

ผลของความชื้น และระยะเวลาให้ความร้อนต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพ  
ของสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรโดยวิธีให้ความร้อนร่วมกับความชื้น

Effect of Moisture Content and Heating Time on Physicochemical Properties  
of Modified Rice Starch by the Heat Moisture Treatment Method

จิรนาถ บุญคง<sup>1</sup> ธนันท์พัชญ์ อภิธนสรณ์<sup>1</sup> และ นูไอนี ล่าภูด<sup>1</sup>  
Boonkong, J.<sup>1</sup>, Apitanason, T.<sup>1</sup> and Lakud, N.<sup>1</sup>

Abstract

This research studied the effect of moisture content and heating time on the physicochemical properties of modified rice starch, produced by heat moisture treatment (HMT). Moisture contents of starch used for this study were 20% and 30% (w/w) and heating times at 110°C were 30, 60 and 90 min. The modified rice starches were fine powder, smooth and brightness. The  $L^*$  value, water activity, swelling power and solubility of modified starches were lower than those of native starch while water absorption (WAI), resistant starch and amylose content of modified starches were higher. Results of the physicochemical properties indicated that HMT-3 was the optimal formula. The viscosity of HMT-3 and native starch analyzed by Rapid Visco Analyzer (RVA) showed that peak viscosity, final viscosity breakdown, and setback of HMT-3 decreased. X-Ray Diffraction Technique (XRD) showed an A-type crystalline structure pattern and HMT-3 had higher crystallinity (%) than native starch.

**Keywords:** heat-moisture treatment, modified starch, rice starch

บทคัดย่อ

การศึกษากลไกของความชื้น และระยะเวลาในการผลิตสตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร โดยวิธีการใช้ความร้อนร่วมกับความชื้นต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพ โดยแปรผันปริมาณความชื้นที่ระดับ 20% และ 30% ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปรทำให้เป็นผงละเอียด เนื้อเนียน สีขาวสว่าง โดยมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่า water activity กำลังการพองตัว และร้อยละการละลายน้อยกว่าสตาร์ชที่ไม่ตัดแปร ในขณะที่สตาร์ชตัดแปรมีความสามารถในการอุ้มน้ำ มีปริมาณ resistant starch และปริมาณอะมิโลสสูงกว่า โดยสตาร์ชตัดแปร HMT-3 มีสมบัติทางเคมี-กายภาพเหมาะสมที่สุด จากการวิเคราะห์ความหนืดด้วย Rapid Visco Analyzer (RVA) พบว่า peak viscosity, final viscosity breakdown และ setback ของสตาร์ชตัดแปร HMT-3 มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับสตาร์ชไม่ตัดแปร การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-ray diffraction พบว่ามีโครงสร้างแบบ A-type โดยสตาร์ชตัดแปร HMT-3 มีค่า crystallinity (%) สูงกว่า

**คำสำคัญ:** การให้ความร้อนร่วมกับความชื้น สตาร์ชตัดแปร สตาร์ชข้าวเจ้า

คำนำ

Resistant starch คือ แป้งที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์และไม่ถูกดูดซึมภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ปกติได้ ซึ่งแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์นี้พบตามธรรมชาติ และสามารถเตรียมได้จากวิธีการตัดแปรต่างๆ ได้แก่ วิธีทางกายภาพ เช่น การเกิดรีโทรกราเดชันของแป้ง การใช้ความร้อนชื้น (Heat Moisture Treatment) และวิธีทางเคมี เช่น การใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้ง การใช้สารเคมีในการทำแป้งตัดแปร เป็นต้น ดังนั้น resistant starch จึงมีสมบัติเหมือนเส้นใยอาหารซึ่งจะไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็กแต่จะถูกหมักโดยจุลินทรีย์ภายในลำไส้ใหญ่ ได้เป็นกรดไขมันสายสั้นๆ เช่น acetate, propionate และ butyrate ซึ่งมีประโยชน์ต่อระบบขับถ่ายและระบบหมุนเวียนเลือด ช่วยป้องกันและลดความเสี่ยงของการเกิดโรคท้องผูก โรคอ้วน โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหัวใจ และโรคเบาหวาน เป็นต้น นอกจากนี้อุตสาหกรรมอาหารยังนิยมนำ resistant starch มาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น ขนมอบ คุกกี้ ขนมปังกรอบ เป็นต้น โดยจะช่วยให้อาหารมีเนื้อสัมผัสที่ดี ไม่หยาบ ไม่ทำให้อร่อยและเนื้อสัมผัสของอาหารเปลี่ยนแปลง และด้วยคุณสมบัติที่ดีกว่าเส้น

<sup>1</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ถ.เพชรเกษม บางหว้า ภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร 10160

<sup>1</sup> Department of Food technology, Faculty of Science, Siam University, Petchkasem Rd., Bangwa, Phasicharoen, Bangkok, 10160

ใยจากแหล่งอื่นๆ จึงทำให้มีการใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพอย่างกว้างขวาง ปัจจุบันมีการผลิต resistant starch ในเชิงการค้า ได้แก่ Novelose® และ CrystaLean® เป็นต้น (จิรนาถ, 2553) ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะผลิต resistant starch โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อศึกษาผลของปริมาณความชื้น และระยะเวลาให้ความร้อนในการดัดแปรสตาร์ชข้าวเจ้า ด้วยวิธีการให้ความร้อนร่วมกับความชื้น ต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชดัดแปรที่ผลิตได้เทียบกับสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร

### อุปกรณ์และวิธีการ

สกัดสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้า (บริษัทโรงงานเส้นหมี่ช่อเฮง) ตามวิธีของ Thompson (1977) จากนั้นดัดแปรสตาร์ชข้าวเจ้าด้วยวิธีให้ความร้อนร่วมกับความชื้น (Horndok และ Noomborn, 2007) โดยแปรผันปริมาณความชื้นเริ่มต้นของสตาร์ชที่ระดับ 20 และ 30% แปรผันเวลาในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที อบแห้งและควบคุมความชื้นของสตาร์ชไม่เกิน 13% บดสตาร์ชให้ละเอียดและร่อนผ่านชั้นตะแกรง 80 mesh เก็บรักษาในภาชนะที่แห้งและปิดสนิท และศึกษาสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชข้าวเจ้าดัดแปรเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร โดยวัดค่าความสว่าง ( $L^*$ ) (Hunter Lab รุ่น Color Flex) ค่า water activity (AQUA LAB รุ่น AW CX3TE) กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 85°C (Schoch, 1964) ปริมาณ Resistant starch (Goni et al., 1997) และปริมาณอะมิโลส (Juliano, 1971) จากนั้นคัดเลือกทรีทเมนต์ที่มีปริมาณ resistant starch และปริมาณอะมิโลสสูงสุด มาวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser และศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer รุ่น D8 การวิเคราะห์สถิติของสมบัติทางเคมี-กายภาพ วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design หาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนโดยวิธี One-Way Analysis of Variance และตรวจสอบความแตกต่างของทรีทเมนต์ด้วย Duncan's Multiple Range Test ที่ความเชื่อมั่น 95%

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

สตาร์ชข้าวเจ้าดัดแปร มีลักษณะเป็นผงละเอียด เนื้อเนียน สีขาวสว่าง มีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ลดลงเมื่อเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร (Table 1) ทั้งนี้การระเหยน้ำออกโดยความร้อน ทำให้อาหารมีสีเข้มขึ้น เพราะเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณของแข็งทั้งหมด และการลดค่า water activity ( $a_w$ ) ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นได้ เช่น เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (millard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่อะมิโนกับหมู่คาร์บอนิล ทำให้เกิดโพลีเมอร์ของสารสีน้ำตาล เรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidin) ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยานี้ คือ น้ำตาล เอมีน พีเอช อุณหภูมิ และค่า  $a_w$  และค่า  $a_w$  ของสตาร์ชดัดแปรลดลง เนื่องจากสตาร์ชได้รับความร้อนเป็นเวลา 30-90 นาที ส่งผลให้ความชื้นและน้ำอิสระในตัวอย่างของสตาร์ชระเหยออกไปได้ (นิธิยา, 2544) อย่างไรก็ตามสตาร์ชดัดแปรทุกทรีทเมนต์ มีค่า  $a_w$  ต่ำกว่าที่มาตรฐานสตาร์ชดัดแปรกำหนด (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2535) สตาร์ชดัดแปรมีกำลังการพองตัว และร้อยละการละลายลดลง (Table 1) เนื่องจากการดัดแปรโดยวิธีให้ความร้อนร่วมกับความชื้น ทำให้มีการจัดเรียงโครงสร้างใหม่ของสายโซ่สตาร์ชภายในบริเวณออสติฐานและผลึกของเม็ดสตาร์ช ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงขึ้น จึงส่งผลต่อการพองตัวของสตาร์ชที่ลดลง (Zavareze และ Dias, 2011) สตาร์ชดัดแปรมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร และสตาร์ชดัดแปรที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 30 จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าสตาร์ชดัดแปรที่มีความชื้นร้อยละ 20 (Table 1) เนื่องจากความชื้นภายในเม็ดสตาร์ชที่สูงกว่า จะส่งเสริมการดูดซึมน้ำเข้าไปได้ดี เนื่องจากการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำ

สตาร์ชดัดแปรทุกทรีทเมนต์มีปริมาณ resistant starch สูงกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร (Table 2) ในสตาร์ชที่มีความชื้นมาก เมื่อให้ความร้อนนานขึ้น ปริมาณ resistant starch จะมากขึ้น การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110°C และการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 4°C ทำให้สตาร์ชที่ผ่านการเกิดเจลลิตีในเซชัน มีการกระจายตัวของโมเลกุลอะมิโลส และมีการจัดเรียงโครงสร้างพันธะใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดเป็นร่างแหสามมิติที่แข็งแรงและทนทานมากขึ้น มีความหนืดคงตัวมากขึ้น คล้ายฟิล์มผลึก ซึ่งส่งผลต่อการทนทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) นอกจากนี้สตาร์ชดัดแปรที่มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร (Table 2) ซึ่งมีรายงานถึงความสัมพันธ์ในเชิงแปรผันตรงเชิงบวก กับปริมาณ resistant starch เนื่องจากการตกผลึกของอะมิโลส ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหที่แข็งแรงทำให้ย่อยได้ช้าลง (Imprapai และคณะ, 2010) จากผลการทดลองพบว่าสตาร์ชดัดแปร HMT-3 มีปริมาณ resistant starch และอะมิโลสสูงสุด จึงนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วย Rapid Visco Analyser และศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึก ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction เทียบกับสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร

Pasting Temperature ของสตาร์ชดัดแปร HMT-3 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร (Figure 1) เนื่องจากโครงสร้างของสตาร์ชดัดแปรมีการจัดเรียงตัวใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pancha-arnon และ Uttapap,

(2013) ที่กล่าวว่า Pasting Temperature ของสตาร์ชดัดแปรด้วยการให้ความร้อนร่วมกับความชื้นจะสูงกว่าสตาร์ชที่ไม่ผ่านการดัดแปร ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าสตาร์ชดัดแปร มีความแข็งแรงมากขึ้น จึงต้องใช้อุณหภูมิในการทำให้สตาร์ชเกิดความหนืดสูงขึ้น หรือต้องใช้เวลานานในการเกิดเจลมากขึ้น และ Peak Viscosity และ Final Viscosity ของสตาร์ชดัดแปรมีค่าลดลง เนื่องจากความสามารถในการพองตัวของสตาร์ชดัดแปรจำกัดและมีค่าต่ำ ทำให้มีปริมาณอะมิโลสเพียงเล็กน้อยในสภาพแวดล้อม ที่จะช่วยปรับความหนืดให้สูงขึ้นได้ นอกจากนี้ค่า Breakdown และ Setback ของสตาร์ชดัดแปร มีค่าลดลง เป็นผลที่บ่งชี้ความคงตัวของแรงเค้น ของตัวอย่างสตาร์ชเปียกที่ผ่านการดัดแปร ซึ่งผลการวิจัยสอดคล้องกับ ค่ากำลังการพองตัวที่ต่ำและ Pasting Temperature ที่สูงขึ้นในสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปร (Qingite และคณะ, 2014)

การดัดแปรด้วยวิธีให้ความร้อนร่วมกับความชื้น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของสตาร์ช (Figure 2) และ (Table 3) โดยมีค่า peak intensity ที่ประมาณ 17 18 และ 23 ซึ่งจัดเป็นโครงสร้างผลึกเป็น A-type เมื่อพิจารณาค่าความเป็นผลึก (relative crystallinity) พบว่าสตาร์ชดัดแปร HMT-3 มีค่าความเป็นผลึกสูงขึ้นเมื่อเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร (Table 3) เนื่องจากการให้ความร้อนร่วมกับความชื้น จะส่งผลต่อการจัดเรียงตัวของโครงสร้างใหม่อีกครั้ง ทำให้ได้โครงสร้างที่มีพันธะภายในแข็งแรงขึ้น ส่งผลต่อการก่อตัวของผลึกที่มีความสมบูรณ์

### สรุปผล

สตาร์ชดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่า  $a_w$  กำลังการพองตัว และร้อยละการละลายลดลง ในขณะที่สตาร์ชดัดแปรมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร และพบว่าสตาร์ชดัดแปรที่มีความชื้นร้อยละ 30 จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าสตาร์ชดัดแปรที่มีความชื้นร้อยละ 20 สตาร์ชดัดแปรที่มีปริมาณ resistant starch และปริมาณอะมิโลสมากกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร โดยสตาร์ชดัดแปร HMT-3 มีค่าสูงสุด การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วย Rapid Visco Analyzer พบว่า สตาร์ชดัดแปรที่มีค่า Pasting Temperature เพิ่มขึ้น ในขณะที่ Peak Viscosity Final Viscosity Breakdown และ Setback มีค่าลดลง การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction พบว่าการดัดแปรด้วยวิธีให้ความร้อนร่วมกับความชื้น ไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างผลึก โดยมีรูปแบบโครงสร้างผลึกเป็น A-type และสตาร์ชดัดแปร HMT-3 มีค่าความเป็นผลึก (crystallinity) สูงกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร จากผลการทดลองข้างต้นทำให้สรุปได้ว่าสตาร์ชดัดแปรที่ผลิตได้มีแนวโน้มที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพได้

### เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงอุตสาหกรรม, 2535, มาตรฐานผลิตภัณฑ์แป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร, เอกสาร มอก. ที่ 1073-2535, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- กล้าณรงค์ ศิริรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546, เทคโนโลยีของแป้ง, สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 303 หน้า.
- จิรนาถ บุญคง, 2553, Resistant starch แป้งที่มีบทบาทต่อสุขภาพ, วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 6(1): 3-7.
- นิธิยา รัตนานนท์, 2544, หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ, หน้า 98-112.
- Goni, I., Alonso, A.G. and Calixto, F.S., 1997, A Starch Hydrolysis Procedure to Estimate Glycemic Index, Nutrition Research, 17(3): 427-437.
- Horndok, R. and Noomhorn, A., 2007, Impact of Heat-moisture Treatment and Annealing in Starches, Carbohydrate Polymers, 83: 317-328.
- Imprapai, K., Kerdchoechuen, O. and Laohakunjit, N., 2010, Investigation Physical and Mechanical Properties of Edible Film from Cassava Starch and Rice Starch, Thai Journal of Agricultural Science, 41(3/1): 609-612.
- Juliano, B.O., 1971, A Simplified Assay for Milled-rice Amylose, Cereal Science Today, 16: 334-340.
- Puncha-arnon, S. and Uttapap, D., 2013, Rice Starch vs. Rice Flour: Differences in their Properties When Modified by Heat-Moisture Treatment, Carbohydrate Polymers, 91: 85-91.
- Sun, Q., Han, Z., Wang, L. and Xiong, L., 2014, Physicochemical Differences Between Sorghum Starch and Sorghum Flour Modified by Heat-moisture Treatment, Journal of Food Chemistry, 145: 756-764.
- Schoch, T.J., 1964, Swelling Power and Solubility of Granular Starches, In R.L. Whistler, R.J. Smith and J.N. BeMiller (eds.), Method in Carbohydrates Chemistry, New York: Academic Press, 106-108.
- Thompson, L.U., 1977, Preparation and Evaluation of Mung Bean Protein Isolates, Journal of Food Science, 42(1): 202-206.
- Zavareze, E.R. and Dias, A.R.G., 2011, Impact of Heat-moisture Treatment and Annealing in Starches, Carbohydrate Polymers. 83: 317-328.

**Table 1** Physico-chemical properties of control and modified rice starch

Treatment	$L^*$	Water activity	Swelling power	Solubility (%)	Water Absorption
control	63.96 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.348 ± 0.008 <sup>a</sup>	19.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	18.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	2.39 ± 0.10 <sup>d</sup>
HMT-1	62.54 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.272 ± 0.001 <sup>d</sup>	10.16 ± 0.47 <sup>b</sup>	6.15 ± 0.96 <sup>b</sup>	3.60 ± 0.06 <sup>a</sup>
HMT-2	61.28 ± 0.04 <sup>f</sup>	0.283 ± 0.003 <sup>d</sup>	9.94 ± 0.67 <sup>b</sup>	5.25 ± 1.32 <sup>bc</sup>	3.67 ± 0.08 <sup>a</sup>
HMT-3	61.73 ± 0.06 <sup>e</sup>	0.283 ± 0.002 <sup>d</sup>	9.60 ± 0.39 <sup>b</sup>	4.00 ± 0.97 <sup>c</sup>	3.74 ± 0.15 <sup>a</sup>
HMT-4	63.82 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.270 ± 0.004 <sup>d</sup>	10.22 ± 0.62 <sup>b</sup>	4.67 ± 0.85 <sup>bc</sup>	2.89 ± 0.14 <sup>c</sup>
HMT-5	61.97 ± 0.10 <sup>d</sup>	0.286 ± 0.001 <sup>bc</sup>	9.99 ± 0.42 <sup>b</sup>	5.04 ± 0.34 <sup>bc</sup>	3.12 ± 0.11 <sup>b</sup>
HMT-6	63.38 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.260 ± 0.001 <sup>e</sup>	10.03 ± 0.58 <sup>b</sup>	5.28 ± 1.71 <sup>bc</sup>	2.98 ± 0.06 <sup>bc</sup>

Remark: different alphabets within the same column indicate significant difference ( $p \leq 0.05$ )

HMT-1, HMT-2, HMT-3 : (moisture content 30% heating time 30, 60 and 90 minutes respectively)

HMT-4, HMT-5, HMT-6 : (moisture content 20% heating time 30, 60 and 90 minutes respectively)

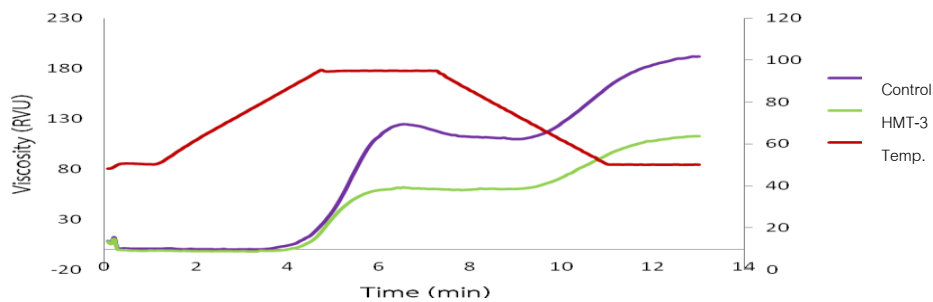
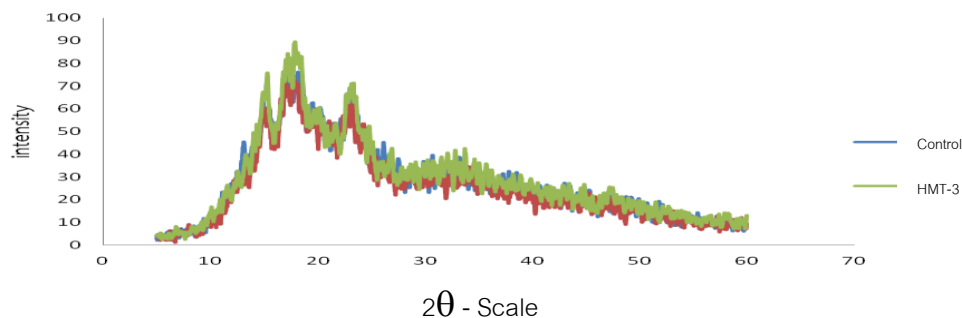
**Table 2** Resistant starch and amylose content of control and modified rice starch

Treatment	Resistant starch (mg/100 g)	Amylose (%)
control	3.69 ± 0.64 <sup>d</sup>	29.26 ± 0.09 <sup>j</sup>
HMT-1	79.40 ± 4.03 <sup>b</sup>	50.68 ± 0.19 <sup>c</sup>
HMT-2	101.00 ± 15.57 <sup>a</sup>	51.38 ± 0.19 <sup>b</sup>
HMT-3	107.20 ± 16.62 <sup>a</sup>	52.47 ± 0.14 <sup>a</sup>
HMT-4	44.94 ± 11.75 <sup>c</sup>	47.87 ± 0.19 <sup>f</sup>
HMT-5	40.14 ± 6.26 <sup>c</sup>	47.35 ± 0.37 <sup>g</sup>
HMT-6	31.53 ± 3.65 <sup>cd</sup>	47.28 ± 0.30 <sup>g</sup>

Remark: different alphabets within the same column indicate significant difference ( $p \leq 0.05$ )

**Table 3** Peak intensity of control and modified rice starch (HMT-3) by X-Ray Diffractometer

Treatment	Peak intensities ( $2\theta$ )					Relative Crystallinity (%)
control	14.88	17.21	18.62	23.18	30.69	26.56
HMT-3	15.33	17.89	18.21	23.38	33.75	31.43

**Figure 1** The viscosity of control and modified starch paste at 8% concentration by Rapid Visco Analyser**Figure 2** X-Ray pattern of control and modified rice starch (HMT-3) by X-Ray Diffractometer