



## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ โทร. 3343

ที่ ศธ 0529.8.3/ พิเศษ

วันที่ 28 มี.ค. 2560

เรื่อง ขออนุมัติค่าตอบแทนการตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการ

เรียน รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ ผ่านหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมี

อ้างถึงประกาศมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เรื่อง “หลักเกณฑ์การจ่ายค่าตอบแทนการตีพิมพ์ผลงานวารสารวิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี” ตามความทราบแล้วนั้น

เนื่องจากบทความทางวิชาการของ ดร. ณัฐยา พูนสุวรรณ จำนวน 1 เรื่อง ได้แก่บทความ “ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยาในการเตรียมแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดควรเทอนารีเอมโมเนียมสตาาร์ชอีเทอร์” ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติในวารสารชื่อ วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อุบล ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน กรกฎาคม-ธันวาคม 2559 โดยวารสารดังกล่าวอยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่ม 1

ดังนั้นภาควิชาวิศวกรรมเคมี จึงครุ่งค่าอนุมัติค่าตอบแทนการตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการในเรื่องดังกล่าว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ณัฐยา พูนสุวรรณ

(ดร. ณัฐยา พูนสุวรรณ)

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี

เรียน รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ

เพื่อโปรดพิจารณา

๒๕๖๐ ๓๐๗๑๙

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ สนองราษฎร์)

รักษาการแทนหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมี

ให้ความเห็นชอบ ให้ทราบโดยทันที  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ สนองราษฎร์  
รักษาการแทนหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมี

3 月 30, 2560

เรียน รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ

ณัฐยา พูนสุวรรณ

โปรดดูเอกสารแนบมาเพื่อพิจารณา

ดังนี้ โปรดตรวจสอบให้ดีก่อนลงนาม

เมื่อได้ทราบแล้ว โปรดลงนามด้วย

ลงนาม = ชื่อผู้ลงนาม แบบอักษรไทย

ลงนาม BRB ลงนาม

ณัฐยา พูนสุวรรณ

3 月 30, 2560

# แบบเสนอขอรับค่าตอบแทนในการตีพิมพ์วารสารวิชาการ

## 1. เอกสารประกอบการเสนอขอรับค่าตอบแทนในการตีพิมพ์วารสารวิชาการ

### 1.1 แบบขอรับค่าตอบแทน

1.2 หนังสือขออนุมัติค่าตอบแทน เรียน รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการผ่านหัวหน้าภาควิชา

1.3 สำเนาบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

1.4 รายละเอียดวารสาร

1.5 เอกสารแสดงค่า Impact factor ของวารสารที่ตีพิมพ์

## 2. รายละเอียดข้อมูลประกอบเสนอขอรับค่าตอบแทนในการตีพิมพ์วารสารวิชาการ

2.1 ผู้เสนอขอรับค่าตอบแทน ชื่อ-สกุล นางสาวน้ำฝน นาคราชรุ่ง

2.2 ขอบเขตความวิจัย (ภาษาไทย) *ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองทางเคมีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการห่อฟันหัวใจที่สามารถลดเวลาการห่อฟันหัวใจลงได้*

(ภาษาอังกฤษ) Factors affecting Reaction Efficiency on the Quaternary Ammonium Tapioca Modified Starch Preparation

### 2.3 รายละเอียดของวารสาร

ชื่อวารสาร สารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ป. 20.

อยู่ในฐานข้อมูล OJSI, กรณี OJSI ช่วงระบุ impact factor: SCOPUS, OSJR.

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 เดือน กันยายน ปี 59 หน้า 57-65

### 2.4 สถานะในบทความวิจัยเป็น

ชื่อแรก (first author)  ผู้รับผิดชอบบทความ (corresponding author)

ผู้มีส่วนร่วมในบทความ

### 2.5 การมีส่วนร่วมในบทความของนักศึกษา

ใช้ขอจบการศึกษา  ไม่ใช้ขอจบการศึกษา

การรับรองสัดส่วนผลงานทางวิชาการ กรุณารอกรับข้อมูลตามแบบฟอร์มนี้ตามความเป็นจริง และรักษาไว้ซึ่ง จรรยาบรรณ และขอรับรองว่า บทความนี้ไม่เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ของผู้เสนอขอรับค่าตอบแทน

ลำดับ ที่	ชื่อ-สกุล	สัดส่วนผลงานทางวิชาการ (%)	ลงนามรับรองข้อมูล
1	นางสาวน้ำฝน นาคราชรุ่ง	55	
2	นางสาวน้ำฝน นาคราชรุ่ง	15	
3	นางสาวน้ำฝน นาคราชรุ่ง	15	
4	นางสาวน้ำฝน นาคราชรุ่ง	15	
5	ฯ		

หมายเหตุ: กรณีผู้เสนอขอรับค่าตอบแทนเป็นชื่อแรก หรือ ผู้รับผิดชอบบทความสามารถรับรองแทนผู้เขียนร่วมได้

นางสาวน้ำฝน นาคราชรุ่ง  
ผู้เสนอขอรับค่าตอบแทน

\* พ.ร.ส. \*

หมายเหตุ ขอมอบให้ น.ส.น้ำฝน พูนสุวรรณ เป็นผู้เบิกค่าตอบแทนในการตีพิมพ์แทนข้าพเจ้า \*

\*/ พ.ร.ส. \*

# ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยาในการเตรียมแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ชนิดดาวเทือนารีแอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์

## Factors affecting Reaction Efficiency of the Quaternary Ammonium Tapioca Modified Starch Preparation

ณัฐยา พุนสุวรรณ\* ปานิสา จางศิริกุล ไทย แสงเทียน พุทธพร แสงเทียน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี

Natthaya Punsuwan\* Panisa Zhangsirikul Thai Sangthean Puttaporn Sangthean

Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Warin Chamrap, Ubonratchathani 34190

Tel: 0-4535-3342 E-mail: natthaya\_p@yahoo.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยา (RE) ใน การเตรียมแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดดาวเทือนารีแอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์ (quaternary ammonium starch ether) ด้วยปฏิกิริยาอีเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำแป้งกับสาร 3-คลอโร-2-ไฮดรอกซิโพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (CHPTAC) พบว่า อัตราส่วนโดยระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC กับเวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อน้ำแป้ง และอุณหภูมิขณะดัดแปลงผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยา โดยสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งดัดแปรนี้ คือ อัตราส่วนโดยไม่กระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC เท่ากับ 2.8:1.0 เวลาในการทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อน้ำแป้ง เท่ากับ 5.5:100 และอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาที่  $40 \pm 2^\circ\text{C}$  โดยที่สภาวะดังกล่าวแป้งดัดแปลงมีค่าความหนืด ( $\text{cP}$ )  $\text{N}_{2,\text{Exp}}(\%)$  DS และ RE(%) เท่ากับ 1200 0.25 0.030 และ 89.02% ตามลำดับ

คำหลัก แป้งดัดแปร แป้งแคทไอออนิก อีเทอริฟิเคชัน ค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยา

### Abstract

The study focuses on the factors affecting reaction efficiency (RE) of the quaternary ammonium tapioca modified starch preparation, which is

prepared by the etherification of starch solution with 3-chloro-2-hydroxypropyltrimethyl ammonium chloride (CHPTAC). The results show that the molar ratio of NaOH to CHPTAC and the reaction time, the weight ratio of CHPTAC to starch solution, and the reaction temperature have a significant effect on reaction efficiency of the quaternary ammonium tapioca modified starch preparation. The optimum conditions for preparing this modified starch are that the molar ratio of NaOH to CHPTAC is 2.8:1.0 and 16 hours of reaction time, the weight ratio of CHPTAC to starch solution is 5.5:100, and reaction temperature is  $40 \pm 2^\circ\text{C}$ . The obtained viscosity ( $\text{cP}$ ),  $\text{N}_{2,\text{Exp}}(\%)$ , DS and RE(%) are 1200, 0.25, 0.030 and 89.02%, respectively.

**Keywords:** modified starch, cationic starch, etherification, reaction efficiency

### 1. บทนำ

แป้งแคทไอออนิก (cationic starch) เป็นแป้งดัดแปรชนิดหนึ่งที่อาศัยวิธีการดัดแปลงทางเคมีที่ได้จากปฏิกิริยาอีเทอริฟิเคชัน (etherification) ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่อะมิโน (amino) อิมิโน (imino) ชัลฟอนิยม (sulfonium) ฟอสฟอนิยม (phosphonium) หรือ แอมโมเนียม (ammonium) เป็นต้น [1-2] ในปัจจุบันแป้งแคทไอออนิกที่นิยมผลิตส่วนใหญ่เป็นชนิด

ควรเทอนารีเอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์ (quaternary ammonium starch ether) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง แป้งกับสารละลายน 3-คลอโร-2-ไฮดรอกซิไพรพิล ไตรเมทิล แอมโมเนียมคลอไรด์ (3-chloro-2-hydroxy propyltrimethyl ammonium chloride, CHPTAC) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแป้ง ดัดแปลงที่มีประจุบวกอยู่ในโมเลกุลของแป้ง ด้วยคุณสมบัติ เด่นข้อนี้แป้งแคทไออกอนิกจึงเป็นที่นิยมในการนำไปใช้ใน อุตสาหกรรมกระดาษ เนื่องจากความสามารถในการเกิด พันธะไออกอนิกได้เป็นอย่างตระห่วงประจุบวกของแป้ง กับประจุลบของเซลลูโลสในโครงสร้างของวัตถุดิบที่ใช้ทำ กระดาษ ทำให้ได้กระดาษมีความแข็งแรง และทำให้พิล เลอร์ (filler) เกาะกระดาษได้ดีขึ้น [3-6] นอกจากนี้ ยังได้ มีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสิ่ง ทอ ใช้เป็นสารตகตะกอนสารอินทรีย์ที่มีประจุลบ [3, 7] ใช้เป็นสารควบคุมอัตราการปลดปล่อยฤทธิ์ของยา และใช้ ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมัน [8] เป็นต้น วิธีการผลิต แป้งแคทไออกอนิกแป้งได้เป็นสองวิธีการใหญ่ๆ คือ การ ผลิตแบบเปียก และการผลิตแบบแห้ง โดยการผลิตแบบ เปียกเป็นวิธีที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของแป้งกับสารเคมีเกิด ขึ้นได้อย่างสม่ำเสมอ และง่ายต่อการควบคุม [9] แต่ เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการผลิตมีค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิคงที่อยู่สูง ทำให้มีเดย์เพลย์เกิดการเจลตีนซ์ (gelatinize) ได้ จึงต้องมีการเติมเกลือโซเดียมซัลเฟต (sodium sulphate) หรือโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) ลงในส่วนผสม เพื่อบังกันการเกิดเจลตีนซ์ เช่นของเม็ดแป้ง [3, 10-11] นอกจากนี้จากผลการศึกษา โดยนักวิจัยหลายกลุ่ม พบว่า บัวขี้ที่ส่งผลต่อค่า ประสิทธิภาพของปฏิกิริยา ค่าระดับการแทนที่หมูไอก อกซิล และคุณสมบัติของแป้งดัดแปลงนิคแคร์ของเทอนารี แอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์ ได้แก่ ชนิดของสารดัดแปลง [3] ความเข้มข้นของน้ำแป้งมันสำปะหลัง [12-13] อัตราส่วน โดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อน้ำแป้งมันสำปะหลัง [12] อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง CHPTAC ต่อน้ำแป้งมัน สำปะหลัง [13] อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC และอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา [12-13] อย่างไรก็ตาม จากการวิจัยในเบื้องต้นพบว่า ที่สภาวะที่ เหมาะสมโดยนักวิจัยหลายกลุ่ม ค่าประสิทธิภาพของ

ปฏิกิริยา และระดับการแทนที่หมูไอกซิล จะมีค่าสูง สุดไม่เกินร้อยละ 88 และ 0.07 ตามลำดับ [13] ทั้งนี้ อุตสาหกรรมการผลิตแบ่งดัดแปลงนิคแคร์ไอกอนิกจะมี ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาอยู่ที่ 80 - 85% และค่าระดับ การแทนที่หมูไอกซิลที่ระดับ 0.028 ซึ่งยังคงต่ำกว่า ค่าที่ได้จากการห้องปฏิบัติการ งานวิจัยนี้จึงมุ่งทำการศึกษา บัวขี้ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาของ CHPTAC สำหรับการดัดแปลงมันสำปะหลังชนิดควอเทอนารีเอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์ ได้แก่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ระหว่าง CHPTAC ความเข้มข้น 69%wt ต่อน้ำแป้ง อัตราส่วนโดยโมลระหว่างโซเดียมไอกอกไซด์ความ เข้มข้น 10.20% (w/v) ต่อ CHPTAC ความเข้มข้น 69%wt อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา และเวลาในการทำ ปฏิกิริยา เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์แป้งดัดแปลงที่ได้จะต้องมี ค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยาสูงกว่า 85% และระดับการ แทนที่หมูไอกซิลที่ระดับสูงกว่า 0.028 ซึ่งเป็นค่าสูง สุดที่ได้จากการบันการผลิตจริงในระดับอุตสาหกรรม

## 2. วิธีการศึกษา

แป้งมันสำปะหลังดัดแปลงมันสำปะหลังดัด ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ เดิม ได้จากการปฏิกิริยาระหว่างน้ำแป้งมันสำปะหลังความ เข้มข้น 47%wt กับสารละลายน CHPTAC ความเข้มข้น 69%wt ด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไอกอกไซด์ในช่วง 5.5 – 5.7 กรัมต่อน้ำแป้ง 100 กรัม อุณหภูมิ ขณะเกิดปฏิกิริยาระหว่าง  $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$  ด้วยเวลา 0 – 24 ชั่วโมง และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างโซเดียมไอกอกไซด์ความเข้มข้น 10.20% (w/v) ต่อ CHPTAC 69%wt ระหว่าง 2.5:1.0 – 3.0:1.0 จากนั้นแป้งดัดแปลงที่เตรียมได้ จะถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณในโตรเรนด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrometer (Unity Scientific, InfraStar 1400) และวิเคราะห์ค่าความหนืดด้วย Brookfield Viscometer (Rapid viscometer temperature ( RVT ) - VISCOMETER W/SPINDLE SET โดยมีรายละเอียดวิธี การศึกษาดังนี้

เติมน้ำแป้งความเข้มข้น 47%wt ปริมาตร 20 ลิตร ลงในถังปฏิกิริณแบบงวด (batch reactor tank) จากนั้น เติมโซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) เพื่อบังกันการเกิดเจลตีนซ์ ขณะเติมให้กวนตลอดเวลาด้วยความเร็ว

1350 รอบ/นาที และควบคุมอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา เท่ากับ  $40 \pm 2^\circ\text{C}$  เติมสารละลายน้ำเดี่ยวน้ำไฮดรอกซิลิค ความเข้มข้น 10.20%w/v ด้วยอัตราการไฟล 5 ลิตรต่อชั่วโมง จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำแข็งมาทำการไฟเกรตด้วยสารละลายน้ำไฮดรอกซิลิคความเข้มข้น 1.0 N จนกระทั่งได้อัตราส่วนระหว่างน้ำแข็งต่อสารละลายน้ำไฮดรอกซิลิคเท่ากับ 1:4 แล้วทำการเติม CHPTAC ความเข้มข้น 69%wt ลงไป ด้วยอัตราส่วน NaOH ต่อ CHPTAC ต่างๆ ตามที่ต้องการ ทำการเก็บตัวอย่างปริมาตร 500 มิลลิลิตรที่เวลาต่างๆ โดยน้ำแข็งตัวอย่างจะถูกนำไปในเครื่องอบไอน้ำที่อุณหภูมิ  $120^\circ\text{C}$  นาน 15 นาที ร่อนผ่านแร้ง (sieve) ขนาด 100 mesh และจึงนำไปในเครื่องวิเคราะห์ปริมาณในโตรเจนด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrometer (NIR) ซึ่งปริมาณในโตรเจนที่วิเคราะห์ได้จะนำไปใช้คำนวณค่าระดับการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล (DS<sub>Exp</sub>) ด้วยสมการความสัมพันธ์ ดังแสดงในสมการที่ (1) [14]

$$DS_{Exp} = \frac{162 \times N_{2,Exp}}{1400 - [151.5 \times N_{2,Exp}]} \quad (1)$$

เมื่อ DS<sub>Exp</sub> คือ ค่าระดับแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ได้จากการทดลอง

N<sub>2,Exp</sub> คือ ปริมาณในโตรเจน (%) ที่ได้จากการทดลอง

ค่า DS<sub>Exp</sub> ที่ได้จากสมการที่ (1) จะนำไปใช้คำนวณค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยา (%RE) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$RE = \frac{DS_{Exp} \times 100}{DS_{The}} \quad (2)$$

เมื่อ RE คือ ค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยา (%)

DS<sub>The</sub> คือ ค่าระดับการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลทางทฤษฎี

โดย DS<sub>The</sub> สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$DS_{The} = \frac{162 \times N_{2,The}}{1400 - [151.5 \times N_{2,The}]} \quad (3)$$

เมื่อ N<sub>2,The</sub> คือ ปริมาณในโตรเจน (%) ในทางทฤษฎี และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$N_{2,The} = [CHPTAC] \times 0.0514 \quad (4)$$

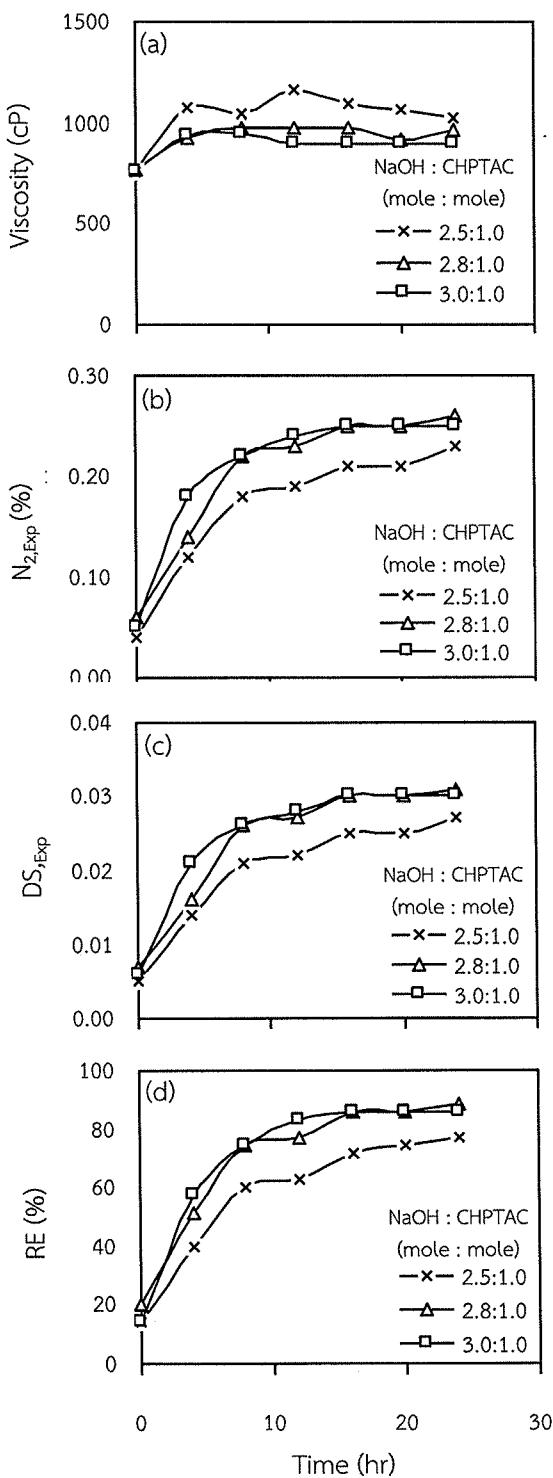
เมื่อ [CHPTAC] คือความเข้มข้นของ CHPTAC ในหน่วย %wt

โดยการศึกษาจะทำไม่น้อยกว่า 3 ชั้ว ในแต่ละชุดการทดลอง เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อน (error) มีค่าไม่เกิน  $\pm 5\%$

### 3. ผลการศึกษา และอภิปรายผล

#### 3.1 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC และเวลาในการทำปฏิกิริยา

ผลการศึกษาบัญชีของเวลาในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC ต่อสมบัติของน้ำแข็งดัดแปลงนิodicความเทอนารีแอมโนเนียมสตาร์ชอิเทอร์ ซึ่งเตรียมที่สภาวะอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อน้ำแข็ง เท่ากับ 5.7:100 อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา  $40 \pm 2^\circ\text{C}$  และน้ำแข็งมีสำปะหลังความเข้มข้นร้อยละ 47 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 1 (a) – (d) พบว่า การเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาช่วง 0 – 8 ชั่วโมง ทำให้ค่าความหนืดของน้ำแข็ง N<sub>2,Exp</sub> DS<sub>Exp</sub> และ RE เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จากนั้นการเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้นานกว่า 8 ชั่วโมงกลับส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด N<sub>2,Exp</sub> DS<sub>Exp</sub> และ RE เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้การเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 0 – 8 ชั่วโมง สาร CHPTAC และ NaOH ที่เติมเข้าไป สามารถเข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล ของน้ำแข็งได้ และทำปฏิกิริยากับน้ำแข็งได้ดี จึงทำให้ค่าความหนืด N<sub>2,Exp</sub> DS<sub>Exp</sub> และ RE มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จากนั้น การเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้นานกว่า 8 ชั่วโมง CHPTAC และ NaOH ซึ่งทำปฏิกิริยากับน้ำแข็งได้เกินสิ้นสุดแล้ว การเพิ่มเวลาจึงทำให้ค่าความหนืด N<sub>2,Exp</sub> DS<sub>Exp</sub> และ RE เป็นไปอย่างน้อย ซึ่งผลการศึกษาในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาโดยหลายครั้ง [15-18] ที่พบว่า DS<sub>Exp</sub> และ RE เพิ่มขึ้นตามเวลาในการทำปฏิกิริยาจนกระทั่งมีแนวโน้มคงที่ เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุล



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างผลของเวลาและ NaOH และอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC ต่อ (a) viscosity (b)  $N_{2,Exp}$  (%) (c)  $DS_{Exp}$  และ (d) Re (%) ที่สภาวะอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อน้ำเบง เท่ากับ 5.7:100 อุณหภูมิขัมมเกิดปฏิกิริยา  $40 \pm 2^\circ\text{C}$  น้ำเบงมันสำปะหลัง ความเข้มข้นร้อยละ 47 โดยน้ำหนัก

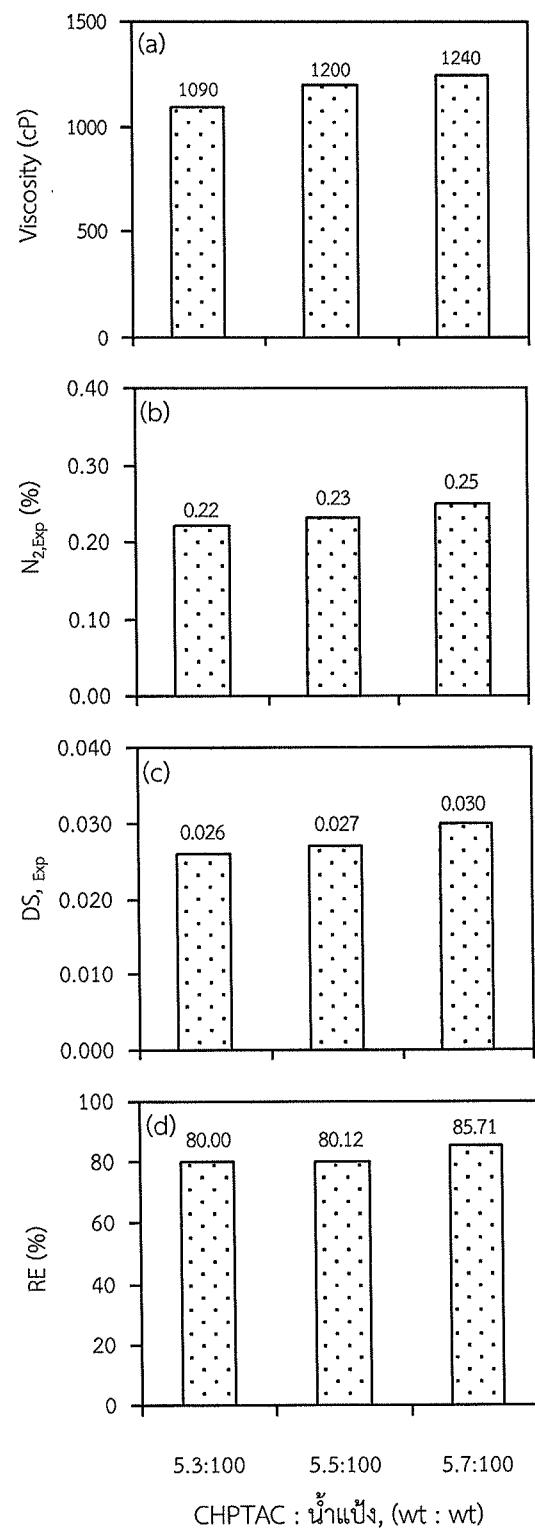
การเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC จาก 2.5:1.0 เป็น 2.8:1.0 ทำให้  $N_{2,Exp}$   $DS_{Exp}$  และ RE เพิ่มขึ้น อาจสามารถอธิบายได้ว่า NaOH ช่วยเปลี่ยนสาร CHPTAC ซึ่งอยู่ในรูปคลอร์ไฮดริน (chlorohydrin) ให้ไปอยู่ในรูปอีพอกไซด์ (epoxide) ซึ่งไวต่อการเกิดปฏิกิริยา นอกจากนี้ NaOH ยังมีส่วนช่วยเร่งปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคลชัน โดย NaOH จะเข้าไปเปลี่ยนสภาพหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลเบง เพื่อให้พร้อมในการทำปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคลชัน [7] การเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณ NaOH ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำหน้าที่เสริมอันดับเร่งปฏิกิริยา [19] โดย NaOH จะเข้าไปขัดขวางการเกิดโครงสร้างแบบผลึกของเบง ทำให้โครงสร้างที่มีลักษณะไม่เป็นระเบียบซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าเพิ่มจำนวนมากขึ้น [20] ส่งผลให้ปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคลชันของเบงเกิดได้ดีขึ้น [21-24] แต่การเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC จาก 2.8:1.0 เป็น 3.0:1.0 กลับส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ  $N_{2,Exp}$   $DS_{Exp}$  และ RE เพียงเล็กน้อย อาจเนื่องจากอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC ที่ 2.8:1.0 นั้นเป็นปริมาณที่มีอยู่ย่างมากเกินพอด (Excess) ต่อการเกิดปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคลชันแล้ว ดังนั้น การเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC ให้สูงกว่า 2.8:1.0 จึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ  $N_{2,Exp}$   $DS_{Exp}$  และ RE เพียงเล็กน้อย แต่ส่งผลต่อการลดลงของความหนืดอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจาก NaOH ส่วนเกินอาจทำให้สารประกอบไดอล (diol) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง (by product) ของปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคลชันเพิ่มปริมาณมากขึ้น ความหนืดของเบงจึงมีค่าลดลง [16] นอกจากนี้ อาจเป็นไปได้ว่า NaOH ส่วนเกินจะเข้าไปขัดขวางการเกิดโครงสร้างแบบผลึก (crystalline) ในเบง ทำให้โครงสร้างที่มีลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบ หรือโครงสร้างอัมอร์ฟัส (amorphous) ซึ่งโมเลกุลของน้ำสามารถเข้ามาเกาะกับเบงได้มากขึ้น ทำให้เบงเกิดการพองตัว ซึ่งหากมี NaOH ในปริมาณที่มากเกินไปจนกระทั่งโครงสร้างแบบผลึกไม่สามารถเกิดขึ้นได้เลย โมเลกุลของน้ำจะสามารถแทรกเข้าไปเกาะกับเบงได้อย่างอิสระ ส่งผลให้เบงพองตัวขยายใหญ่ขึ้น และเมื่อเบงมีการพองตัวทำให้ความหนืดเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อถึงระดับการพองตัวสูงสุด ซึ่งจะให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จากนั้นเม็ดเบงจะ

เริ่มแตกออก ส่งผลให้ความหนืดของแบ้งลดต่ำลง [3, 20, 25]

จากผลการศึกษาปัจจัยของเวลาในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC ต่อ ค่าความหนืดของน้ำแบง  $N_{2,Exp}$   $DS_{Exp}$  และ  $RE$  สามารถกล่าวได้ว่าเวลาในการทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง และ อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC เท่ากับ 2.8:1 เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมแบงดัดแปลง โดยที่สภาวะนี้แบงจะมีค่าความหนืด  $N_{2,Exp}$   $DS_{Exp}$  และ  $RE$  เท่ากับ 1240 cP 0.25% 0.030 และ 85.71% ตามลำดับ โดยที่ค่า  $DS_{Exp}$  และ  $RE$  มีค่าสูงกว่าค่าสูงสุดที่ได้จากการบันทึกผลิตจริงในระดับอุตสาหกรรม ( $DS_{Exp}$  เท่ากับ 0.028 และ  $RE$  เท่ากับ 85.00% ตามลำดับ)

### 3.2 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อน้ำแบง

รูปที่ 2 แสดงผลการศึกษาปัจจัยของอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อน้ำแบง ต่อคุณสมบัติของแบงดัดแปลงชนิดควรอนารีแอมโมเนียมสตาร์ซีเทอร์ชีน์เตรียมที่สภาวะอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC เท่ากับ 2.8:1 อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา  $40 \pm 2^\circ\text{C}$  น้ำแบงมันสำปะหลังความเข้มข้นร้อยละ 47 โดยน้ำหนัก และเวลาในการทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อน้ำแบง จาก 5.3:100 เป็น 5.7:100 มีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าความหนืด  $N_{2,Exp}$   $DS_{Exp}$  และ  $RE$  เพิ่มขึ้น โดยสามารถอธิบายได้ว่า การเพิ่มปริมาณ CHPTAC เป็นการเพิ่มโอกาสให้ CHPTAC เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไอกอกรชีลของโมเลกุลแบงได้มากขึ้น [7] ซึ่งผลการศึกษาในส่วนนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kweon และคณะ [10] และ Kuo and Lai [26] ซึ่งพบว่า การเพิ่มปริมาณ CHPTAC ส่งผลให้  $DS_{Exp}$  และ  $RE$  เพิ่มขึ้นกระทั่งถึงค่าสูงสุด จากนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณ CHPTAC สำหรับการเตรียมแบงข้าวโพดดัดแปลงชนิดควรอนารีแอมโมเนียมสตาร์ซีเทอร์ชีน์เตรียม

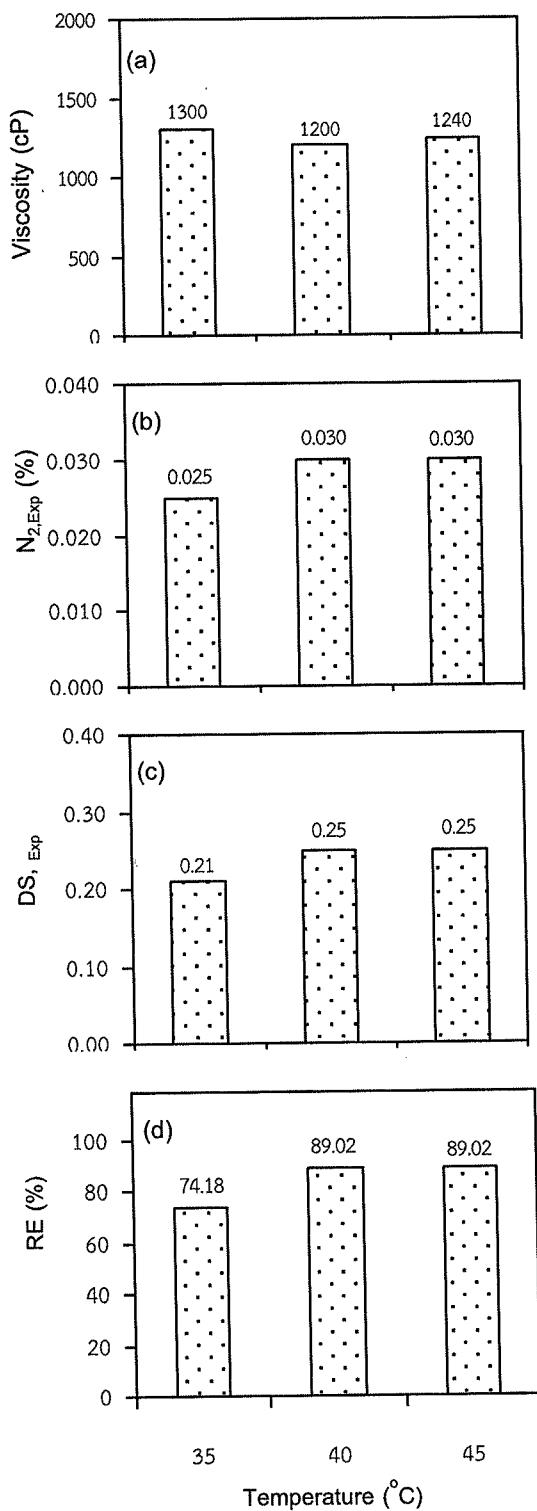


รูปที่ 2 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อน้ำแบง

ต่อ (a) viscosity (b)  $N_{2,Exp}$  (%) (c)  $DS_{Exp}$  และ (d)  $RE$  (%) ที่สภาวะอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC เท่ากับ 2.8:1 อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา  $40 \pm 2^\circ\text{C}$  ความเข้มข้นน้ำแบงร้อยละ 47%wt และเวลา 16 ชั่วโมง

### 3.3 ผลของอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา

ผลการศึกษาอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาต่อคุณสมบัติของแป้ง ซึ่งเตรียมที่สภาวะอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC เท่ากับ 2.8:1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ CHPTAC ต่อน้ำแป้ง เท่ากับ 5.5:100 น้ำแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้นร้อยละ 47 โดยน้ำหนักและเวลาในการทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง แสดงในรูปที่ 3 (a) – (d) พนว่า การเพิ่มอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาจาก 35°C เป็น 40°C ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ  $N_{2,Exp}$ ,  $DS_{Exp}$  และ  $RE$  อย่างเห็นได้ชัดเจน แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยาสูงกว่า 40°C กลับไม่พบการเปลี่ยนแปลงของ  $N_{2,Exp}$ ,  $DS_{Exp}$  และ  $RE$  กับอุณหภูมิ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ  $N_{2,Exp}$ ,  $DS_{Exp}$  และ  $RE$  ในช่วงอุณหภูมิ 35 ถึง 40°C สามารถอธิบายได้ว่า อุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยาที่เพิ่มสูงขึ้นนั้น จะทำให้โครงสร้างแบบผลึกของแป้งเปลี่ยนไปเป็นโครงสร้างแบบอสัณฐานมากขึ้น ซึ่งจากการศึกษาโดย Yip และคณะ [14] พนว่าโครงสร้างแบบอสัณฐานของแป้งสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ได้ดีกว่าโครงสร้างแบบผลึก แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาให้สูงเกินกว่าอุณหภูมิสูงสุด ( $T_{max}$ ) ที่ทำให้โครงสร้างแบบผลึกเปลี่ยนไปเป็นโครงสร้างแบบอสัณฐานได้มากที่สุดแล้วนั้น โครงสร้างแบบอสัณฐานของแป้งจะมีจำนวนคงที่ หรืออาจลดลง เนื่องจากโครงสร้างอสัณฐานนั้น สามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นโครงสร้างแบบผลึกได้อีกครั้ง ซึ่งจะส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของแป้งมีค่าคงที่ หรือลดน้อยลง เมื่ออุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาสูงกว่า  $T_{max}$  โดยผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาโดยนักวิจัยหลายกลุ่ม [14, 27-30] ที่พนว่า  $DS_{Exp}$  และ  $RE$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเมื่อการเพิ่มอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาสูงกว่า  $T_{max}$  เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาต่อค่าความหนืดกลับพบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาระหว่าง 35 ถึง 45°C ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดเพียงเล็กน้อย โดยมีแนวโน้มที่จะทำให้ความหนืดลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาสูงกว่า 35°C อย่างไรก็ตามจากการศึกษา



รูปที่ 3 ผลของอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาต่อ (a) viscosity (b)  $N_{2,Exp} (\%)$  (c)  $DS_{Exp}$  และ (d)  $RE (\%)$  ที่สภาวะอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC เท่ากับ 2.8:1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อน้ำแป้ง เท่ากับ 5.5:100 ความเข้มข้นน้ำแป้งร้อยละ 47%wt และเวลา 16 ชั่วโมง

ยังไม่สามารถพิจารณาความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา กับความหนืดได้ นอกจากนี้ ผลการศึกษาข้างต้นให้เห็นว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง CHPTAC กับน้ำแบ่ง คืออุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$

จากการประเมินผลการศึกษาครั้งนี้ในเบื้องต้นพบว่า ที่สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแบ่งมันสำปะหลังชนิดควรเทอนารีแอมโมเนียมสตาร์ช อีเทอร์ สามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของ CHPTAC ได้ถึงร้อยละ 3.5

#### 4. สรุป

จากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาของ CHPTAC สำหรับการดัดแปลงแบ่งมันสำปะหลังชนิดควรเทอนารีแอมโมเนียมสตาร์ช อีเทอร์ ได้ ข้อสรุปดังนี้ ปริมาณ NaOH CHPTAC เวลา และ อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหนืด  $N_{2,\text{Exp}}$   $DS_{\text{Exp}}$  และ  $RE$  สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแบ่งดัดแปลง ได้แก่ อัตราส่วนโดยไม่ระบุระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC เท่ากับ 2.8:1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อ น้ำแบ่ง เท่ากับ 5.5:100 อุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา  $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$  เวลาในการทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง ที่สภาวะดังกล่าวให้ค่าความหนืด  $N_{2,\text{Exp}}$   $DS_{\text{Exp}}$  และ  $RE$  เท่ากับ 1,200 CPs 89.02% 0.25 และ 0.030 ตามลำดับ

#### กิตติกรรมประการ

ขอขอบคุณบริษัทเยนเนรัล สตาร์ช จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ ต่างๆ ในการทดลองเป็นอย่างดี

#### เอกสารอ้างอิง

- Xie, X., Liu, Q., and Cui, S. W. 2005. Starch modifications and applications. In S. W. Cui (Ed.), *Food carbohydrates: Chemistry, physical properties, and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press. 357-406.

- Krochta, J. M., Tillin, S. J., Hudson, J. S. 1987. Degradation of polysaccharides in alkaline solution to organic acids: Product characterization and identification. *Journal of Applied Polymer Science*, 33: 1413-1425.
- กล้านรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคนิคโลyeแบ่ง สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร. พิมพ์ครั้งที่ 3.
- Jensen, B. M., and Winters, J. C. 1986. Cationic potato starch proven effective as wet and additivers. *Pulp & Paper*, 60: 83-85.
- Nachtergaelle, W. 1989. The benefits of cationic starches for the paper industry-Starch/Stärke, 41: 27-31.
- Wurzberg, O. B. 1986. Forty years of industrial starch research. *Cereal Food World*, 31: 897-903.
- Solarek, D.B. 1987. Cationic starches. In O.B. Wurzburg. *Modified Starches: Properties and Uses*. Boca Raton, Florida, 113-129.
- Zhang, M., Ju, B. Z., Zhang, S. F., Ma, W., and Yang, J. Z. 2007. Synthesis of cationic hydrolyzed starch with high DS by dry process and use in salt-free dyeing. *Carbohydrate Polymers*, 69: 123-129.
- Xu, S. M., Zhang, S. F., and Yang, J. Z. 2002. Development on synthesis of amphoteric starch. *China Surfactant Detergent and Cosmetics*, 32(6): 49-52.
- Kweon, Dr. M. R., Bhirud, P. R., and Sosulski Saskatoon F. W. 1996. An aqueous alcoholic-alkaline process for cationization of corn and pea starches. *Starch*, 48(6): 214-220.
- Huber, K. C., and McMiller, J. N. 2003. Location of sites of reaction within starch granules. *Cereal Chemistry*, 78: 173-180.
- นลินี อุดมทรี. 2540. การดัดแปลงมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์

- มหาบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีชีวภาพ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [13] Carr, M.E., and Bagby, M.O. 1981. Preparation of cationic starch ether: a reaction efficiency study, 33(9): 310-312.
- [14] Yu, H., Cao, Y., Fang, Q., and Liu, Z. 2015. Effects of treatment temperature on properties of starch-based adhesives. *BioResources*, 10(2): 3520-3530.
- [15] Radosta, S., Vorwerg, W., Ebert, A., Begli, A. H., Grulc, D., & Wastyn, M. 2004. Properties of low-substituted cationic starch derivatives prepared by different derivatization processes. *Starch/Stärke*, 56: 277–287.
- [16] Hellwig, G., Bischoff, D., and Rubo, A. 1992. Production of cationic starch ethers using an improved dry process, *Starch/Starke*, 44(2): 69-74.
- [17] Cansee, S., Uriyapongson, J., Watyotha, C., Thivavarnvongs, T., and Varith., J. 2008. Amphoteric starch in simultaneous process preparation with Box-Behnken design for optimal conditions. *American Journal Applied Sciences*, 5(11): 535-1542.
- [18] Siau, C. L., Karim, A. A., Norziah, M. H., & Wan Rosli, W. D. 2004. Effects of cationization on DSC thermal profiles, pasting and emulsifying properties of sago starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84: 1722–1730.
- [19] Karim, A.A., Nadiha, M.Z., Chen, F.K., Phuah, Y.P., Chui, Y.M. and Fazilah, A. 2008. Pasting and retrogradation properties of alkali-treated sago (Metroxylon sagu) starch. *Food Hydrocolloids*, 22: 1044-1053.
- [20] Sangseethong, K., Ketsilp, S. and Sriroth, K. 2005. The Role of Reaction Parameters on the Preparation and Properties of Carboxymethyl Cassava Starch. *Starch Stärke*, 57: 84-93.
- [21] Donald, A.M., Kato, K.L., Perry, P.A. and Waigh, T.A. 2001. Scattering studies of the internal structure of starch granules. *Starch – Stärke*, 53: 504-512.
- [22] Lawal, O.S., Lechner, M.D. and Kulicke, W.M. 2008. The synthesis conditions, characterizations and thermal degradation studies of an etherified starch from an unconventional source. *Polymer Degradation and Stability*, 93: 1520-1528.
- [23] Cardoso, M.B., Putaux, J.-L., Samios, D. and da Silveira, N.P. 2007. Influence of alkali concentration on the deproteinization and/or gelatinization of rice starch. *Carbohydrate Polymers*, 70: 160-165.
- [24] Singh, J., Kaur, L. and McCarthy, O.J. 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-A review. *Food Hydrocolloids*, 21: 1-22
- [25] Fadzlina, Z.A.N., Karim, A.A. and Teng, T.T. 2005. Physicochemical properties of Carboxymethylated Sago (Metroxylon sagu) starch. *Journal of Food Science*, 70: 560 - 567.
- [26] Kuo, W. Y., Lai, H. M. 2009. Effects of reaction conditions on the physicochemical properties of cationic starch studied by RSM. *Carbohydrate Polymers*, 75(4): 627-635.
- [27] Yu, H., Huang, Y., Ying, H., and Xiao, C. 2007. Preparation and characterization of a quaternary ammonium derivative of konjac glucomannan. *Carbohydrate Polymers*, 69: 29-40.
- [28] Heinze, T., Haack, V., and Rensing, S. 2004. Starch derivatives of high degree of functionalization. Preparation of cationic 2-hydroxypropyltri - methylammonium chloride starch. *Starch/Stärke*, 56: 288–296.

- [29] Zuo, Y.F., Gu, J. Y., Zhang, Y. H., and Tan, H. Y. 2012. Effect of acid hydrolysis of temperature and time on properties of corn starch. *Journal of Southwest Forestry University*, 32(5): 107-110.
- [30] Chen, J. F., Zhou, Y. B., Bai, L., and Yang, D. W. 2010. Effect of water content, temperature, time and pH on the morphology of chestnut starch. *Food Research and Development*, 31(3):40-44.