

## การศึกษาพฤติกรรมความหนืดของแป้งพุทธรักษาและแป้งพุทธรักษาตัดแปร เพื่อใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด

กสิภูมิ ทวนคง<sup>1</sup> ดุษฎี อุดภาพ<sup>2</sup> สันทณีย์ ปัญจอนนท์<sup>3</sup>  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150  
วิไล รังสาดทอง<sup>4</sup>  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800  
และจรัรัตน์ พุดतालเล็ก<sup>5</sup>  
มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม 73000

### บทคัดย่อ

จากการศึกษาสมบัติของแป้งเพื่อนำมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด 5 ชนิดคือ แป้งพุทธรักษาพันธุ์ไทยเขียว แป้งพุทธรักษาพันธุ์ไทยเขียวตัดแปรชนิดแอซิเทตที่ระดับการแทนที่ 0.08 แป้งพุทธรักษาพันธุ์ไทยเขียวตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลที่ระดับการแทนที่ 0.11 แป้งตัดแปรทางการค้าชนิดไฮดรอกซีโพรพิลฟอสเฟตและแป้งมันสำปะหลัง พบว่าแป้งทุกชนิดมีความหนืดสูงขึ้นตามลำดับเมื่อความเข้มข้นของแป้งสูงขึ้น ที่ความเข้มข้นของแป้ง 6% (w/w) แป้งที่มีค่าความหนืดสูงสุดคือ แป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิล (227.75 RVU) รองลงมาคือ แป้งพุทธรักษาที่ไม่ตัดแปร (168.05 RVU) แป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดแอซิเทต (108.42 RVU) แป้งมันสำปะหลัง (96.29 RVU) และแป้งตัดแปรทางการค้า (49.13 RVU) ตามลำดับ ในขณะที่ค่า Setback ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงระดับการคืนตัวของแป้ง (การคืนตัวจะมีผลต่อการแยกชั้นของน้ำ) พบว่าแป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลมีค่า Setback ต่ำสุด แสดงว่ามีการคืนตัวของแป้งต่ำ การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งเมื่อผ่านการเจลาตีไนซ์พบว่าแป้งทุกชนิดมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันคือ แป้งมีการพองตัวและการแตกของเม็ดแป้งสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแป้งเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามระดับการพองตัวและการแตกจะขึ้นกับชนิดของแป้งซึ่งมีความแข็งแรงที่แตกต่างกัน ผลที่ได้จากการทดลองนี้บ่งชี้ว่าแป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลน่าจะมีความเหมาะสมในการใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดได้ดีเนื่องจากให้ความข้นหนืดสูงและมีการคืนตัวของแป้งต่ำ

**คำสำคัญ :** แป้งพุทธรักษา / แป้งตัดแปร / ความหนืด / สารให้ความข้นหนืด

\* Corresponding author : dudsadee.utt@kmutt.ac.th

1 นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี

2 รองศาสตราจารย์ สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี

3 นักวิจัย สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี

4 รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์

5 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

## Study on Paste Behavior of Native and Modified Canna Starches for Use as a Thickening Agent

**Khasipoom Thaunkhong<sup>1</sup>, Dudsadee Uttapap<sup>2</sup>, Santhane Puncha-arnon<sup>3</sup>**

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkhuntian, Bangkok, 10150

**Vilai Rungsardthong<sup>4</sup>**

King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800

**and Chureerat Puttanlek<sup>5</sup>**

Silpakorn University, Nakorn Pathom 73000

### Abstract

Paste behavior of native canna starch and its derivatives (hydroxypropyl canna starch with MS of 0.11; HP-canna and canna starch acetate with DS of 0.08; AC-canna) together with the other two starches, namely, cassava and commercial-modified starches, were investigated and used as criteria for evaluation of the starches as a thickening agent in food products. It was found that viscosities of all starch samples increased with an increase in the starch concentration. At 6% (w/w) starch concentration, peak viscosities of HP-canna, native canna, AC-canna, cassava and commercial-modified starches were 227.75, 168.05, 108.42, 96.29, and 49.13 RVU, respectively, whereas the setback viscosity, which indicates the extent of starch retrogradation, was lowest in the case of HP-canna starch. Morphologies of the starch granules after gelatinization as examined by light microscope revealed that the granules displayed more swelling and disintegration when the concentration of starches increased. However, the extents of granule swelling and disintegration depended upon type of starches. The results obtained from these experiments lead to the conclusion that hydroxypropyl canna starch would be a good candidate for use as a thickening agent in food products for it has high viscosity and low retrogradation.

**Keywords :** Edible Canna Starch / Modified Starch / Viscosity / Thickening Agent

---

\* Corresponding author : dudsadee.utt@kmutt.ac.th

<sup>1</sup> Graduated Student, Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology.

<sup>2</sup> Associate Professor, Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology.

<sup>3</sup> Researcher, Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology.

<sup>4</sup> Associate Professor, Department of Agro-Industrial Technology, Faculty of Applied Science.

<sup>5</sup> Assistant Professor, Department of Biotechnology, Faculty of Engineering and Industrial Technology.

## 1. บทนำ

แป้งเป็นแหล่งพลังงานประเภทคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด (Thickening Agent) สารให้ความคงตัว (Stabilizing Agent) สารทำให้เกิดเจล (Gelling ASgent) เป็นต้น โดยทั่วไปสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งจะแตกต่างกันขึ้นกับแหล่งที่มาของแป้ง [1] อย่างไรก็ตามแป้งที่ได้จากแหล่งธรรมชาติหรือแป้งดิบ (Native Starch) เมื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภทอาจมีข้อจำกัดทางคุณสมบัติบางประการ เช่น มีความคงตัวต่ำต่อแรงเฉือน สภาพความเป็นกรด-ด่าง ความร้อน รวมถึงอาจมีสมบัติการคินตัวที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งานนั้นๆ ดังนั้นการตัดแปรแป้งเพื่อให้ได้แป้งที่มีสมบัติตรงตามวัตถุประสงค์ของการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภทจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง [2] การตัดแปรแป้งในระดับอุตสาหกรรมอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ การตัดแปรทางกายภาพ (Physical Modification) และการตัดแปรแป้งทางเคมี (Chemical Modification) โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของแป้งดิบ เช่น การเกิดเจลาตินไนเซชัน (Gelatinization) เปลี่ยนไป แป้งเกิดรีโทรเกรเดชันน้อยลง เป็นต้น การตัดแปรแป้งโดยปฏิกิริยาการแทนที่ (Substitution) เป็นการเติมหมู่ฟังก์ชันเข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้ง ที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมคือ ปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชันและเอสเทอร์ริฟิเคชัน ตัวอย่างของแป้งอีเทอร์ เช่น แป้งไฮดรอกซีโพรพิล (Hydroxypropyl Starch) และแป้งเอสเทอร์ เช่น แป้งแอซิเตต (Starch Acetate) ซึ่งแป้งเจลาตินไนซ์ของแป้งตัดแปรทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติที่คงตัวต่อการแช่แข็ง-ละลาย (Freeze-Thaw Stability) เนื้อเจลมีความใส อ่อนนุ่มยืดเกาะเป็นเนื้อเดียวกันและมีความคงตัวต่อการคินตัว ทำให้เหมาะสำหรับการใช้ในอาหารแช่แข็งหรือใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหาร

แป้งพุทธรักษาเป็นแป้งที่สกัดได้มาจากเหง้าของต้นพุทธรักษาชนิด ซึ่งพุทธรักษาชนิดที่พบในประเทศไทยมีอยู่ 2 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ที่มีใบสีเขียว เรียกว่า ไทยเขียว (Thai-Green) และสายพันธุ์ที่มีใบสีเขียวม่วง เรียกว่า ไทยม่วง (Thai-Purple) โดยพุทธรักษา

กินได้สามารถปรับตัวเข้ากับดินและสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี มีโรคและแมลงรบกวนน้อย อีกทั้งยังมีผลผลิตต่อพื้นที่สูง [3] Thitipraphunkul และคณะ [4] ได้ศึกษาสมบัติของแป้งพุทธรักษา 3 สายพันธุ์คือ พันธุ์ไทยม่วง พันธุ์ไทยเขียว และพันธุ์ญี่ปุ่นเขียว พบว่าเมื่อให้ความร้อนแป้งพุทธรักษาทั้ง 3 สายพันธุ์ แป้งสุกที่ได้มีความหนืดค่อนข้างสูง มีการแตกของเม็ดแป้งต่ำ แต่มีการคินตัวค่อนข้างสูง จึงมีการนำแป้งพุทธรักษามาตัดแปรทางเคมี เช่น วิธีเอซิติลเลชัน วิธีไฮดรอกซีโพรพิลเลชัน [5, 6] นอกจากนี้ก็มีการตัดแปรด้วยวิธีโครอสลิงค์เพื่อให้ได้แป้งที่มีความแข็งแรงมากขึ้น [7] โดย Saartrat และคณะ [5] และ Chuenkamol และคณะ [6] ได้นำแป้งพุทธรักษา มาตัดแปรทางเคมีโดยวิธีเอซิติลเลชัน และวิธีไฮดรอกซีโพรพิลเลชัน พบว่าแป้งที่ผ่านการตัดแปรมีการคินตัวลดลงซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ต้องการในสารให้ความข้นหนืด ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงศักยภาพของแป้งพุทธรักษาทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการตัดแปรในการนำไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหาร งานวิจัยนี้จึงได้นำแป้งพุทธรักษาและแป้งพุทธรักษาตัดแปรด้วยวิธีเอซิติลเลชัน และวิธีไฮดรอกซีโพรพิลเลชันมาศึกษาพฤติกรรมความหนืดเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการตัดแปร และมันสำปะหลังที่ตัดแปรทางการค้า โดยศึกษาคุณสมบัติความหนืด การพองตัวและการคินตัวของเจลแป้งที่ความเข้มข้นต่างกัน และศึกษาลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งภายหลังจากการเกิดเจลเพื่อใช้ประกอบการอธิบายพฤติกรรมความหนืดของเจลแป้งด้วย

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

### 2.1 วัตถุดิบ

งานวิจัยนี้ใช้แป้งพุทธรักษาสายพันธุ์ไทยเขียว (Thai-Green Cultivar; TG) ปลูกที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอบางบาล จังหวัดนครราชสีมา เก็บเกี่ยวเหง้าหลังจากเพาะปลูกประมาณ 9 เดือน และนำมาสกัดแป้งที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง จังหวัดระยอง และแป้งพุทธรักษาพันธุ์ไทยเขียวตัดแปร 2 ชนิด คือ ชนิดแอซิเตต DS 0.08 (Acetylated Canna Starch; AC-Canna) ตัดแปรโดยใช้เอซิติลแก๊สไฮโดรเจนเตรียมโดย Saartrat [8] และชนิดไฮดรอกซีโพรพิล MS 0.11 (Hydroxypropylated

Canna Starch; HP-Canna) เตรียมโดย Chuenkamol [9] ทำการศึกษาเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง (Cassava Starch: Cas) และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรทางการค้า ชนิดไฮดรอกซีโพรพิลฟอสเฟต (Commercial-Modified Starch; CS) ที่ได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัทผู้จำหน่ายผลิตภัณฑ์แป้ง

## 2.2 การศึกษาสมบัติของแป้งที่นำมาเป็นสารให้ความหนืด

### 2.2.1 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง

ศึกษารูปแบบพฤติกรรมความหนืดของแป้ง 5 ชนิด ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA; RVA-4 SA, Newport Scientific PYT Ltd., NSW, ประเทศออสเตรเลีย) โดยเตรียมตัวอย่างแป้งให้มีความเข้มข้น 1, 2, 3, 4, 5 และ 6% (w/w) ให้มีน้ำหนักรวม 25 กรัม โดยชั่งน้ำกลั่นใส่แคนอลูมิเนียม จากนั้นจึงชั่งแป้งเทใส่ในแคนอลูมิเนียม ใช้ใบพัดกวนผสมให้เข้ากัน ตั้งเครื่อง RVA โดยเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 30 °C เพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 13 °C/นาที จนถึงอุณหภูมิสูงสุด 95 °C จากนั้นกวนต่ออีก 10 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงเป็น 25 °C ด้วยอัตรา 7 °C/นาที และกวนต่อที่ 25 °C นาน 5 นาที กำหนด Profile ดังตาราง

Time	Type [Temp / Speed]	Value [°C] or RPM
00:00:00	Temp	30
00:00:00	Speed	960
00:00:10	Speed	160
00:05:00	Temp	95
00:15:00	Temp	95
00:25:00	Temp	25
00:30:00	Temp	25

### 2.2.2 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้ง

ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งที่ผ่านการเจลาติไนซ์ด้วยเครื่อง RVA โดยนำเจลแป้งมาป้ายลงบนสไลด์ให้เป็นฟิล์มบางๆ ทิ้งให้แห้ง หยดสารละลายไอโอดีนลงบนฟิล์มแป้งแล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ นำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Light Microscopy) (Olympus รุ่น DP 70 ประเทศญี่ปุ่น) และถ่ายภาพที่กำลังขยาย 200 เท่า

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์

### 3.1 พฤติกรรมความหนืดของแป้ง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมความหนืดของแป้งชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นในช่วง 1-6% (w/w) เพื่อประเมินความเหมาะสมของแป้งที่จะนำมาใช้เป็นสารให้ความหนืด โดยเฉพาะสมบัติในการคืนตัวของแป้ง (Retrogradation) เนื่องจากแป้งที่จะใช้เป็นสารให้ความหนืดในผลิตภัณฑ์อาหารที่ตั้นต้องจับกับน้ำได้ดีและไม่ทำให้เกิดการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นแป้งที่เหมาะสมควรเป็นแป้งที่มีความหนืดสูง การคืนตัวต่ำและมีความคงตัวสูง

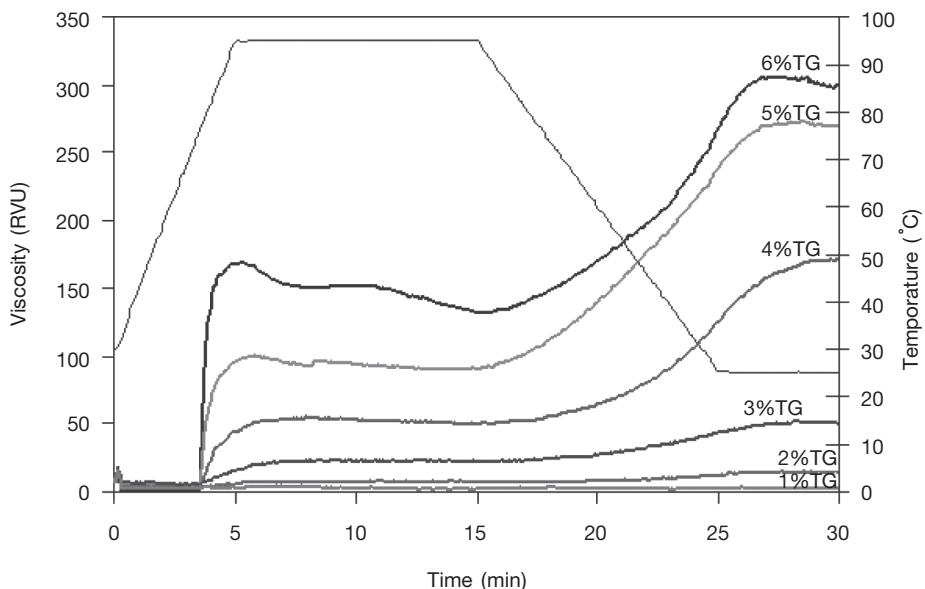
#### 3.1.1 แป้งพุทธรักษาที่ไม่ผ่านการดัดแปร

รูปที่ 1 แสดงรูปแบบความหนืดของแป้งพุทธรักษาที่ไม่ผ่านการดัดแปร พบว่าแป้งมีความหนืดสูงขึ้นตามลำดับเมื่อความเข้มข้นของแป้งสูงขึ้น ที่ความเข้มข้นของแป้งในช่วง 1-2% (w/w) แป้งมีความหนืดต่ำมาก ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่า Peak Viscosity, Breakdown และ Setback ไม่ชัดเจน แต่ที่ความเข้มข้นของแป้ง 3% (w/w) แป้งมีความหนืดสูงขึ้นและเริ่มสังเกตเห็นการคืนตัวของแป้ง (Setback) เมื่อลดอุณหภูมิลง และเห็นได้อย่างชัดเจนมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นแป้งสูงขึ้น ความหนืดของแป้งที่ความเข้มข้น 4% (w/w) ในช่วงที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 °C มีค่าค่อนข้างคงที่ ไม่พบ Breakdown และแป้งมีค่า Setback ประมาณ 5.29±0.76 RVU ที่ความเข้มข้นของแป้ง 5% และ 6% (w/w) สังเกตเห็นว่าแป้งมีการ Breakdown เล็กน้อยและมีค่า Setback ที่สูงมาก (176.34±3.66 และ 165.84±3.77 RVU) การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมความหนืดของแป้งเมื่อความเข้มข้นเปลี่ยนไปสามารถอธิบายได้ดังนี้ ที่ความเข้มข้นแป้งต่ำๆ (1-3%) ความหนาแน่นของเม็ดแป้งน้อย นั่นคือ

ระยะห่างระหว่างเม็ดแป้งหรือพื้นที่ว่างในสารละลายมีค่ามาก ดังนั้นแม้ว่าการให้ความร้อนจะทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวแต่ความหนืดของแป้งสูงจะเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ที่ความเข้มข้นของแป้งสูงขึ้นไป ( $\geq 4\%$  w/w) ความหนาแน่นของเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น ระยะห่างระหว่างเม็ดแป้งลดลง เม็ดแป้งที่พองตัวและแป้งโมเลกุลเล็กที่หลุดออกมาจากเม็ดแป้งจากการให้ความร้อนมีผลให้ความต้านทานต่อการไหลของแป้งสูงเพิ่มขึ้น นั่นคือความหนืดของแป้งสูงขึ้นไป นอกจากนี้โอกาสที่เม็ดแป้งที่พองตัวเกิดการเสียดสีกันเองหรือถูกกระทำจากแรงเฉือนจากการกวนโดยใบกวน (Paddle) ทำให้เม็ดแป้งแตก (Fragmentation) มากขึ้น ดังนั้นจึงพบค่า Breakdown ที่ความเข้มข้นแป้ง 5% และ 6% (w/w)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อลดอุณหภูมิลงซึ่งบ่งชี้ถึงความสามารถในการคืนตัวของแป้งนั้นก็สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน กล่าวคือที่ความเข้มข้นแป้งต่ำๆ เม็ดแป้งที่พองตัวและโมเลกุลแป้งโดยเฉพาะอะไมโลสที่หลุดออกมาจากเม็ดแป้งมีการกระจายตัวสูง เนื่องจากการกลับมาเรียงตัวใหม่ของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินนั้นจะ

ดึงดูดกันด้วยแรงประเภทแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Force) และพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond) ซึ่งต้องมีระยะในการดึงดูดกันใกล้ในระดับหนึ่ง ดังนั้นโอกาสที่จะกลับมารวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย (network) ก็ มีน้อย อีกทั้งความไวของเครื่องในการวัดค่าความหนืดอาจไม่เพียงพอที่จะวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ แต่เมื่อความเข้มข้นแป้งสูงขึ้นไป ( $\geq 4\%$  w/w) ระยะห่างระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัว ชั้นส่วนของเม็ดแป้งจากการแตกของเม็ดแป้ง อะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่กระจัดกระจายออกมาจะลดลง การกลับมาจัดเรียงตัวกันใหม่จึงเกิดได้ง่ายขึ้น แป้งสูงจึงมีค่า Setback เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน Miles และคณะ [10,11] รายงานว่าเมื่อความเข้มข้นแป้งเพิ่มขึ้นการคืนตัวของแป้งจะเกิดเร็วขึ้นและเพิ่มขึ้น โดยดูได้จากค่า Setback ซึ่งมีค่าสูงขึ้นไปคือ  $127.79 \pm 8.43$ ,  $176.34 \pm 3.66$  และ  $165.84 \pm 3.77$  RVU ที่ความเข้มข้น 4, 5 และ 6% (w/w) ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นแป้ง 6% (w/w) พบว่าแป้งที่ไม่ตัดแปรมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดและความหนืดสูงสุดคือ  $75.5^\circ\text{C}$  และ  $168.05 \pm 0.18$  RVU ตามลำดับ มีค่า Breakdown ต่ำ ( $36.88 \pm 0.06$  RVU) แต่มีค่า Setback สูงมาก ( $165.84 \pm 3.77$  RVU)

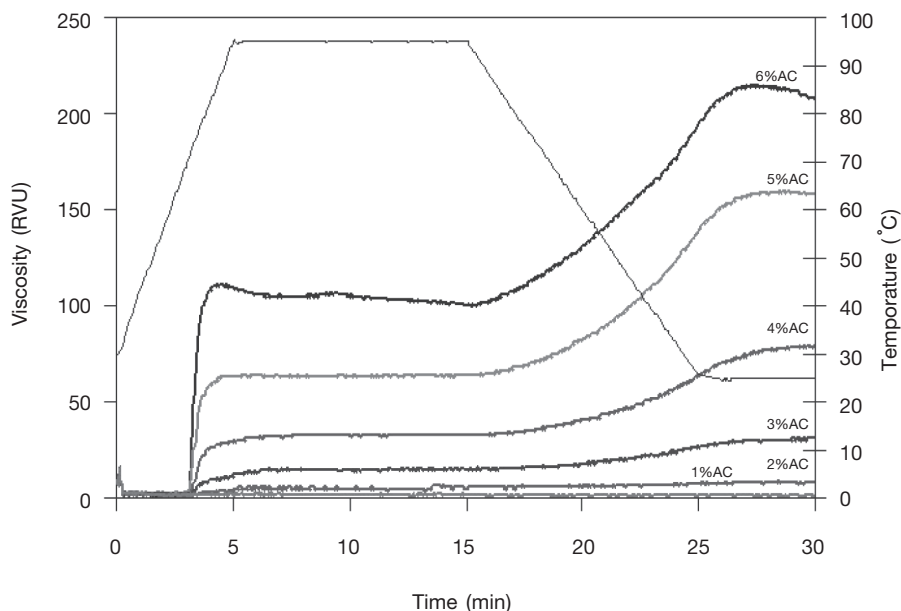


รูปที่ 1 อะไมโลแกรมของแป้งพุทธรักษาที่ความเข้มข้น 1-6% (w/w)

### 3.1.2 แป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดแอซิติเตด

เมื่อนำแป้งพุทธรักษาไปตัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่โดยการเติมหมู่แอซิติล ได้เป็นแป้งตัดแปรชนิดแอซิติเตด DS 0.08 เพื่อลดการเกิดการคืนตัวโดยหมู่แอซิติลที่เติมลงไปจะขัดขวางการกลับมาจับตัวกันใหม่ระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพคติน พบว่าความเข้มข้นของแป้งมีผลต่อความหนืดในทำนองเดียวกับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร กล่าวคือแป้งจะมีความหนืดสูงขึ้นตามลำดับเมื่อความเข้มข้นของแป้งสูงขึ้น (รูปที่ 2) แต่เมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นเดียวกัน แป้งตัดแปรชนิดแอซิติเตดจะมีความหนืดต่ำกว่าแป้งที่ไม่ตัดแปร ซึ่งผลการทดลองที่ได้ค่อนข้างขัดแย้งกับรายงานส่วนใหญ่ที่พบว่า แป้งที่ผ่านการตัดแปรโดยการเติมหมู่แอซิติลที่ระดับการแทนที่ต่ำ จะ

มีความหนืดของแป้ง (ระหว่างที่ให้ความร้อน) สูงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร [12,13,14] แม้ว่าจะมีบางงานวิจัยที่รายงานว่าแป้งตัดแปรมีความหนืดลดลงเล็กน้อยหรือไม่เปลี่ยนแปลง [15,16] อย่างไรก็ตามแป้งตัดแปรชนิดแอซิติเตดมีค่า Setback ที่ต่ำกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร ซึ่งบ่งชี้ว่าแป้งตัดแปรชนิดแอซิติเตดมีการคืนตัวลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Saartat และคณะ [5] ที่ความเข้มข้นแป้ง 6% (w/w) พบว่าแป้งมี Breakdown เล็กน้อย ( $11.38 \pm 0.18$  RVU) และมีค่า Setback  $108.21 \pm 0.88$  RVU อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดและความหนืดสูงสุดคือ  $70.5$  °C และ  $108.42 \pm 4.24$  RVU ตามลำดับ



รูปที่ 2 อะไมโลแกรมของแป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดแอซิติเตดที่ความเข้มข้น 1-6% (w/w)

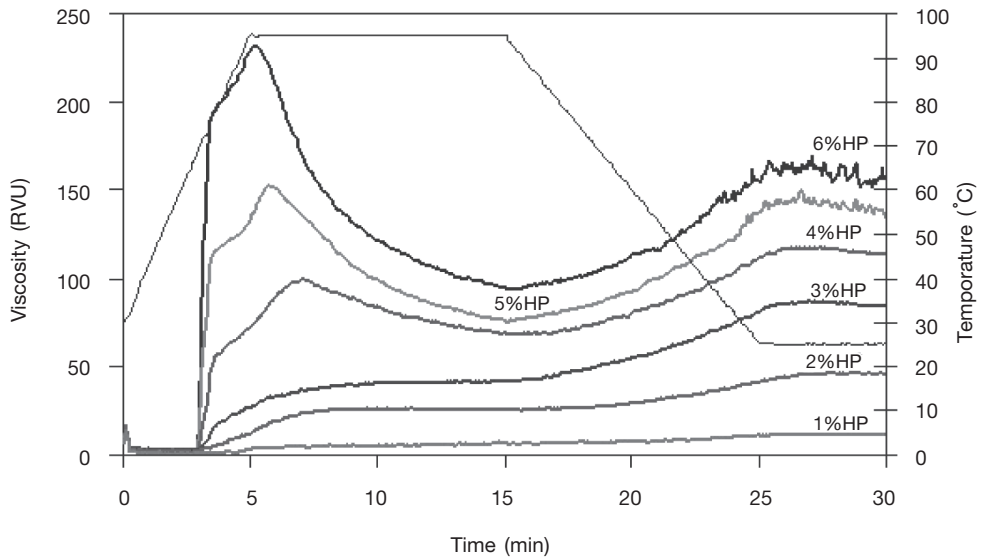
### 3.1.3 แป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิล

แป้งตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลเป็นแป้งที่ได้จากปฏิกิริยาการแทนที่โดยการเติมหมู่ไฮดรอกซีโพรพิล เพื่อลดการคืนตัวของแป้งเช่นเดียวกัน อะไมโลแกรมของแป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลที่ความเข้มข้น 1-6% (w/w) แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าแป้งตัดแปรมีความหนืดสูงขึ้นตามลำดับเมื่อความเข้มข้นของแป้งสูงขึ้น แต่

รูปแบบความหนืดมีลักษณะที่ต่างจากแป้งไม่ตัดแปรอย่างเห็นได้ชัด ความหนืดของแป้งตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลจะสูงขึ้นมาก มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดลดลง แป้งเกิด Breakdown สูงโดยเฉพาะที่ความเข้มข้นแป้ง 4-6% (w/w) แสดงว่าเม็ดแป้งพองตัวและแตกได้ง่าย เนื่องมาจากหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลที่เข้าแทนที่ที่มีขนาดใหญ่และมีหมู่ไฮดรอกซิลทำให้น้ำผ่านเข้าเม็ดแป้งได้ดี ดังนั้นในแป้งสุกจึงน่าจะ

มีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินรวมถึงชิ้นส่วนของเม็ดแป้งที่กระจายอยู่ใน Dispersion Phase มาก โมเลกุลเหล่านี้จะกลับมารวมตัวกันได้ดีเมื่อลดอุณหภูมิของแป้งสุกกลง แต่เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลที่เติมเข้าไปในโมเลกุลของแป้งเป็นหมู่ที่มีขนาดใหญ่จะไปขัดขวางการกลับมาจับกันของโมเลกุลแป้ง ดังนั้นค่า Setback

ของแป้งตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลจึงต่ำกว่าแป้งที่ไม่ตัดแปรมาก ที่ความเข้มข้นแป้ง 6% (w/w) พบว่าแป้งตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดและความหนืดสูงสุดคือ  $68.5^{\circ}\text{C}$  และ  $227.75 \pm 4.60$  RVU ตามลำดับ มีค่า Breakdown สูง ( $137.88 \pm 0.64$  RVU) แต่ค่า Setback ค่อนข้างต่ำ ( $66.38 \pm 3.71$  RVU)

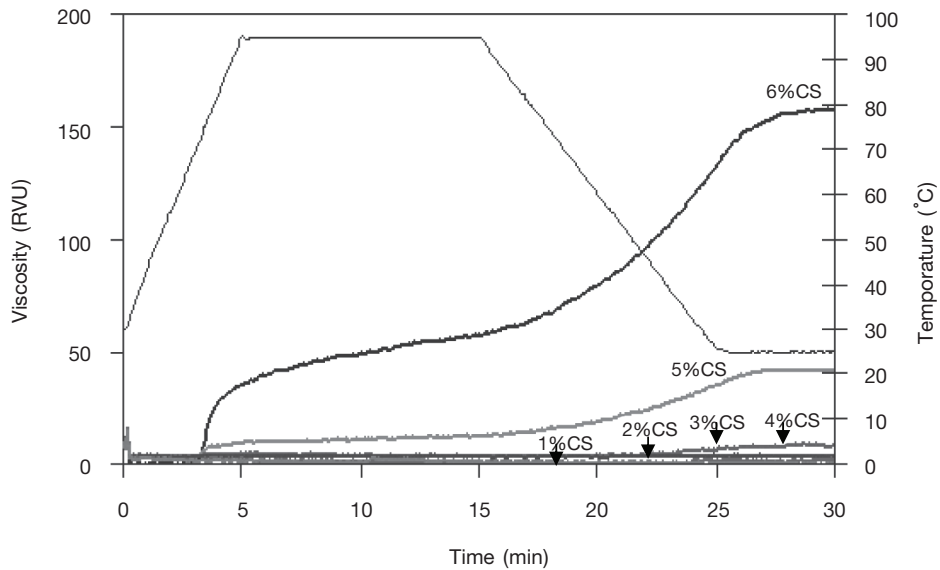


รูปที่ 3 อะมิโลแกรมของแป้งพุทรรักษาตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลที่ความเข้มข้น 1-6% (w/w)

### 3.1.4 แป้งตัดแปรทางการค้าชนิดไฮดรอกซีโพรพิลฟอสเฟต

แป้งตัดแปรทางการค้าชนิดไฮดรอกซีโพรพิลฟอสเฟตเป็นแป้งตัดแปรที่มีการเติมหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลร่วมกับการครอสลิงก์ด้วยหมู่ฟอสเฟต อะมิโลแกรมของแป้งตัดแปรทางการค้าที่ความเข้มข้น 1-6% (w/w) แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าความหนืดของแป้งที่ความเข้มข้น 1-4% (w/w) ตลอดช่วงการให้ความร้อนมีค่าที่ต่ำมาก แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้งเป็น 5 และ 6% (w/w) จะเริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงของความหนืด เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งพุทรรักษาทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการตัดแปรพบว่าแป้งทางการค้ามีค่าความหนืดต่ำกว่ามาก แสดงว่าแป้งทาง

การค้าเป็นแป้งที่มีโครงสร้างแข็งแรงพองตัวยากเนื่องจากเกิดการครอสลิงก์ในโครงสร้างของเม็ดแป้ง นอกจากนี้โครงสร้างที่แข็งแรงจากการครอสลิงก์ยังส่งผลให้เม็ดแป้งแตกได้ยาก จึงไม่พบการ Breakdown ของแป้ง เมื่อลดอุณหภูมิลง แป้งที่ความเข้มข้น 5% และ 6% (w/w) มีความหนืดที่สูงขึ้น ซึ่งในกรณีนี้คาดว่าเนื่องจากเม็ดแป้งยังสามารถพองตัวเพิ่มขึ้นได้เรื่อยๆ มากกว่าที่จะเกิดการคืนตัวของแป้ง ที่ความเข้มข้นแป้ง 6% (w/w) พบว่าแป้งตัดแปรทางการค้าชนิดไฮดรอกซีโพรพิลฟอสเฟตมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดและความหนืดสูงสุดคือ  $69.5^{\circ}\text{C}$  และ  $49.13 \pm 0.64$  RVU ตามลำดับ ไม่พบ Breakdown แต่มีค่า Setback สูง ( $106.08 \pm 2.01$  RVU)



รูปที่ 4 อะมิโลแกรมของแป้งตัดแปรทางการค้าชนิดไฮดรอกซีโพรพิลฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 1-6% (w/w)

### 3.1.5 แป้งมันสำปะหลัง

รูปที่ 5 แสดงรูปแบบความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง พบว่าที่ความเข้มข้นแป้งตั้งแต่ 4% (w/w) ขึ้นไป เจลแป้งเกิด Breakdown อย่างชัดเจน แสดงว่าเม็ดแป้งมันสำปะหลังหลังจากที่พองตัวจะไม่แข็งแรงและแตกได้ง่าย แป้งสุกมีความหนืดต่ำกว่าแป้งพุทธรักษาที่ความเข้มข้นเดียวกัน เมื่อลดอุณหภูมิลง แป้งจะมีความหนืดสูงขึ้นมาก Setback มีค่าสูงบ่งชี้ว่าแป้งมีการคืนตัวได้ดี ที่ความเข้มข้นแป้ง 6% (w/w) พบว่าแป้งมันสำปะหลังมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดและความหนืดสูงสุดคือ 71 °C และ  $96.29 \pm 0.06$  RVU ตามลำดับ มีค่า Breakdown สูง ( $59.34 \pm 4.01$  RVU) และมีค่า Setback ค่อนข้างสูงมาก ( $95.35 \pm 1.89$  RVU)

## 3.2 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งเมื่อผ่านการเจลาติไนซ์

### 3.2.1 แป้งพุทธรักษา

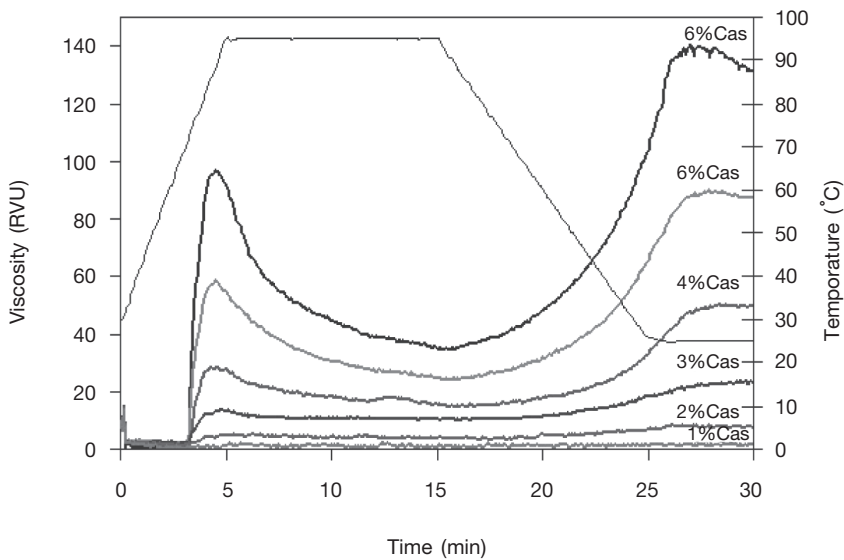
ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งและเจลแป้งพุทธรักษาแสดงดังรูปที่ 6 พบว่าเม็ดแป้งที่ยังไม่ผ่านการให้ความร้อน (รูปที่ 6A) มีรูปร่างกลม ยาวรีหรือเป็นรูปไข่ เม็ดมีลักษณะแบน ส่วนใหญ่มีขนาดเม็ดอยู่ในช่วง 40-60  $\mu\text{m}$  เมื่อให้ความร้อนกับสารแขวนลอยของ

แป้งในน้ำที่ความเข้มข้นต่ำๆ (1-3% w/w) ได้เจลแป้งที่มีลักษณะดังรูปที่ 6B, 6C และ 6D จะเห็นว่าเม็ดแป้งแตกออกเป็นชิ้นยาวคล้ายๆ ตัวหนอน ส่วนที่เป็นชิ้นนี้มีลักษณะเป็นชิ้นซ้อนๆ กัน ขนาดของชิ้นส่วนใหญ่กว่าเม็ดแป้งที่ไม่ผ่านความร้อนประมาณ 4-5 เท่า ลักษณะเช่นนี้ทำให้สันนิษฐานได้ว่าภายในของเม็ดแป้งพุทธรักษา น่าจะมีส่วนที่กลวงหรือมีความแข็งแรงน้อยอยู่ที่ขอบด้านใดด้านหนึ่งของเม็ดแป้ง (จากรูปน่าจะเป็นด้านที่เป็นจุดกำเนิดของแป้ง; ไฮลัม) ที่ความเข้มข้นแป้งสูงขึ้น (4-5% w/w) จะยังคงเห็นเป็นชิ้นส่วนของเม็ดแป้งอยู่แต่ชิ้นส่วนมีลักษณะที่หลวมมากขึ้นและบางส่วนแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ โดยปรากฏอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดแป้ง (รูปที่ 6E และ 6F) ในขณะที่ที่ความเข้มข้นแป้ง 6% (w/w) เม็ดแป้งส่วนใหญ่จะแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ จากการเสียดสีกันเองและแรงกระทำจากการกวน แต่ก็ยังปรากฏชิ้นส่วนของเม็ดแป้งให้เห็นอยู่บ้าง ลักษณะปรากฏของเจลแป้งเหล่านี้สอดคล้องกับพฤติกรรมความหนืดของแป้งที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ศึกษาโดยใช้เครื่อง RVA ซึ่งพบว่าที่ความเข้มข้นแป้งสูงขึ้นแป้งสุกจะมีความหนืดสูงขึ้น เนื่องจากแป้งมีการพองตัวมากขึ้นและการแตกของเม็ดแป้งมากขึ้น ทำให้ชิ้นส่วนเม็ดแป้งและโมเลกุลทั้งอะไมโลสและอะไมโลเพคติน กระจุกกระจายส่งผลให้ความหนืดแป้งสูงขึ้น

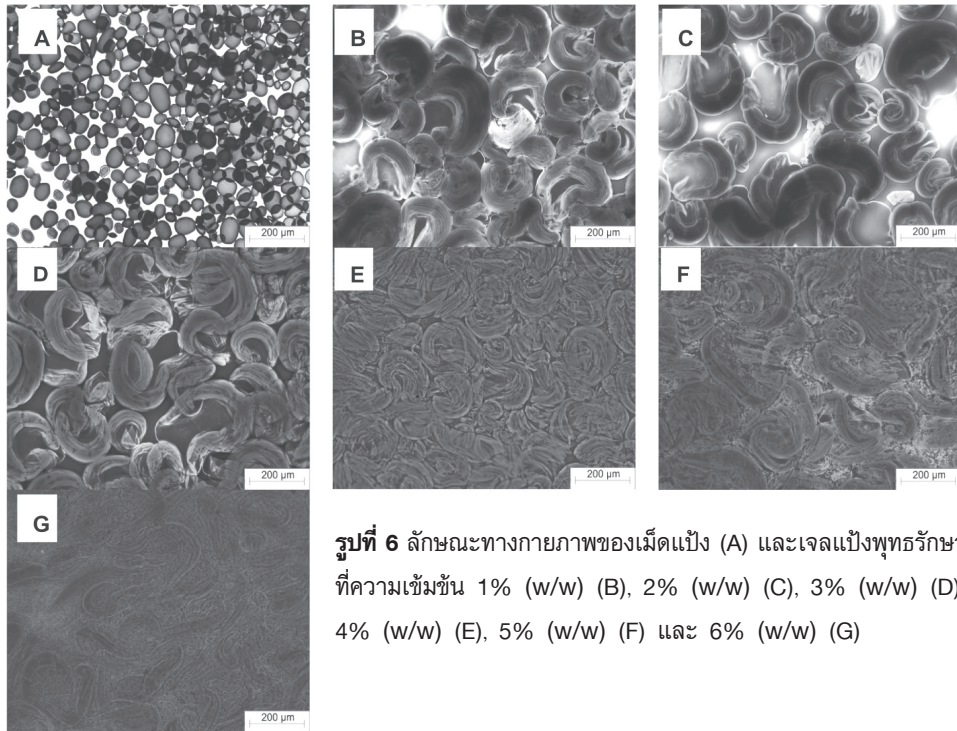


การที่แป้งพุดรึกษามีค่า Breakdown ต่ำเนื่องจากแม้ว่าเม็ดแป้งแตกแต่ก็ยังคงลักษณะเป็นชิ้นอยู่ความหนืดจึงเปลี่ยนแปลงไม่มาก และการที่ Setback มีค่าสูงเนื่องจากเม็ดแป้งที่แตกยังคงลักษณะเป็นชิ้นๆ โมเลกุลที่เป็นโครงสร้าง (อะไมโลเพคติน) ยังคงอยู่ใกล้ชิดกัน นอกจากนี้ อะไมโลสที่กระจายออกมามีความยาวไม่มาก (Degree of Polymerization; DP ประมาณ 1500) [12] ทำให้กลับมารวมตัวกันได้ง่าย รวมถึงสมบัติของอะไมโลเพคตินของแป้งพุดรึกษาซึ่งมีอะไมโลเพคตินที่มีขนาดเฉลี่ยที่ค่อนข้างยาว (DP ประมาณ 26) [17] จึงเกิดพันธะไฮโดรเจนกับ

อะไมโลสได้ดี ปัจจัยเหล่านี้ส่งเสริมให้แป้งพุดรึกษาเกิดการคืนตัวได้ดี ดังนั้นจึงมีค่า Setback ที่สูง จากรายงานของ Morikawa และ Nishinari [18] พบว่าแป้งมันฝรั่งที่ให้ความร้อนที่ 60 °C เกิดการคืนตัวเร็วและมากกว่าแป้งที่ให้ความร้อนที่ 90 °C เนื่องจากที่ 60 °C โครงสร้างแป้งบางส่วนยังไม่แตกออก ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าเม็ดแป้งที่ไม่แตกออกหมดจะเกิดการคืนตัวเร็วและมากกว่าเม็ดแป้งที่โครงสร้างแตกออกมากกว่า จากการสังเกตลักษณะเจลแป้ง พบว่าเมื่อเจลแป้งเย็นตัวลงจะจับตัวกันเป็นเจลที่มีลักษณะแข็งและมีน้ำแยกชั้นออกมาชัดเจน



รูปที่ 5 อะมิโลแกรมของแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้น 1-6% (w/w)

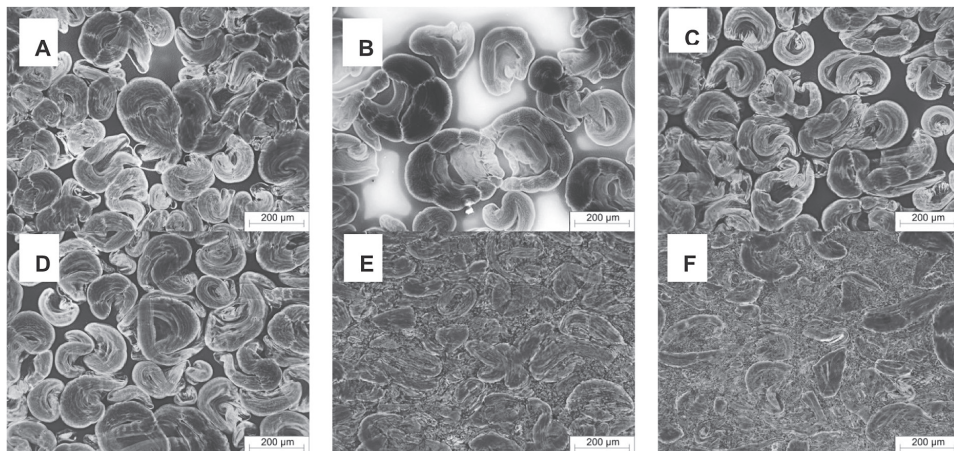


**รูปที่ 6** ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้ง (A) และเจลแป้งพุทธรักษา ที่ความเข้มข้น 1% (w/w) (B), 2% (w/w) (C), 3% (w/w) (D), 4% (w/w) (E), 5% (w/w) (F) และ 6% (w/w) (G)

### 3.2.2 แป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดแอซิเทต

รูปที่ 7 แสดงลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้ง และเจลแป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดแอซิเทต พบว่าเม็ดแป้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและเจลแป้งมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร แต่การพองตัวและการแตกของเม็ดจะอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลที่วิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง RVA ที่พบว่าแป้งตัดแปรชนิดแอซิเทตมีความหนืดต่ำกว่าแป้งที่ไม่ตัดแปร การที่

เม็ดแป้งตัดแปรชนิดแอซิเทตมีการแตกหักของเม็ดแป้งที่น้อยกว่าน่าจะส่งเสริมให้แป้งสุกเกิดการคินตัวได้ดี แต่เนื่องจากโมเลกุลแป้งบางส่วนถูกเติมด้วยหมู่แอซิทิลซึ่งไปขัดขวางการกลับมาจับกันของโมเลกุล ดังนั้นแป้งตัดแปรจึงมีการคินตัวที่ต่ำกว่า จากการสังเกตลักษณะเจลแป้งพบว่าเมื่อเจลแป้งเย็นตัวลงจะจับตัวกันเป็นเจลที่มีลักษณะแข็งและมีน้ำแยกชั้นออกมาอย่างชัดเจน

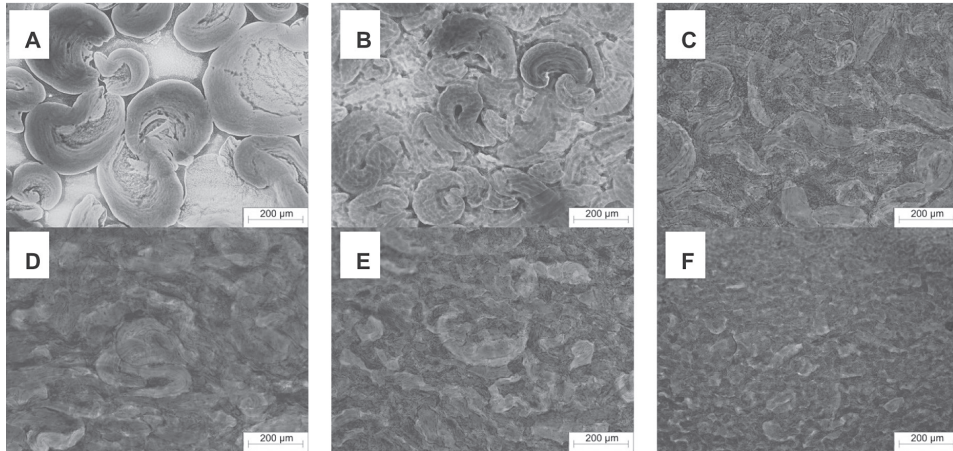


รูปที่ 7 ลักษณะทางกายภาพของเจลแป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดเอซิติเตดที่ความเข้มข้น 1% (w/w) (A), 2% (w/w) (B), 3% (w/w) (C), 4% (w/w) (D), 5% (w/w) (E) และ 6% (w/w) (F)

### 3.2.3 แป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิล

ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งและเจลแป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลแสดงดังรูปที่ 8 พบว่าเม็ดแป้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีลักษณะไม่แตกต่างจากแป้งธรรมชาติ แต่เมื่อให้ความร้อนพบว่าเม็ดแป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลจะมีระดับการพองตัวและการแตกหักของเม็ดแป้งสูงกว่าแป้งที่ไม่ตัดแปรมาก โดยแป้งที่ความเข้มข้น 6% (w/w) เกือบจะไม่มีชิ้นส่วนแป้งที่มีขนาดใหญ่หลงเหลืออยู่เลย (รูปที่ 8F) แสดงว่าเม็ดแป้งมีโครงสร้างที่หลวมและมีความแข็งแรงลดลงมาก ซึ่งก็สอดคล้องกับผลที่วิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง RVA ที่พบว่าแป้งตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิล

มีความหนืดและ Breakdown สูงกว่าแป้งที่ไม่ตัดแปร ซึ่งอธิบายได้โดยหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลซึ่งเข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลแป้งมีขนาดใหญ่จึงทำให้โครงสร้างของแป้งหลวมขึ้นและมีการแตกมากขึ้น การที่เม็ดแป้งแตกกระจายออกมามากและโมเลกุลแป้งบางส่วนมีหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลซึ่งขัดขวางการกลับมาจับเรียงตัวกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ทำให้แป้งมีการคืนตัวที่ลดลง ซึ่งก็สอดคล้องกับข้อมูลจากเครื่อง RVA ที่พบว่าแป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลมีค่า Setback ที่ต่ำกว่า จากการสังเกตลักษณะเจลแป้งพุทธรักษาตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิล พบว่าเจลมีลักษณะแบบ Long Paste มีความยืดหยุ่นและความใสสูงและไม่เกิดฟิล์ม

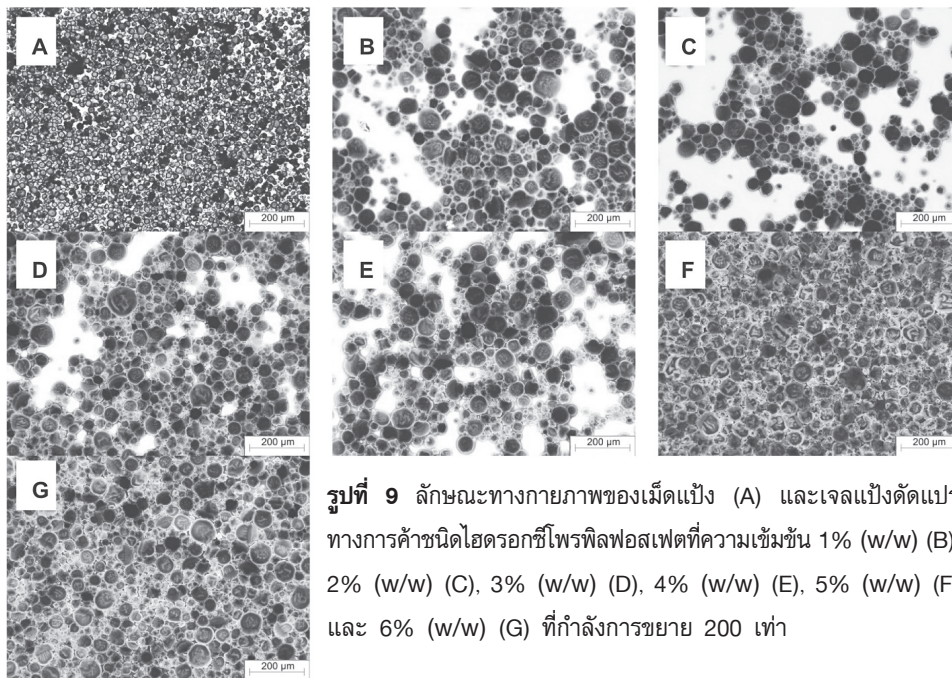


**รูปที่ 8** ลักษณะทางกายภาพของเจลเบ่งพวกรักษาตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลที่ความเข้มข้น 1% (w/w) (A), 2% (w/w) (B), 3% (w/w) (C), 4% (w/w) (D), 5% (w/w) (E) และ 6% (w/w) (F)

### 3.2.4 เบ่งตัดแปรทางการค้าชนิดไฮดรอกซีโพรพิลฟอสเฟต

รูปที่ 9 แสดงลักษณะทางกายภาพของเม็ดเบ่งและเจลเบ่งตัดแปรทางการค้าชนิดไฮดรอกซีโพรพิลฟอสเฟต พบว่าลักษณะของเม็ดเบ่งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้กำลังการขยาย 200 เท่าจะเห็นไม่ชัดเจนนัก (รูปที่ 9A) แต่เมื่อขยายรูปให้ใหญ่ขึ้น (ไม่ได้แสดงภาพ) พบว่าเม็ดเบ่งส่วนใหญ่มีลักษณะกลม มีรอยแตกในบางเม็ดและมีขนาดอยู่ในช่วง 10-30  $\mu\text{m}$  ทำให้สันนิษฐานได้ว่าน่าจะเป็นเบ่งมันสำปะหลัง เจลเบ่งที่ความเข้มข้น 1-4% (w/w) มีลักษณะของเม็ดเบ่งที่คล้ายกันคือเม็ดเบ่งมีการพองตัวมากแต่ไม่แตกออก เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดเบ่งที่พองตัวใหญ่กว่าเม็ดเบ่งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนประมาณ 3-6 เท่า ที่ความเข้มข้นเบ่ง 5% (w/w) จะเริ่มสังเกตเห็นว่ามีการแตกของเม็ดเบ่งบางส่วนและแตกเพิ่มมากขึ้น ที่ความเข้มข้นเบ่ง 6% (w/w) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับข้อมูลความหนืดที่วิเคราะห์โดย เครื่อง RVA ซึ่งพบว่าเบ่งที่ความเข้มข้น 1-4% (w/w) มีความหนืดต่ำมาก

เนื่องจากเม็ดเบ่งพองตัวแต่ไม่แตกออก แต่ที่ความเข้มข้นเบ่ง 5 และ 6% (w/w) เบ่งสูงจะเริ่มมีความหนืดสูงขึ้น เนื่องจากชิ้นส่วนและโมเลกุลเบ่งที่กระจายออกมากจะทำให้แรงต้านต่อการไหลสูงขึ้น ที่ความเข้มข้นเบ่ง 6% (w/w) เบ่งสูงมีค่า Setback ที่ค่อนข้างสูงมากเนื่องจากเม็ดเบ่งส่วนใหญ่ยังไม่แตกออก โครงสร้างต่างๆ ยังคงอยู่ใกล้ชิดกันจึงส่งเสริมให้เบ่งกลับมารวมตัวกันใหม่ได้ดี แม้ว่าโมเลกุลเบ่งบางส่วนถูกเติมด้วยหมู่ไฮดรอกซีโพรพิล ซึ่งจะขัดขวางการกลับมาจับตัวกันของโมเลกุลก็ตาม การที่เม็ดเบ่งตัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลฟอสเฟตมีความแข็งแรงมากเนื่องจากเป็นเบ่งตัดแปรชนิดเชื่อมข้าม (Cross-Link) ซึ่งเบ่งที่ตัดแปรด้วยวิธีเชื่อมข้ามจะมีโครงสร้างที่แข็งแรงมาก จากการสังเกตลักษณะเจลเบ่งตัดแปรทางการค้า พบว่าที่ความเข้มข้นเบ่ง 6% (w/w) ขึ้นไป เจลจะมีลักษณะขุ่น มีความหนืดสูงและเจลมีลักษณะเหลวคล้ายจาระบี แต่ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 6% (w/w) เจลจะมีความหนืดต่ำและมีการแยกชั้นของน้ำสูงและไม่เกิดฟิล์มในทุกความเข้มข้น

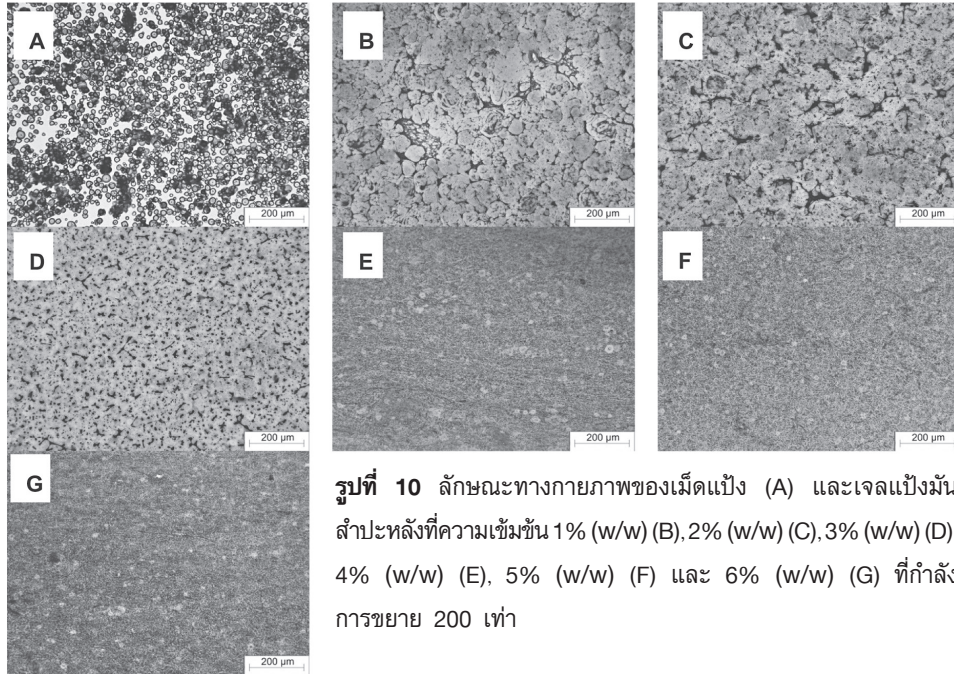


**รูปที่ 9** ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้ง (A) และเจลแป้งดัดแปรทางการค้าชนิดไฮดรอกซีโพรพิลฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 1% (w/w) (B), 2% (w/w) (C), 3% (w/w) (D), 4% (w/w) (E), 5% (w/w) (F) และ 6% (w/w) (G) ที่กำลังการขยาย 200 เท่า

### 3.2.5 แป้งมันสำปะหลัง

รูปที่ 10 แสดงลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งและเจลแป้งมันสำปะหลัง พบว่าลักษณะของเม็ดแป้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนจะคล้ายกับแป้งดัดแปรทางการค้าชนิดไฮดรอกซีโพรพิลฟอสเฟตมากคือ เม็ดแป้งส่วนใหญ่มีลักษณะกลม มีรอยแตกในบางเม็ดและมีขนาดอยู่ในช่วง 10-30 μm เมื่อให้ความร้อนกับแป้งที่ความเข้มข้น 1 และ 2% (w/w) พบว่าเม็ดแป้งมีการพองตัวมากและมีเม็ดแป้งบางส่วนที่แตกออก ระดับการแตกของเม็ดแป้งจะมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแป้ง โดยที่ความเข้มข้น

แป้ง 6% (w/w) เกือบจะไม่เหลือเม็ดแป้งที่สมบูรณ์อยู่เลย แสดงว่าโครงสร้างของเม็ดแป้งมันสำปะหลังไม่แข็งแรงจึงพองตัวและแตกได้ง่าย จากผลที่ได้จากเครื่อง RVA พบว่ามีความสัมพันธ์กัน คือมีพีคความหนืดชัดเจน แป้งเกิดการ Breakdown สูง แป้งที่ความเข้มข้น 6% (w/w) มีค่า Setback สูงมาก อาจเนื่องจากการแตกอย่างสมบูรณ์ของเม็ดแป้งและการที่ไม่มีหมู่ที่จะมาขัดขวางการเกิดพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดโครงสร้าง Network ได้อย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว



**รูปที่ 10** ลักษณะทางกายภาพของเมื่อดเบียง (A) และเจลเบียงมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 1% (w/w) (B), 2% (w/w) (C), 3% (w/w) (D), 4% (w/w) (E), 5% (w/w) (F) และ 6% (w/w) (G) ที่กำลังการขยาย 200 เท่า

#### 4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสมบัติของเบียงตัวอย่างที่จะนำมาเป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหารเช่น ซอสมะเขือเทศพบว่าเบียงพืชรักษาที่ไม่ผ่านการตัดแปรอาจมีความเหมาะสมในแง่ของการให้ความข้นหนืด แต่มีข้อด้อยคือมีการคั่นตัวของเบียงสูง ส่วนเบียงพืชรักษาคัดแปรชนิดแอซิเตดมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดต่ำกว่าเบียงพืชรักษาไม่ตัดแปร ซึ่งแสดงว่าเบียงพองตัวได้ง่ายขึ้นแต่ยังไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดเนื่องจากมีการคั่นตัวของเบียงสูง และจากการสังเกตลักษณะเจลเบียงทั้ง 2 ชนิด พบว่าเมื่อเบียงสุกเย็นตัวลงจะจับตัวกันเป็นเจลที่มีลักษณะแข็งและมีน้ำแยกชั้นออกมาชัดเจน เบียงตัดแปรทางการค้าชนิดไฮดรอกซีโพรพิลฟอสเฟตเป็นเบียงที่มีการพองตัวต่ำ จึงให้ความหนืดค่อนข้างต่ำ จึงไม่น่าจะเหมาะในการใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด แต่ในกรณีที่ต้องผ่านกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิและแรงเฉือนสูงๆ เบียงตัดแปรชนิดนี้จะมีความเหมาะสมเพราะมีโครงสร้างแข็งแรง เบียงมันสำปะหลังคาดว่าไม่เหมาะในการใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดเพราะมีการคั่นตัวของน้ำเบียงสูงโดยเฉพาที่ความเข้มข้นสูง เบียงที่น้ำจะเหมาะสมในการใช้เป็นสารให้ความ

ข้นหนืด คือเบียงพืชรักษาคัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิล เนื่องจากมีความหนืดสูงและเบียงคั่นตัวต่ำ อย่างไรก็ตามการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาเป็นการศึกษาสมบัติของเบียงในตัวอย่างที่เป็นน้ำโดยไม่มีสิ่งเจือปนอื่นๆ แต่การนำเบียงไปใช้ในผลิตภัณฑ์จะมีองค์ประกอบอื่นๆ อีกหลายอย่าง เช่นในกรณีของซอสมะเขือเทศจะมีโปรตีน ไขมัน เพคติน น้ำตาล เกลือแร่ที่มีอยู่ในเนื้อมะเขือเทศนอกจากนี้ยังมีน้ำตาล เกลือและน้ำส้มสายชูที่เติมลงไปขณะเตรียมผลิตภัณฑ์ ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้อาจเกิดปฏิกิริยากับเบียงทำให้สมบัติของเบียงเปลี่ยนไปจากเดิมได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติในโครงการทุนพัฒนาบุคลากรระดับปริญญาโทและปริญญาเอกและจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

#### 6. เอกสารอ้างอิง

1. Svegmarm, K. and Hermansson, A.-M., 1993, "Microstructure and Rheological Properties of

Composites of Potato Starch Granules and Amylose: A Comparison of Observed and Predicted Structures”, *Food Structure*, Vol. 12, pp.181-194.

2. Hermansson, A.-M. and Svegmak, K., 1996, “Developments in the Understanding of Starch Functionality”, *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 7, pp. 345–353.

3. Tonwitawat, R., 1994, Yield and some Agronomic Characteristics of Edible Canna (*Canna edulis* Ker) as Affected by Varieties, Planting Dates, Fertilizer Rates and Plant Densities, Ph.D. Thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (In Thai)

4. Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K. and Takeda, Y., 2003a, “A Comparative Study of Edible Canna (*Canna edulis*) Starch from Cultivars. Part I. Chemical Composition and Physico-chemical Properties”, *Carbohydrate Polymers*, Vol. 53, pp. 317-324.

5. Saartrat, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V. and Uttapap, D., 2005, “Edible Canna (*Canna edulis*) Starch Modified by Acetylation”, *KMUTT Research and Development Journal*, Vol. 28, No. 1, pp. 87-102. (In Thai)

6. Chuenkamol, B., Puttanlek, C., Rungsardthong, V. and Uttapap, D., 2007, “Characterization of Low-Substituted Hydroxypropylated Canna Starch”, *Food Hydrocolloids*, Vol. 21, pp.1123-1132.

7. Emrat, I., Wandee, Y., Pucha-arnon, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V. and Uttapap, D., 2011, “Modification of Canna Starch by Cross-Linking with Sodium Trimetaphosphate”, *KMUTT Research and Development Journal*, Vol. 34, No.4, pp. 358-368. (In Thai)

8. Saartrat, S., 2003, *Modification of edible Canna starches by acetylation*, Master Degree Thesis. King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand. (In Thai)

9. Chuenkamol, B., 2005, *Modification of edible Canna starches by hydroxypropylation*, Master Degree Thesis. King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand. (In Thai)

10. Miles J.M., Morris, J.V. Orford D.P., and Ring G.S., 1985, “The Roles of Amylose and Amylopectin in the Gelation and Retrogradation of Starch”, *Carbohydrate Research*, Vol. 135, pp. 271-281.

11. Miles J.M., Morris, J.V., and Ring G.S., 1985, “Gelation of Amylose”, *Carbohydrate Research*, Vol. 135, pp. 257-269.

12. Hoover, R. and Sosulski, F., 1985, “A Comparative Study of the Effect of Acetylation on Starches of *Phaseolus vulgaris* Biotypes”, *Starch/Starke*, Vol. 37, No. 12, pp. 397-404.

13. Agboola, S.O., Akingbala, J.O., and Oguntimein, G.B., 1991, “Production of Low Substituted Cassava Starch Acetates and Citrates”, *Starch/Starke*, Vol. 43, No. 1, pp. 13-15.

14. Gonzalez, Z. and Perez, E., 2002, “Effect of Acetylation on some Properties of Rice Starch”, *Starch/Starke*, Vol. 54, pp. 148-154.

15. Keowmaneechai, E., 1995, *Modification of Starches in Tapioca and Rice Flours by Acetylation*, Master Degree Thesis. Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (In Thai)

16. Liu, H., Ramsden, L. and Corke, H., 1997, “Physical Properties and Enzymatic Digestibility of Acetylated ae, wx, and Normal Maize Starch”, *Carbohydrate Polymers*, Vol. 34, pp. 283-289.

17. Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K. and Takeda, Y., 2003b, “A Comparative Study of Edible Canna (*Canna edulis*) Starch from Cultivars. Part II. Molecular Structure of Amylose and Amylopectin”, *Carbohydrate Polymers*, Vol. 54, pp. 489-498.

18. Morikawa, K. and Nishinari, K., 2000, "Effects of Concentration Dependence of Retrogradation Behavior of Dispersions for Native and Chemically Modified Potato Starch", *Food Hydrocolloids*, Vol.14, pp. 395-40.