
		7 วัน	13.21 ± 0.13 <sup>e</sup>
		14 วัน	13.38 ± 0.16 <sup>e</sup>
	100 mmol/L	0 วัน	12.73 ± 0.24 <sup>h</sup>
		7 วัน	12.52 ± 0.25 <sup>h</sup>
		14 วัน	13.51 ± 0.20 <sup>fg</sup>
95 °C	0 mmol/L	0 วัน	8.76 ± 0.07 <sup>b</sup>
		7 วัน	10.52 ± 0.22 <sup>jk</sup>
		14 วัน	9.73 ± 0.17 <sup>l</sup>
	10 mmol/L	0 วัน	9.70 ± 0.17 <sup>l</sup>
		7 วัน	10.77 ± 0.20 <sup>j</sup>
		14 วัน	10.22 ± 0.06 <sup>k</sup>
	100 mmol/L	0 วัน	1.88 ± 0.12 <sup>p</sup>
		7 วัน	1.46 ± 0.02 <sup>q</sup>
		14 วัน	1.61 ± 0.14 <sup>pn</sup>

**ตารางที่ 2** ปริมาณ RS จากเป็งมันสำปะหลังที่ได้จากสภาวะการผลิตโดยวิธีการให้ความร้อนแบบหม้อนึ่งความดัน

อุณหภูมิการบ่ม	ความเข้มข้นกรด	เวลาการเก็บรักษา	ปริมาณ RS (%)
30 °C	0 mmol/L	0 วัน	8.07 ± 0.02 <sup>s</sup>
		7 วัน	8.00 ± 0.14 <sup>s</sup>
		14 วัน	8.22 ± 0.10 <sup>s</sup>
	10 mmol/L	0 วัน	16.21 ± 0.19 <sup>a</sup>
		7 วัน	15.51 ± 0.24 <sup>b</sup>
		14 วัน	14.45 ± 0.06 <sup>c</sup>
	100 mmol/L	0 วัน	1.59 ± 0.00 <sup>l</sup>
		7 วัน	1.55 ± 0.02 <sup>l</sup>
		14 วัน	1.11 ± 0.05 <sup>lm</sup>
60 °C	0 mmol/L	0 วัน	4.42 ± 0.34 <sup>t</sup>
		7 วัน	7.10 ± 0.10 <sup>b</sup>
		14 วัน	10.34 ± 0.27 <sup>c</sup>
	10 mmol/L	0 วัน	14.50 ± 0.64 <sup>c</sup>
		7 วัน	13.10 ± 0.01 <sup>d</sup>
		14 วัน	13.50 ± 0.44 <sup>d</sup>
	100 mmol/L	0 วัน	0.86 ± 0.02 <sup>m</sup>
		7 วัน	0.88 ± 0.02 <sup>m</sup>
		14 วัน	0.87 ± 0.00 <sup>m</sup>
95 °C	0 mmol/L	0 วัน	6.28 ± 0.08 <sup>i</sup>
		7 วัน	8.52 ± 0.48 <sup>fg</sup>
		14 วัน	8.76 ± 0.44
	10 mmol/L	0 วัน	5.45 ± 0.37 <sup>l</sup>
		7 วัน	7.47 ± 0.33 <sup>b</sup>
		14 วัน	6.12 ± 0.12 <sup>l</sup>
	100 mmol/L	0 วัน	1.20 ± 0.05 <sup>lm</sup>
		7 วัน	0.98 ± 0.02 <sup>m</sup>
		14 วัน	0.25 ± 0.00 <sup>n</sup>

หมายเหตุ a,b,c,d,...,q ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงค่าเฉลี่ยของปริมาณ RS ของสภาวะการผลิตด้วยการให้ความร้อนแบบอ่างน้ำร้อนและหม้อนึ่งความดันที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's new multiple range test

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณ RS สูงที่สุด ที่ผลิตได้จากวิธีการให้ความร้อนแบบอ่างน้ำร้อนหรือหม้อนึ่งความดันกับแป้งเนทีฟมันสำปะหลัง

ตัวอย่าง	ปริมาณ RS (%)	เพิ่มขึ้น (%)
ตัวอย่างที่มี RS สูงที่สุดจากวิธีอ่างน้ำร้อน	18.89 ± 0.19 <sup>a</sup>	1104
ตัวอย่างที่มี RS สูงที่สุดจากวิธีหม้อนึ่งความดัน	16.21 ± 0.20 <sup>b</sup>	948
RS ที่วัดได้จากแป้งเนทีฟมันสำปะหลัง	1.71 ± 0.04 <sup>c</sup>	

หมายเหตุ a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงค่าเฉลี่ยของปริมาณ RS ของสภาวะการผลิตด้วยการให้ความร้อนแบบอ่างน้ำร้อนและหม้อนึ่งความดันกับแป้งเนทีฟมันสำปะหลังที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's new multiple range test

### 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท คาร์กิลสยาม จำกัด ที่สนับสนุนแป้งมันสำปะหลังและอุปกรณ์การวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัย ขอนแก่นที่ให้การสนับสนุนด้านวิชาการ

### 8. เอกสารอ้างอิง

กรมการค้าระหว่างประเทศ. (ออนไลน์) สืบค้นจาก:

<http://www.dft.go.th>. (14 กรกฎาคม 2557)

กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. (2550).

เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4.กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 303 หน้า.

AOAC. (1995). Official Method of analysis. 16<sup>th</sup> ed.

Association Official Analytical Chemists, Virginia.

Cai L., Shi Y. C., Rong L. A., Hsiao B. S. (2010).

Debranching and crystallization of waxy

maize starch in relation to enzyme digestibility. Carbohydrate Polymers 81: 385–393.

Chou C., Wu M., Nurtama B, Lin J. (2010). Effects of Different Heating Treatment and Storage Time on Formation of Resistant Starch from Potato Starch. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 44: 935 – 942.

Garcia-Alonso, A., Jimenez-escrig, N. Martincarron, L., Bravo, F. Sauro-calixto. (1999). Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. Food Chem. 66: 181-187.

Haralampu, S.G. (2000). Resistant starch – a review of the physical properties and biological impact of RS<sub>3</sub>. Carbohydrate Polymers 41:285–292.

Kim, J. H., E. J. Tanhehco, P. K. W. Ng. (2006). Effects of extrusion conditions on resistant starch formation from pastry wheat flour. Food Chem. 99: 718-723.

Leeman A. M., Karlsson M. E., Eliasson A. C., Inger M. E., Bjo`rck. (2006). Resistant starch formation in temperature treated potato starches varying in amylose/amylopectin ratio. Carbohydrate Polymers 65: 306–313.

Onyango C., Bley T., Jacob A., Henle T., Rohm H. (2006). Influence of incubation temperature and time on resistant starch type III formation from autoclaved and acid-hydrolysed cassava starch. Carbohydrate Polymers 66: 494–499.