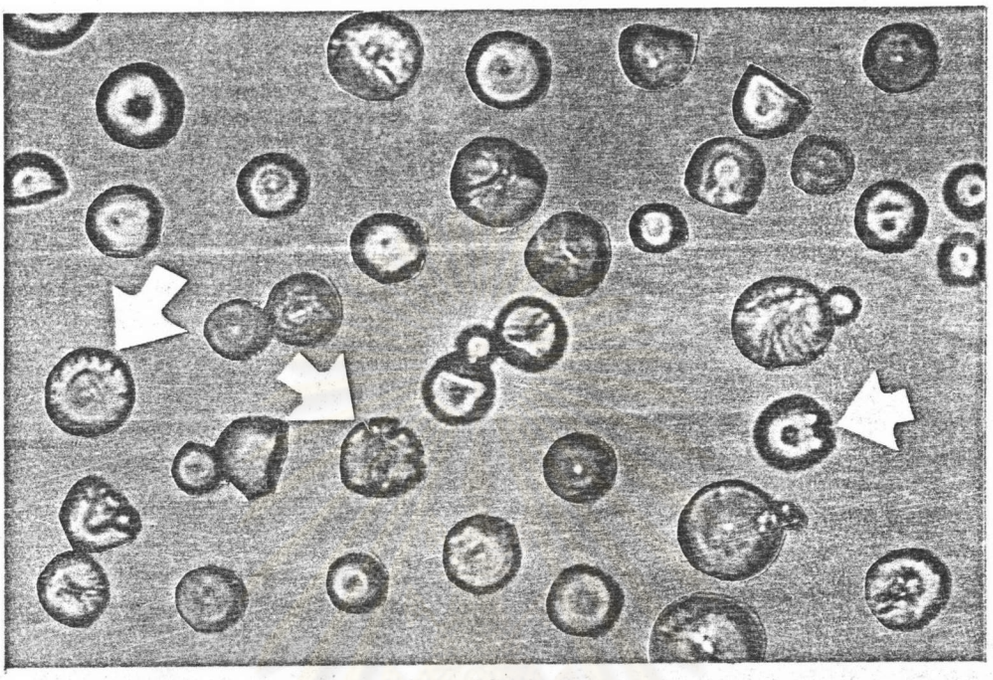
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติสำหรับใช้ศึกษาการดัดแปร

ในการคัดเลือกแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติสำหรับใช้ศึกษาการดัดแปรด้วยวิธีทางเคมี ได้ตรวจสอบความสมบูรณ์ของเม็ดแป้งโดยพิจารณาจากรอยแตกที่ปรากฏบนผิวของตัวอย่างเม็ดแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติที่สุ่มจากแหล่งต่างๆจำนวน 6 ตัวอย่าง ซึ่ง 4 ตัวอย่าง สุ่มจากแป้งที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไป ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังตราเอส.อาร์, ตราโทรศัพท์, ตราปลามังกร และตรามงกุฎ ส่วนอีก 2 ตัวอย่าง มาจากแหล่งผลิตโดยตรง ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังของบริษัทไทยวาและโรงงานสหลินวัฒนา โดยในภาพถ่ายของเม็ดแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติที่บันทึกด้วยกล้องถ่ายรูปที่ติดอยู่บนเครื่อง Differential Interference Contrast ขนาดกำลังขยาย 400 เท่า (รูปที่ 4.1) พบว่า ในพื้นที่ของแต่ละภาพมีเม็ดแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติทั้งหมดจำนวน 21-48 หน่าย การเปรียบเทียบความสมบูรณ์ของเม็ดแป้งจากแหล่งต่างๆนั้นจะคิดเป็นจำนวนร้อยละของปริมาณเม็ดแป้งที่ไม่มีรอยแตกปรากฏบนผิวต่อพื้นที่ 1 ภาพ (ตารางที่ 4.1) เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติแบบสุ่มตลอด ทำให้ทราบว่า ตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติที่มาจากแหล่งต่างๆมีปริมาณเม็ดแป้งที่ไม่มีรอยแตกปรากฏบนผิวในพื้นที่แต่ละภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95) (ภาคผนวก ข ตารางที่ 1) ดังนั้นความแตกต่างระหว่างแหล่งของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติจึงไม่น่ามีผลต่อการศึกษาการดัดแปรแป้งด้วยวิธีทางเคมีในขั้นต่อไป และการวิจัยนี้เลือกใช้แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติที่ได้รับเอื้อเฟื้อจากบริษัทไทยวาเป็นวัตถุดิบสำหรับใช้ศึกษาการดัดแปรแป้ง



รูปที่ 4.1 เม็ดแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ (ขนาดกำลังขยาย 400 เท่า)

หมายเหตุ ตำแหน่งลูกศร คือ เม็ดแป้งที่ปรากฏรอยแตกบนผิว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ปริมาณของเม็ดแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติจากตัวอย่างต่างๆที่ไม่ปรากฏรอยแตกบนผิวในพื้นที่ 1 ภาพ(1)

ตัวอย่างของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ	ปริมาณของเม็ดแป้งที่ไม่มีรอยแตกปรากฏบนผิว (จำนวนร้อยละ ต่อ พื้นที่ 1 ภาพ)	
	ช่วงค่าที่วิเคราะห์ได้^{NS}	ค่าเฉลี่ย
ตัวอย่างที่ 1	93.9-100	96.9±2.2
ตัวอย่างที่ 2	92.3-100	96.6±2.8
ตัวอย่างที่ 3	95.3-100	98.3±2.0
ตัวอย่างที่ 4	93.0-100	96.1±2.4
ตัวอย่างที่ 5	95.6-100	97.6±1.5
ตัวอย่างที่ 6	93.7-100	97.0±2.3

หมายเหตุ (1) เป็นภาพที่บันทึกด้วยกล้องที่ติดอยู่บนเครื่อง Differential Interference Contrast ขนาดกำลังขยาย 400 เท่า

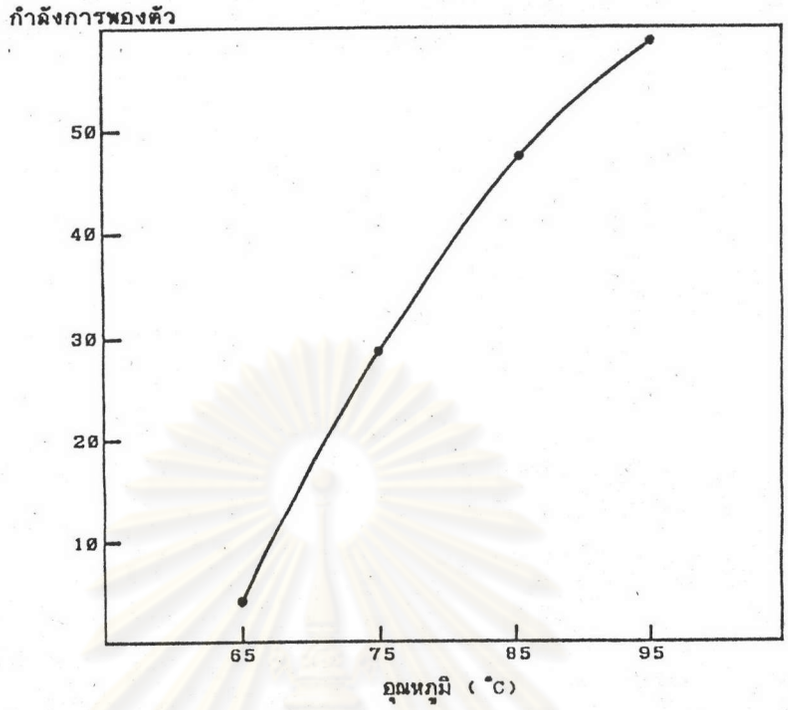
NS ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

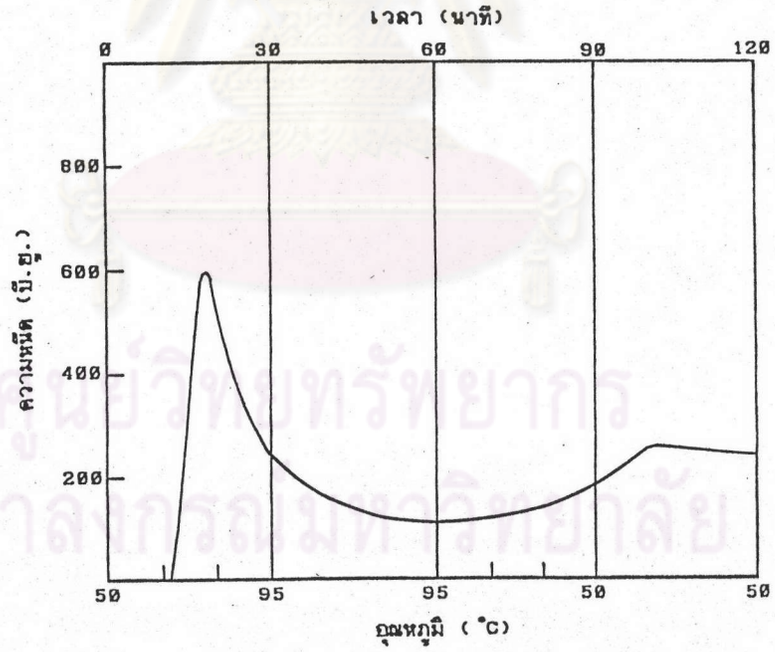
4.2 สมบัติของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ

เมื่อตรวจสอบสมบัติต่างๆของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในแป้งมีค่าเฉลี่ย ร้อยละ 0.0060±0.0002 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกำลังการพองตัวของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะในขณะที่เม็ดแป้งได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น พันธะไฮโดรเจนที่ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแป้งจะอ่อนลงและแตกออกมากขึ้น ความแข็งแรงของโครงสร้างภายในเม็ดแป้งจึงลดลง เป็นผลให้ความสามารถในการดูดน้ำและพองตัวเพิ่มขึ้น โดยกำลังการพองตัวของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติที่อุณหภูมิ 65°, 75°, 85°และ 95°C มีค่าเท่ากับ 3.95±0.25, 27.78±2.78, 46.34±2.59 และ 58.13±2.81 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ (รูปที่ 4.2 ก) จะเห็นได้ว่า ลักษณะการพองตัวของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติเป็นแบบ single stage กล่าวคือ เมื่อความร้อนที่แป้งได้รับเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องกัน โดยที่การเพิ่มของกำลังการพองตัวเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจาก 65°เป็น 75°C มากกว่าการเพิ่มอุณหภูมิจาก 75°เป็น 85°และ 95°C ตามลำดับ แสดงว่า แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งค่อนข้างต่ำ ดังนั้นในระหว่างที่อุณหภูมิสูงขึ้นเม็ดแป้งจึงสามารถดูดน้ำและเกิดการพองตัวได้ค่อนข้างอิสระ ทำให้กำลังการพองตัวมากขึ้น ผลที่ได้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Leach และคณะ (62) ที่ว่าแรงยึดเหนี่ยวภายในเม็ดแป้งมันสำปะหลังค่อนข้างต่ำทำให้มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกำลังการพองตัวเป็นแบบ single stage

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติที่อุณหภูมิต่างๆ ใน heating-cooling cycle ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 (โดยน้ำหนัก) pH 6.5 ด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph พบว่า อุณหภูมิที่ความหนืดเริ่มเปลี่ยนแปลงคือ 67.5±0.4°C ซึ่งถือว่าเป็นอุณหภูมิสุกของแป้ง (pasting temperature) ทั้งนี้เพราะที่อุณหภูมิดังกล่าวเม็ดแป้งที่กำลังเกิดเจลาติไนเซชันสามารถดูดน้ำและพองตัวเพิ่มขึ้นมากและเร็ว แรงดึงดูดระหว่างเม็ดแป้งจึงเพิ่มขึ้นอย่างมาก จนทำให้ความหนืดเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงและน้ำแป้งจะเปลี่ยนเป็นแป้งเปียก การพิจารณาอุณหภูมิสุกของแป้งโดยใช้การเปลี่ยนแปลงแรงดึงดูด



ก. กำลังการพองตัว



ข. Brabender Visco-Amylogram

รูปที่ 4.2 กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆและ Brabender Visco-Amylogram ของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ

ระหว่างเม็ดแป้งที่เกิดเจลาติไนเซชันจะขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำแป้งและภาวะที่ใช้ศึกษา (65) เมื่อพิจารณา Brabender Visco-Amylograph ของแป้งมันปะหลังธรรมชาติ (รูปที่ 4.2 ข) จะเห็นว่า หลังจากที่ความหนืดของแป้งเริ่มเปลี่ยนแปลง เมื่อให้ความร้อนต่อไปความหนืดเพิ่มขึ้นมากและเร็ว จนที่อุณหภูมิ 76.7±0.6 °C ความหนืดมีค่าสูงสุด (peak viscosity) ในช่วง heating คือ 595±48 บี.ยู. หลังจากนั้นความหนืดก็จะลดลง จนที่อุณหภูมิ 95 °C ความหนืดมีค่าเพียง 248±13 บี.ยู. และเมื่อรักษาอุณหภูมิของแป้งที่ 95 °C นาน 30 นาที ความหนืดจะเหลือเพียง 113±24 บี.ยู. ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดของความหนืด เมื่อเข้าสู่ช่วง cooling ความหนืดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยที่อุณหภูมิ 50 °C ความหนืดเพิ่มเป็น 180±33 บี.ยู. และหลังจากรักษาอุณหภูมิที่ 50 °C นาน 30 นาที ความหนืดมีค่า 245±35 บี.ยู. จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความหนืดในช่วง heating แสดงว่า เมื่อแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติได้รับความร้อนจะสามารถดูดน้ำและพองตัวได้มากและเร็วในเวลาใกล้เคียงกัน ความหนืดที่จุดสูงสุดจึงมีค่าค่อนข้างสูงและ peak จึงแหลมและแคบ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเม็ดแป้งมีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอกันหรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสม่ำเสมอกันจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน นอกจากนี้เม็ดแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติมีแรงยึดเหนี่ยวภายในน้อยจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงง่าย (22) ทำให้ผลต่างของความหนืดระหว่างจุดสูงสุดกับที่อุณหภูมิ 95 °C หรือ 95 °C นาน 30 นาที มีค่าถึง 347±35 หรือ 482±25 บี.ยู. แสดงว่า เสถียรภาพของความหนืดต่อความร้อนและแรงกระทำจากการกวนผสมของแป้งมันสำปะหลังต่ำ สำหรับผลต่างของความหนืดระหว่างที่อุณหภูมิ 95 °C นาน 30 นาที กับที่อุณหภูมิ 50 °C หรือ 50 °C นาน 30 นาที มีค่าเพียง 67±10 หรือ 130±18 บี.ยู. แสดงว่า ในระหว่างที่อุณหภูมิลดลงโมเลกุลของแป้งที่กระจายออกมาจากเม็ดแป้งเกิดการรวมตัวกันน้อย ทั้งนี้เพราะองค์ประกอบส่วนใหญ่ของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติเป็นอะไมโลเพคตินซึ่งโครงสร้างของโมเลกุลมีลักษณะเป็นกิ่งก้านจึงทำให้แป้งเกิดการคืนตัวช้า แป้งเปียกที่ได้จึงมีลักษณะเหลว (thinning) และเหนียวยืด (stringiness and long salve cohesive) (2)

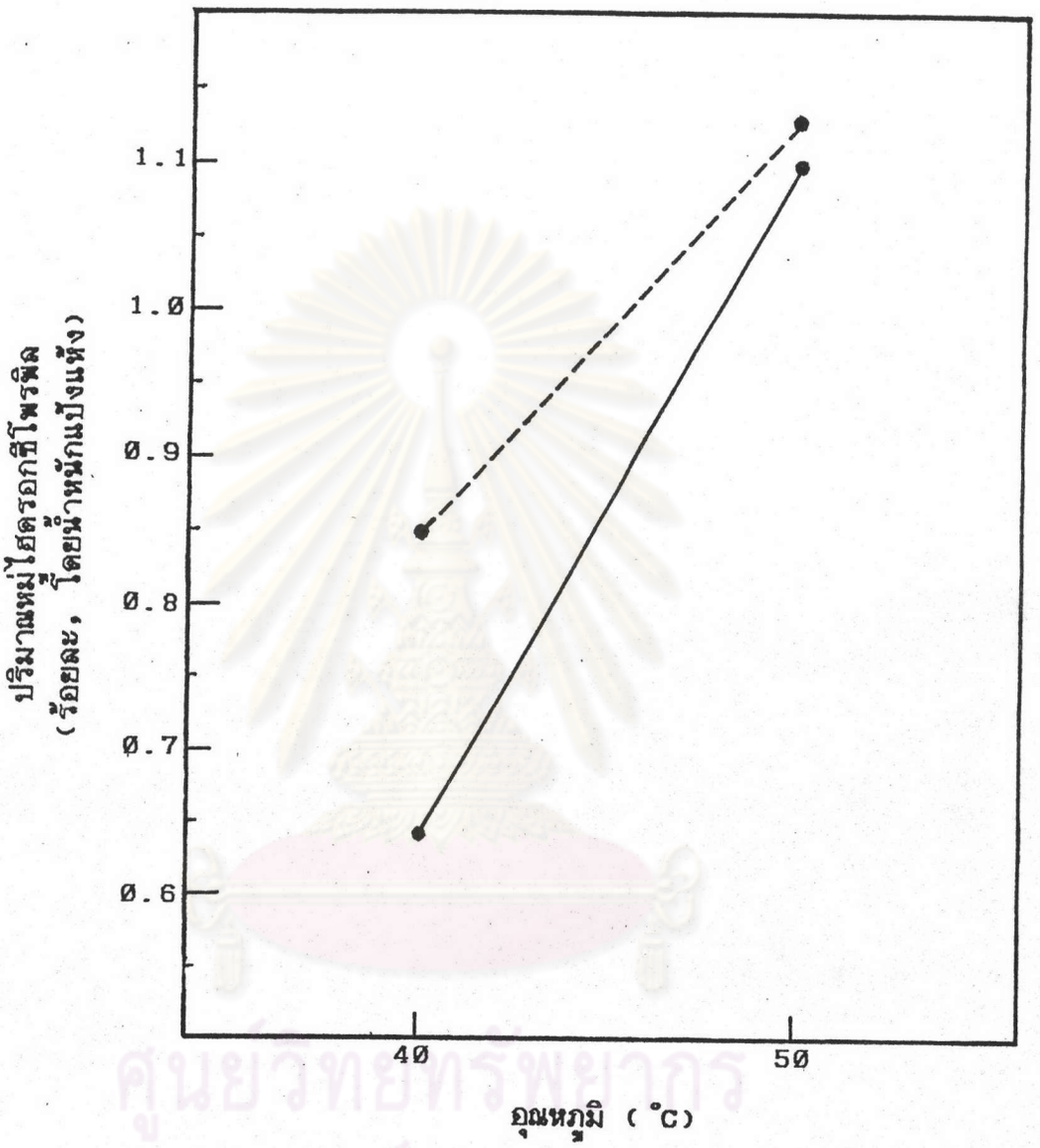
4.3 ศึกษาการดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยาแทนที่และปฏิกิริยาเชื่อมขวาง

4.3.1 ดัดแปรแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติด้วยปฏิกิริยาแทนที่โดยใช้โพรพิลีนออกไซด์

4.3.1.1 ผลของปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตและอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยาแทนที่

จากการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิและปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตต่างๆกัน พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ปรับภาวะของระบบในกระบวนการดัดแปรแป้งจาก 40 °เป็น 50 °C และร้อยละ 0.25 เป็น 2.70 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ทำให้ตัวอย่างแป้งดัดแปรที่ได้มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.3) แสดงว่าการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังด้วยปฏิกิริยาแทนที่โดยใช้โพรพิลีนออกไซด์สามารถเกิดได้มากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้โมเลกุลของโพรพิลีนออกไซด์สามารถผ่าน (penetration) สู่เม็ดแป้งดีขึ้น (33) นอกจากนี้เม็ดแป้งยังดูดซับ (absorb) โซเดียมอิออน ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นด้วย (66) ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาแทนที่ระหว่างโมเลกุลแป้งกับโพรพิลีนออกไซด์จึงมากขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์แก่ระบบก็จะทำให้มีปริมาณของ alkali มากขึ้น ปริมาณโซเดียมอิออนที่อาจถูกเม็ดแป้งดูดซับจะเพิ่มขึ้น ซึ่งคล้ายคลึงกับการดัดแปรแป้งข้าวโพดด้วยโพรพิลีนออกไซด์ของ Tsuzuki (33) ที่ว่า การเติมโซเดียมซัลเฟตอย่างน้อย ร้อยละ 5 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) นอกจากทำหน้าที่เป็น gelatinization inhibitor ให้แก่ระบบแล้วยังช่วยเพิ่มปริมาณของ alkali ที่อาจจะถูกเม็ดแป้งดูดซับ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลในตัวอย่างแป้งดัดแปรที่ได้ พบว่า อุณหภูมิ ปริมาณโซเดียมคาร์บอเนต และผลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ในการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ มีผล



รูปที่ 4.3 ปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลในตัวอย่างแป้งที่ได้จากการดัดแปรที่อุณหภูมิต่างๆ ในภาวะที่มีปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตต่างกัน

———— โซเดียมคาร์บอเนต ร้อยละ 0.25

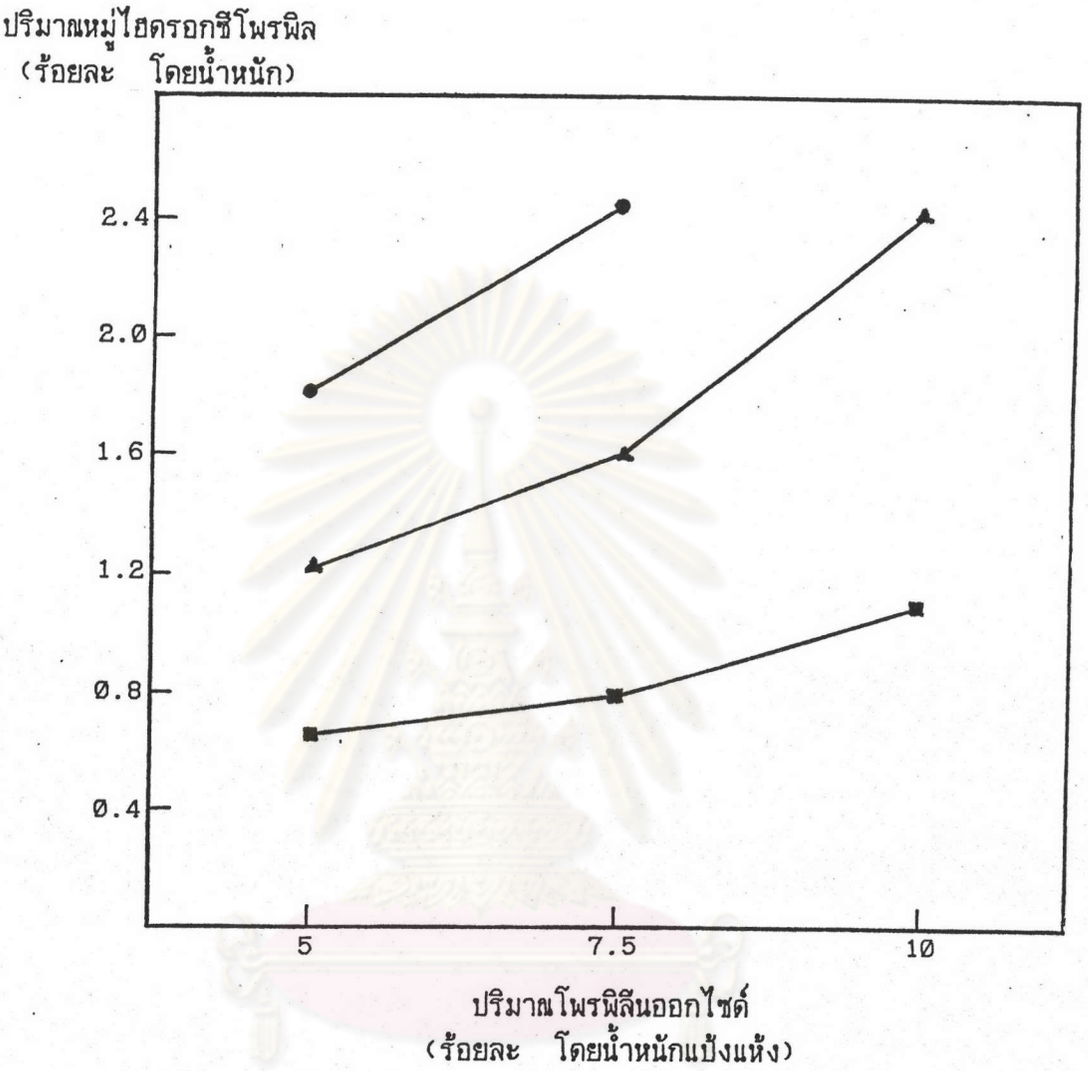
- - - - - - - - - - โซเดียมคาร์บอเนต ร้อยละ 2.70

ให้ปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ข ตารางที่ 2) จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 40 °เป็น 50 ° C ในภาวะที่มีโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.25 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) จะทำให้ปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลเพิ่มจากร้อยละ 0.642 เป็น 1.095 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ส่วนในภาวะที่มีโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 2.70 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) จะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.848 เป็น 1.126 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ดังนั้นปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลจึงเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.453 และ 0.278 ในภาวะที่มีโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.25 และ 2.70 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ตามลำดับ แสดงว่า ผลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีในลักษณะที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลโดยการทดสอบด้วย t-test (58) (ภาคผนวก ก.1) พบว่า แป้งที่ได้จากการดัดแปรที่อุณหภูมิ 50 °C ในระบบที่มีโซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.25 และ 2.70 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) เนื่องจากการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยใช้โพรพิลีนออกไซด์ที่อุณหภูมิ 50 °C ปฏิกิริยาแทนที่เกิดได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 40 °C ดังนั้นการศึกษาในขั้นต่อไปจะดัดแปรแป้งที่อุณหภูมิ 50 °C โดยเลือกใช้โซเดียมคาร์บอเนตร้อยละ 0.25 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) เป็นบัฟเฟอร์ ทั้งนี้เพราะประสิทธิภาพของการเกิดปฏิกิริยาใกล้เคียงกับภาวะที่มีโซเดียมคาร์บอเนต ร้อยละ 2.70 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) แต่ประหยัดกว่า

4.3.1.2 ผลของปริมาณโพรพิลีนออกไซด์และเวลาต่อการเกิดปฏิกิริยาแทนที่

จากการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 5, 7.5 และ 10 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) เป็นเวลา 6, 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่าความหนืดของน้ำแป้งในระหว่างการดัดแปรจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะแป้งไฮดรอกซีโพรพิลพองตัวในน้ำเย็นดีขึ้น (40) ความหนืดจึงมากขึ้นโดยเฉพาะในการวิจัยนี้เมื่อทำการดัดแปรแป้งด้วยโพรพิลีนออกไซด์ ร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ความหนืดเพิ่มขึ้นมากจนกระทั่งเครื่องกวนผสม

หยุดทำงานหลังการเกิดปฏิกิริยานานกว่า 15 ชั่วโมง จึงมีตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลสำหรับศึกษาสมบัติต่างๆในขั้นนี้เพียง 8 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างแป้งที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ ร้อยละ 5 และ 7.5 เป็นเวลา 6, 12 และ 24 ชั่วโมง และตัวอย่างแป้งที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ ร้อยละ 10 เป็นเวลา 6 และ 12 ชั่วโมง ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ได้มีปริมาณความชื้นเฉลี่ย ร้อยละ 12.03-13.26 (โดยน้ำหนัก) และความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 6.44-6.59 โดยปริมาณความชื้นและความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างแป้งดัดแปรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก ข ตารางที่ 3) แต่ปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลจะมากขึ้นเมื่อปริมาณโพรพิลีนออกไซด์และเวลาที่ใช้ในการดัดแปรเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.4) ปฏิกิริยาแทนที่ระหว่างโมเลกุลแป้งกับโพรพิลีนออกไซด์เป็นปฏิกิริยาอีเทอริฟิเคชันที่มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ nucleophilic bimolecular (ดังสมการที่ 2.1-2.2) โดยมีโมเลกุลแป้งเป็นโมเลกุล nucleophile ที่จะเข้าทำปฏิกิริยาแทนที่พันธะระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจนซึ่งไม่เสถียรนักในโมเลกุลของโพรพิลีนออกไซด์ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลในตัวอย่างแป้งที่ได้ (ภาคผนวก ก.2) พบว่า ปริมาณโพรพิลีนออกไซด์ เวลา และผลร่วมระหว่างปริมาณโพรพิลีนออกไซด์กับเวลา มีผลทำให้ปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ข ตารางที่ 4) จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่า ที่เวลาในการดัดแปรเท่ากัน การเพิ่มปริมาณโพรพิลีนออกไซด์จาก ร้อยละ 5 เป็น 7.5 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลในตัวอย่างแป้งดัดแปรเพิ่มขึ้นน้อยกว่าเมื่อปริมาณโพรพิลีนออกไซด์เพิ่มจาก ร้อยละ 7.5 เป็น 10 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) และแนวโน้มการเพิ่มของปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลเนื่องจากการเพิ่มปริมาณโพรพิลีนออกไซด์เมื่อใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง จะน้อยกว่าเมื่อใช้เวลา 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ แสดงว่า ผลร่วมระหว่างปริมาณโพรพิลีนออกไซด์และเวลาจะเสริมให้ปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลในตัวอย่างแป้งเพิ่มขึ้นมาก แป้งดัดแปรที่ได้ส่วนใหญ่มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ตารางที่ 4.2) ยกเว้นแป้งที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 5 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง กับร้อยละ 10 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และแป้งที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 7.5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กับร้อยละ 10 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งมีปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลเฉลี่ยในแป้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากการคำนวณระดับการ



รูปที่ 4.4 ปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลในตัวอย่างแป้งที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ปริมาณต่างๆ เป็นเวลาต่างกัน

■——■ ที่ใช้เวลาในการดัดแปร 6 ชั่วโมง

▲——▲ ที่ใช้เวลาในการดัดแปร 12 ชั่วโมง

●——● ที่ใช้เวลาในการดัดแปร 24 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

i17813661

ตารางที่ 4.2 ปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลและระดับการแทนที่ในตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิล

ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิล		ปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิล (ร้อยละ, โดยน้ำหนักแป้งแห้ง)	ระดับการแทนที่ (D.S.)
ปริมาณโพรพิลีนออกไซด์ (ร้อยละ)	เวลา (ชั่วโมง)		
5	6	0.660±0.028 [a]	0.019
	12	1.225±0.078 [c]	0.035
	24	2.019±0.082 [e]	0.058
7.5	6	0.799±0.018 [b]	0.022
	12	1.597±0.054 [d]	0.045
	24	2.586±0.047 [f]	0.074
10	6	1.095±0.016 [c]	0.031
	12	2.513±0.049 [f]	0.072

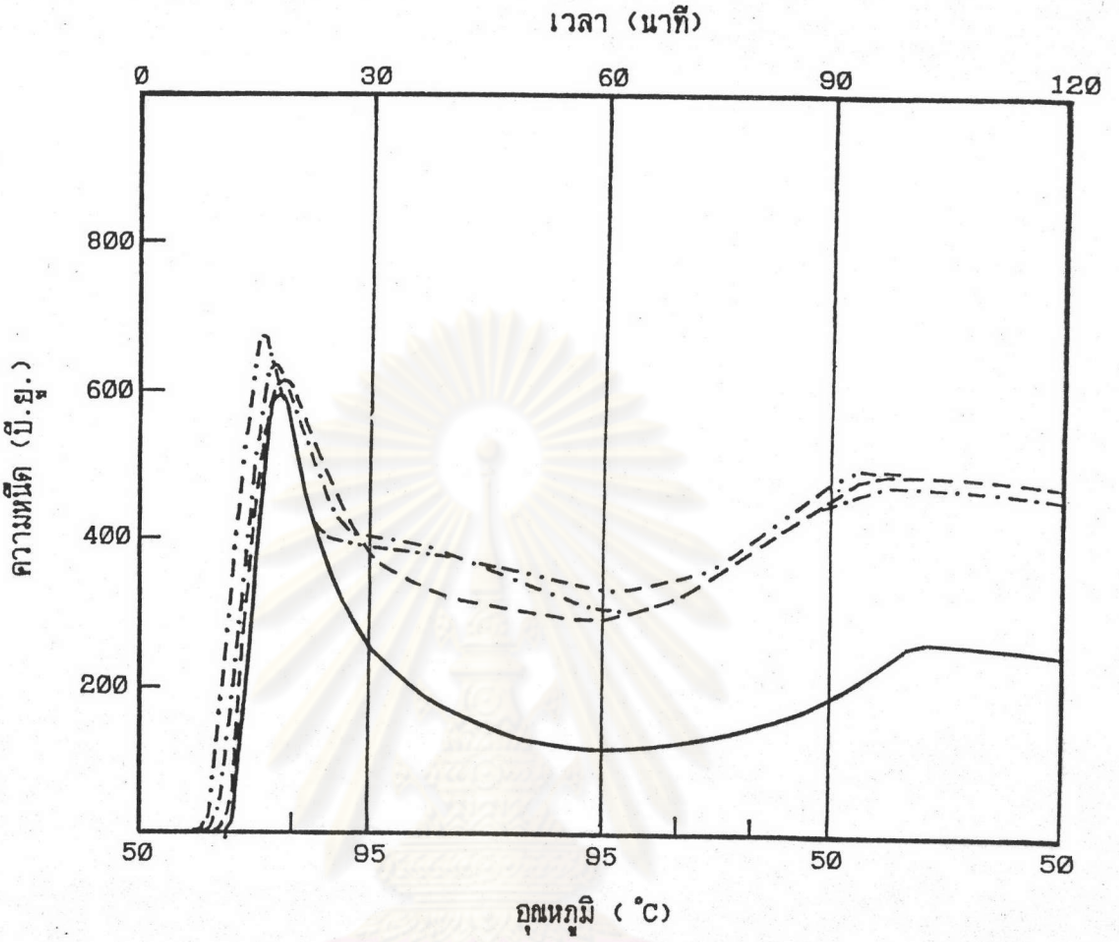
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แทนที่ของหมู่ไฮดรอกซีโพรพิล (ดังสมการที่ 3.2) พบว่า ตัวอย่างแป้งที่ได้มีระดับการแทนที่ต่างๆ กัน อยู่ในช่วง 0.019-0.074 จึงจัดเป็นแป้งไฮดรอกซีโพรพิลพวกที่มีระดับการแทนที่ต่ำ (31)

จากการวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่อุณหภูมิต่างๆใน heating-cooling cycle ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 (โดยน้ำหนัก) pH 6.5 ด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph พบว่า การเปลี่ยนแปลงความหนืดของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่มีระดับการแทนที่ต่างๆกันจะมีรูปแบบคล้ายคลึงกัน (รูปที่ 4.5-4.7) กล่าวคือ เมื่อให้ความร้อนจนถึงตำแหน่งที่เป็นอุณหภูมิสุกของแป้งแต่ละตัวอย่างซึ่งความหนืดของแป้งก็จะเริ่มเปลี่ยนแปลง การให้ความร้อนต่อไปอีกจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นมากและเร็วจนถึงจุดสูงสุด หลังจากนั้นความหนืดของแป้งก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว จึงเกิดเป็น peak ที่ค่อนข้างแหลมและแคบใน Brabender Visco-Amylogram และความหนืดยังคงลดลงช้าๆต่อไป จนที่อุณหภูมิ 95 °C นาน 30 นาที จึงเป็นจุดต่ำสุดของความหนืด ใน cooling ความหนืดจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลงเป็น 50 °C และควบคุมอุณหภูมินี้ของแป้งเป็นระยะเวลาหนึ่ง ความหนืดก็จะเริ่มคงที่ รูปแบบของ Brabender Visco-Amylogram ของแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ได้คล้ายคลึงกับของแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ดัดแปรจากแป้งข้าวโพด (รูปที่ 2.1) (28) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า ปริมาณโพรพิลีนออกไซด์ เวลา และผลร่วมระหว่างปริมาณโพรพิลีนออกไซด์กับเวลาที่ใช้ในการดัดแปร มีผลทำให้อุณหภูมิสุกของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ข ตาราง ที่ 5) แต่ความหนืดที่จุดสูงสุดของแป้งไฮดรอกซีโพรพิลจะขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาแทนที่เท่านั้น ส่วนความหนืดของแป้งที่อุณหภูมิ 95 °C, 95 °C นาน 30 นาที, 50 °C และ 50 °C นาน 30 นาที ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก ข ตารางที่ 5-7)

เมื่อเปรียบเทียบกับ Brabender Visco-Amylogram ของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ (รูปที่ 4.5-4.7) จะเห็นว่า ความหนืดของแป้งไฮดรอกซีโพรพิลเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงก่อนแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ แสดงว่า เม็ดแป้งไฮดรอกซีโพรพิลสามารถเริ่มเกิดเจลาติไนเซชันได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้เป็น



รูปที่ 4.5 Brabender Visco-Amylogram ของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 5 เป็นเวลาต่างๆกัน เปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 pH 6.5

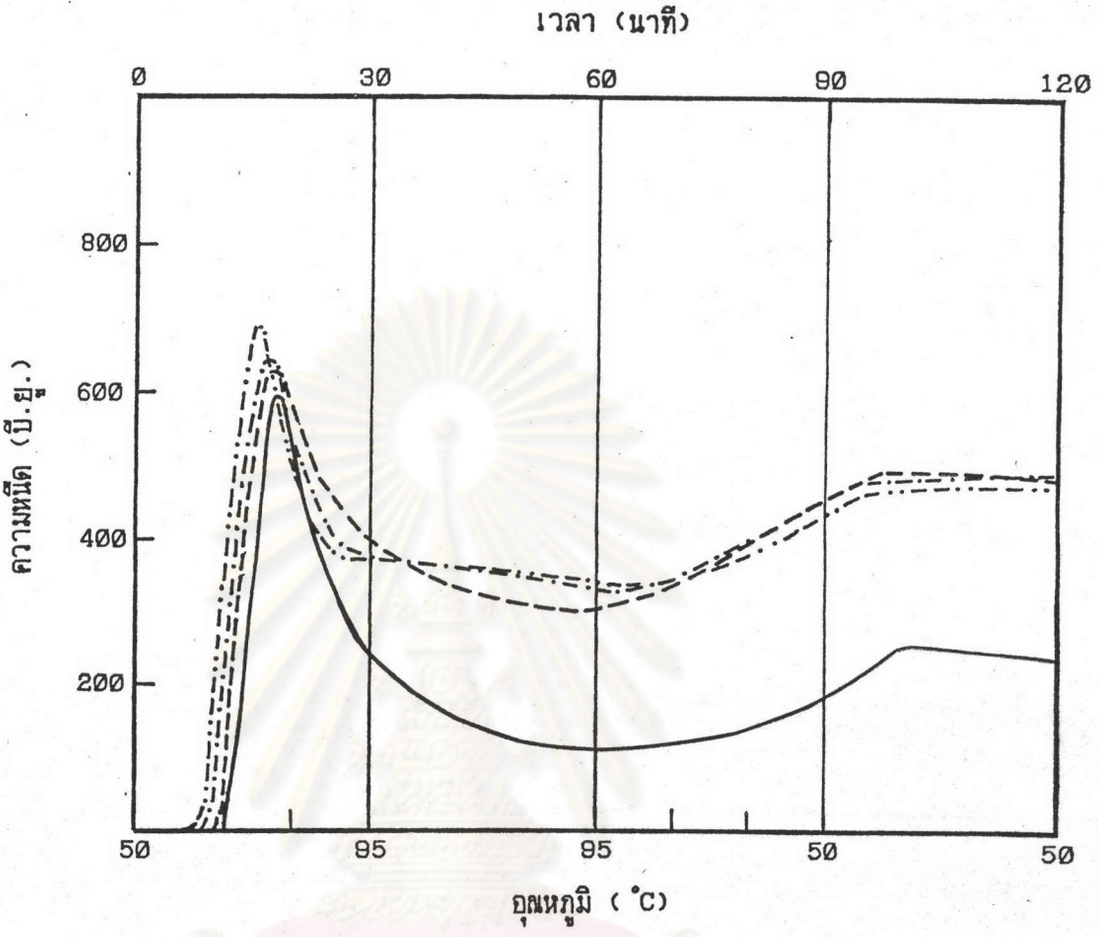
———— แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ

– – – – – – แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

–·–·–·–·– แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

––·––·––·–– แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 Brabender Visco-Amylogram ของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 7.5 เป็นเวลาต่างๆกัน เปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 pH 6.5

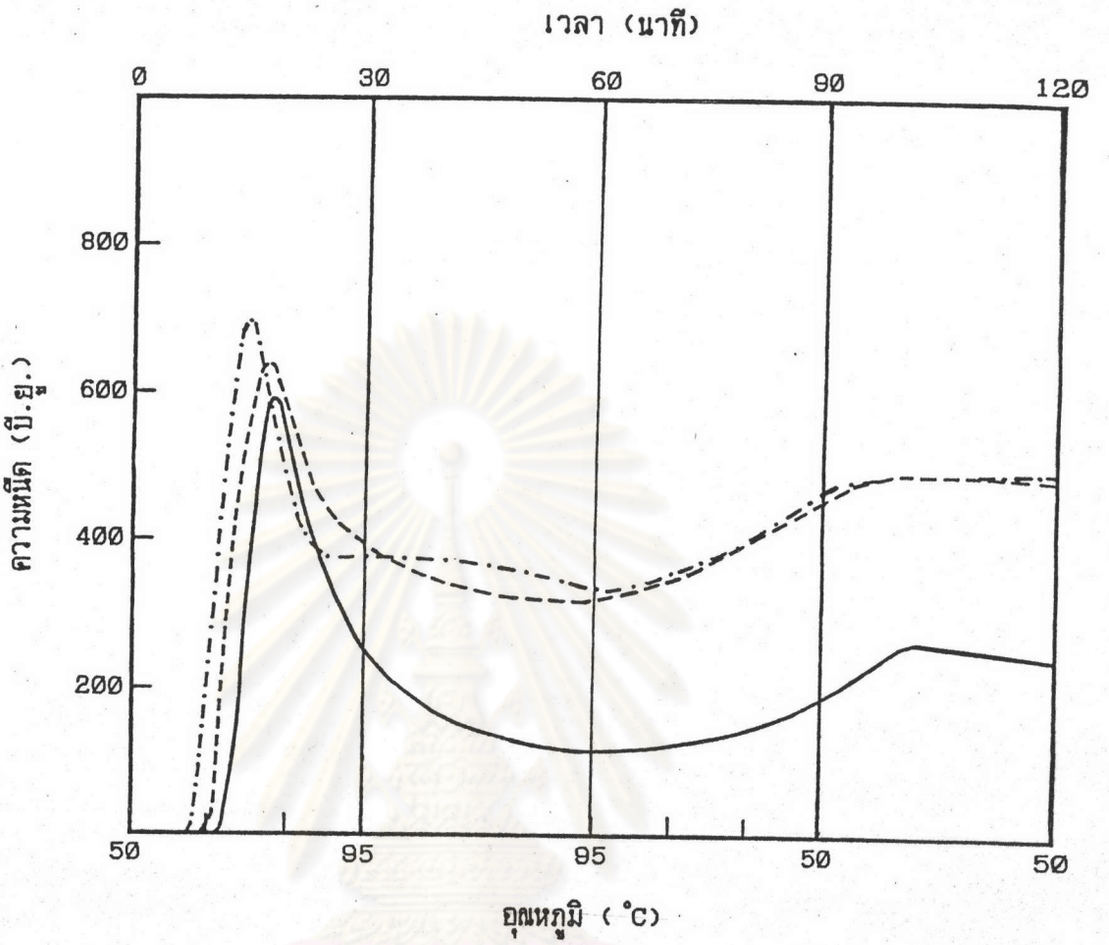
———— แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ

– – – – – – แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

–·–·–·– แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

——·——·—— แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 Brabender Visco-Amylogram ของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 10 เป็นเวลาต่างๆกัน เปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 pH 6.5

———— แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ

- - - - - - แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

—·—·—·— แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิสุกของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 6 pH 6.5 วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph

ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิล		อุณหภูมิสุกเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิที่ลดลง (°C)
ปริมาณโพรพิลีนออกไซด์ (ร้อยละ)	เวลา (ชั่วโมง)		
5	6	64.8±0.7	2.7
	12	63.5±0.7	3.0
	24	62.6±0.4	4.9
7.5	6	64.1±0.2	3.4
	12	62.8±0.4	4.7
	24	60.6±0.6	6.9
10	6	63.9±0.4	3.6
	12	61.3±0.6	6.2
แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ		67.5±0.4	

เพราะแป้งที่เกิดการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลจะสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำดีขึ้น จึงต้องการพลังงานเพื่อช่วยกระตุ้นให้เกิดการดูดน้ำในระหว่างการเจลาติไนเซชันน้อยลง อุณหภูมิสุกของแป้งจึงลดลง และตัวอย่างแป้งที่มีระดับการแทนที่มากก็จะเริ่มเกิดปฏิกิริยากับน้ำได้เร็วกว่าตัวอย่างแป้งที่มีระดับการแทนที่น้อย อุณหภูมิสุกของแป้งจึงลดต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลังมากขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาอุณหภูมิการเกิดเจลของแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ดัดแปรจากแป้งข้าวโพดโดยใช้ Differential Scanning Calorimetry ของ Wootton และ Manatsathit (67) ที่ว่า เมื่อระดับการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลสูงขึ้น อุณหภูมิการเกิดเจลของแป้งจะลดลง

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนืดที่ตำแหน่งต่างๆระหว่างตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติด้วย t-test พบว่า ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ ร้อยละ 5 และ 7.5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และตัวอย่างที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ ร้อยละ 10 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีความหนืดที่จุดสูงสุดมากกว่าแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) ส่วนความหนืดที่จุดสูงสุดของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่เหลือไม่แตกต่างกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.4) สำหรับความหนืดของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ 95 °C, 95 °C นาน 30 นาที, 50 °C และ 50 °C นาน 30 นาที มากกว่าแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ตารางที่ 4.4-4.5) อนึ่งตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลส่วนใหญ่มีค่าผลต่างของความหนืดระหว่างจุดสูงสุดกับที่ 95 °C หรือ 95 °C นาน 30 นาที และผลต่างของความหนืดระหว่างที่ 95 °C กับ 95 °C นาน 30 นาที น้อยกว่าแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ตารางที่ 4.6) แสดงว่า เสถียรภาพของความหนืดต่อความร้อนและแรงกระทำของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลมากกว่าแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลในแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติทำให้โมเลกุลเกิดความระเกะระกะมากขึ้น เมื่อได้รับความร้อนจนแป้งสุก ลักษณะของแป้งเปียกที่ได้จะเหนียวเหนอะมาก (viscoelastic) ทำให้แรงยึดเกาะกันของแป้งสูง จึงมีเสถียรภาพของความหนืดมาก (20) ซึ่งแตกต่างจาก Brabender Visco-

ตารางที่ 4.4 ความหนืดในช่วง heating ของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 pH 6.5

ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิล		ความหนืด (บี.ยู.)		
ปริมาณโพรพิลีนออกไซด์ (ร้อยละ)	เวลา (ชั่วโมง)	จุดสูงสุด	ที่ 95 °C	ที่ 95 °C (30 นาที)
5	6	618±18	385±14*	293±11*
	12	638±25	395±35*	303±18*
	24	678±25*	388±32*	325±7*
7.5	6	633±32	383±11*	303±11*
	12	655±21	378±25*	320±7*
	24	698±18*	398±18*	325±14*
10	6	640±14	388±11*	313±4*
	12	693±11*	388±18*	318±18*
แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ		595±48	248±13	113±24

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ความหนืดในช่วง cooling ของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 pH 6.5

ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิล		ความหนืด (บี.ยู.)	
ปริมาณโพรพิลีนออกไซด์ (ร้อยละ)	เวลา (ชั่วโมง)	ที่ 50 °C	ที่ 50 °C นาน 30 นาที
5	6	460±7*	483±4*
	12	453±18*	468±25*
	24	468±4*	480±14*
7.5	6	460±14*	478±11*
	12	463±25*	480±28*
	24	460±14*	473±18*
10	6	455±7*	475±0*
	12	465±21*	478±11*
แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ		180±33	245±35

หมายเหตุ * ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

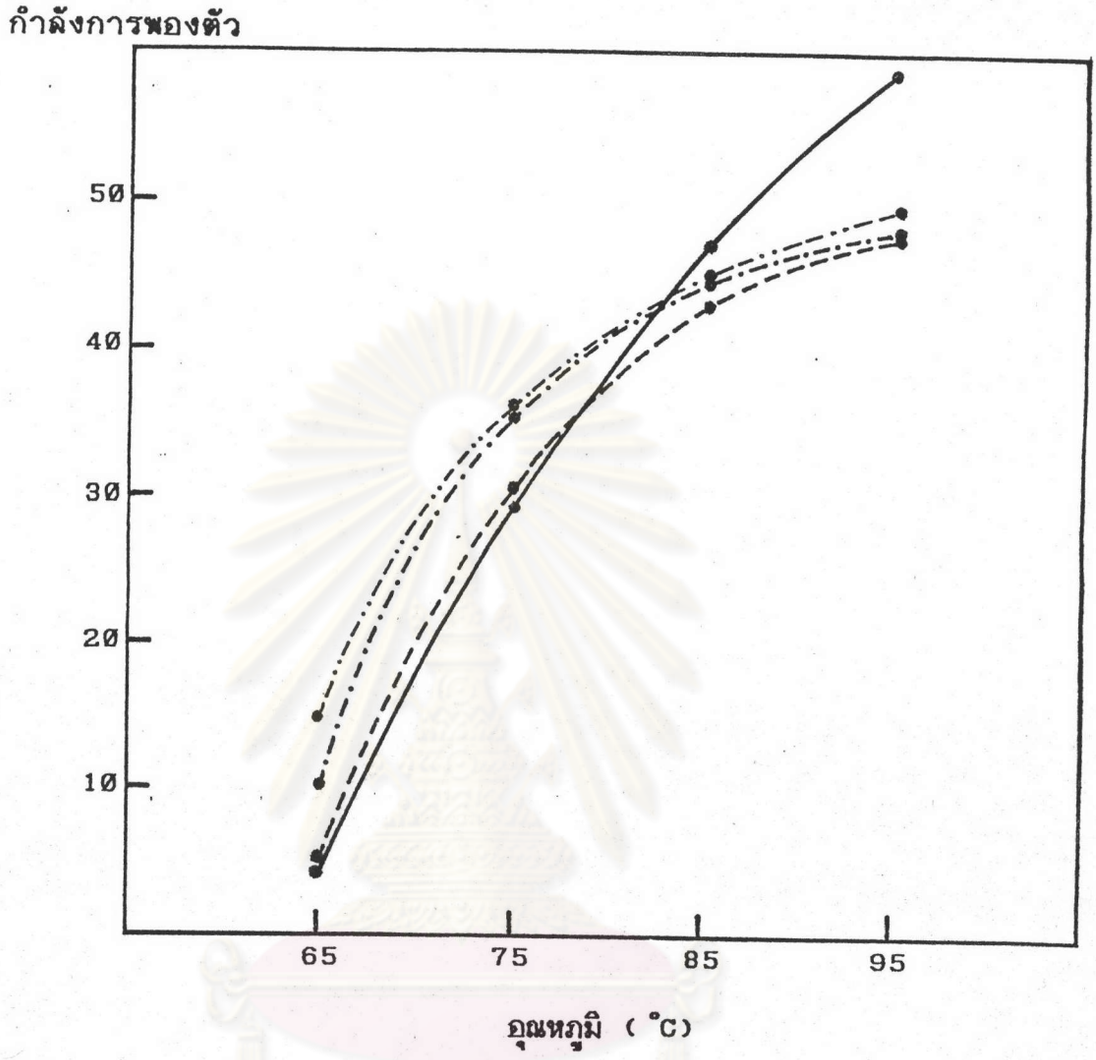
ตารางที่ 4.6 ผลต่างระหว่างความหนืดตำแหน่งต่างๆจาก Brabender Visco-Amylogram ของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิล ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 6 (โดยน้ำหนัก) pH 6.5

ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิล		ผลต่างระหว่างความหนืดตำแหน่งต่างๆ (บี.ยู.)			
โพรพิลีนออกไซด์ (ร้อยละ)	เวลา (ชั่วโมง)	จุดสูงสุดกับที่ 95 °C	จุดสูงสุดกับที่ 95 °C (30 นาที)	ที่ 95 °C กับที่ 95 °C (30 นาที)	ที่ 95 °C (30 นาที) กับที่ 50 °C (30 นาที)
5	6	233±4*	325±7*	93±4*	168±4*
	12	243±11*	335±7*	93±18*	150±0*
	24	290±7NS	353±11*	63±25*	143±11*
7.5	6	250±21*	330±21*	80±0*	158±4*
	12	278±11*	335±14*	58±18*	143±18*
	24	300±0NS	373±4*	73±4*	135±0*
10	6	253±4*	328±18*	75±14*	143±11*
	12	305±28NS	375±7*	70±35*	148±4*
แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ		347±37	482±23	135±15	67±23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Amylogram ของแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ดัดแปรจากแป้งข้าวโพด (รูปที่ 2.1) ที่ว่า เสถียรภาพของความหนืดต่อความร้อนและแรงกระทำของแป้งไฮดรอกซีโพรพิลจะน้อยกว่าแป้งข้าวโพดธรรมชาติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสมบัติของแป้งธรรมชาติก่อนเกิดปฏิกิริยาแทนที่แตกต่างกัน ทำให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งดัดแปรต่างกัน ส่วนผลต่างของความหนืดระหว่างที่ 95 °C นาน 30 นาที กับที่ 50 °C ของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลจะมากกว่าแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ แสดงว่า โมเลกุลของแป้งไฮดรอกซีโพรพิลเกิดการรวมตัวกันในช่วง cooling มากกว่าแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติเนื่องจากโมเลกุลของแป้งไฮดรอกซีโพรพิลสร้างพันธะไฮโดรเจนได้ดีขึ้น

จากการตรวจสอบกำลังการพองตัวของแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่อุณหภูมิ 65°, 75°, 85°และ 95°C พบว่า กำลังการพองตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (รูปที่ 4.8-4.10) อย่างไรก็ตาม กำลังการพองตัวเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 85°และ 95°C ของแป้งไฮดรอกซีโพรพิลแต่ละตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งปริมาณโพรพิลีนออกไซด์ เวลา และผลร่วมระหว่างปริมาณโพรพิลีนออกไซด์กับเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาแทนที่ มีผลทำให้ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลมีกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65°และ 75°C แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ข ตารางที่ 8) แต่กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 85°และ 95°C ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก ข ตารางที่ 9) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ จะเห็นว่า ที่อุณหภูมิ 65°และ 75°C กำลังการพองตัวของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง นอกจากนี้ตัวอย่างแป้งที่มีระดับการแทนที่สูงมีกำลังการพองตัวมากกว่าตัวอย่างแป้งที่มีระดับการแทนที่ต่ำ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 85° และ 95°C กำลังการพองตัวของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลกลับน้อยกว่าแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะตัวอย่างแป้งที่เกิดการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลมีอุณหภูมิสุกต่ำลง เม็ดแป้งจึงเริ่มทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้เกิดการดูดน้ำและพองตัวได้ก่อน ที่อุณหภูมิ 65°และ 75°C ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลจึงเกิดการเจลาติไนเซชันมากกว่าแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ ทำให้ความสามารถในการดูดน้ำและพองตัวสูงกว่า ดังนั้นแป้งที่มีระดับการแทนที่สูงมีอุณหภูมิสุกต่ำกว่าแป้งที่มีระดับการแทนที่ต่ำ กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65°และ 75°C จึงมากกว่า



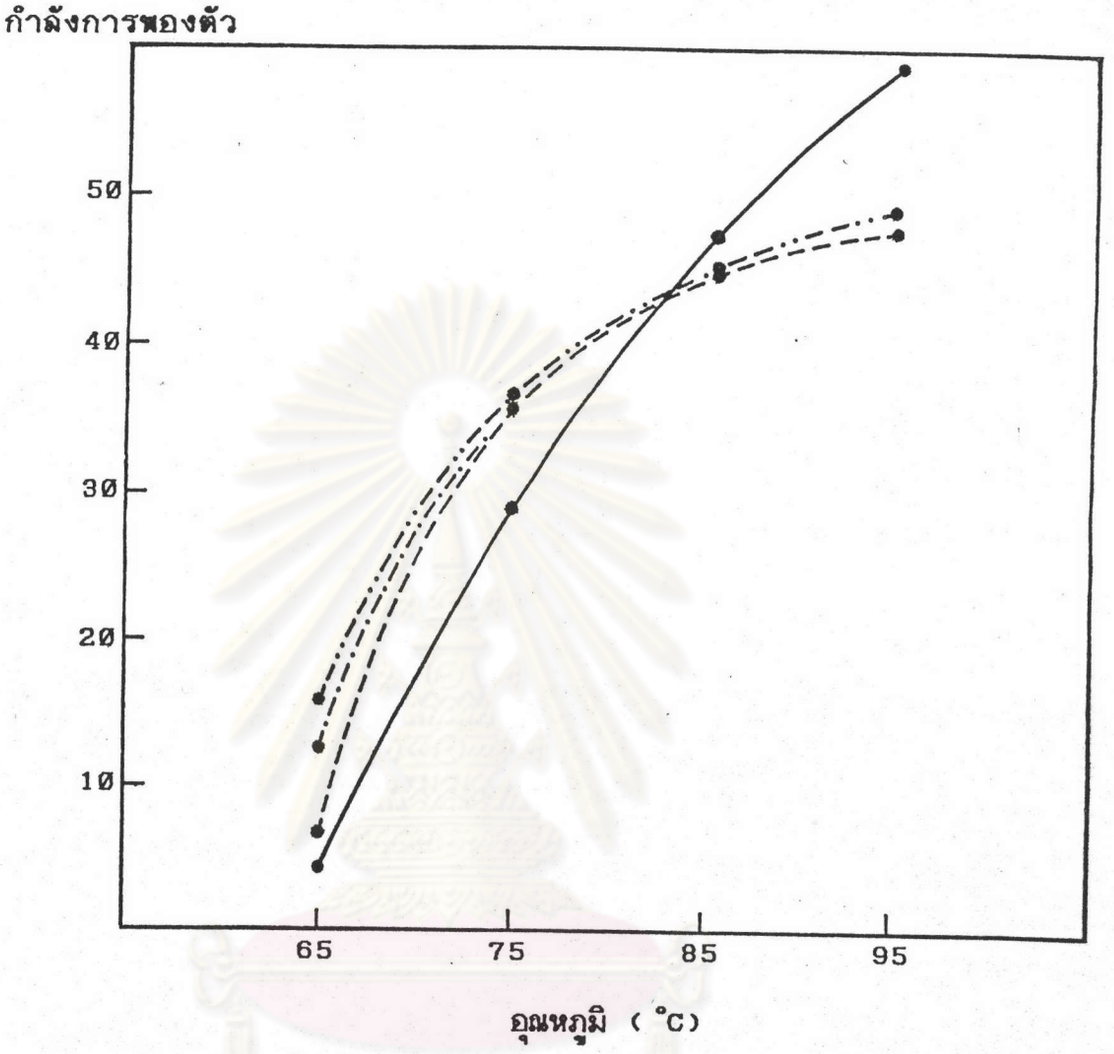
รูปที่ 4.8 กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 5 เป็นเวลาต่างๆกัน เปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ

———— แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ

- - - - - - แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

—·—·— แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

—··—··— แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



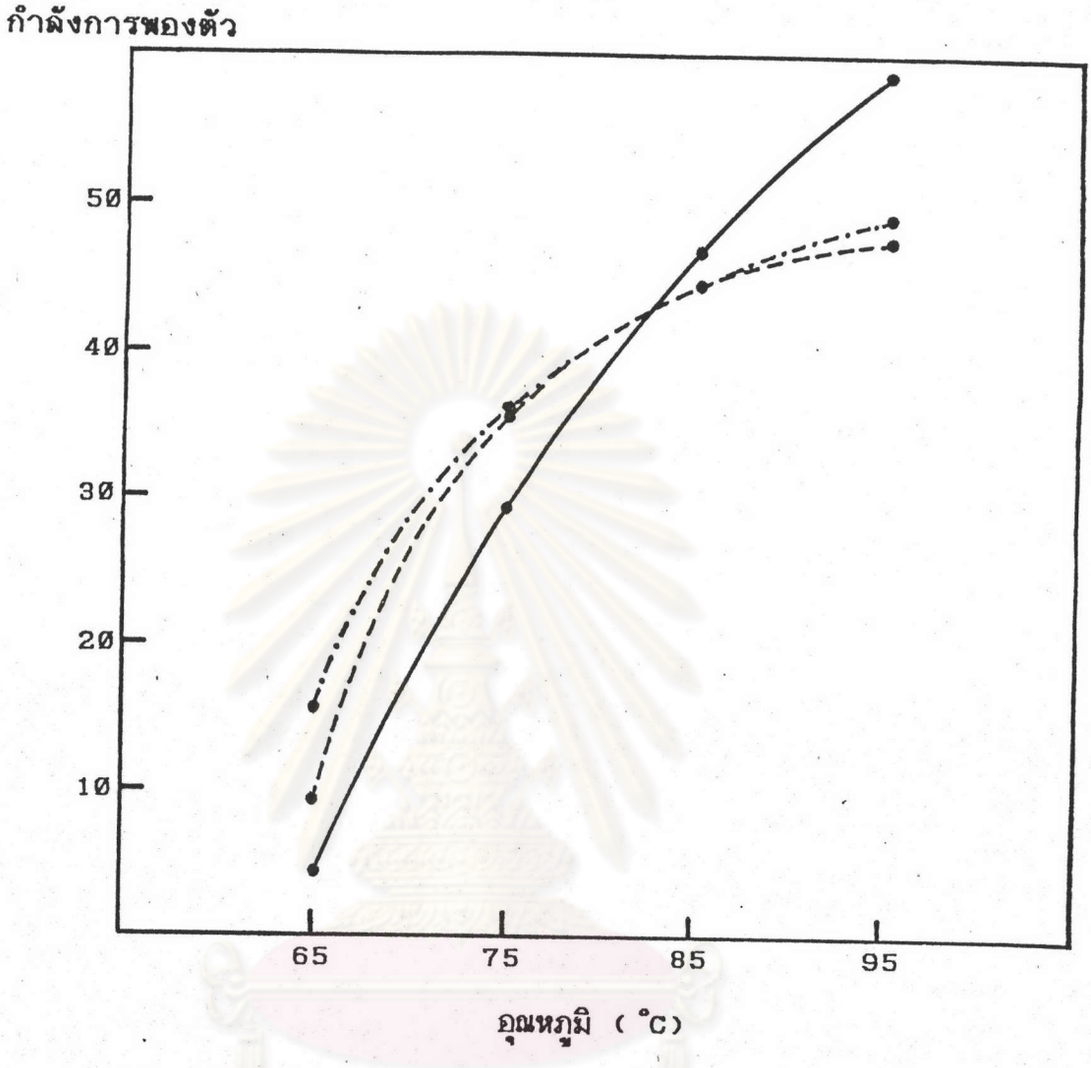
รูปที่ 4.9 กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 7.5 เป็นเวลาต่างๆกัน เปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ

———— แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ

– – – – แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

—·—·— แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

—··—··— แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.10 กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 10 เป็นเวลาต่างๆกัน เปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ

———— แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ

– – – – – – แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

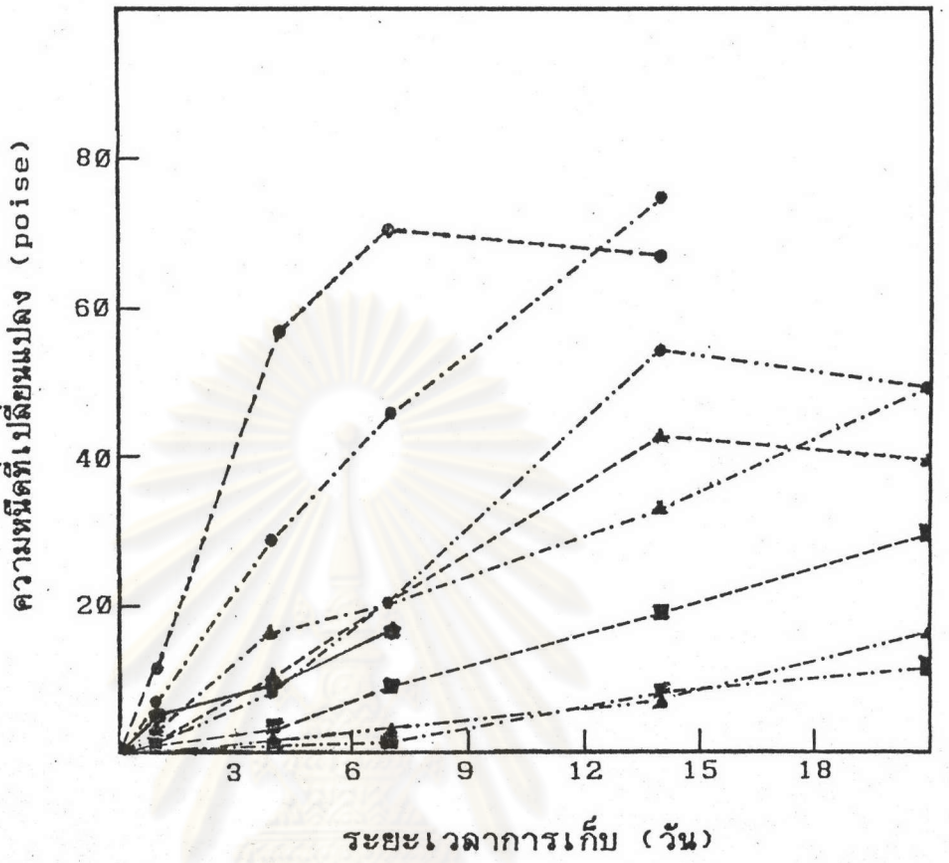
—·—·—·— แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

จากการวัดความหนืดของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลเปรียบเทียบแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 (โดยน้ำหนัก) จำนวน 200 กรัม หลังการทำให้สุกที่อุณหภูมิ 95±3 °C นาน 15 นาที ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer โดยใช้เข็มหมายเลข 5 ที่ความเร็ว 5 รอบต่อนาที พบว่า ความหนืดของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลหลังการทำให้สุกซึ่งวัดขณะที่แป้งเปียกมีอุณหภูมิ 25±2 °C ประมาณ 51.0-59.4 poise (ตารางที่ 4.7) โดยที่ความหนืดหลังการทำให้สุกของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก ข ตารางที่ 10) เมื่อเก็บรักษาแป้งเปียกที่อุณหภูมิ 5 °-7 °C เป็นระยะเวลาต่างๆ ในระยะแรกความหนืดของตัวอย่างซึ่งวัดขณะที่แป้งเปียกมีอุณหภูมิ 25±2 °C จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บมากขึ้น แป้งไฮดรอกซีโพรพิลบางตัวอย่างมีความหนืดลดลง ความหนืดของแป้งเปียกในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 5 °- 7 °C จึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ข ตารางที่ 11-12) ดังนั้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความหนืดของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °- 7 °C จึงต่างกัน (รูปที่ 4.11) กล่าวคือ ตัวอย่างแป้งที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 5 และ 7.5 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (D.S. 0.019 และ 0.022 ตามลำดับ) เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมากในระยะแรกของการเก็บรักษา และเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มเป็น 14 วัน แป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 5 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดลดลง นอกจากนี้ลักษณะของแป้งเปียกที่ใสและเหนียวเหนอะหลังการเก็บที่อุณหภูมิ 5 °- 7 °C จะเริ่มจับกันเป็นก้อนเหนียวขึ้นและเปลี่ยนเป็นขุ่นจนกระทั่งขุ่นขาว ในที่สุดก็เกิดการแยกของน้ำออกมาจากแป้งเปียก ความเหนียวเหนอะก็ลดลง จึงทำให้แป้งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความหนืดลดลง และเกิดตะกอนของก้อนแป้งขึ้น (ตารางที่ 4.8) เมื่อตัวอย่างไม่เป็นเนื้อเดียวกันจึงไม่สามารถวัดความหนืดได้ต่อไป แสดงว่า โมเลกุลของแป้งเกิดการคืนตัวค่อนข้างเร็วและมาก แป้งเปียกมีความคงตัวหรือเสถียรภาพในระหว่างการเก็บน้อย ส่วนตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 10 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (D.S. 0.031) และตัวอย่างแป้งที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 5 และ 7.5 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (D.S. 0.035 และ 0.045 ตามลำดับ) ในระยะแรกของการเก็บเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของตัวอย่างค่อนข้างน้อย แต่แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.7 ความหนืดของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) อุณหภูมิของแป้ง 25±2 °C วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer

ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิล		ความหนืดที่วัดได้ (poise)					
		ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
โพรพิลีนออกไซด์ (ร้อยละ)	เวลา (ชม.)	0	1	4	7	14	21
5	6	59.4	70.2	115.0	129.1	118.7	
	12	54.4	56.0	64.8	73.4	97.2	
	24	57.0	56.6	58.6	62.8	68.0	85.2
7.5	6	51.0	59.4	79.6	96.4	125.6	
	12	53.6	55.2	70.0	73.6	96.2	102.6
	24	53.0	59.4	54.0	54.6	61.2	64.8
10	6	55.8	57.2	64.2	76.4	120.4	115.0
	12	56.0	56.4	56.8	58.0	66.0	72.2
ตัวอย่างแป้งมันสำปะหลัง		31.2	37.5	39.9	46.7	7.8	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 ความหนืดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิล และแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°-7°C เป็นระยะเวลาต่างๆ วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer (เปรียบเทียบกับความหนืดของแป้งก่อนการเก็บ)

———————— แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ

– – – – – – – – – – – – ตัวอย่างที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 5

–·–·–·–·–·–·–·–·– ตัวอย่างที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 7.5

–··–··–··–··–··–·· ตัวอย่างที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 10

● ตัวอย่างที่ดัดแปรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

▲ ตัวอย่างที่ดัดแปรเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

■ ตัวอย่างที่ดัดแปรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.8 ลักษณะแป้งเปียกของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลและแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติที่ความเข้มข้น ร้อยละ 6 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) หลังการทำให้สุกและหลังการเก็บที่อุณหภูมิ 5°- 7°C เป็นระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิล		ลักษณะของแป้งเปียกที่สังเกตได้					
		ระยะเวลาการเก็บ (วัน)					
โพรพิลีนออกไซด์ (ร้อยละ)	เวลา (ชม.)	0	1	4	7	14	21
5	6	ใส	ใสน้อยลงและจับเป็นก้อนเหนียว	เริ่มขุ่นและเหนียวมาก	เริ่มขุ่นขาว มีน้ำแยกออกมา	ขุ่นขาว มีน้ำและตะกอนของก้อนแป้งเกิดขึ้น	น้ำแยกออกมามาก
	12	ใส	ใสน้อยลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	เริ่มขุ่นและจับเป็นก้อน	ขุ่นมากขึ้น
	24	ใส	ใสน้อยลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
7.5	6	ใส	ใสน้อยลง	จับกันเป็นก้อนเหนียว	ขุ่นมากขึ้น	ขุ่นขาวและมีน้ำแยกออกมา	เกิดตะกอนของก้อนแป้ง
	12	ใส	ใสน้อยลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ใสน้อยลงอีกเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง
	24	ใส	ใสน้อยลงเล็กน้อย	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
10	6	ใส	ใสน้อยลง	เริ่มขุ่น	ไม่เปลี่ยนแปลง	ขุ่นมากขึ้น	ขุ่นขาว
	12	ใส	ใสน้อยลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
ตัวอย่างแป้งมันสำปะหลัง		ใส	เริ่มขุ่น	ขุ่นขาวและเริ่มมีน้ำ	แป้งจับกันเป็นก้อนและมีน้ำแยก	น้ำแยกออกมามาก	

จะมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ลักษณะปรากฏของแป้งเปียกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักแม้ว่าระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น แสดงว่า โมเลกุลของแป้งเกิดการคืนตัวเพียงปานกลางและแป้งเปียกมีความคงตัวดี สำหรับตัวอย่างแป้งที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 10 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (D.S. 0.072) และตัวอย่างแป้งที่ดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ร้อยละ 5 และ 7.5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (D.S. 0.058 และ 0.074 ตามลำดับ) เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดและลักษณะปรากฏของแป้งเปียกน้อยมากตลอดระยะเวลาการเก็บ 21 วัน แสดงว่า แป้งเกิดการคืนตัวช้าและน้อยมาก แป้งจึงมีความคงตัวหรือเสถียรภาพในระหว่างการเก็บรักษามาก ทั้งนี้เพราะเมื่อโมเลกุลของแป้งเกิดการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลจะเกิดการรวมตัวกันตามแนวเส้นตรงยากขึ้น แต่โมเลกุลของแป้งจะสร้างพันธะไฮโดรเจนยึดเหนี่ยวกันเป็นโครงสร้างตาข่ายสามมิติซึ่งช่วยให้แป้งเปียกมีความคงตัวสามารถอุ้มน้ำได้ดี (32) การเปลี่ยนแปลงความหนืดและลักษณะปรากฏในระหว่างการเก็บจึงช้าและน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ จะเห็นว่า ความหนืดหลังการทำให้สุกของแป้งไฮดรอกซีโพรพิลมากกว่าแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติซึ่งมีค่าเฉลี่ยเพียง 33.0 poise (ตารางที่ 4.7) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °- 7 °C แป้งมันสำปะหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดเพียงปานกลาง แต่ลักษณะปรากฏของแป้งเปียกจะเปลี่ยนเป็นขุ่นขาวและเกิดการแยกของน้ำออกมาเร็วกว่าแป้งไฮดรอกซีโพรพิล กล่าวคือ หลังการเก็บเพียง 4 วัน แสดงว่า แป้งมันสำปะหลังเกิดการคืนตัวเร็วและมากกว่าแป้งไฮดรอกซีโพรพิล และถือว่าแป้งเกิดการคืนตัวอย่างสมบูรณ์เนื่องจากไม่สามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของแป้งเปียกที่เกิดขึ้นดังกล่าวให้ย้อนกลับสู่ลักษณะเดิมของแป้งเปียกหลังการทำให้สุกได้อีก (68) แม้ว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของแป้งมันสำปะหลังจะเป็นอะไมโลเพคตินซึ่งเกิดการรวมตัวกันยาก แต่ในระหว่างการเก็บรักษาโมเลกุลของแป้งยังคงสามารถเคลื่อนที่เข้าหากันอย่างช้าๆ และเกิดการรวมตัวตามบริเวณกิ่งก้านด้านนอกของอะไมโลเพคตินมากขึ้น ความหนืดจึงเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของโมเลกุลที่เกิดการรวมตัวกันก็จะเพิ่มขึ้นทำให้แป้งเปียกมีลักษณะขุ่นและเมื่อจับกันเป็นก้อนมากขึ้นก็จะเปลี่ยนเป็นขุ่นขาว (69) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแป้งจึงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลแป้งกับน้ำลดลง จนกระทั่งเกิดการแยกของน้ำกับตะกอนแป้งขึ้น การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังด้วยปฏิกิริยาแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลทำให้การรวมตัวกันตามแนวเส้นตรงของบริเวณกิ่งก้านด้านนอกเกิดน้อยลง จึงทำ

ให้แป้งดัดแปรที่ได้มีความคงตัวหรือเสถียรภาพของแป้งเปียกในระหว่างการเก็บที่ 5°- 7°C ดีขึ้น

การวิจัยขั้นในต่อไปจะเลือกแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ได้จากการดัดแปรด้วยโพรพิลีนออกไซด์ ร้อยละ 7.5 และ 10 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งมีระดับการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลต่างกันเป็น 2 ระดับ และมีเสถียรภาพในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 5°- 7°C ดี เพื่อใช้ศึกษาการดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางโดยใช้โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต

4.3.2 ดัดแปรแป้งไฮดรอกซีโพรพิลด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางโดยใช้โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตที่ได้จากการดัดแปรแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่มีระดับการแทนที่ 0.047 และ 0.075 ด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางโดยใช้โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต ร้อยละ 0.3 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) เป็นเวลา 1, 1.5, 2 3 และ 4 ชั่วโมง พบว่า มีปริมาณความชื้นเฉลี่ย ร้อยละ 11.37-12.86 (โดยน้ำหนัก) และความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 6.43-6.59 โดยปริมาณความชื้นและความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก ข ตารางที่ 13) สำหรับปริมาณฟอสเฟตที่วิเคราะห์ในรูปของฟอสฟอรัสขึ้นอยู่กับระดับการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลและเวลาที่ใช้ในการดัดแปร (ตารางที่ 4.9) โดยปริมาณฟอสเฟตของตัวอย่างแป้งที่ดัดแปรจากแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่มีระดับการแทนที่ต่ำจะน้อยกว่าตัวอย่างแป้งที่มีระดับการแทนที่สูงเมื่อเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเท่ากัน และการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการดัดแปรทำให้ปฏิกิริยาเชื่อมขวางเกิดมากขึ้น ปริมาณฟอสเฟตในตัวอย่างแป้งจึงเพิ่มขึ้น ดังนั้นการดัดแปรแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่มีระดับการแทนที่ต่างกันด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางโดยใช้โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตเป็นเวลาต่างๆจึงมีปริมาณฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่างแป้งต่างกัน จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า ระดับการแทนที่และเวลาที่ใช้ในการดัดแปรมีผลทำให้ปริมาณฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับการเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ข ตารางที่ 14) และปริมาณฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นในแป้ง

ตารางที่ 4.9 ปริมาณฟอสเฟตในตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟต

ตัวอย่างแป้ง		ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (ร้อยละ, โดยน้ำหนักแป้งแห้ง)		
ระดับการแทนที่	เวลา (ชั่วโมง)	ฟอสฟอรัส $X10^{3}$	ฟอสเฟต $X10^{2}$	ฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้น $X10^{2}$
0.047	1	6.44±0.16	1.97	0.13
	1.5	6.89±0.10	2.11	0.27
	2	7.62±0.23	2.34	0.50
	3	9.05±0.15	2.77	0.93
	4	9.82±0.18	3.01	1.17
0.075	1	7.15±0.25	2.19	0.35
	1.5	7.76±0.26	2.38	0.54
	2	8.63±0.33	2.65	0.81
	3	9.74±0.08	2.99	1.15
	4	10.36±0.18	3.18	1.34
แป้งมันสำปะหลัง		6.00±0.20	1.84	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตเนื่องจากการดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางทำให้ตัวอย่างแป้งมีระดับการเชื่อมขวางเกิดขึ้นประมาณ 4,376-45,190 หน่วยกลูโคสต่อ 1 พันธะฟอสเฟต (ตารางที่ 4.10) จึงจัดเป็นแป้งที่มีระดับการเชื่อมขวางต่ำ นอกจากนี้ปริมาณฟอสเฟตในตัวอย่างแป้งที่วิเคราะห์ในรูปของปริมาณฟอสฟอรัสมีน้อยกว่า ร้อยละ 0.04 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ดังนั้นปริมาณฟอสเฟตตกค้างจึงไม่เกินปริมาณมาตรฐานที่กำหนดให้มีตกค้างได้ในแป้งดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากหมู่ฟอสเฟตซึ่งต้องการใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหารโดยมิได้ดัดแปรจากแป้งสาลีหรือแป้งมันฝรั่ง (26,27)

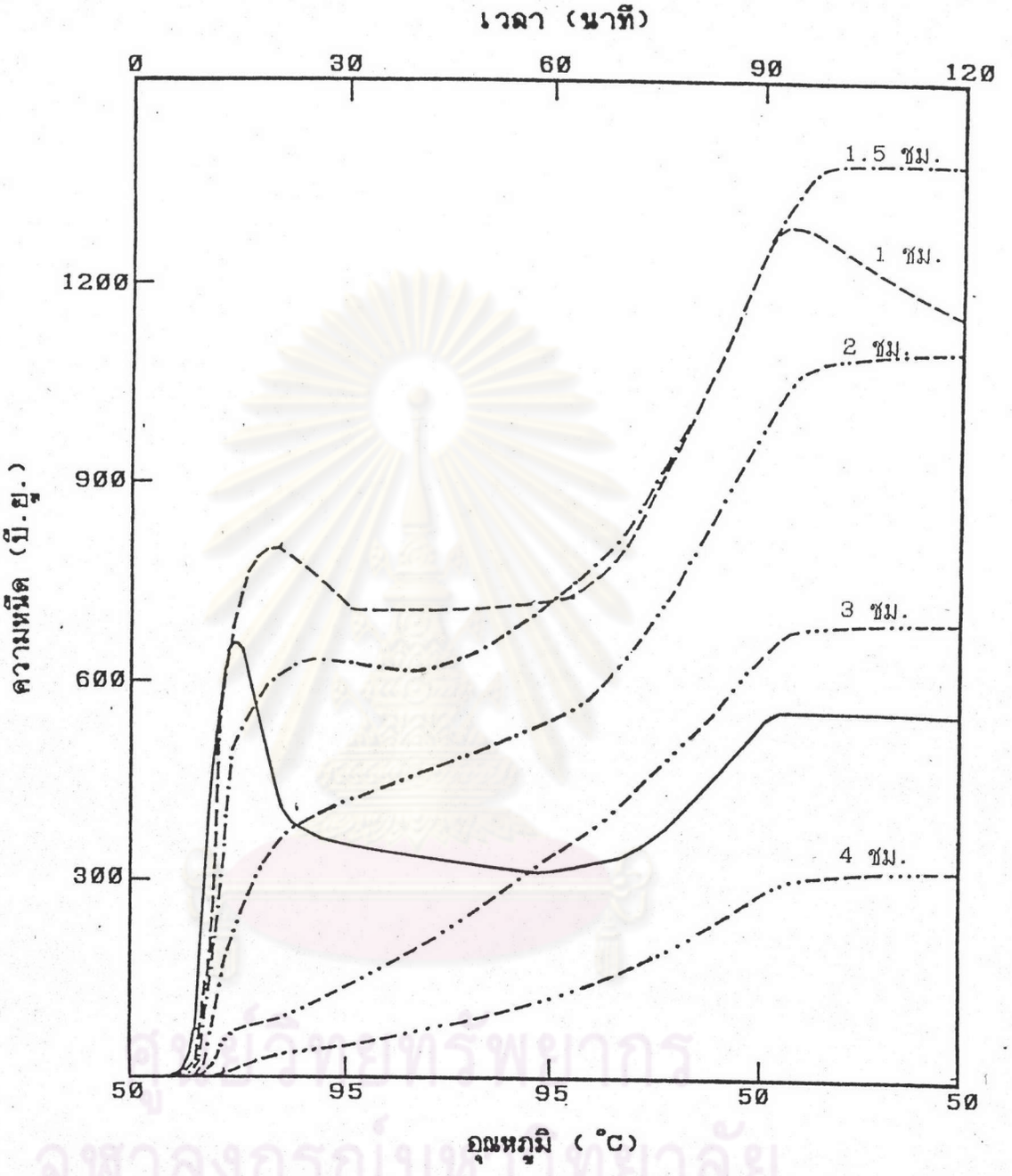
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตที่อุณหภูมิต่างๆใน heating-cooling cycle ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 (โดยน้ำหนัก) pH 6.5 ด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph เปรียบเทียบกับแป้งไฮดรอกซีโพรพิลก่อนเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวาง (รูปที่ 4.12-4.13) พบว่า ความหนืดของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตเริ่มเปลี่ยนแปลงช้ากว่าแป้งไฮดรอกซีโพรพิล ทั้งนี้เพราะพันธะของฟอสเฟตที่เชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลแป้งเป็นพันธะโควาเลนต์ซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวมาก โครงสร้างภายในเม็ดแป้งจึงแข็งแรงขึ้น (8) พลังงานที่ต้องใช้เพื่อให้เกิดการเจลาติไนเซชันจึงมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิสุกของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตสูงกว่าแป้งไฮดรอกซีโพรพิล (ตารางที่ 4.11) และอุณหภูมิสุกที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างแป้งที่มีปริมาณฟอสเฟตสูงจะมากกว่าตัวอย่างแป้งที่มีปริมาณฟอสเฟตต่ำ โดยระดับการแทนที่และเวลาที่ใช้ในการดัดแปรมีผลทำให้อุณหภูมิสุกที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างแป้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ข ตารางที่ 15)

รูปแบบ Brabender Visco-Amylogram ของแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตแต่ละตัวอย่างมีลักษณะที่แตกต่างกันและต่างจากแป้งไฮดรอกซีโพรพิล (รูปที่ 4.12-4.13) จะเห็นว่า ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางเป็นเวลา 1 และ 1.5 ชั่วโมง ในช่วง heating เม็ดแป้งบางส่วนแตกออกทำให้ความหนืดลดลงเล็กน้อย จึงมีจุดสูงสุดของความหนืดอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม เมื่อ

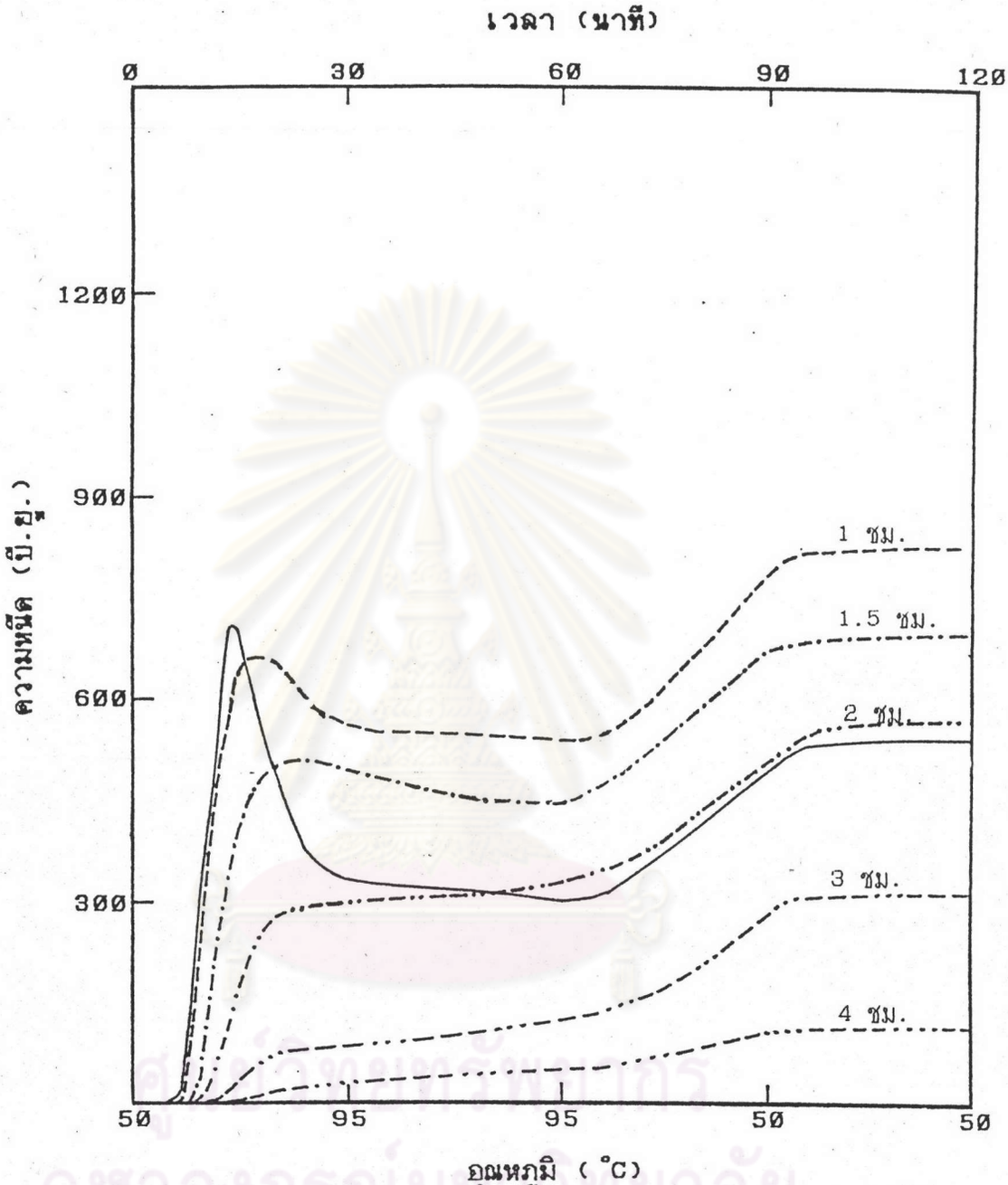
ตารางที่ 4.10 ระดับการแทนที่และระดับการเชื่อมขวางของหมู่ฟอสเฟตในตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟต

ตัวอย่างแป้ง		ระดับการดัดแปรของหมู่ฟอสเฟต	
ระดับการแทนที่	เวลา (ชั่วโมง)	ระดับการแทนที่ $X10^{4}$	ระดับการเชื่อมขวาง (หน่วยกลูโคสต่อพันธะ)
0.047	1	0.22	45,109
	1.5	0.46	21,719
	2	0.85	11,728
	3	1.59	6,305
	4	2.00	5,012
0.075	1	0.60	16,754
	1.5	0.92	10,859
	2	1.38	7,239
	3	1.96	5,099
	4	2.29	4,376

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 Brabender Visco-Amylogram ของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตที่ดัดแปรจากแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่มีระดับการแทนที่ 0.047 เป็นเวลาต่างๆ เปรียบเทียบกับแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 pH 6.5



รูปที่ 4.13 Brabender Visco-Amylogram ของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตที่ดัดแปรจากแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่มีระดับการแทนที่ 0.075 เป็นเวลาต่างๆ เปรียบเทียบกับแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 pH 6.5

ตารางที่ 4.11 อุณหภูมิสุกของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตเปรียเทียบกับแป้งไฮดรอกซีโพรพิล ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 6 pH 6.5 วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph

แป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟต		อุณหภูมิสุกเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (°C)
ระดับการแทนที่	เวลา(ชั่วโมง)		
0.047	1	62.4±0.2	0.2
	1.5	62.7±0.1	0.5
	2	63.5±0.2	1.3
	3	64.6±0.4	2.4
	4	65.8±0.3	3.6
0.075	1	61.7±0.3	0.6
	1.5	62.6±0.4	1.5
	2	63.3±0.4	2.2
	3	65.1±0.4	4.0
	4	66.5±0.1	5.4
แป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่มี D.S. 0.047		62.2±0.4	
แป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่มี D.S. 0.075		61.1±0.6	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เวลาเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางเพิ่มขึ้นแป้งที่ได้จะมีผลต่างของความหนืดระหว่างจุดสูงสุดกับที่ 95 °C หรือ 95 °C นาน 30 นาที จะลดลง จนในที่สุด Brabender Visco-Amylogram ของตัวอย่างแป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ไม่ปรากฏจุดสูงสุดของความหนืดอย่างชัดเจน จึงทำให้ไม่มีค่าผลต่างของความหนืดระหว่างจุดสูงสุดกับที่ 95 °หรือ 95 °C นาน 30 นาที แสดงว่า ความแข็งแรงของเม็ดแป้งเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลด้วยพันธะโควาเลนต์ของหมู่ฟอสเฟต ทำให้แป้งมีเสถียรภาพของความหนืดต่อความร้อนและแรงกระทำเพิ่มขึ้น ซึ่งเม็ดแป้งจะดูดน้ำและเกิดการพองตัวในขณะให้ความร้อนช้าและน้อยลงจนกระทั่งไม่เกิดการแตกของเม็ดแป้ง แต่ความหนืดของแป้งยังคงเพิ่มขึ้นตลอดระยะใน heating-cooling cycle เพราะการดูดน้ำและพองตัวของเม็ดแป้งยังคงดำเนินเพิ่มขึ้นอยู่ต่อไปซึ่งทำให้น้ำที่หล่อลื่นอยู่ภายนอกลดลง ความหนืดจึงสูงขึ้น เมื่อเข้าสู่ช่วง cooling ความหนืดของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตจะเพิ่มขึ้นและส่วนใหญ่เริ่มคงที่หลังจากควบคุมอุณหภูมิที่ 50 °C เป็นระยะเวลาหนึ่ง ยกเว้นตัวอย่างแป้งที่ดัดแปรจากแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่มีระดับการแทนที่ 0.047 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ความหนืดจะลดลง จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ระดับการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซีโพรพิล เวลา และผลร่วมระหว่างระดับการแทนที่กับเวลาที่ใช้ในการดัดแปร มีผลทำให้ความหนืดของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตที่ 95 °C, 95 °C นาน 30 นาที, 50 °C, 50 °C นาน 30 นาที แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ช ตารางที่ 16-17) เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของความหนืดในช่วง cooling ระหว่างความหนืดที่ 95 °C นาน 30 นาที กับที่ 50 °C จะเห็นว่า ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตที่ดัดแปรจากแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่มีระดับการแทนที่ 0.047 มีอัตราการเพิ่มขึ้นประมาณ 1.72-2.86 เท่า ส่วนตัวอย่างแป้งที่ดัดแปรจากแป้งที่มีระดับการแทนที่ 0.075 มีอัตราการเพิ่มขึ้นประมาณ 1.31-2.24 เท่า (ตารางที่ 4.12) โดยส่วนใหญ่อัตราการเพิ่มของความหนืดจะมากขึ้นเมื่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางเพิ่มขึ้น แสดงว่าขณะที่แป้งได้รับความร้อนความหนืดจะเพิ่มขึ้นช้าและน้อยมากจึงมีลักษณะเหลวแต่แป้งจะมีลักษณะที่ข้นหนืดมากขึ้นในช่วง cooling ดังนั้นแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตจึงเป็นพวก Thin-thick starch (55) อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างแป้งที่มีปริมาณฟอสเฟตเพิ่มขึ้นมีผลต่างของความหนืดระหว่างที่ 95 °C นาน 30 นาที กับที่ 50 °C น้อยกว่าแป้งที่มี

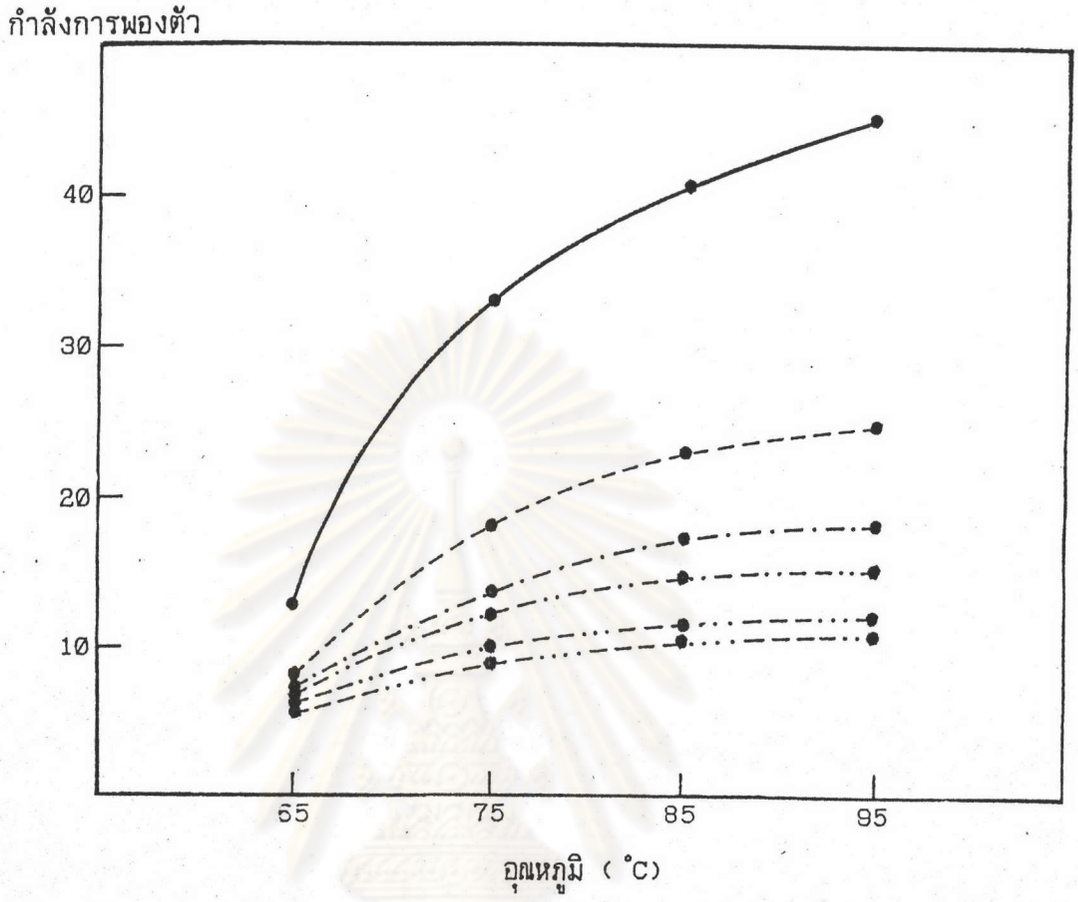
ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบอัตราการเพิ่มและผลต่างของความหนืดในช่วง cooling ของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟต

แป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟต		ผลการเปรียบเทียบความหนืด	
ระดับการแทนที่	เวลา (ชั่วโมง)	อัตราการเพิ่ม (เท่า)	ผลต่าง (บี.ยู.)
0.047	1	1.72±0.12	518±39
	1.5	1.74±0.03	533±39
	2	1.74±0.23	420±28
	3	1.91±0.03	305±14
	4	2.86±0.08	228±4
0.075	1	1.31±0.11	218±46
	1.5	1.46±0.08	190±0
	2	1.58±0.05	233±4
	3	2.24±0.13	195±0
	4	2.17±0.23	68±4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณฟอสเฟตน้อย (ตารางที่ 4.12) แสดงว่า แป้งที่เกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางมากจะเกิดการคืนตัวของแป้งเปียกเนื่องจากการรวมตัวระหว่างโมเลกุลที่กระจายออามาจากเม็ดแป้งแตกน้อยลง ผลที่ได้สอดคล้องกับของ Kite และคณะ (45) ที่ศึกษา Brabender Visco-Amylogram ของแป้งไดสตาร์ชฟอสเฟตที่ดัดแปรจาก waxy sorghum starch ด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตปริมาณต่างๆ

จากการตรวจสอบกำลังการพองตัวของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตที่อุณหภูมิ 65°, 75°, 85°และ 95°C พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (รูปที่ 4.14-4.15) แป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตแต่ละตัวอย่างมีกำลังการพองตัวเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 85°และ 95°C ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) แสดงว่า การเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลแป้งไฮดรอกซีโพรพิลด้วยหมู่ฟอสเฟต ทำให้เม็ดแป้งสามารถควบคุมการดูดน้ำและพองตัวได้ดีแม้อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น และการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางทำให้กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ของตัวอย่างแป้งลดลง ทั้งนี้เพราะแป้งดัดแปรที่เกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลด้วยพันธะโควาเลนต์ของหมู่ฟอสเฟตมากจะมีโครงสร้างของเม็ดแป้งที่แข็งแรง จึงสามารถควบคุมการดูดน้ำและพองตัวได้ดี จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่า เวลาที่ใช้ในการดัดแปรมีผลทำให้กำลังการพองตัวของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตที่อุณหภูมิ 65°, 75°, 85° และ 95°C แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ข ตารางที่ 18-19) นอกจากนี้ระดับการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลมีผลทำให้กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65°C ของตัวอย่างแป้งดัดแปรที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังการพองตัวของแป้งไฮดรอกซีโพรพิลก่อนการดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวาง (รูปที่ 4.14-4.15) เห็นได้ว่า แป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตมีกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆต่ำกว่าแป้งไฮดรอกซีโพรพิล และความแตกต่างของกำลังการพองตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แสดงว่า พันธะของหมู่ฟอสเฟตที่เกิดการเชื่อมขวางสามารถทนต่อความร้อนได้ดี ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้อย่างจำกัด ผลที่ได้คล้ายคลึงกับการศึกษาของวรนุช (62) ที่ว่า แป้งไดสตาร์ชฟอสเฟตที่ดัดแปรจากแป้งมันฝรั่งมีค่าต่ำกว่าแป้งมันฝรั่งธรรมชาติ



รูปที่ 4.14 กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตที่ดัดแปรจากแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่มีระดับการแทนที่ 0.047 เป็นเวลาต่างๆ เปรียบเทียบกับแป้งไฮดรอกซีโพรพิล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แป้งก่อนดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวาง

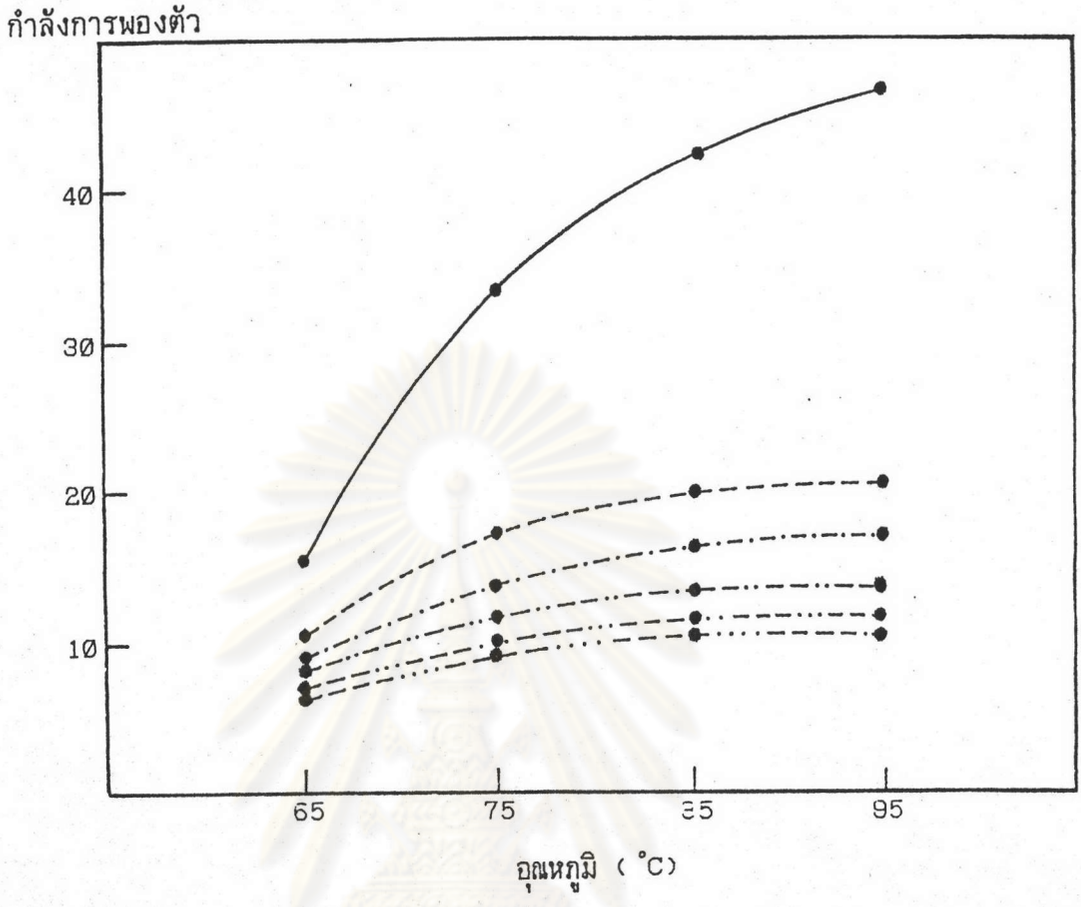
แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง

แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

แป้งที่ดัดแปรเป็นเวลา 4 ชั่วโมง



รูปที่ 4.15 กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตที่ดัดแปรจากแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่มีระดับการแทนที่ 0.075 เป็นเวลาต่างๆ เปรียบเทียบกับแป้งไฮดรอกซีโพรพิล

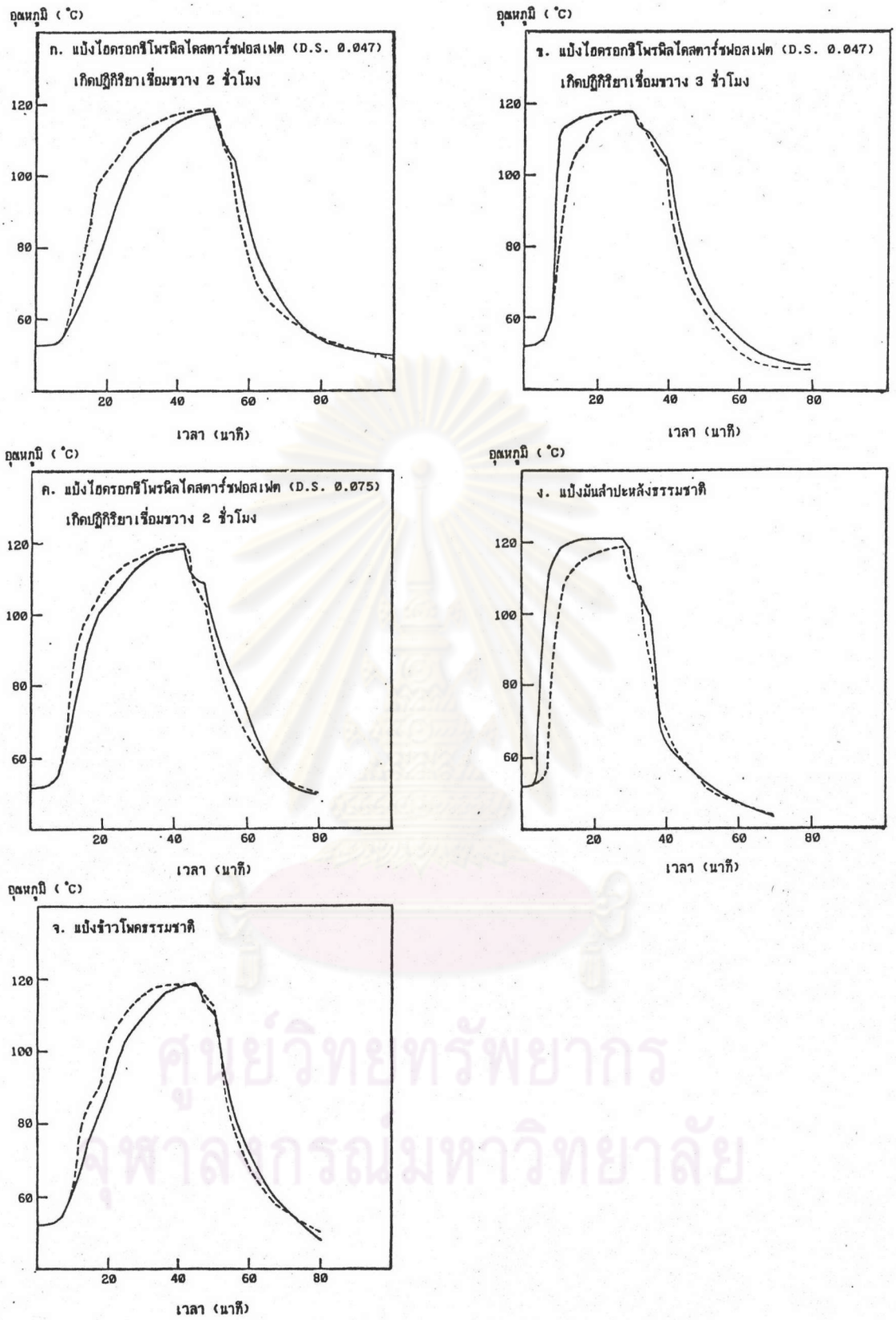
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แป้งที่ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องควรจะดูดน้ำช้า ทนต่อความร้อนและแรงกระทำได้ดี แต่ให้ความข้นหนืดสูง ทั้งนี้เพราะกระบวนการผลิตอาหารกระป๋องต้องผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนสูงสำหรับการฆ่าเชื้อและอาจผ่านแรงกระทำ เช่น มีขั้นตอนการกวนผสม การปั๊ม เป็นต้น ดังนั้น Brabender Visco-Amylogram ของตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟต (รูปที่ 4.12-4.13) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของแป้งในขณะที่ได้รับความร้อนและแรงกระทำ จึงสามารถใช้เป็นแนวทางคัดเลือกตัวอย่างแป้งที่มีสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในอาหารกระป๋องได้ โดยจะเลือกแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตที่ดัดแปรจากแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่มีระดับการแทนที่ ๐.๐๔๗ เป็นเวลา 2 และ 3 ชั่วโมง และแป้งที่ได้จากการดัดแปรแป้งที่มีระดับการแทนที่ ๐.๐๗๕ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อศึกษาการใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดแก่ simulated canned food ในขั้นตอนต่อไป

4.4 การใช้แป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตเป็นสารให้ความข้นหนืด

4.4.1 ความสามารถในการกระจายความร้อนระหว่างการฆ่าเชื้อ

จากการศึกษาการกระจายความร้อนใน simulated canned food ซึ่งประกอบด้วย น้ำ น้ำตาล เกลือ และแป้ง ร้อยละ ๙๐, 3, 1 และ 6 (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ pH 6.5๐±๐.1๐ บรรจุในกระป๋องขนาด 3๐7X113 มีน้ำหนักบรรจุ 187±1 กรัม โดยใช้แป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตที่คัดเลือกไว้ในข้อ 4.3.2 เป็นสารให้ความข้นหนืดเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดธรรมชาติ พบว่า ในระหว่างการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121±1 °C ตัวอย่าง simultated canned food ที่ใช้แป้งต่างกันเป็นสารให้ความข้นหนืดจะมีการกระจายความร้อนแตกต่างกัน (รูปที่ 4.16) อาจแบ่งเป็น 2 พวก คือ พวกแรกตำตำแหน่งที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงช้าที่สุดอยู่ที่ระดับ 1/2 ของความสูงกระป๋อง ได้แก่ ตัวอย่างที่ใช้แป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตที่ได้จากการดัดแปรแป้งไฮดรอกซีโพรพิลที่มีระดับการแทนที่ ๐.๐๔๗ และ ๐.๐๗๕ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และแป้งข้าวโพดธรรมชาติ ส่วนพวกที่สองตำ



รูปที่ 4.16 การกระจายความร้อนภายใน simulated canned food ที่ใช้แป้งต่างๆ เป็นสารให้ความข้นหนืด

———— ที่ระดับ 1/2 ของความสูงกระป๋อง

---------- ที่ระดับ 1/3 ของความสูงกระป๋อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แหน่งที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงช้าที่สุดอยู่ที่ระดับ 1/3 ของความสูงกระป๋อง ได้แก่ ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตที่ดัดแปรเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ (รูปที่ 4.16) เมื่อคำนวณเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อจากอุณหภูมิที่ตำแหน่งซึ่งเปลี่ยนแปลงช้าที่สุด โดยหาการคำนวณค่า lethal rate ให้ F_o มีค่าประมาณ 6 ตัวอย่างพวกแรกใช้เวลาในการให้ความร้อนเฉลี่ยประมาณ 40.5-47.5 นาที (ตารางที่ 4.13) และตัวอย่างพวกที่สองก็ใช้เวลาในการให้ความร้อนเฉลี่ย 26.0-30.5 นาที ซึ่งเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างพวกแรกกับตัวอย่างพวกที่สองจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า การกระจายความร้อนในตัวอย่างแต่ละพวกต่างกัน กล่าวคือ กลไกหลักในการกระจายความร้อนของตัวอย่างพวกแรกเป็นการนำความร้อน ส่วนตัวอย่างพวกที่สองเป็นการพาความร้อน ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดน้ำของตัวอย่างพวกแรกเพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก น้ำภายนอกจึงลดลงมาก ทำให้ความหนืดสูงขึ้น สำหรับตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตในพวกที่สองสามารถทนความร้อนและแรงกระทำได้ดี ในระยะแรกของการให้ความร้อนเม็ดแป้งดูดน้ำได้น้อย ความหนืดของแป้งจึงต่ำทำให้สามารถกระจายความร้อนโดยการพา ส่วนตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติทนความร้อนได้น้อยมาก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเม็ดแป้งแตกออกง่ายและเร็ว ทำให้ความหนืดลดต่ำลง จึงเกิดการกระจายความร้อนแบบการพา

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของ simulated canned food ในระหว่างการเก็บ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้องของ simulated canned food ที่ผ่านการฆ่าเชื้อตามภาวะในข้อ 4.4.1 ซึ่งใช้ตัวอย่างแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟต แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดธรรมชาติ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 (โดยน้ำหนัก) เป็นสารให้ความข้นหนืด วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer โดยใช้เข็มหมายเลข 5 ที่ความเร็ว 5 รอบต่อนาที พบว่า หลังการฆ่าเชื้อ 1 วัน ความหนืดของตัวอย่างที่ใช้แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติเป็นสารให้ความข้นหนืดจะต่ำมาก (รูปที่ 4.17) ทั้งนี้เพราะเม็ดแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติทนความร้อนได้น้อยจึงเกิดแตกออกในระหว่างการฆ่าเชื้อ

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อของ simulated canned food ที่ใช้แป้งต่างๆ ความเข้มข้นร้อยละ 6 เป็นสารให้ความข้นหนืด

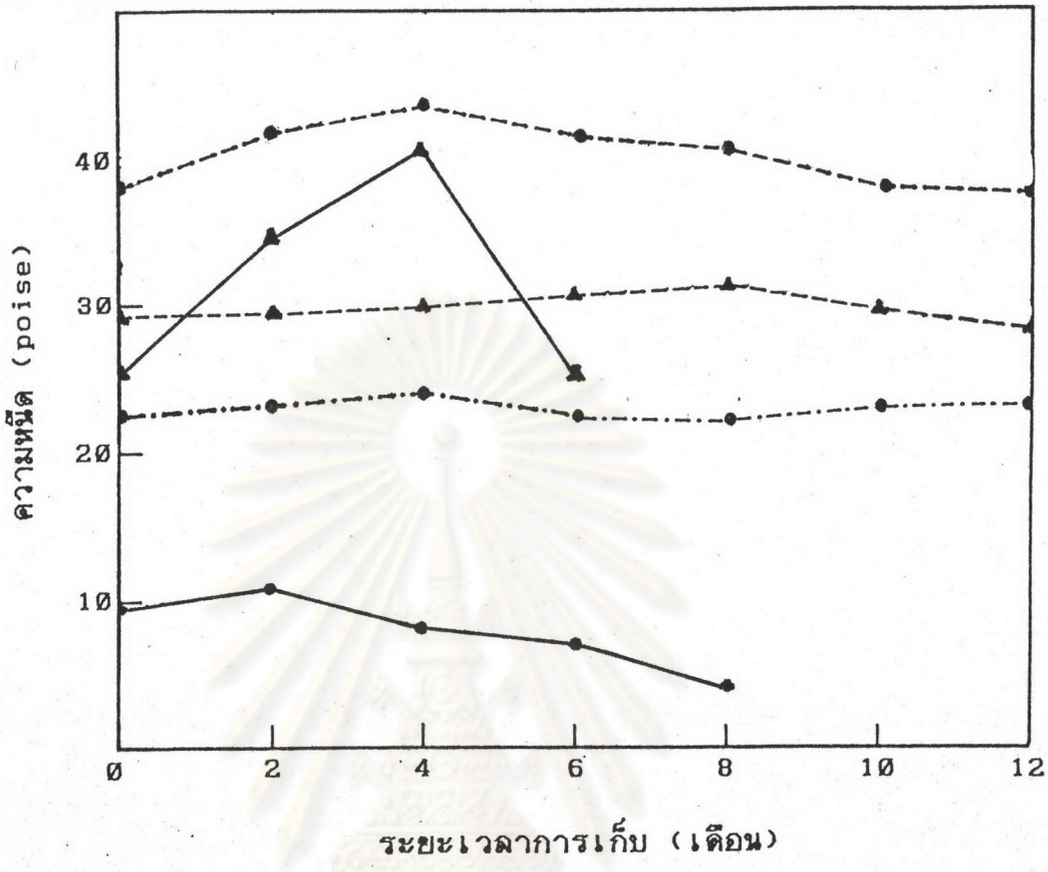
ตัวอย่างแป้ง		ตำแหน่งที่ Temp. เปลี่ยนแปลงช้าที่สุด	อุณหภูมิ (°C)		เวลา (นาที)		ค่า F_o (NS)
D.S.	เวลา		เริ่มต้น	ฆ่าเชื้อ	heating	cooling	
0.047	2	1/2	51.8	121.2	47.5[a]	40	6.195
	3	1/3	51.4	121.2	30.5[b]	40	6.104
0.075	2	1/2	51.5	121.3	40.5[a]	40	6.341
แป้งมันสำปะหลัง		1/3	50.0	121.0	26.0[b]	40	6.258
แป้งข้าวโพด		1/2	51.8	121.5	42.0[a]	40	6.294

หมายเหตุ ตำแหน่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแต่ละตัวอย่าง ศึกษาที่ระดับ 1/2 และ 1/3 ของความสูงกระป๋อง

a และ b ตัวอย่างที่มีอักษรต่างกันจะใช้เวลาให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95)

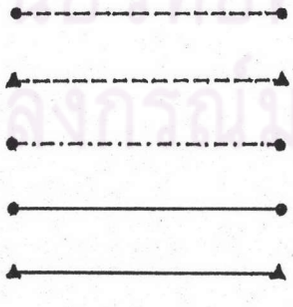
(NS) ค่า F_o ในการฆ่าเชื้อของแต่ละตัวอย่างจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.17 ความหนืดของ simulated canned food ที่ใช้แป้งต่างๆ เป็นสารให้ความข้นหนืด หลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลาต่างๆกัน วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แป้งที่มี D.S. 0.047 ดัดแปรนาน 2 ชม.

แป้งที่มี D.S. 0.047 ดัดแปรนาน 3 ชม.

แป้งที่มี D.S. 0.075 ดัดแปรนาน 2 ชม.

แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ

แป้งข้าวโพดธรรมชาติ

เป็นผลให้ความหนืดลดลงมากและองค์ประกอบมีอะไมโลสน้อยจึงเกิดการคืนตัวของแป้งช้า ทำให้ความหนืดของตัวอย่างต่ำ ส่วนแป้งข้าวโพดแม้ว่าในขณะให้ความร้อนสูงเพื่อฆ่าเชื้อจะมีเม็ดแป้งบางส่วนแตกออกซึ่งอาจทำให้ความหนืดลดลงบ้าง แต่โมเลกุลของแป้งข้าวโพดเกิดการคืนตัวเร็วและมาก ความหนืดของตัวอย่างจึงยังมีค่าสูง สำหรับแป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตซึ่งมีพันธะโควาเลนต์ของฟอสเฟตเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลทำให้โครงสร้างแข็งแรง ทนต่อความร้อนได้ดี เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเม็ดแป้งสามารถดูดน้ำเพิ่มขึ้น ความหนืดของแป้งจึงสูงขึ้น

หลังจากการเก็บตัวอย่าง simulated canned food ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลาต่างๆ ความหนืดของตัวอย่างที่ใช้แป้งมันสำปะหลังธรรมชาติจะลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บมากขึ้น (รูปที่ 4.17) ตัวอย่างที่ใช้แป้งข้าวโพดธรรมชาติในระยะแรกของการเก็บความหนืดเพิ่มขึ้นแต่ก็จะลดลงหลังการเก็บเป็นเวลานานกว่า 4 เดือน ซึ่งตัวอย่างที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดธรรมชาติจะเริ่มสังเกตได้ว่าเกิดการแยกของน้ำออกมาบ้างหลังจากเก็บเป็นเวลานาน 6 เดือน แต่น้ำจะแยกออกมามากจนเกิดตะกอนของแป้งเมื่อเวลาการเก็บเพิ่มเป็น 10 และ 8 เดือน ตามลำดับ จึงไม่สามารถวัดความหนืดของตัวอย่างได้ต่อไป ลักษณะดังกล่าวนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมทางกายภาพ สำหรับตัวอย่างที่ใช้แป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตแม้ว่าหลังการผลิตมีลักษณะปรากฏที่ขุ่นเล็กน้อย แต่ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ปี ตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดและลักษณะปรากฏน้อยมาก ดังนั้นการใช้แป้งไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตเป็นสารให้ความข้นหนืดแก่ตัวอย่างอาหารประเภท simulated canned food จะทำให้มีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษามากกว่าตัวอย่างที่ใช้แป้งมันสำปะหลังหรือแป้งข้าวโพดธรรมชาติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย