

ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยาในการเตรียมแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์

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

ณัฐยา พุนสุวรรณ* ปาณิสรา จางศิริกุล ไท แสงเทียน พุทธพร แสงเทียน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี

Nattaya Punsuwan* Panisa Zhangsirikul Thai Sangthean Puttaporn Sangthean

Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Warinchamrap, Ubonratchathani 34190

Tel: 0-4535-3342 E-mail: nattaya_p@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยา (RE) ในการเตรียมแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์ (quaternary ammonium starch ether) ด้วยปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำแป้งกับสาร 3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรพิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (CHPTAC) พบว่า อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC กับเวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อน้ำแป้ง และอุณหภูมิขณะดัดแปรส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยา โดยสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งดัดแปรนี้ คือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC เท่ากับ 2.8:1.0 เวลาในการทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อน้ำแป้ง เท่ากับ 5.5:100 และอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาที่ $40 \pm 2^\circ\text{C}$ โดยที่สภาวะดังกล่าวแป้งดัดแปรมีค่าความหนืด (cP) $N_{2,Exp}(\%)$ DS และ RE(%) เท่ากับ 1200 0.25 0.030 และ 89.02% ตามลำดับ

คำหลัก แป้งดัดแปร แป้งแคทไอออนิก อีเทอร์ฟิเคชัน
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 (cP), $N_{2,Exp}(\%)$, 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) เป็นแป้งดัดแปรชนิดหนึ่งที่อาศัยวิธีการดัดแปรทางเคมีที่ได้จากปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคชัน (etherification) ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่อะมิโน (amino) อิมิโน (imino) ซัลโฟเนียม (sulfonium) ฟอสโฟเนียม (phosphonium) หรือ แอมโมเนียม (ammonium) เป็นต้น [1-2] ในปัจจุบันแป้งแคทไอออนิกที่นิยมผลิตส่วนใหญ่เป็นชนิด

ควอเทอนารีแอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์ (quaternary ammonium starch ether) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง แป้งกับสารละลาย 3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรพิลไตรเมทิล แอมโมเนียมคลอไรด์ (3-chloro-2-hydroxy propyltrimethyl ammonium chloride, CHPTAC) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแป้ง ดัดแปรที่มีประจุบวกอยู่ในโมเลกุลของแป้ง ด้วยคุณสมบัติ เด่นชัดนี้แป้งแคทไอออนิกจึงเป็นที่นิยมในการนำไปใช้ใน อุตสาหกรรมกระดาษ เนื่องจากความสามารถในการเกิด พันธะไอออนิกได้เป็นอย่างดีระหว่างประจุบวกของแป้ง กับประจุลบของเซลลูโลสในโครงสร้างของวัตถุดิบที่ใช้ทำ กระดาษ ทำให้ได้กระดาษมีความแข็งแรง และทำให้ฟิลเลอร์ (filler) เกาะกระดาษได้ดีขึ้น [3-6] นอกจากนี้ ยังได้ มีการนำแป้งแคทไอออนิกไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ อีก ด้วย เช่น ใช้สำหรับเคลือบผ้าในอุตสาหกรรมการผลิตสิ่ง ทอ ใช้เป็นสารตกตะกอนสารอินทรีย์ที่มีประจุลบ [3, 7] ใช้เป็นสารควบคุมอัตราการปลดปล่อยฤทธิ์ของยา และใช้ ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมัน [8] เป็นต้น วิธีการผลิต แป้งแคทไอออนิกแบ่งได้เป็นสองวิธีการใหญ่ๆ คือ การ ผลิตแบบเปียก และการผลิตแบบแห้ง โดยการผลิตแบบ เปียกเป็นวิธีที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของแป้งกับสารเคมีเกิด ขึ้นได้อย่างสม่ำเสมอ และง่ายต่อการควบคุม [9] แต่ เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการผลิตมีค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิค่อนข้างสูง ทำให้เม็ดแป้งเกิดการเจลาติไนซ์ (gelatinize) ได้ จึงต้องมีการเติมเกลือโซเดียมซัลเฟต (sodium sulphate) หรือโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) ลงในส่วนผสม เพื่อป้องกันการเกิดเจลาติไนซ์ เชื้อของเม็ดแป้ง [3, 10-11] นอกจากนี้จากผลการศึกษา โดยนักวิจัยหลายกลุ่ม พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า ประสิทธิภาพของปฏิกิริยา ค่าระดับการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล และคุณสมบัติของแป้งดัดแปรชนิดควอเทอนารี แอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์ ได้แก่ ชนิดของสารดัดแปร [3] ความเข้มข้นของน้ำแป้งมันสำปะหลัง [12-13] อัตราส่วน โดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อ น้ำแป้งมันสำปะหลัง [12] อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง CHPTAC ต่อ น้ำแป้งมัน สำปะหลัง [13] อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC และอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา [12-13] อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยในเบื้องต้นพบว่า ที่สภาวะที่ เหมาะสมโดยนักวิจัยหลายกลุ่ม ค่าประสิทธิภาพของ

ปฏิกิริยา และระดับการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล จะมีค่าสูง สุดไม่เกินร้อยละ 88 และ 0.07 ตามลำดับ [13] ทั้งนี้ อุตสาหกรรมการผลิตแป้งดัดแปรชนิดแคทไอออนิกจะมี ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาอยู่ที่ 80 - 85% และค่าระดับ การแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ระดับ 0.028 ซึ่งยังคงต่ำกว่า ค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการ งานวิจัยนี้จึงมุ่งทำการศึกษา ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาของ CHPTAC สำหรับการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังชนิดควอเทอนารีแอม โมเนียมสตาร์ชอีเทอร์ ได้แก่ อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ระหว่าง CHPTAC ความเข้มข้น 69%wt ต่อ น้ำแป้ง อัตราส่วนโดยโมลระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความ เข้มข้น 10.20% (w/v) ต่อ CHPTAC ความเข้มข้น 69%wt อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา และเวลาในการทำ ปฏิกิริยา เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์แป้งดัดแปรที่ได้จะต้องมี ค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยาสูงกว่า 85% และระดับการ แทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ระดับสูงกว่า 0.028 ซึ่งเป็นค่าสูง สุดที่ได้จากกระบวนการผลิตจริงในระดับอุตสาหกรรม

2. วิธีการศึกษา

แป้งมันสำปะหลังดัดแปรสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างน้ำแป้งมันสำปะหลังความ เข้มข้น 47%wt กับสารละลาย CHPTAC ความเข้มข้น 69%wt ด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในช่วง 5.5 – 5.7 กรัมต่อน้ำแป้ง 100 กรัม อุณหภูมิ ขณะเกิดปฏิกิริยาระหว่าง 40 ± 2 °C ด้วยเวลา 0 – 24 ชั่วโมง และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างโซเดียมไฮดรอก ซิดความเข้มข้น 10.20%(w/v) ต่อ CHPTAC 69%wt ระหว่าง 2.5:1.0 – 3.0:1.0 จากนั้นแป้งดัดแปรที่เตรียมได้ จะถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนด้วยเครื่อง 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 ลงในถังปฏิกรณ์แบบกะ (batch reactor tank) จากนั้น เติมโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เพื่อป้องกันการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง ขณะเติมให้กวนตลอดเวลาด้วยความเร็ว

1350 รอบ/นาที และควบคุมอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10.20%w/v ด้วยอัตราการไหล 5 ลิตรต่อชั่วโมง จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำแบ่งมาทำการไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 N จนกระทั่งได้อัตราส่วนระหว่างน้ำแบ่งต่อสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เท่ากับ 1:4 แล้วทำการเติม CHPTAC ความเข้มข้น 69%wt ลงไป ด้วยอัตราส่วน NaOH ต่อ CHPTAC ต่างๆ ตามที่ต้องการ ทำการเก็บตัวอย่างปริมาตร 500 มิลลิลิตรที่เวลาต่างๆ โดยน้ำแบ่งตัวอย่างจะถูกนำไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และนำไปอบที่อุณหภูมิ 120°C นาน 15 นาที ร่อนผ่านร่อน (sieve) ขนาด 100 mesh แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrometer (NIR) ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้จะนำไปใช้คำนวณค่าระดับการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล (DS_{Exp}) ด้วยสมการความสัมพันธ์ ดังแสดงในสมการที่ (1) [14]

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

เมื่อ DS_{Exp} คือ ค่าระดับการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ได้จากการทดลอง

$N_{2,Exp}$ คือ ปริมาณไนโตรเจน (%) ที่ได้จากการทดลอง

ค่า DS_{Exp} ที่ได้จากสมการที่ (1) จะนำไปใช้คำนวณค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยา (%RE) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2)

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

เมื่อ RE คือ ค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยา (%)

DS_{The} คือ ค่าระดับการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลทางทฤษฎี

โดย DS_{The} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

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

เมื่อ $N_{2,The}$ คือ ปริมาณไนโตรเจน (%) ในทางทฤษฎี และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

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

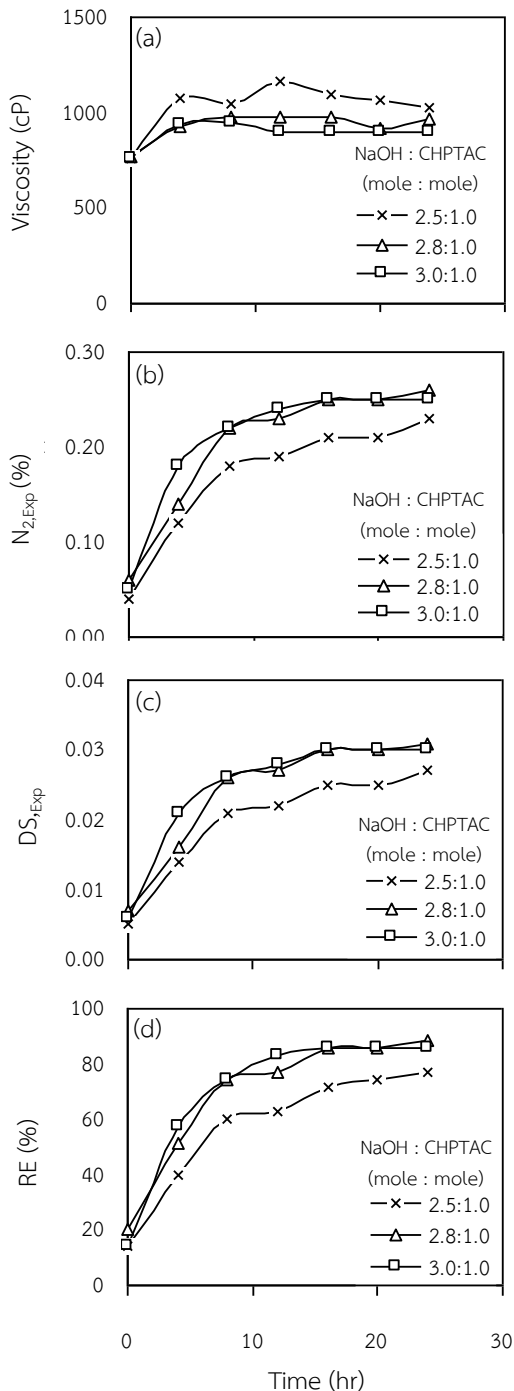
เมื่อ $[CHPTAC]$ คือความเข้มข้นของ CHPTAC ในหน่วย %wt

โดยการศึกษาค่าจะไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมงในแต่ละชุดการทดลอง เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อน (error) มีค่าไม่เกิน $\pm 5\%$

3. ผลการศึกษา และอภิปรายผล

3.1 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC และเวลาในการทำปฏิกิริยา

ผลการศึกษาปัจจัยของเวลาในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC ต่อสมบัติของแป้งดัดแปรชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียมสตาร์ซีโอเทอร์ ซึ่งเตรียมที่สภาวะอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อ น้ำแบ่ง เท่ากับ 5.7:100 อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ และน้ำแบ่งมันสำปะหลังความเข้มข้นร้อยละ 47 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 1 (a) – (d) พบว่า การเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาช่วง 0 – 8 ชั่วโมง ทำให้ค่าความหนืดของน้ำแบ่ง $N_{2,Exp}$ DS_{Exp} และ RE เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จากนั้นการเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้นานกว่า 8 ชั่วโมงกลับส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด $N_{2,Exp}$ DS_{Exp} และ RE เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้การเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 0 – 8 ชั่วโมง สาร CHPTAC และ NaOH ที่เติมเข้าไป สามารถเข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล ของแป้งได้ และทำปฏิกิริยากับแป้งได้ดี จึงทำให้ค่าความหนืด $N_{2,Exp}$ DS_{Exp} และ RE มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จากนั้นการเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้นานกว่า 8 ชั่วโมง CHPTAC และ NaOH ซึ่งทำปฏิกิริยากับน้ำแบ่งได้เกือบสิ้นสุดแล้ว การเพิ่มเวลาจึงทำให้ค่าความหนืด $N_{2,Exp}$ DS_{Exp} และ RE เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งผลการศึกษาในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาโดยหลายกลุ่ม [15-18] ที่พบว่า DS_{Exp} และ RE เพิ่มขึ้นตามเวลาในการทำปฏิกิริยาจนกระทั่งมีแนวโน้มคงที่ เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุล



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างผลของเวลาและ NaOH และอัตราส่วน โดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC ต่อ (a) viscosity (b) $N_{2,Exp}$ (%) (c) DS_{Exp} และ (d) RE (%) ที่สภาวะอัตราส่วน โดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อ น้ำแข็ง เท่ากับ 5.7:100 อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา $40 \pm 2^\circ\text{C}$ น้ำแข็งมันสำปะหลัง ความเข้มข้นร้อยละ 47 โดยน้ำหนัก

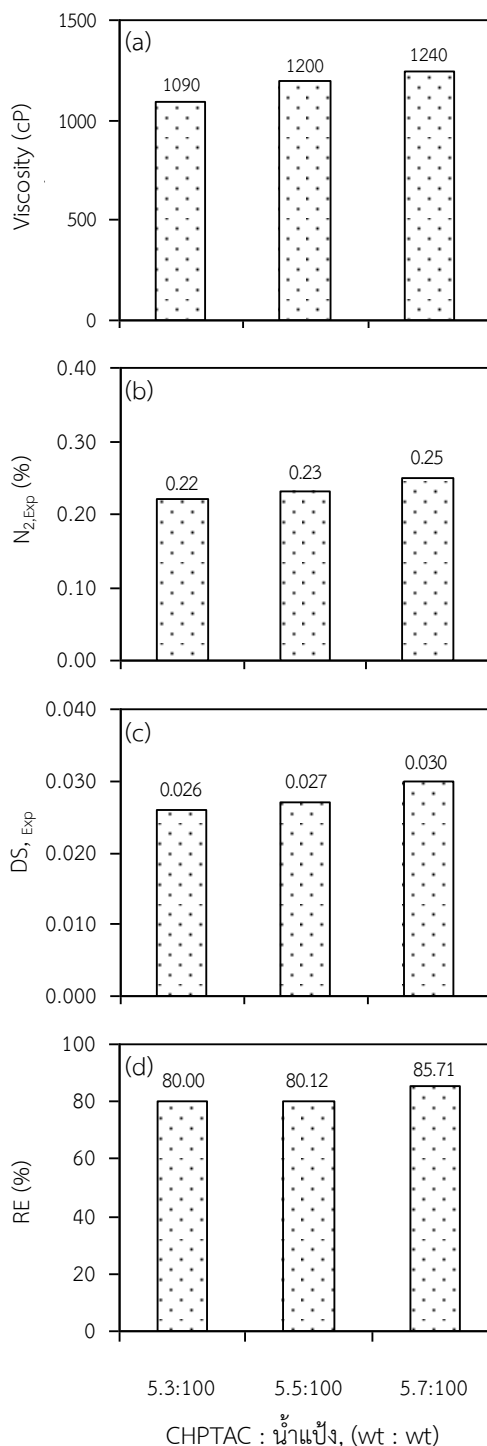
การเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC จาก 2.5:1.0 เป็น 2.8:1.0 ทำให้ $N_{2,Exp}$ DS_{Exp} และ RE เพิ่มขึ้น อาจสามารถอธิบายได้ว่า NaOH ช่วยเปลี่ยนสาร CHPTAC ซึ่งอยู่ในรูปคลอโรไฮดริน (chlorohydrin) ให้ไปอยู่ในรูปอีพอกไซด์ (epoxide) ซึ่งไวต่อการเกิดปฏิกิริยา นอกจากนี้ NaOH ยังมีส่วนช่วยเร่งปฏิกิริยาอีเทอร์ิฟิเคชัน โดย NaOH จะเข้าไปเปลี่ยนสภาพหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลแป้ง เพื่อให้พร้อมในการทำปฏิกิริยาอีเทอร์ิฟิเคชัน [7] การเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณ NaOH ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [19] โดย NaOH จะเข้าไปขัดขวางการเกิดโครงสร้างแบบผลึกของแป้ง ทำให้โครงสร้างที่มีลักษณะไม่เป็นระเบียบซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าเพิ่มจำนวนมากขึ้น [20] ส่งผลให้ปฏิกิริยาอีเทอร์ิฟิเคชันของแป้งเกิดได้ดีขึ้น [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 นั้นเป็นปริมาณที่มีอยู่อย่างมากเกินไป (Excess) ต่อการเกิดปฏิกิริยาอีเทอร์ิฟิเคชันแล้ว ดังนั้น การเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC ให้สูงกว่า 2.8:1.0 จึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ $N_{2,Exp}$ DS_{Exp} และ RE เพียงเล็กน้อย แต่ส่งผลต่อการลดลงของความหนืดอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจาก NaOH ส่วนเกินอาจทำให้สารประกอบไดออล (diol) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง (by product) ของปฏิกิริยาอีเทอร์ิฟิเคชันเพิ่มปริมาณมากขึ้น ความหนืดของแป้งจึงมีค่าลดลง [16] นอกจากนี้ อาจเป็นไปได้ว่า NaOH ส่วนเกินจะเข้าไปขัดขวางการเกิดโครงสร้างแบบผลึก (crystalline) ในแป้ง ทำให้โครงสร้างที่มีลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบ หรือโครงสร้างอสัณฐาน (amorphous) ซึ่งโมเลกุลของน้ำสามารถเข้ามาเกาะกับแป้งได้มากขึ้น ทำให้แป้งเกิดการพองตัว ซึ่งหากมี NaOH ในปริมาณที่มากเกินไปจนกระทั่งโครงสร้างแบบผลึกไม่สามารถเกิดขึ้นได้เลย โมเลกุลของน้ำจะสามารถแทรกเข้าไปเกาะกับแป้งได้อย่างอิสระ ส่งผลให้แป้งพองตัวขยายใหญ่ขึ้น และเมื่อแป้งมีการพองตัวทำให้ความหนืดเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อถึงระดับการพองตัวสูงสุด ซึ่งจะทำให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จากนั้นเม็ดแป้งจะ

เริ่มแตกออก ส่งผลให้ความหนืดของแป้งลดลง [3, 20, 25]

จากผลการศึกษาปัจจัยของเวลาในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC ต่อ ค่าความหนืดของน้ำแป้ง $N_{2,Exp}$ DS_{Exp} และ RE สามารถกล่าวได้ว่าเวลาในการทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง และอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC เท่ากับ 2.8:1 เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมแป้งดัดแปร โดยที่สภาวะนี้แป้งจะมีค่าความหนืด $N_{2,Exp}$ DS_{Exp} และ RE เท่ากับ 1240 cP 0.25% 0.030 และ 85.71% ตามลำดับ โดยที่ค่า DS_{Exp} และ RE มีค่าสูงกว่าค่าสูงสุดที่ได้จากกระบวนการผลิตจริงในระดับอุตสาหกรรม (DS_{Exp} เท่ากับ 0.028 และ RE เท่ากับ 85.00% ตามลำดับ)

3.2 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อแป้ง

รูปที่ 2 แสดงผลการศึกษาปัจจัยของอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อแป้ง ต่อคุณสมบัติของแป้งดัดแปรชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์ ซึ่งเตรียมที่สภาวะอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC เท่ากับ 2.8:1 อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา $40 \pm 2^\circ\text{C}$ น้ำแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้นร้อยละ 47 โดยน้ำหนัก และเวลาในการทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อแป้ง จาก 5.3:100 เป็น 5.7:100 มีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าความหนืด $N_{2,Exp}$ DS_{Exp} และ RE เพิ่มขึ้น โดยสามารถอธิบายได้ว่า การเพิ่มปริมาณ CHPTAC เป็นการเพิ่มโอกาสให้ CHPTAC เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งได้มากขึ้น [7] ซึ่งผลการศึกษาในส่วนนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kweon และคณะ [10] และ Kuo and Lai [26] ซึ่งพบว่า การเพิ่มปริมาณ CHPTAC ส่งผลให้ DS_{Exp} และ RE เพิ่มขึ้นกระทั่งถึงค่าสูงสุดจากนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณ CHPTAC สำหรับการเตรียมแป้งข้าวโพดดัดแปรชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์

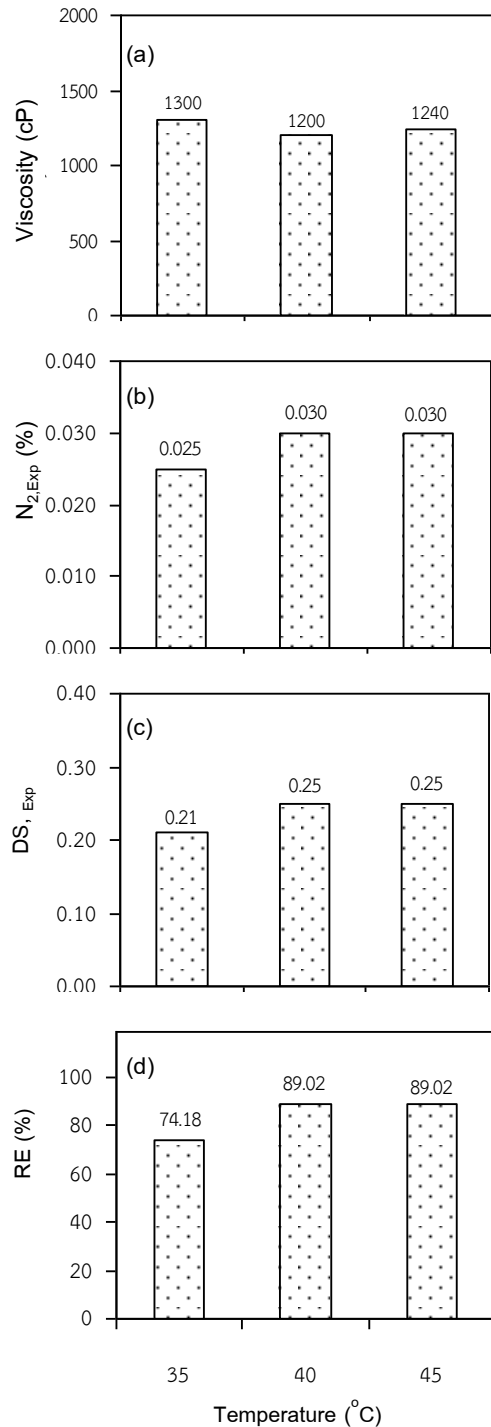


รูปที่ 2 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อแป้ง

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

3.3 ผลของอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา

ผลการศึกษาอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาต่อคุณสมบัติของแป้ง ซึ่งเตรียมที่สภาวะอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC เท่ากับ 2.8:1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ CHPTAC ต่อแป้ง เท่ากับ 5.5:100 น้ำแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้นร้อยละ 47 โดยน้ำหนัก และเวลาในการทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง แสดงในรูปที่ 3 (a) – (d) พบว่า 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 ซึ่งจากผลการศึกษาโดย Yu และคณะ [14] พบว่าโครงสร้างแบบอสัณฐานของแป้งสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ได้ดีกว่าโครงสร้างแบบผลึก แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาให้สูงเกินกว่าอุณหภูมิสูงสุด (T_{max}) ที่ทำให้โครงสร้างแบบผลึกเปลี่ยนไปเป็นโครงสร้างแบบอสัณฐานได้มากที่สุดแล้วนั้น โครงสร้างแบบอสัณฐานของแป้งจะมีจำนวนคงที่ หรืออาจลดลง เนื่องจากโครงสร้างอสัณฐานนั้น สามารถเปลี่ยนกลับเป็นโครงสร้างแบบผลึกได้อีกครั้ง ซึ่งจะส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของแป้งมีค่าคงที่ หรือลดน้อยลง เมื่ออุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาสูงกว่า T_{max} โดยผลการศึกษาที่สอดคล้องกับผลการศึกษาโดยนักวิจัยหลายกลุ่ม [14, 27-30] ที่พบว่า DS_{Exp} และ RE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเมื่อการเพิ่มอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยายังต่ำกว่า T_{max} เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาต่อค่าความหนืดกลับพบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาระหว่าง 35 ถึง 45°C ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดเพียงเล็กน้อย โดยมีแนวโน้มที่จะทำให้ความหนืดลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาสูงกว่า 35°C อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษา



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 ต่อแป้ง เท่ากับ 5.5:100 ความเข้มข้นน้ำแป้งร้อยละ 47%wt และเวลา 15 ชั่วโมง

ยังไม่สามารถพิจารณาความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยากับความหนืดได้ นอกจากนี้ ผลการศึกษายังชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง CHPTAC กับน้ำแป้ง คืออุณหภูมิ 40°C

จากการประเมินผลการศึกษาคั้งนี้ในเบื้องต้นพบว่า ที่สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งมันสำปะหลังชนิดขูดค้อนอาร์แอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์ สามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วน of CHPTAC ได้ถึงร้อยละ 3.5

4. สรุป

จากผลการศึกษายืนยันที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาของ CHPTAC สำหรับการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังชนิดขูดค้อนอาร์แอมโมเนียมสตาร์ชอีเทอร์ ได้ข้อสรุปดังนี้ ปริมาณ NaOH CHPTAC เวลา และอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหนืด $N_{2,Exp}$ DS_{Exp} และ RE สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งดัดแปร ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง NaOH ต่อ CHPTAC เท่ากับ 2.8:1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง CHPTAC ต่อ น้ำแป้ง เท่ากับ 5.5:100 อุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เวลาในการทำปฏิกิริยา 16 ชั่วโมง ที่สภาวะดังกล่าวให้ค่าความหนืด $N_{2,Exp}$ DS_{Exp} และ RE เท่ากับ 1,200 CPs 89.02% 0.25 และ 0.030 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทเยนเนรัล สตาร์ช จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ในการทดลองเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] 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.

[2] 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.

[3] กล้านรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีแป้ง. สำหรับพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. พิมพ์ครั้งที่ 3.

[4] Jensen, B. M., and Winters, J. C. 1986. Cationic potato starch proven effective as wet and additives. Pulp & Paper, 60: 83-85.

[5] Nachtergaele, W. 1989. The benefits of cationic starches for the paper industry-Starch/Stärke, 41: 27-31.

[6] Wurzburg, O. B. 1986. Forty years of industrial starch research. Cereal Food World, 31: 897-903.

[7] Solarek, D.B. 1987. Cationic starches. In O.B. Wurzburg. Modified Starches: Properties and Uses. Boca Raton. Florida, 113-129.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 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.

[11] Huber, K. C., and McMiller, J. N. 2003. Location of sites of reaction within starch granules. Cereal Chemistry, 78: 173-180.

[12] นลินี อุดมทวี. 2540. การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์

มหบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีชีวภาพ. 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., Grölc, D., & Wastyn, M. 2004. Properties of low-substituted cationic starch derivatives prepared by different derivatisation 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): 535-542.
- [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 sago) 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 sago) 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.