บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 สมบัติของแป้งมันสำปะหลัง

ในงานวิจัยนี้แป้งที่ใช้คือแป้งมันสำปะหลังตราปลามังกร ได้ศึกษาสมบัติของแป้งดังนี้คือ ร้อยละการละลาย กำลังการพองตัว ความหนืด ช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน

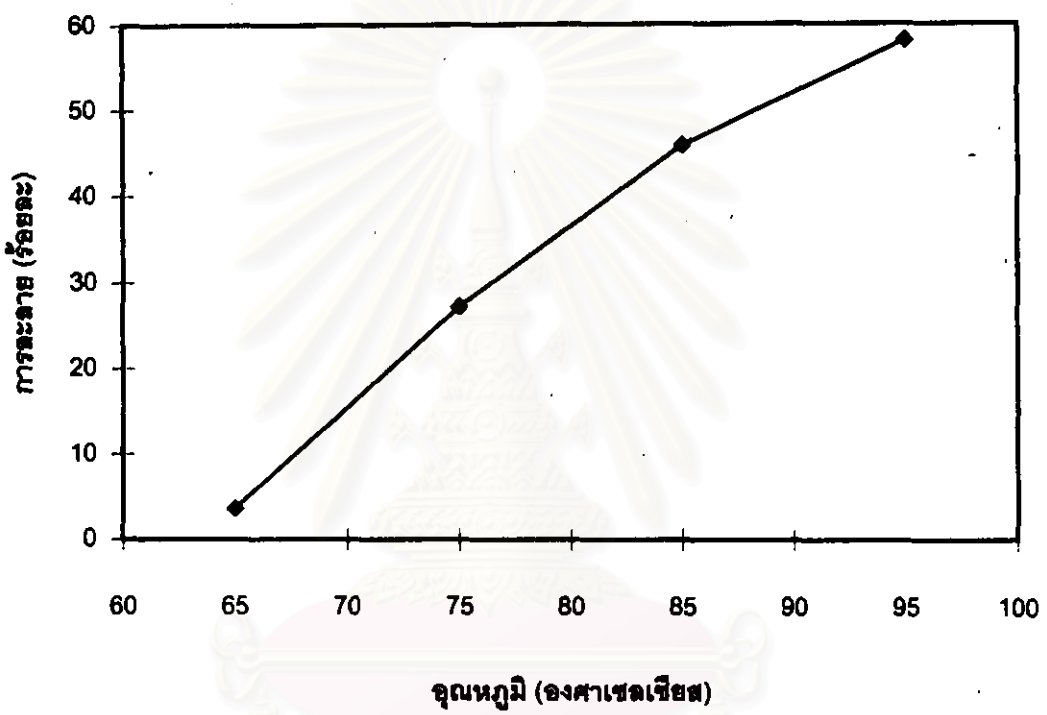
4.1.1 การละลายของแป้งมันสำปะหลัง

นำแป้งมันสำปะหลังมาตรวจสอบการละลายที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตามวิธีในข้อ 3.2.2 โดยเทส่วนที่เป็นน้ำใสหลังการเซนตริฟิวจ์ ลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำไประเหยในเตาอบอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อย่างน้อยเป็นเวลา 6 ชั่วโมง หรือจนมีน้ำหนักคงที่ ชั่งหาน้ำหนักแป้งที่ละลาย และคำนวณการละลาย(ร้อยละ) จากสูตรที่ 3.2 ตัวอย่างการคำนวณเช่นที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสนั้นน้ำหนักของแป้งที่ละลายมีค่า 0.1621 กรัม และน้ำหนักตัวอย่างแป้งมีค่า 1.0 กรัม ดังนั้นสามารถคำนวณการละลาย(ร้อยละ)ได้ดังนี้คือ

$$\text{การละลาย(ร้อยละ)} = \frac{0.1621 \times 100}{1.0} = 16.21$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่อุณหภูมิ 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส ก็คำนวณโดยวิธีนี้เช่นเดียวกัน ดังนั้นได้การละลายที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส เท่ากับ 16.21, 24.05, 36.78 และ 46.982 ตามลำดับ นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิ และการละลาย(ร้อยละ) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การละลายของแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิต่างๆ

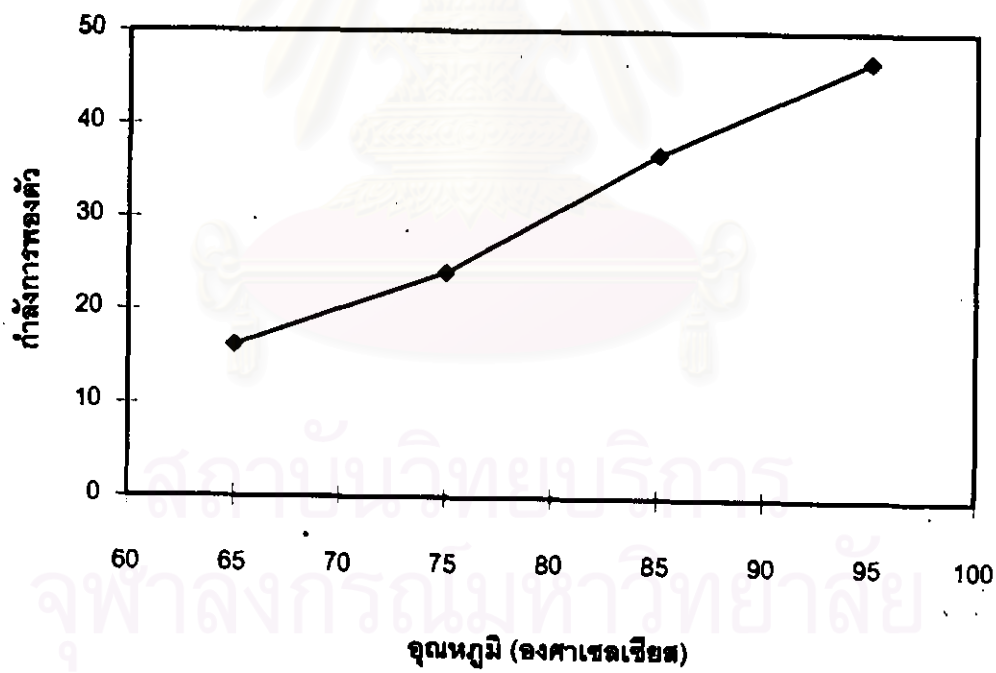
4.1.2 กำลังการพองตัวของแป้งมันสำปะหลัง

นำแป้งมันสำปะหลังมาตรวจสอบกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียสโดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตามวิธีในข้อ 3.2.4 โดยชั่งน้ำหนักแป้งที่พองตัวหลังจากที่

นำไปเซนตริฟิวจ์แล้ว มาคำนวณหากำลังการพองตัว จากสูตรที่ 3.3 ตัวอย่างการคำนวณเช่นที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสนั้น น้ำหนักแป้งที่พองตัวมีค่า 3.0415 กรัม น้ำหนักของตัวอย่างแป้งมีค่า 1.0 กรัม ร้อยละการละลายมีค่า 16.21 ดังนั้นสามารถคำนวณกำลังการพองตัวได้ดังนี้คือ

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{3.0415 \times 100}{1.0(100-16.21)} = 3.63$$

ที่อุณหภูมิ 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียสก็คำนวณโดยวิธีนี้เช่นเดียวกัน ดังนั้นได้กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 3.63, 27.22, 45.87 และ 58.14 ตามลำดับ นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิ และกำลังการพองตัว ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กำลังการพองตัวของแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิต่างๆ

4.1.3 ความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง

นำแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 ไปวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer ที่อุณหภูมิ 25, 45, 65 และ 85 องศาเซลเซียส ใช้เข็มหมายเลข 5 ความเร็ว 50 รอบต่อนาที หมุนเป็นเวลา 5 นาทีแล้วจึงอ่านค่าความหนืด ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ได้ค่าความหนืดที่อุณหภูมิต่างๆดังตารางที่ 4.1 ซึ่งที่อุณหภูมิ 25, 45, 65 และ 85 องศาเซลเซียสมีค่าความหนืด 32.56, 56.03, 64.23 และ 57.36 poise

ตารางที่ 4.1 ค่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ($^{\circ}$C)	ความหนืด(poise)
25	32.56
45	56.03
65	64.23
85	57.36

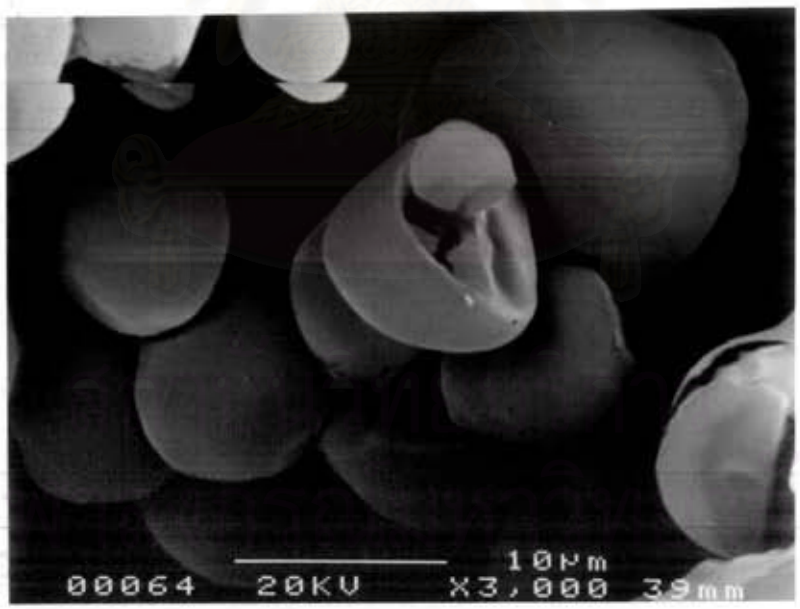
4.1.4 ช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชันของแป้งมันสำปะหลัง

นำแป้งมันสำปะหลังมาตรวจสอบช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน โดยใช้วิธีสังเกตการติดสีคองโก-เรด ตามวิธีดังข้อ 3.2.5 แล้วทำการเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิต่างๆ หยดสารละลายแป้งลงบนแผ่นสไลด์ หยดสารละลายคองโก-เรดเพื่อย้อมสี แล้วนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ นับจำนวนเม็ดแป้งทั้งหมด และเม็ดแป้งที่ติดสีแล้วเปรียบเทียบปริมาณแป้งที่ติดสีต่อปริมาณเม็ดแป้งทั้งหมด ร้อยละ 1 เป็นจุดเริ่มต้น ร้อยละ 50 เป็นจุดกลาง และร้อยละ 99 เป็นจุดสุดท้ายของช่วงอุณหภูมิ

เจลาติไนเซชัน เช่นที่อุณหภูมิ 67 องศาเซลเซียส มีปริมาณเม็ดแป้งทั้งที่ติดสี และไม่ติดสีจำนวน 100 เม็ด จะมีจำนวณเม็ดแป้งที่ติดสีประมาณ 99 เม็ด เมื่อเทียบจำนวนเม็ดแป้งที่ติดสีกับจำนวนเม็ดแป้งทั้งหมด พบว่าจะมีค่าร้อยละ 99 ของเม็ดแป้งทั้งหมด จากการทดลองพบว่าช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชันของแป้งคือ 60-67 องศาเซลเซียส

4.1.5 ลักษณะของเม็ดแป้งมันสำปะหลัง

นำแป้งมันสำปะหลังมาศึกษาลักษณะของเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสะแกน โดยติดตัวอย่างแป้งบนฐาณรองตัวอย่างด้วยเทปสองหน้า จากนั้นนำแป้งไปฉาบทอง และส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ดังรูปที่ 4.3 จากรูปที่ 4.3 อนุภาคของแป้งมันสำปะหลังมีรูปร่างต่างๆกันโดยมากเป็นรูปไข่ ตัดปลายข้างหนึ่ง ผิวบริเวณที่ตัดเว้าเข้าข้างใน ส่วนใหญ่ปรากฏรอยปุ่ม และวงแหวนบนเม็ดแป้งแต่บริเวณส่วนตัดจะเรียบ



รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสะแกนกำลังขยาย 3000 เท่าของเม็ดแป้งมันสำปะหลัง

4.2 การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่

นำแป้งมันสำปะหลังตราปลามังกรมาดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ 2 ชนิดคือ

4.2.1 การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล

เราสามารถดัดแปรแป้งชนิดนี้โดยใช้ตัวกระทำแทนที่ได้แก่ 2-dimethylaminoethyl chloride, 2-diisopropylaminoethyl chloride, 2-diethylaminoethyl bromide แต่สารเหล่านี้มีประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาต่ำ ในงานวิจัยนี้จึงใช้ 2 -(diethylamino)ethyl chloride hydrochloride (DEC.HCl) การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่นั้นต้องทำในภาวะที่เหมาะสมจึงจะสามารถเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ได้ดี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปรคือ

4.2.1.1 ผลของอุณหภูมิ และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่

ทำการดัดแปรแป้งตามวิธีในข้อ 3.3.1 ด้วย DEC.HCl ร้อยละ 10.0 ที่แป้งความเข้มข้นร้อยละ 35 เติมโซเดียมซัลเฟต กวนผสมเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆกัน เทสารผสมที่ได้ลงในเอทานอล กรอง และล้างด้วยเอทานอล จากนั้นนำมา dialyze ในน้ำกลั่น นาน 48 ชั่วโมง และทำให้แห้งโดยวิธี lyophplization การทดลองนี้จะแปรอุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส แปรปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3.0, 3.5, 4.0 และ 4.5 โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล จำนวน 3 ซ้ำ นำแป้งมันสำปะหลังมาผ่านกระบวนการเหมือนการดัดแปรแป้งที่กล่าวมาแต่ไม่มีการเติม DEC.HCl เป็นตัวควบคุม จากนั้นนำตัวอย่างแป้งที่ได้ทุกตัวอย่าง รวมทั้งตัวควบคุมไปหาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธี Kjeldahl ทำแบลงค์เป็นตัวเปรียบเทียบด้วย ซึ่งแบลงค์ที่ทำนี้จะทำเหมือนวิธี Kjeldahl ทุกอย่างยกเว้นการเติมแป้ง หลังจาก

การย่อยและกลั่นแล้วนำสารละลายที่กลั่นได้ไปไตเตรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้นำไปคำนวณหาปริมาณโตรเจน จากสูตรที่ 3.1 จากนั้นนำปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างแป้งทุกตัวอย่างที่ได้ไปลบปริมาณไนโตรเจนในตัวควบคุม เช่นที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3.0 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์เท่ากับ 8.3 มิลลิลิตร ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่ได้จากการไตเตรตกับแบลงค์ 5.0 มิลลิลิตร น้ำหนักของตัวอย่างแป้งที่ใช้เท่ากับ 0.50 กรัม นำค่าเหล่านี้ไปแทนค่าในสูตรที่ 3.1 ได้ดังนี้

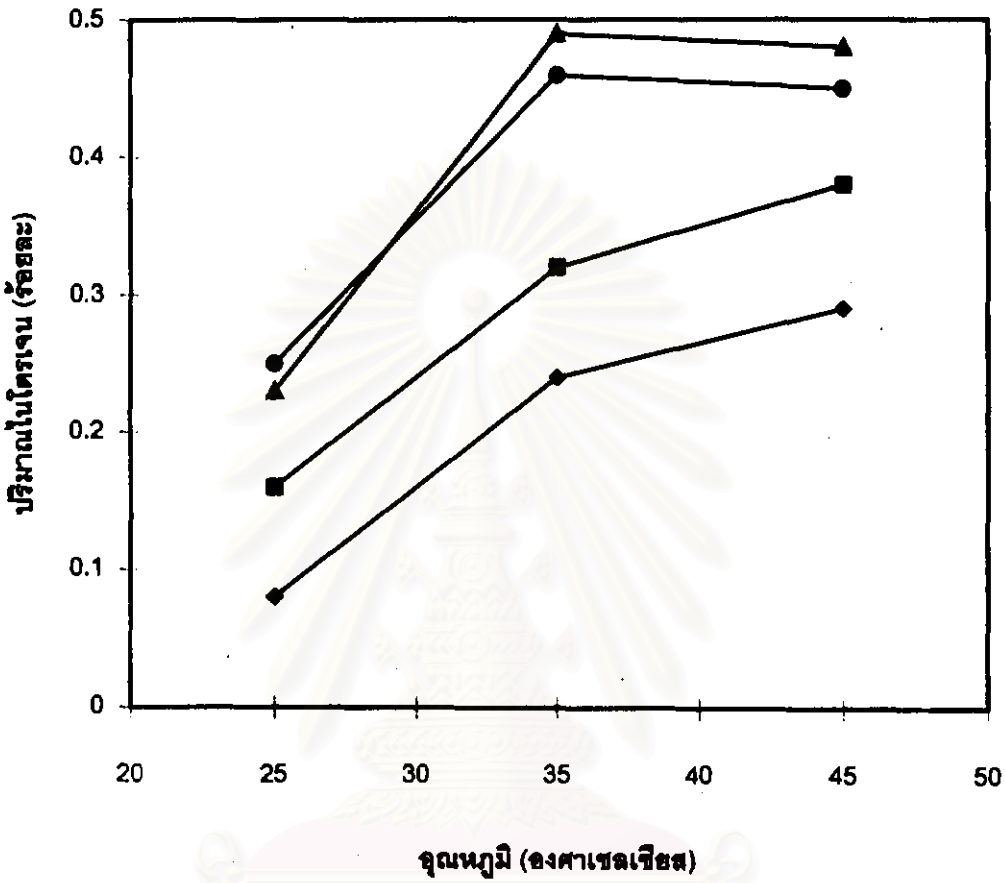
$$\text{ปริมาณไนโตรเจน(ร้อยละ)} = \frac{(8.3 - 5.0) \times 0.01 \times 1.4}{0.50} = 0.09$$

นำปริมาณไนโตรเจนที่ได้ไปลบปริมาณไนโตรเจนในตัวควบคุมซึ่งมีค่า 0.01 ได้ 0.08 ตัวอย่างแป้งอื่นๆก็คำนวณเช่นเดียวกัน นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิ และปริมาณไนโตรเจนที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆกันดังรูปที่ 4.4 ซึ่งพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิ และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในกระบวนการดัดแปรจาก 25 เป็น 35 และ 45 องศาเซลเซียสและโซเดียมไฮดรอกไซด์จากร้อยละ 3.0 เป็น 3.5, 4.0 และ 4.5 ทำให้ตัวอย่างแป้งดัดแปรที่ได้มีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น แสดงว่าการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังด้วยปฏิกิริยาการแทนที่โดยใช้ DEC.HCl สามารถเกิดได้มากขึ้น และเมื่อนำค่าไนโตรเจนที่ได้ไปคำนวณระดับการแทนที่ พบว่าเมื่อปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ระดับการแทนที่ก็เพิ่มขึ้นนั่นคือ เกิดปฏิกิริยาการแทนที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง(ตารางที่ 4.2) ตัวอย่างการคำนวณเช่น ที่ภาวะที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3.0 จะมีค่าระดับการแทนที่คือ

$$\text{ระดับการแทนที่ (DS)} = \frac{162\,(0.08)}{1400-117(0.08)} = 0.0093$$

ในตัวอย่างอื่นๆก็คำนวณเช่นเดียวกัน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับการแทนที่ในตัวอย่างแป้งดัดแปรที่ได้พบว่า อุณหภูมิ,ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และผลร่วมระหว่าง อุณหภูมิกับปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการดัดแปรแป้ง มีผลให้ระดับการแทนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ก ตารางที่ 1) จากตารางที่4.2 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 25 เป็น 35 และ 45องศาเซลเซียส ในภาวะที่มีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3.0 จะทำให้ระดับการแทนที่เพิ่มจาก 0.0093 เป็น 0.0283 และ0.0344 ตามลำดับ, ภาวะที่มีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 3.5 จะเพิ่มขึ้นจาก 0.0188 เป็น 0.0380 และ 0.0454 ตามลำดับ , ภาวะที่มีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4.0 ระดับการแทนที่จะเพิ่มขึ้นจาก 0.0271 เป็น 0.0591 แต่ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีระดับการแทนที่ 0.0578, ภาวะที่มีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4.5 ระดับการแทนที่จะเพิ่มขึ้นจาก 0.0295 เป็น 0.0553 แต่ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสมีระดับการแทนที่ 0.0541 แสดงว่าผลร่วมระหว่าง อุณหภูมิและปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีในลักษณะที่ต่างกัน และพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ถึงจุดหนึ่งระดับการแทนที่จะไม่เพิ่มขึ้น ดังเช่นกรณีที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4.5 ระดับการแทนที่จะน้อยกว่าที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ4.0 และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากกว่า 35 องศาเซลเซียส พบว่าระดับการแทนที่ที่ได้ลดลง ดังนั้นการศึกษาในขั้นต่อไปจะทำการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล โดยใช้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4.0



รูปที่ 4.4 ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างแป้งที่ได้จากการดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิต่างๆกัน

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 3.0
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 3.5
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 4.0
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 4.5

ตารางที่ 4.2 ปริมาณไนโตรเจน และระดับการแทนที่ (degree of substitution)ในตัวอย่างแป้งดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่อุณหภูมิ และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆกัน

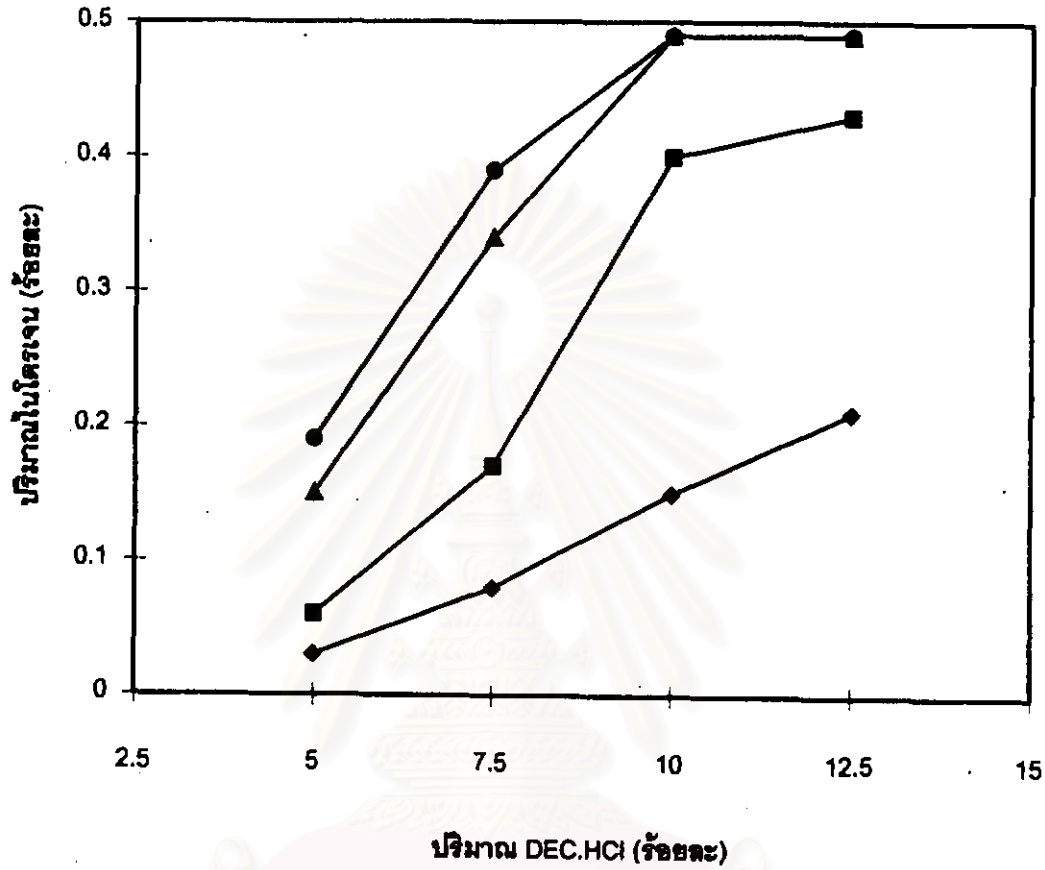
ตัวอย่างแป้งดัดแปร		ปริมาณไนโตรเจน(ร้อยละ)	ระดับการแทนที่ (DS)
อุณหภูมิ(°C)	ปริมาณ NaOH (ร้อยละ)		
25	3.0	0.08	0.0093
	3.5	0.16	0.0188
	4.0	0.23	0.0271
	4.5	0.25	0.0295
35	3.0	0.24	0.0283
	3.5	0.32	0.0380
	4.0	0.49	0.0591
	4.5	0.46	0.553
45	3.0	0.29	0.0344
	3.5	0.38	0.0454
	4.0	0.48	0.0578
	4.5	0.45	0.0541

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.1.2 ผลของปริมาณ DEC.HCl และเวลาต่อการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่

นำภาวะที่คัดเลือกได้ในข้อ 4.2.1.1 คืออุณหภูมิ35 องศาเซลเซียส และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4.0 มาทำการดัดแปรแป้งเช่นเดียวกับข้อ 4.2.1.1 แต่แปรปริมาณ DEC.HCl ร้อยละ 5.0,7.5,10.0 และ 12.5 แปรเวลา 6,12,18 และ 24 ชั่วโมง โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล จำนวน 3 ซ้ำ นำตัวอย่างแป้งดัดแปรมาตรวจสอบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี Kjeldahl จากนั้นนำปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างแป้งที่ลบปริมาณไนโตรเจนของตัวควบคุม การคำนวณเหมือนข้อ 4.2.1.1 แล้วนำไปเขียนกราฟระหว่าง เวลา และปริมาณไนโตรเจนที่ปริมาณ DEC.HCl ต่างๆกัน ดังรูปที่ 4.5 เมื่อนำค่าไนโตรเจนที่ได้ไปคำนวณระดับการแทนที่เช่นเดียวกับข้อ 4.2.1 จะได้ค่าระดับการแทนที่ดังตารางที่ 4.3 ปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ระดับการแทนที่สูงขึ้นด้วย

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับการแทนที่ในตัวอย่างแป้งที่ได้(ภาคผนวก ก ตารางที่ 2) พบว่าปริมาณ DEC.HCl, เวลา และผลร่วมระหว่างปริมาณ DEC.HCl มีผลทำให้ระดับการแทนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) จากตารางที่ 4.3 พบว่าในภาวะที่ใช้เวลาในการดัดแปร 6 ชั่วโมง เมื่อเพิ่มปริมาณ DEC.HCl จากร้อยละ 5.0 เป็น 7.5,10.0 และ 12.5 จะทำให้ระดับการแทนที่เพิ่มจาก 0.0035 เป็น 0.0093, 0.0176 และ 0.0247 ตามลำดับ, ภาวะที่ใช้เวลาในการดัดแปร 12 ชั่วโมงจะทำให้ระดับการแทนที่เพิ่มจาก 0.0070 เป็น 0.0199, 0.0479 และ 0.0516 ตามลำดับ, ภาวะที่ใช้เวลาในการดัดแปร 18 ชั่วโมงจะทำให้ระดับการแทนที่เพิ่มจาก 0.0176 เป็น 0.0405 และ 0.0591 แต่ที่ปริมาณ DEC.HCl ร้อยละ 12.5 ระดับการแทนที่ไม่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับภาวะที่ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ระดับการแทนที่เพิ่มจาก 0.0223 เป็น 0.0466 และ 0.0579 ตามลำดับ แต่ที่ปริมาณ DEC.HCl ร้อยละ 12.5 ระดับการแทนที่ที่ได้ไม่เพิ่มขึ้น แสดงว่า ผลร่วมระหว่างปริมาณ DEC.HCl กับ เวลาที่ใช้ในการดัดแปรทำให้เกิด



<u>รูปที่ 4.5</u> ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างแป้งที่ได้จากการดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ปริมาณ 2-(diethylamino)ethyl chloride hydrochloride และเวลาต่างๆกัน

- เวลา 6 ชั่วโมง
- เวลา 12 ชั่วโมง
- เวลา 18 ชั่วโมง
- เวลา 24 ชั่วโมง

ปฏิกิริยาได้ดีในภาวะที่ต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าที่การใช้ DEC.HCl ร้อยละ 10.0 และ 12.5 นั้น การเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยา จาก 6 เป็น 12 และ 18 ชั่วโมง จะทำให้ระดับการแทนที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้เวลามากกว่า 18 ชั่วโมง พบว่าระดับการแทนที่ลดลง ระดับการแทนที่สูงที่สุดคือ 0.0591 ที่ปริมาณ DEC.HCl ร้อยละ12.5 เวลา 18 ชั่วโมง และปริมาณ DEC.HCl ร้อยละ 10.0 และเวลา 18 ชั่วโมง

4.2.1.3 สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล

หลังจากดัดแปรแป้งมันสำปะหลังชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ปริมาณ DEC.HCl และเวลาต่างๆกันแล้วนำแป้งดัดแปรที่ได้มาตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ดังนี้

4.2.1.3.1 การละลายของแป้งดัดแปร

นำตัวอย่างแป้งดัดแปรจากข้อ 4.2.1.2 มาตรวจสอบการละลาย ที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส ตามวิธีในข้อ 3.2.2 โดยเทส่วนที่เป็นน้ำใสหลังการเซนตริฟิวจ์ลงในถ้วยทนไฟไประเหยในเตาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง หรือจนมีน้ำหนักคงที่ นำค่าที่ได้ไปคำนวณการละลาย(ร้อยละ)จากสูตรที่ 3.2 วิธีการคำนวณเหมือนข้อ 4.1.1 แล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิและการละลาย(ร้อยละ) ที่อุณหภูมิและปริมาณ DEC.HCl ต่างๆกันเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง จากการศึกษาการละลายของแป้งดัดแปรพบว่าแป้งดัดแปรที่ใช้ DEC.HCl และเวลาในการดัดแปรต่างๆกัน จะมีการละลายเพิ่มตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นจาก 65 ถึง 95 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.6-4.9)

จากการศึกษาความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณ DEC.HCl, เวลา และผลร่วมระหว่างปริมาณ DEC.HCl กับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ มีผลทำให้ตัวอย่างแป้งดัดแปรมีการละลายที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อ

ตารางที่ 4.3 ปริมาณไนโตรเจน และระดับการแทนที่ (degree of substitution)ในตัวอย่างแป้งดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ปริมาณ 2-(diethylaminoethyl)chloride hydrochloride (DEC.HCl) และเวลาต่างๆกัน

ตัวอย่างแป้งดัดแปร		ปริมาณไนโตรเจน(ร้อยละ)	ระดับการแทนที่ (DS)
ปริมาณDEC.HCl (ร้อยละ)	เวลา(ชั่วโมง)		
5	6	0.03	0.0035
	12	0.06	0.0070
	18	0.15	0.0176
	24	0.19	0.0223
7.5	6	0.08	0.0093
	12	0.17	0.0199
	18	0.34	0.0405
	24	0.39	0.0466
10	6	0.15	0.0176
	12	0.40	0.0479
	18	0.49	0.0591
	24	0.48	0.0579
12.5	6	0.21	0.0247
	12	0.43	0.0516
	18	0.49	0.0591
	24	0.48	0.0579

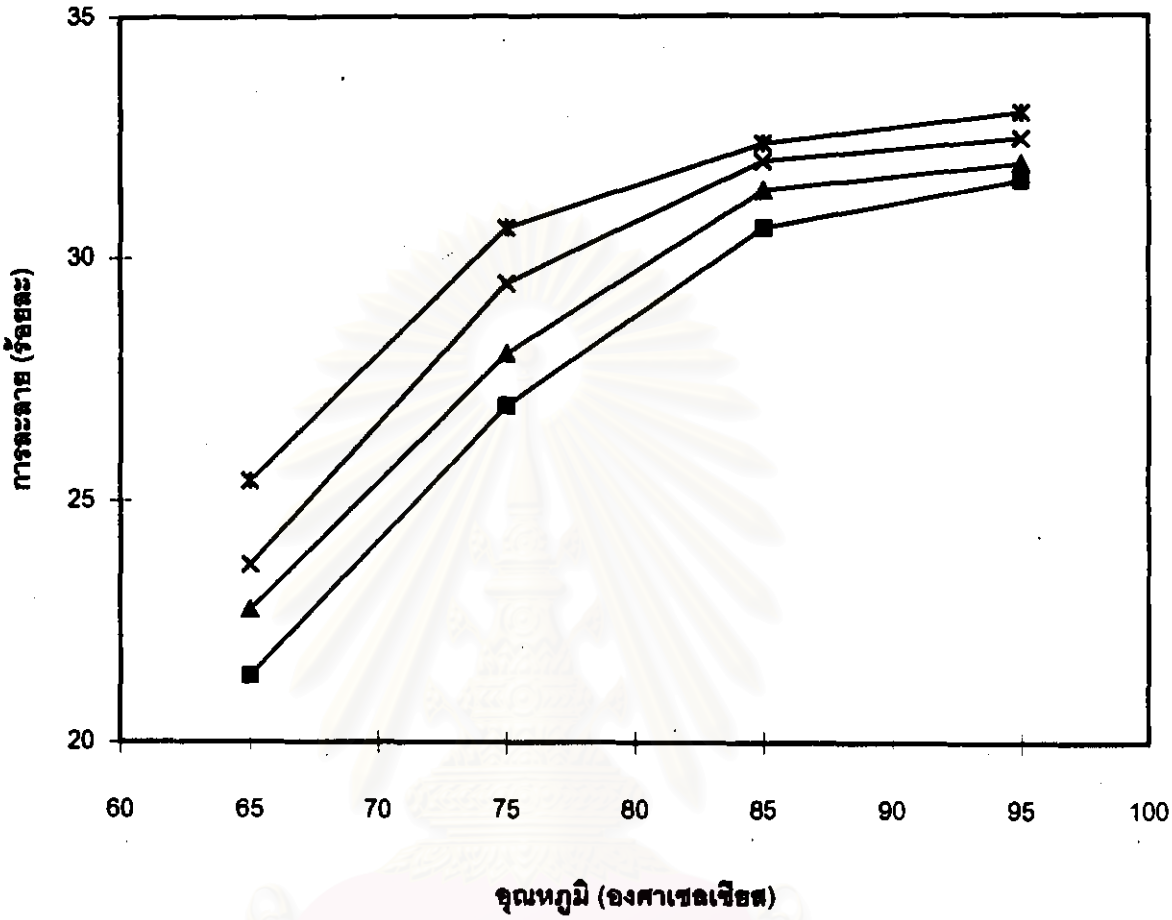
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ก ตารางที่8) เมื่อเปรียบเทียบการละลายของแป้งดัดแปรกับแป้งมันสำปะหลังจะเห็นว่า ที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส การละลายของแป้งดัดแปรชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล มากกว่าแป้งมันสำปะหลัง และตัวอย่างแป้งดัดแปรที่มีระดับการแทนที่สูงจะมีการละลายสูงกว่าแป้งที่มีระดับการแทนที่ต่ำ แต่ที่อุณหภูมิ 85 และ 95 องศาเซลเซียส มีการละลายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ก ตารางที่ 9) และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรจะมีการละลายต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง

4.2.1.3.2 กำลังการพองตัว

นำตัวอย่างแป้งดัดแปรจากข้อ 4.2.1.2 มาตรวจสอบกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียสตามวิธีในข้อ 3.2.3 โดยนำส่วนที่เป็นแป้งเปียกที่เหลือในหลอดเซนตริฟิวจ์มาหาน้ำหนัก นำค่าที่ได้ไปคำนวณกำลังการพองตัวดังสมการที่ 3.3 การคำนวณเช่นเดียวกับข้อ 4.1.2 จากรูปที่ 4.10-4.13 แสดงกำลังการพองตัวของแป้งดัดแปรที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส พบว่ากำลังการพองตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณ DEC.HCl, เวลา และผลร่วมระหว่างปริมาณ DEC.HCl กับเวลามีผลทำให้ตัวอย่างแป้งดัดแปรมีกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ก ตารางที่6) แต่กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 85 และ 95 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก ก ตารางที่ 7) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส กำลังการพองตัวของตัวอย่างแป้งดัดแปรมีค่ามากกว่าแป้งมันสำปะหลัง และตัวอย่างแป้งที่มีระดับการแทนที่สูงจะมีกำลังการพองตัวมากกว่าตัวอย่างแป้งที่มีระดับการแทนที่ต่ำ แต่ที่อุณหภูมิ 85 และ 95 องศาเซลเซียส กำลังการพองตัวของตัวอย่างแป้งดัดแปรชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล กลับมีค่าน้อยกว่าแป้งมันสำปะหลัง



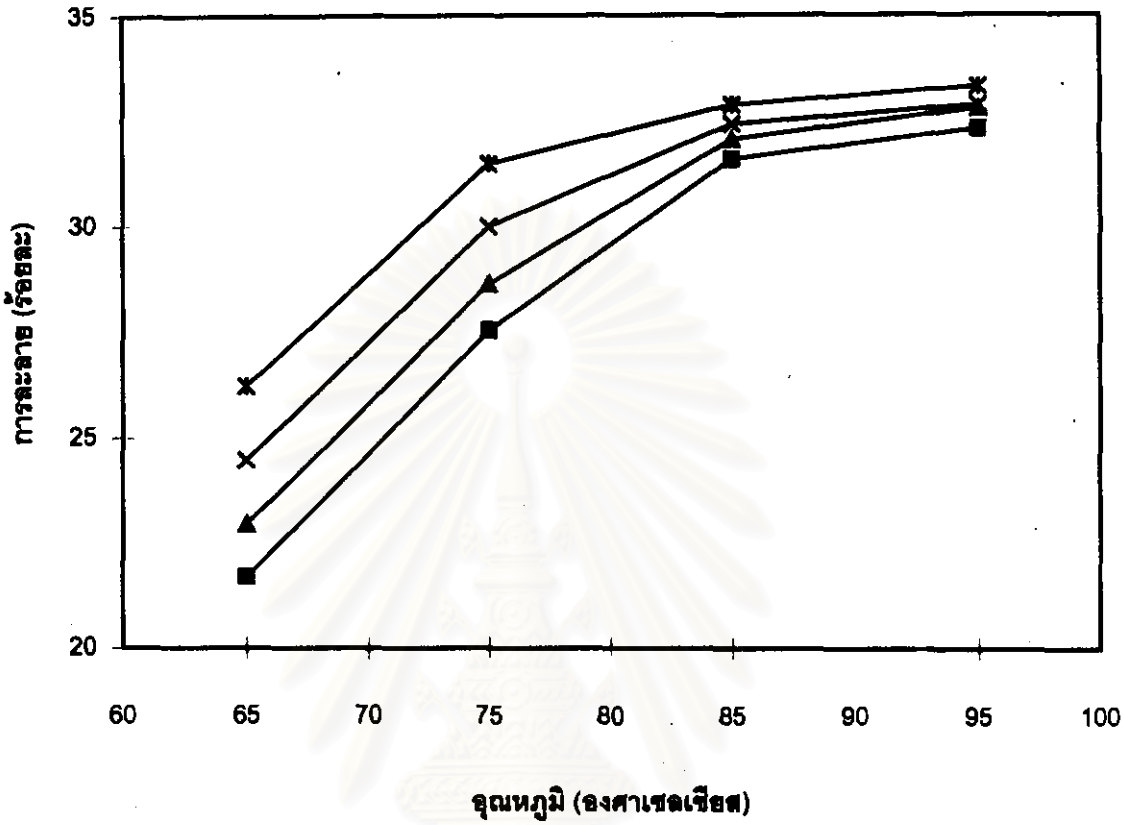
รูปที่ 4.6 การละลายที่อุณหภูมิต่างๆของแป้งดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ปริมาณ 2-(diethylamino)ethyl chloride hydrochloride ร้อยละ 5.0 (โดยน้ำหนักแป้ง.เห้ง)ที่เวลาต่างๆกัน

เวลา 6 ชั่วโมง

เวลา 12 ชั่วโมง

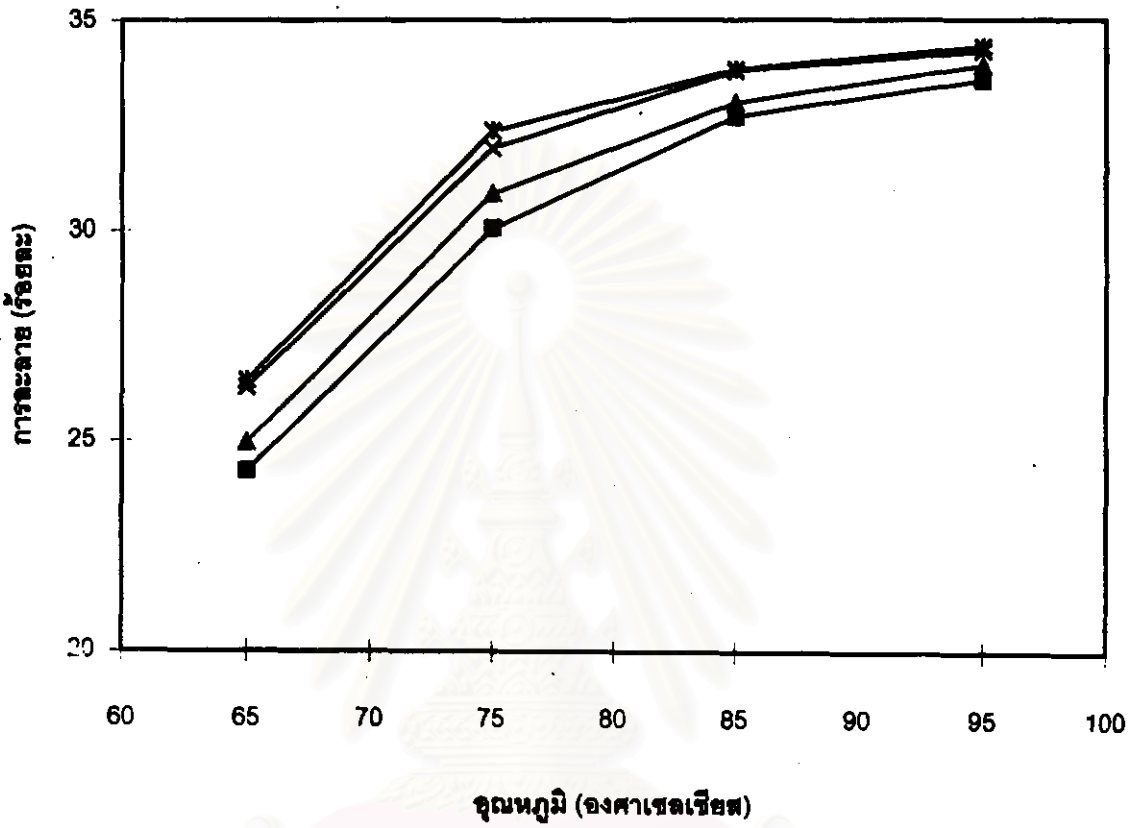
เวลา 18 ชั่วโมง

เวลา 24 ชั่วโมง



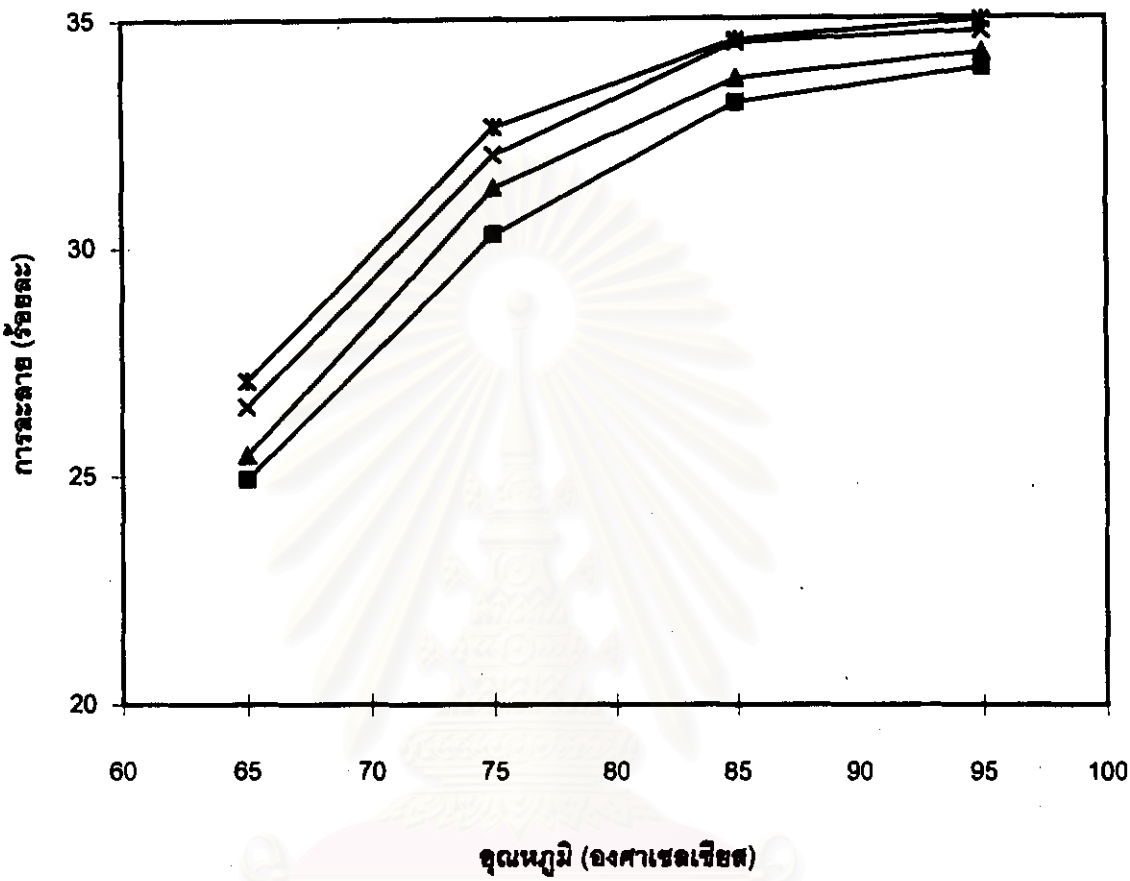
รูปที่4.7 การละลายที่อุณหภูมิต่างๆของแป้งดัดแปรชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ปริมาณ 2-(diethylamino)ethyl chloride hydrochloride ร้อยละ 7.5 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง)ที่เวลาต่างๆกัน

- เวลา 6 ชั่วโมง
- เวลา 12 ชั่วโมง
- เวลา 18 ชั่วโมง
- เวลา 24 ชั่วโมง



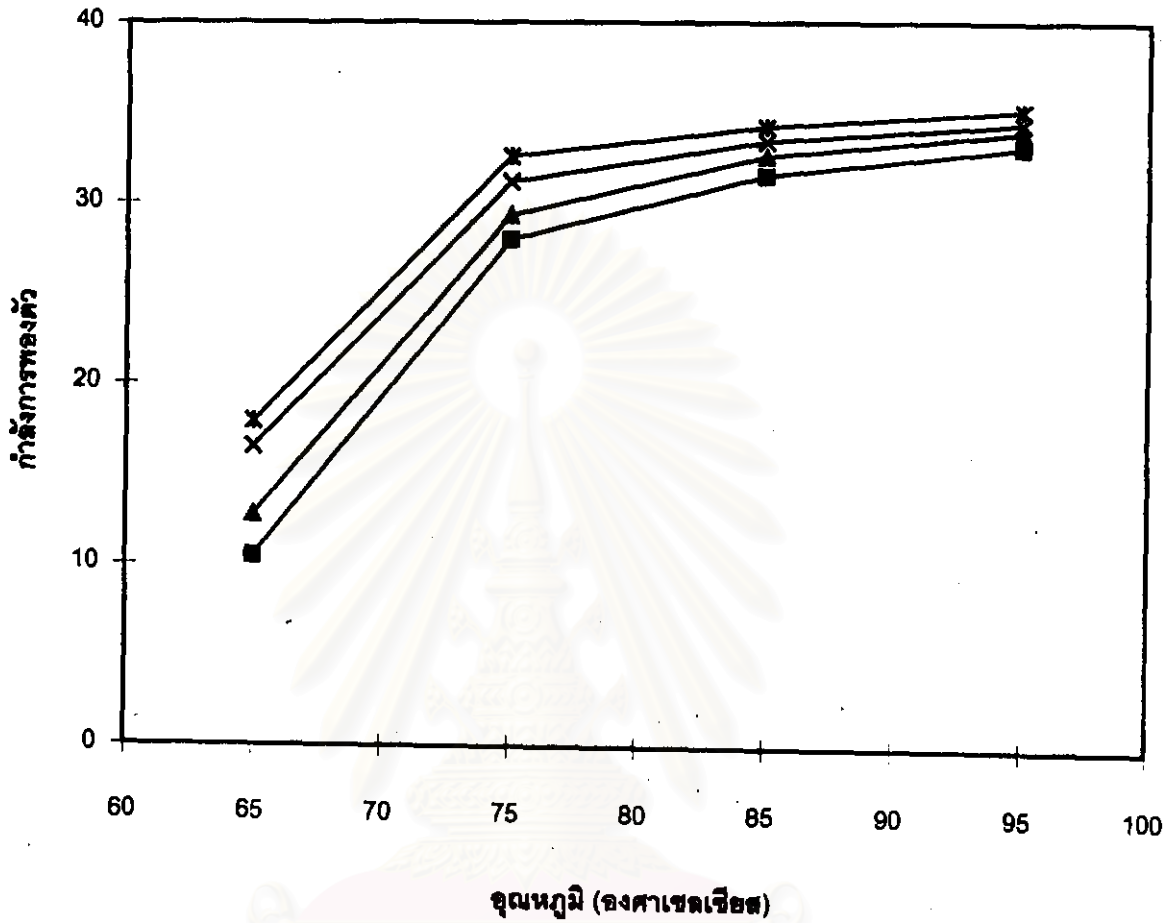
รูปที่ 4.8 การละลายที่อุณหภูมิต่างๆของแป้งดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ปริมาณ 2-(diethylamino)ethyl chloride hydrochloride ร้อยละ 10.0 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง)ที่เวลาต่างๆกัน

- เวลา 6 ชั่วโมง
- เวลา 12 ชั่วโมง
- เวลา 18 ชั่วโมง
- เวลา 24 ชั่วโมง



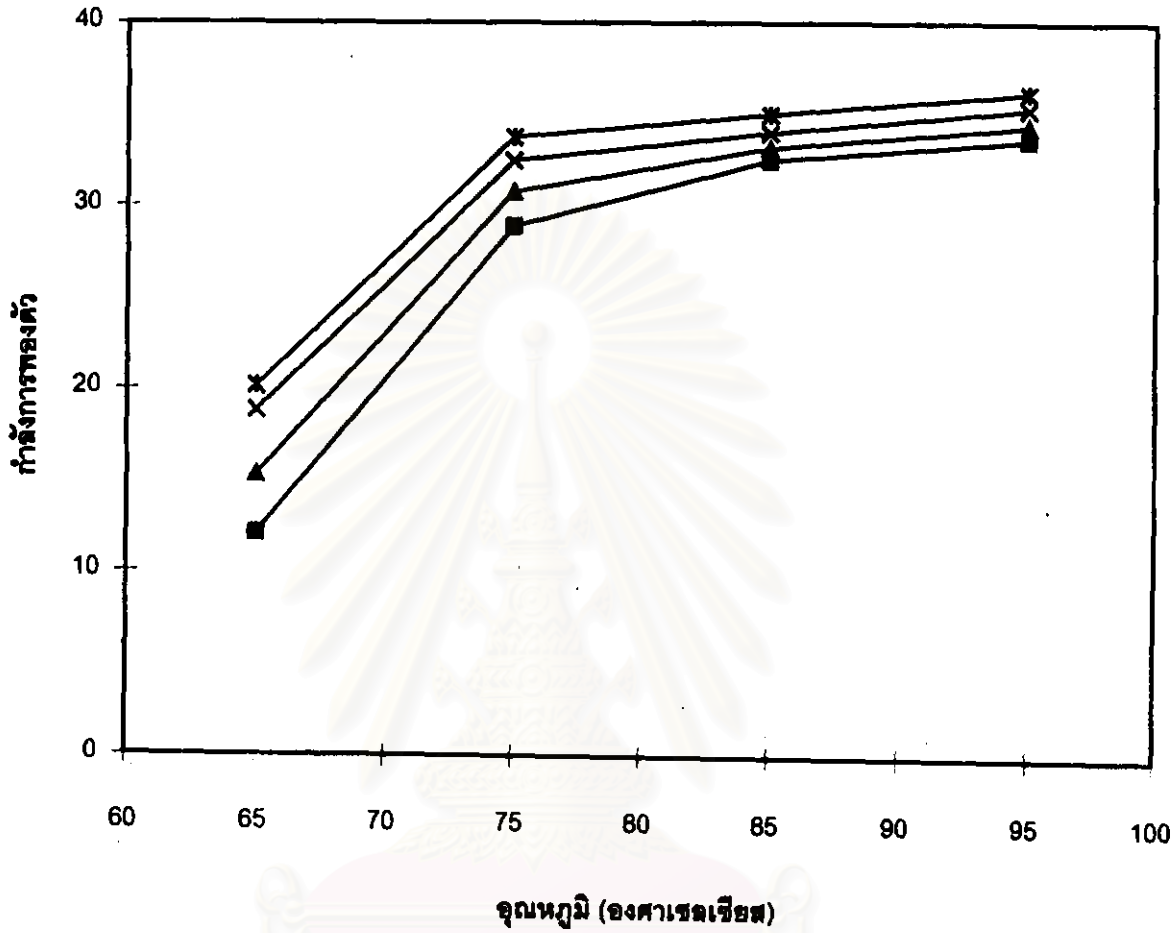
รูปที่ 4.9 การละลายที่อุณหภูมิต่างๆของแป้งดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ปริมาณ 2-(diethylamino)ethyl chloride hydrochloride ร้อยละ 12.5 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง)ที่เวลาต่างๆกัน

- เวลา 6 ชั่วโมง
- เวลา 12 ชั่วโมง
- เวลา 18 ชั่วโมง
- เวลา 24 ชั่วโมง



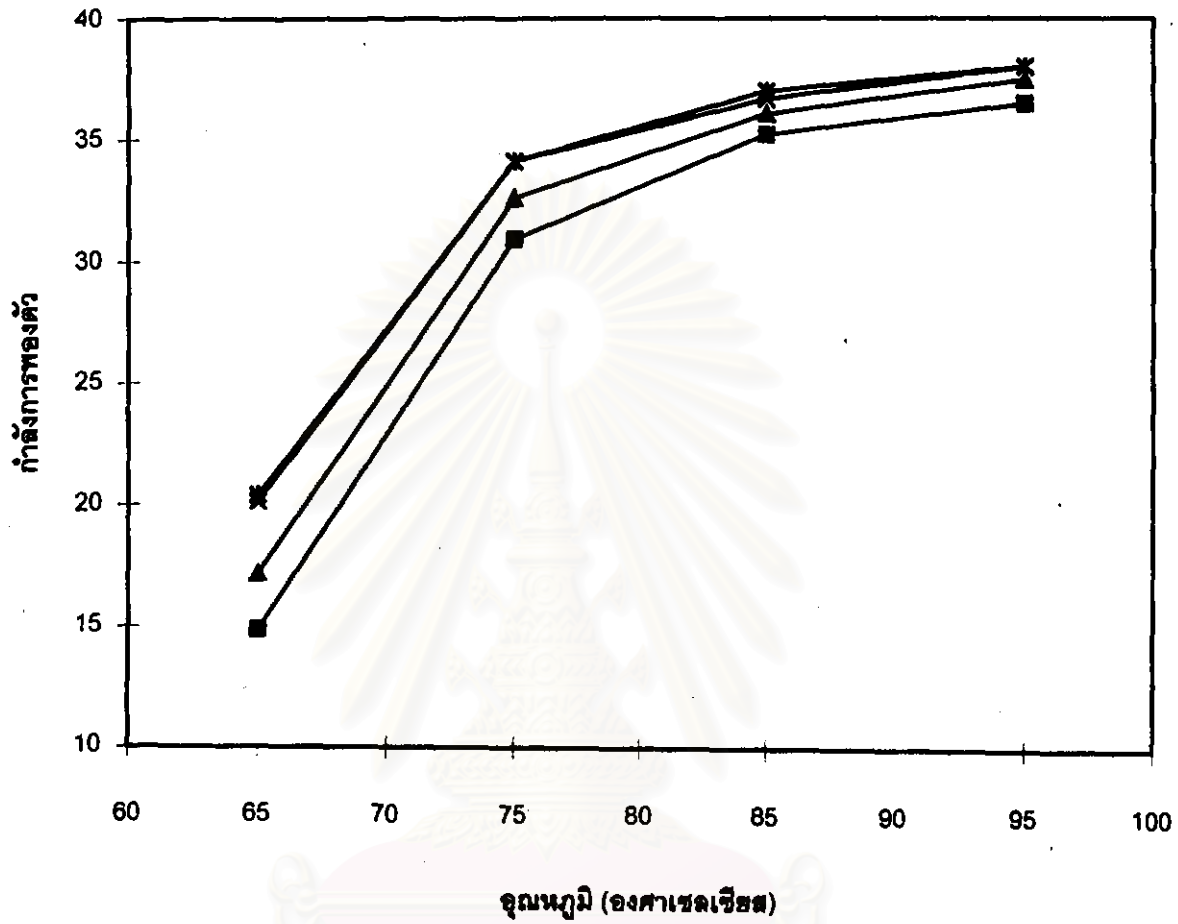
<u>รูปที่ 4.10</u> กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของแป้งดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ปริมาณ 2-(diethylamino)ethyl chloride hydrochloride ร้อยละ 5.0 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง)ที่เวลาต่างๆกัน

- เวลา 6 ชั่วโมง
- เวลา 12 ชั่วโมง
- เวลา 18 ชั่วโมง
- เวลา 24 ชั่วโมง



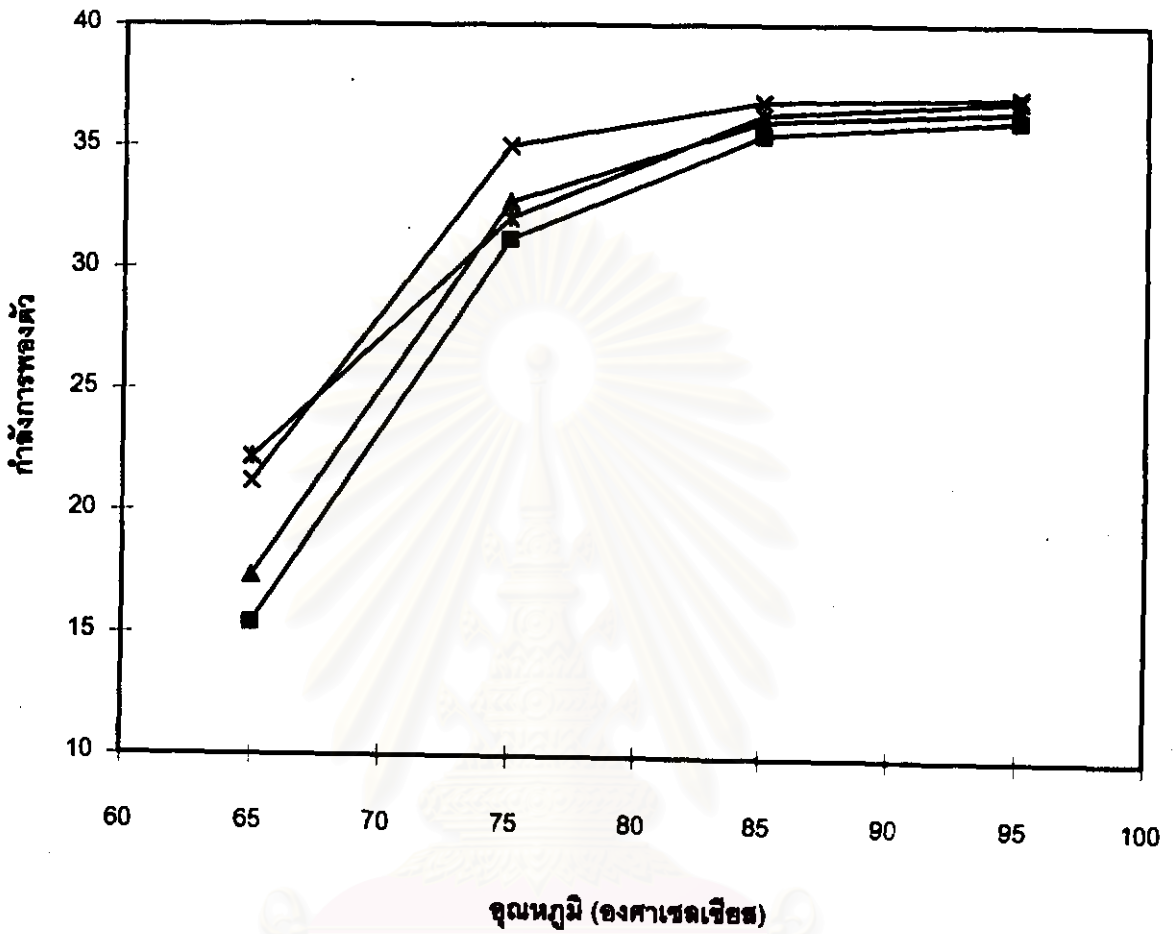
รูปที่ 4.11 กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของแป้งดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ปริมาณ 2-(diethylamino)ethyl chloride hydrochloride ร้อยละ 7.5 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง)ที่เวลาต่างๆกัน

- เวลา 6 ชั่วโมง
- เวลา 12 ชั่วโมง
- เวลา 18 ชั่วโมง
- เวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.12 กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของแป้งดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ปริมาณ 2-(diethylamino)ethyl chloride hydrochloride ร้อยละ 10.0 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง)ที่เวลาต่างๆกัน

- เวลา 6 ชั่วโมง
- เวลา 12 ชั่วโมง
- เวลา 18 ชั่วโมง
- เวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.13 กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของแป้งดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ปริมาณ 2-(diethylamino)ethyl chloride hydrochloride ร้อยละ 12.5 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง)ที่เวลาต่างๆกัน

- เวลา 6 ชั่วโมง
- เวลา 12 ชั่วโมง
- เวลา 18 ชั่วโมง
- เวลา 24 ชั่วโมง

4.2.1.3.3 ความหนืด

นำตัวอย่างแป้งดัดแปรจากข้อ 4.2.1.2 มาตรวจสอบความหนืดที่อุณหภูมิ 25, 45, 65 และ 85 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นแป้งร้อยละ 8 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer โดยใช้เข็มหมายเลข 5 ที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ดังตารางที่ 4.4 พบว่า ความหนืดของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนืดของแป้งดัดแปรที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่ามีความหนืดเฉลี่ยมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง ค่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่อุณหภูมิ 25, 45, 65 และ 85 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดประมาณ 41.33 -43.03, 59.36-60.76, 65.16-65.93 และ 61.86-62.86 poise ตามลำดับ ซึ่งที่อุณหภูมิ 25, 45, 65 และ 85 องศาเซลเซียสนั้นพบว่าปริมาณ DEC.HCl, เวลา และ ผลร่วมระหว่างปริมาณ DEC.HCl กับ เวลา มีผลให้ค่าความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ก ตาราง ที่ 3-4) โดยพบว่าเมื่อค่าระดับการแทนที่เพิ่มขึ้นค่าความหนืดก็มีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่ามากกว่าค่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง

4.2.1.3.4 ช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน

นำตัวอย่างแป้งดัดแปรจากข้อ 4.2.1.2 มาตรวจสอบช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน โดยวิธีการติดสีคองโก-เรด ของแป้งตามวิธีดังข้อ 3.2.5 และ 4.1.4 จากตาราง 4.4 จะเห็นว่าแป้งดัดแปรชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล สามารถเกิดเจลาติไนเซชันได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง และพบว่าปริมาณ DEC.HCl, เวลา และผลร่วมระหว่างปริมาณ DEC.HCl กับเวลามีผลทำให้ตัวอย่างแป้งดัดแปรมีอุณหภูมิเจลาติไนเซชันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95)(ภาคผนวก ก ตารางที่ 5) ตัวอย่างแป้งดัดแปรที่มีระดับการแทนที่สูงจะมีช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชันต่ำกว่าแป้งที่มีระดับการแทนที่ต่ำ

ตารางที่ 4.4 ค่าความหนืดที่อุณหภูมิต่างๆของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ปริมาณ 2-(diethylaminoethyl)chloride hydrochloride (DEC.HCl) และเวลาต่างๆกัน

ตัวอย่างแป้งดัดแปร		ความหนืด(poise)ที่อุณหภูมิต่างๆ			
ปริมาณDEC.HCl (ร้อยละ)	เวลา (ชั่วโมง)	25°C	45°C	65°C	85°C
5	6	41.93	59.36	65.16	62.86
	12	41.56	59.63	65.20	62.63
	18	41.76	59.73	65.46	62.43
	24	41.96	59.86	65.50	62.33
7.5	6	41.66	59.46	65.26	62.73
	12	41.83	59.78	65.43	62.46
	18	42.23	60.03	65.60	62.33
	24	42.40	60.13	65.76	62.16
10	6	41.93	59.93	65.46	62.33
	12	42.53	60.06	65.63	62.16
	18	43.03	60.76	65.63	61.86
	24	42.93	60.73	65.73	62.03
12.5	6	42.26	60.16	65.56	62.23
	12	42.56	60.33	65.70	62.26
	18	43.00	60.76	65.93	62.03
	24	42.96	60.70	65.83	62.23

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่4.5แสดงช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชันของแป้งดัดแปรชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ปริมาณ 2-(diethylaminoethyl)chloride hydrochloride (DEC.HCl) และเวลาต่างๆกัน

ตัวอย่างแป้งดัดแปร		ช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน (^{o}C)
ปริมาณDEC.HCl(ร้อยละ)	เวลา(ชั่วโมง)	
5	6	59-64
	12	58-63
	18	57-61
	24	55-60
7.5	6	57-62
	12	56-61
	18	54-61
	24	55-60
10	6	56-62
	12	53-59
	18	52-57
	24	52-57
12.5	6	55-61
	12	52-58
	18	51-57
	24	51-57

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการทดลองในข้อ 4.2.1 เราจะพบว่าภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล คือ ภาวะที่ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4.0 , ปริมาณ DEC.HCl ร้อยละ 10.0 ,อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสและใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ 18 ชั่วโมง

4.2.2 ดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม

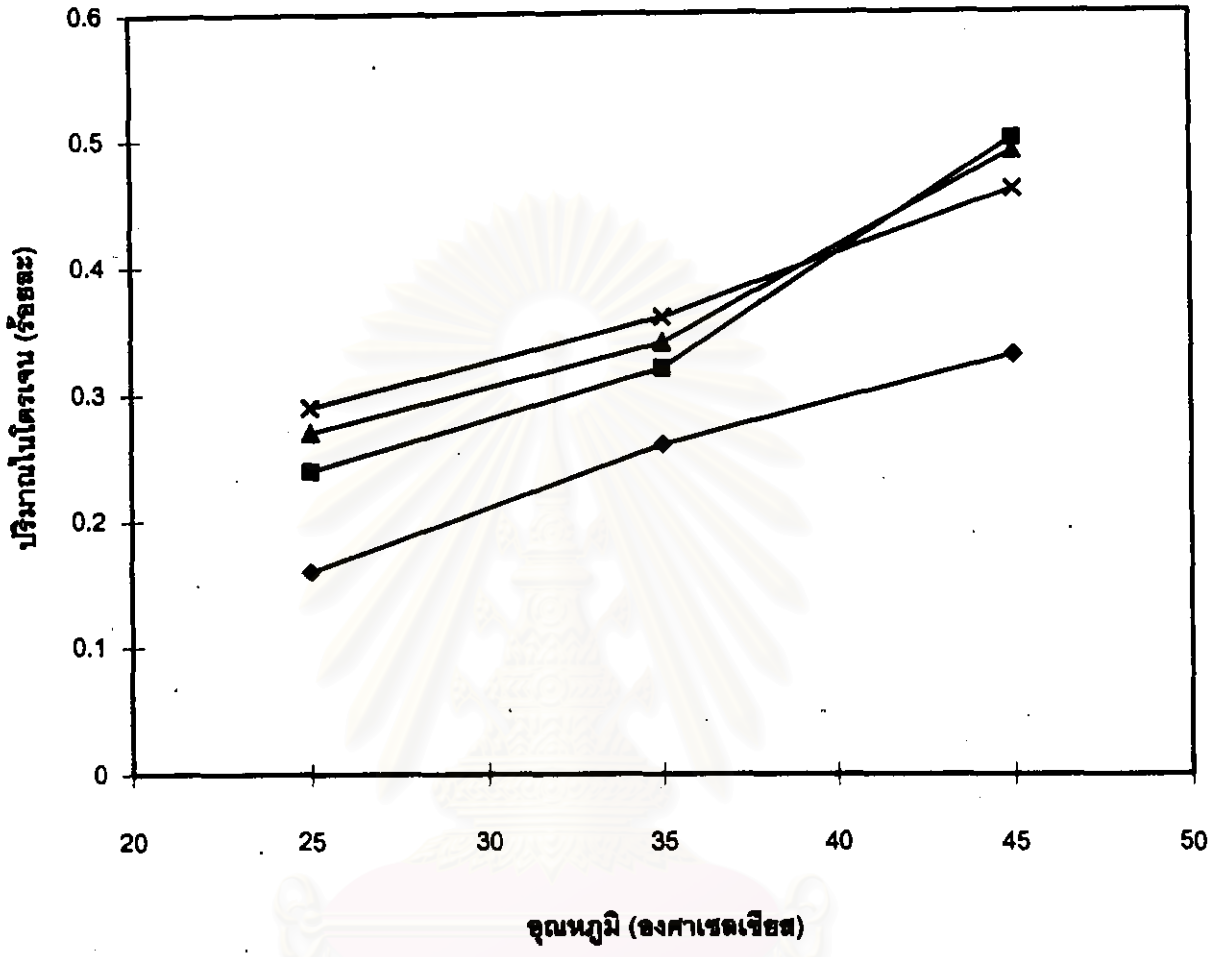
เราสามารถดัดแปรแป้งชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม โดยใช้ตัวกระทำแทนที่ได้แก่ 2,3-epoxypropyltrimethylammonium chloride, 4-chloro-2-butenyltrimethylammonium chloride, chloropropyltrimethylammonium chloride แต่ในงานวิจัยนี้ ตัวกระทำแทนที่คือ ด้วย 3 -chloro - 2 -hydroxypropyltrimethylammonium chloride(CHPTAC) เพราะราคาถูก และละลายน้ำได้ดี เราได้ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปรดังนี้

4.2.2.1 ผลของอุณหภูมิ และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่

จากการดัดแปรแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้แป้งมันสำปะหลังมาเติม CHPTAC ร้อยละ 10.0, โซเดียมซัลเฟต, กวนผสมเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ กัน หยุดปฏิกิริยาโดยการเติมกรดไฮโดรคลอริก 3.0 โมลาร์ให้ pH เป็นกลาง แล้วนำมาเซนตริฟิวจ์ล้างด้วยน้ำกลั่น นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง การทดลองนี้จะแปรปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นร้อยละ 3.0, 3.5, 4.0 และ 4.5 แปรอุณหภูมิเป็น 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล จำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นนำตัวอย่างแป้งที่ได้ทุกตัวอย่าง รวมทั้งแป้งควบคุมไปวัดปริมาณไนโตรเจนโดยวิธี Kjeldahl ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้นำไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน จากสูตรที่ 3.1 การคำนวณเหมือนข้อ 4.2.1.1 จากนั้นนำ

ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างแป้งทุกตัวอย่างที่ได้ไปลบปริมาณไนโตรเจนในตัวควบคุม จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิและปริมาณไนโตรเจน ที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆกัน ดังรูปที่ 4.14 ซึ่งพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในกระบวนการดัดแปรจาก 25 เป็น 35 และ 45 องศาเซลเซียสและโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3.0 เป็น 3.5, 4.0 และ 4.5 ทำให้ตัวอย่างแป้งดัดแปรที่ได้มีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น และเมื่อนำค่าไนโตรเจนที่ได้ไปคำนวณระดับการแทนที่พบว่าเมื่อปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ระดับการแทนที่ก็เพิ่มขึ้นดังตารางที่ 4.6

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับการแทนที่ในตัวอย่างแป้งดัดแปรที่ได้พบว่า อุณหภูมิ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และผลร่วมระหว่าง อุณหภูมิกับปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการดัดแปรแป้ง มีผลให้ระดับการแทนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ข ตารางที่ 1) จากตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 25 เป็น 35 และ 45องศาเซลเซียสในภาวะที่มีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3.0 จะทำให้ระดับการแทนที่เพิ่มจาก 0.0188 เป็น 0.0307 และ0.0393 ตามลำดับ, ภาวะที่มีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3.5 จะเพิ่มขึ้นจาก 0.0283 เป็น 0.0380 และ 0.0604 ตามลำดับ , ภาวะที่มีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4.0 ระดับการแทนที่จะเพิ่มขึ้นจาก 0.0319 เป็น 0.0405 และ 0.0591 ตามลำดับ ภาวะที่มีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4.5 ระดับการแทนที่จะเพิ่มขึ้นจาก 0.0344 เป็น 0.0429 และ 0.0553 ตามลำดับ และพบว่าที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์มากกว่าร้อยละ 3.5 ระดับการแทนที่ในแป้งดัดแปรจะลดลงแต่จากการทดลองนั้นเราไม่ทราบว่า ที่อุณหภูมิมากกว่า 45 องศาเซลเซียสจะเกิดปฏิกิริยาแทนที่ได้ดีขึ้นหรือไม่ จึงทำการทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสพบว่าระดับการแทนที่ในแป้งดัดแปรจะลดลง คือมีค่า 0.0591 ดังนั้นการศึกษาในขั้นต่อไปจะทำการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการ



รูปที่ 4.14 ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างแป้งที่ได้จากการดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอุณหภูมิต่างๆกัน

- ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 3.0
- ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 3.5
- ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 4.0
- ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 4.5

ตารางที่ 4.6 ปริมาณไนโตรเจน และระดับการแทนที่ (degree of substitution) ในตัวอย่างแป้งดัดแปรชนิด ควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่อุณหภูมิ และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆกัน

ตัวอย่างแป้งดัดแปร		ปริมาณไนโตรเจน(ร้อยละ)	ระดับการแทนที่ (DS)
อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณNaOH (ร้อยละ)		
25	3.0	0.16	0.0188
	3.5	0.24	0.0283
	4.0	0.27	0.0319
	4.5	0.29	0.0344
35	3.0	0.26	0.0307
	3.5	0.32	0.0380
	4.0	0.34	0.0405
	4.5	0.36	0.0429
45	3.0	0.33	0.0393
	3.5	0.50	0.0604
	4.0	0.49	0.0591
	4.5	0.46	0.0553

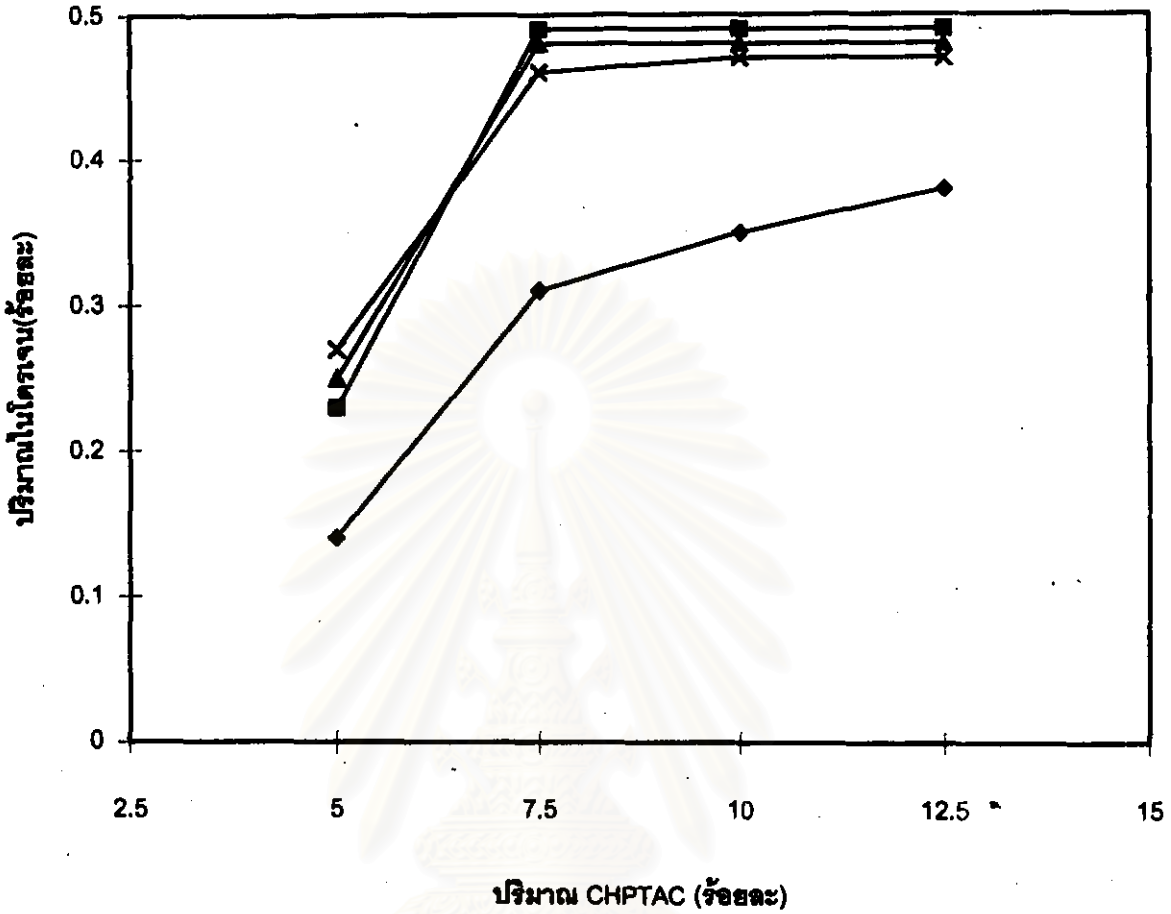
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แทนที่ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม โดยใช้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสและปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3.5

4.2.2.2 ผลของปริมาณ CHPTAC และเวลาต่อการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่

นำภาวะที่คัดเลือกได้ในข้อ 4.2.2.1 คืออุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสและปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3.5 มาทำการดัดแปรแป้งเช่นเดียวกับข้อ 4.2.2.1 แต่แปรปริมาณ CHPTAC เป็นร้อยละ 5.0,7.5,10.0 และ 12.5 เป็นเวลา 6,12,18 และ 24 ชั่วโมง โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล จำนวน 3 ซ้ำ นำตัวอย่างแป้งดัดแปรมาตรวจสอบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี Kjeldahl และคำนวณตามวิธีในข้อ4.2.1.1จากนั้นนำปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างแป้งเขียนกราฟระหว่างปริมาณ CHPTAC และปริมาณไนโตรเจนที่เวลาต่างๆกัน(รูปที่ 4.15) และเมื่อนำค่าไนโตรเจนที่ได้ไปคำนวณระดับการแทนที่ จะได้ผลดังตารางที่ 4.7

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างแป้งดัดแปรที่ได้พบว่า ปริมาณ CHPTAC เวลา และผลร่วมระหว่างปริมาณ CHPTAC กับเวลาที่ใช้ในการดัดแปร มีผลให้ระดับการแทนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ข ตารางที่ 2) จากตารางที่ 4.7 ในภาวะที่ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ 6 ชั่วโมงเมื่อเพิ่มปริมาณ CHPTAC จากร้อยละ 5.0 เป็น 7.5, 10 และ 12.5 จะทำให้ระดับการแทนที่เพิ่มจาก 0.0163 เป็น 0.0368, 0.0417 และ 0.0454 ตามลำดับ, ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ 12 ชั่วโมง จะทำให้ระดับการแทนที่ เพิ่มจาก 0.0271 เป็น 0.0591, 0.0591 และ 0.0591 ตามลำดับ, ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ 18 ชั่วโมง จะทำให้ระดับการแทนที่ เพิ่มจาก 0.0295 เป็น 0.0578, 0.0578 และ 0.0578 ตามลำดับ, ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ 24 ชั่วโมง จะทำให้ระดับการแทนที่ เพิ่มจาก 0.0319 เป็น 0.0553, 0.0566 และ 0.0566 ตามลำดับ จากนั้นนำปริมาณไนโตรเจนที่ได้ไปหาค่าระดับการแทนที่จากสูตรที่ 3.4 ดังตารางที่ 4.7 ปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่ม



รูปที่ 4.15 ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างแป้งที่ได้จากการดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ปริมาณ 3-chloro-2-hydroxypropyltrimrthylammonium chloride และเวลาต่างๆกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เวลา 6 ชั่วโมง

เวลา 12 ชั่วโมง

เวลา 18 ชั่วโมง

เวลา 24 ชั่วโมง

ขึ้นส่งผลให้ระดับการแทนที่สูงขึ้นด้วย ค่าระดับการแทนที่สูงที่สุดคือ 0.0591 ที่ภาวะที่ใช้ปริมาณ CHPTAC ร้อยละ 7.5 เวลา 12 ชั่วโมง, ปริมาณ CHPTAC ร้อยละ 10.0 เวลา 12 ชั่วโมง

4.2.2.3 สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม

หลังจากดัดแปรแป้งมันสำปะหลังชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ปริมาณ CHPTAC เวลาต่างๆกันแล้ว นำแป้งดัดแปรที่ได้มาตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ดังนี้

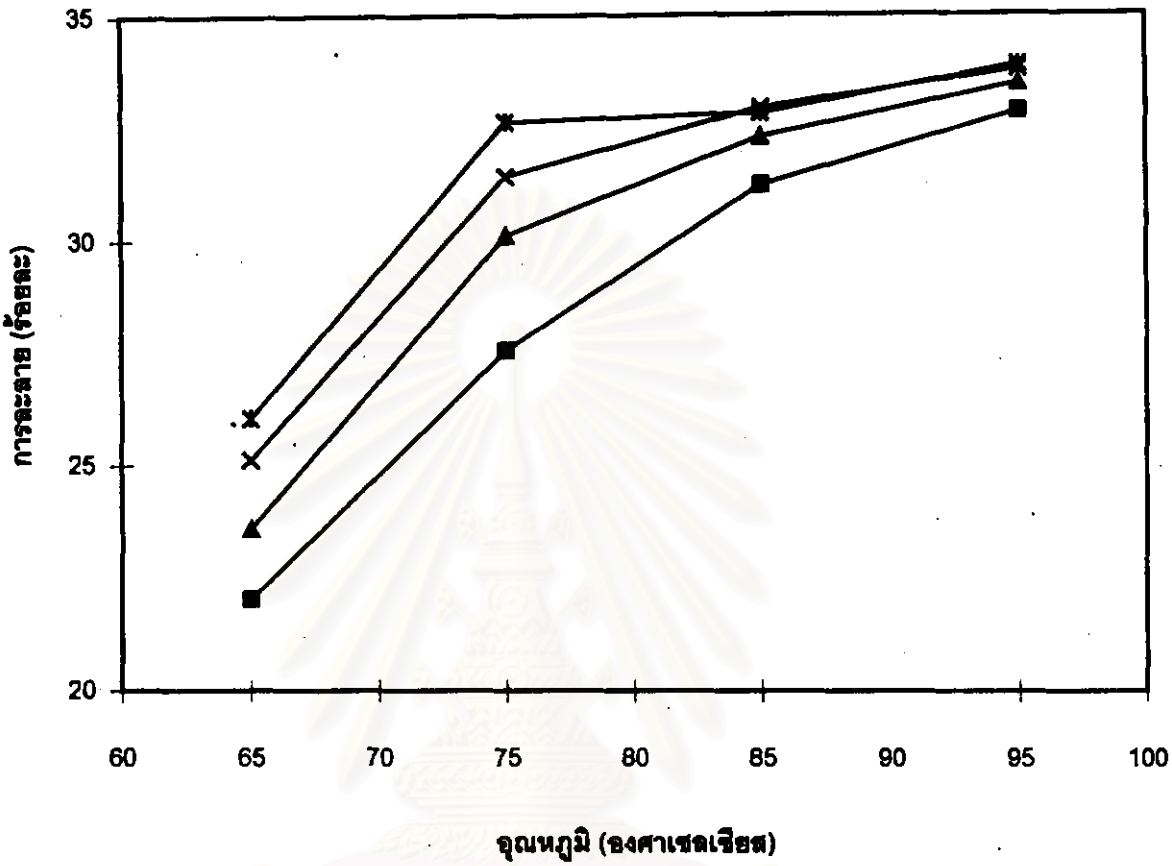
4.2.2.3.1 การละลายของแป้งดัดแปร

นำตัวอย่างแป้งดัดแปรจากข้อ 4.2.2.2 มาตรวจสอบการละลาย ที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส ตามวิธีในข้อ 3.2.2 โดยเทส่วนที่เป็นน้ำใสหลังการเซนตริฟิวจ์ลงในถ้วยทนไฟไประเหยในเตาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง หรือจนมีน้ำหนักคงที่ นำค่าที่ได้ไปคำนวณการละลาย(ร้อยละ)จากสูตรในข้อ 3.3 แล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิ และการละลาย(ร้อยละ)ที่อุณหภูมิ และปริมาณ CHPTAC ต่างๆกันเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง จากการศึกษาการละลายของแป้งดัดแปรพบว่า แป้งดัดแปรที่ใช้ CHPTAC และเวลาในการดัดแปรต่างๆกัน จะมีการละลายเพิ่มตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นจาก 65 ถึง 95 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.16 - 4.19) จากการศึกษาความแปรปรวนทางสถิติของ ปริมาณ CHPTAC, เวลา และผลร่วมระหว่าง ปริมาณ CHPTAC กับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ มีผลทำให้ตัวอย่างแป้งดัดแปรมีการละลายที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ก ตารางที่ 8) เมื่อเปรียบเทียบการละลายของแป้งดัดแปรกับแป้งมันสำปะหลัง จะเห็นว่า ที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส การละลายของแป้งดัดแปรชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม มากกว่าแป้งมันสำปะหลัง และตัวอย่างแป้งดัดแปรที่มีระดับการแทนที่สูงจะมีการละลายสูงกว่าแป้งที่มีการแทนที่ต่ำ แต่ที่อุณหภูมิ 85 และ 95 องศาเซลเซียส มีการละลายไม่แตก

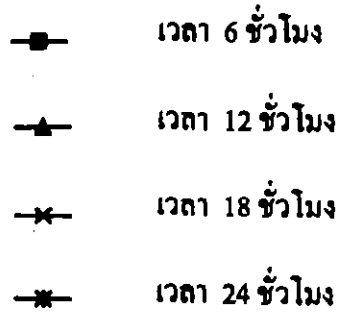
ตารางที่ 4.7 ปริมาณไนโตรเจน และระดับการแทนที่ (degree of substitution) ในตัวอย่างแป้งดัดแปรชนิด ควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ปริมาณ 3-chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride(CHPTAC) และเวลาต่างๆกัน

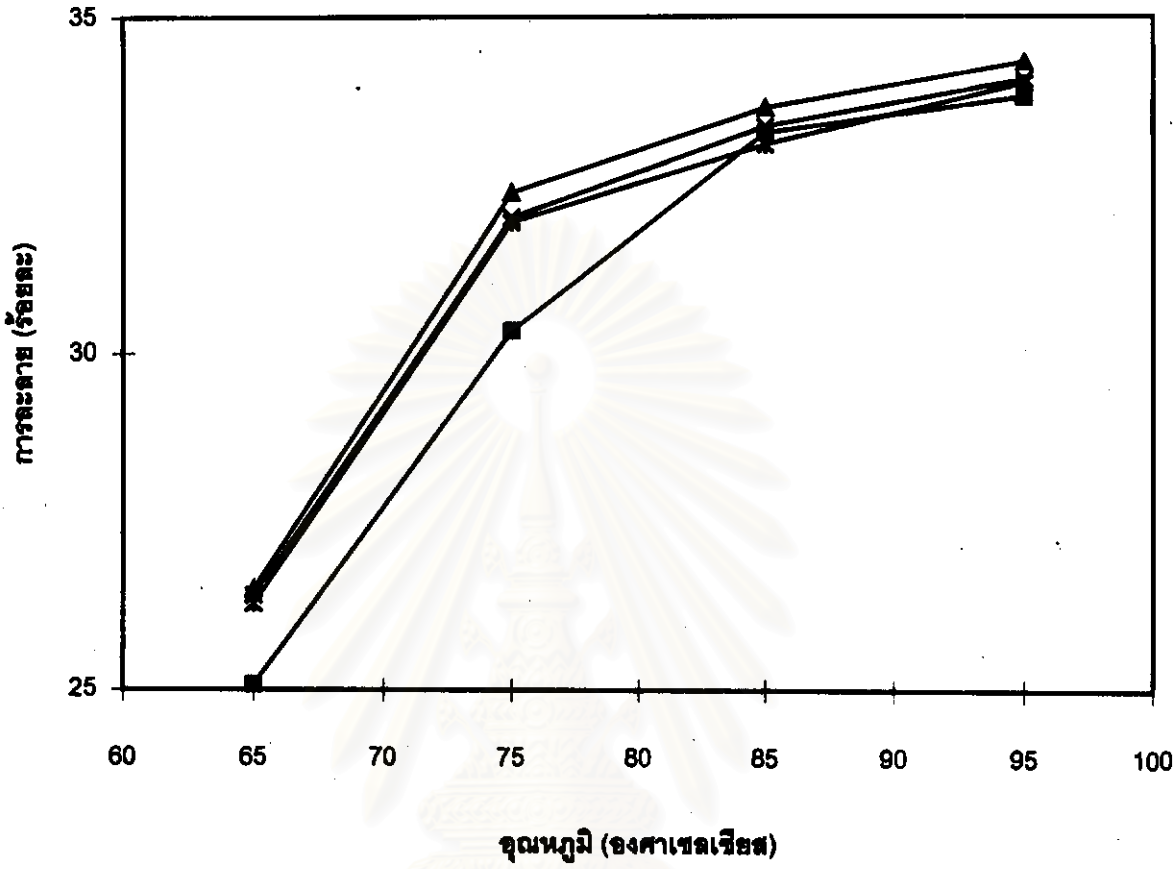
ตัวอย่างแป้งดัดแปร		ปริมาณไนโตรเจน(ร้อยละ)	ระดับการแทนที่ (DS)
ปริมาณ CHPTAC (ร้อยละ)	เวลา(ชั่วโมง)		
5	6	0.14	0.0163
	12	0.23	0.0271
	18	0.25	0.0295
	24	0.27	0.0319
7.5	6	0.31	0.0368
	12	0.49	0.0591
	18	0.48	0.0578
	24	0.46	0.0553
10	6	0.35	0.0417
	12	0.49	0.0591
	18	0.48	0.0578
	24	0.47	0.057
12.5	6	0.38	0.045
	12	0.49	0.059
	18	0.48	0.058
	24	0.47	0.057

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

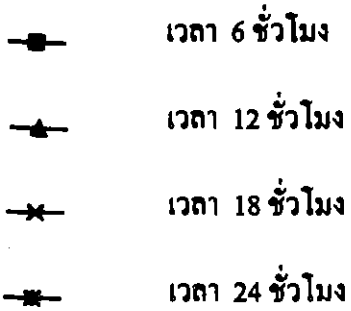


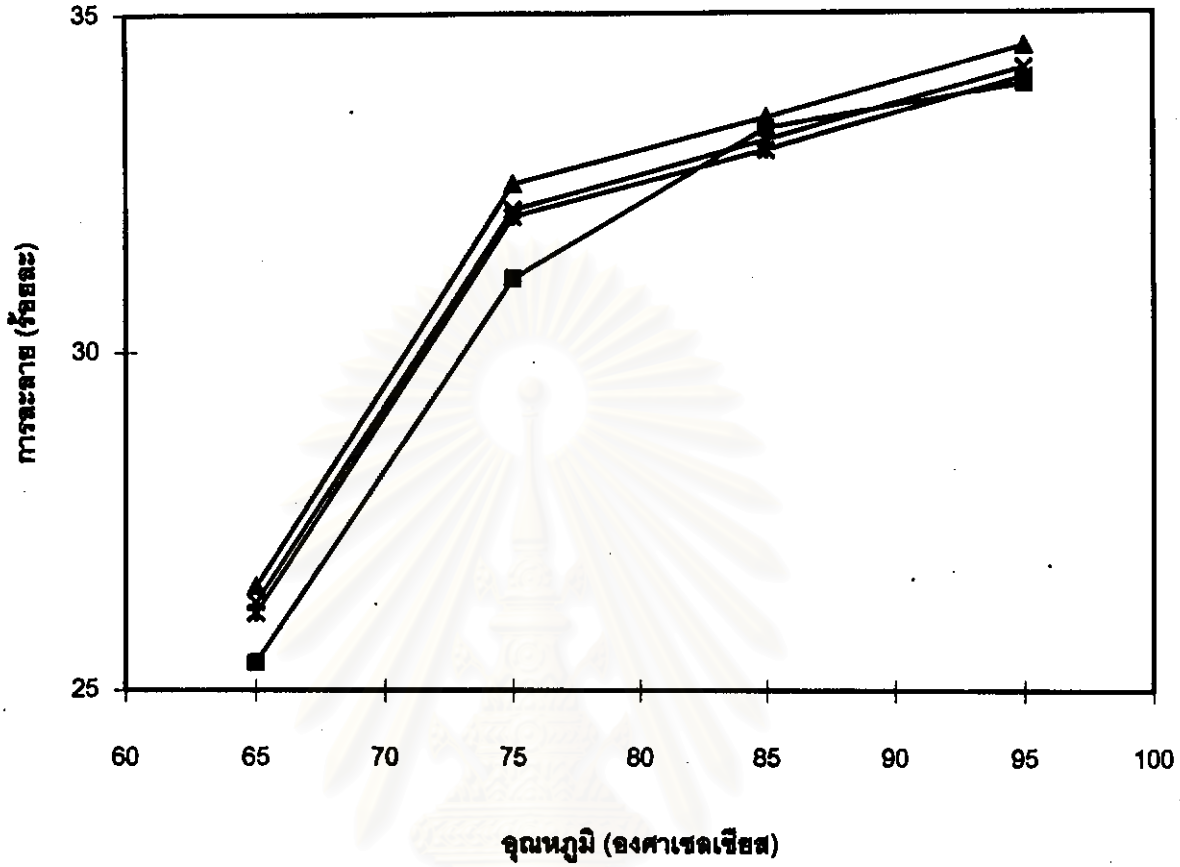
รูปที่ 4.16 การละลายที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ปริมาณ 3-chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride ร้อยละ 5.0(โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ที่เวลาต่างๆกัน





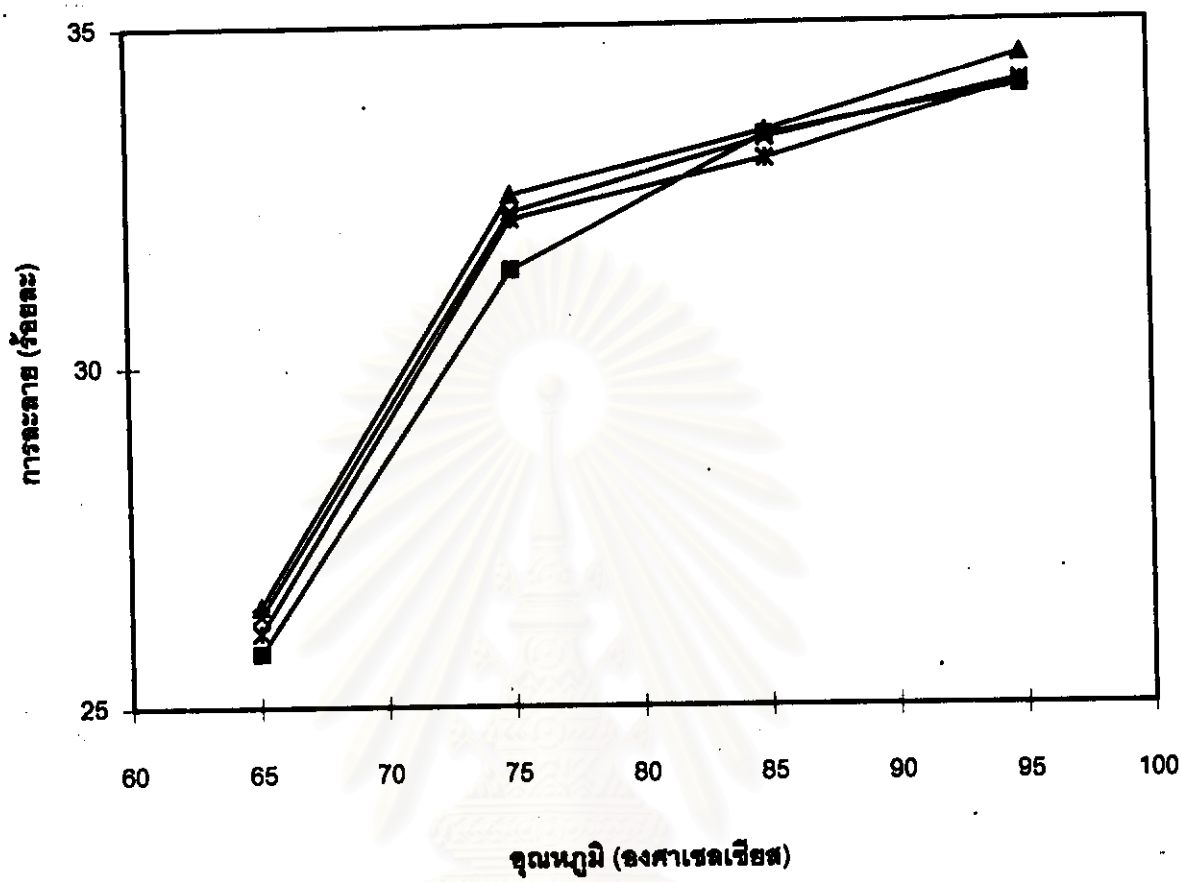
รูปที่ 4.17 การละลายที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ปริมาณ 3-chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride ร้อยละ 7.5(โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ที่เวลาต่างๆกัน





รูปที่ 4.18 การละลายที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ปริมาณ 3-chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride ร้อยละ 10.0(โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ที่เวลาต่างๆกัน

- เวลา 6 ชั่วโมง
- เวลา 12 ชั่วโมง
- เวลา 18 ชั่วโมง
- เวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.19 การละลายที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ปริมาณ 3-chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride ร้อยละ 12.5(โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ที่เวลาต่างๆกัน

- เวลา 6 ชั่วโมง
- เวลา 12 ชั่วโมง
- เวลา 18 ชั่วโมง
- เวลา 24 ชั่วโมง

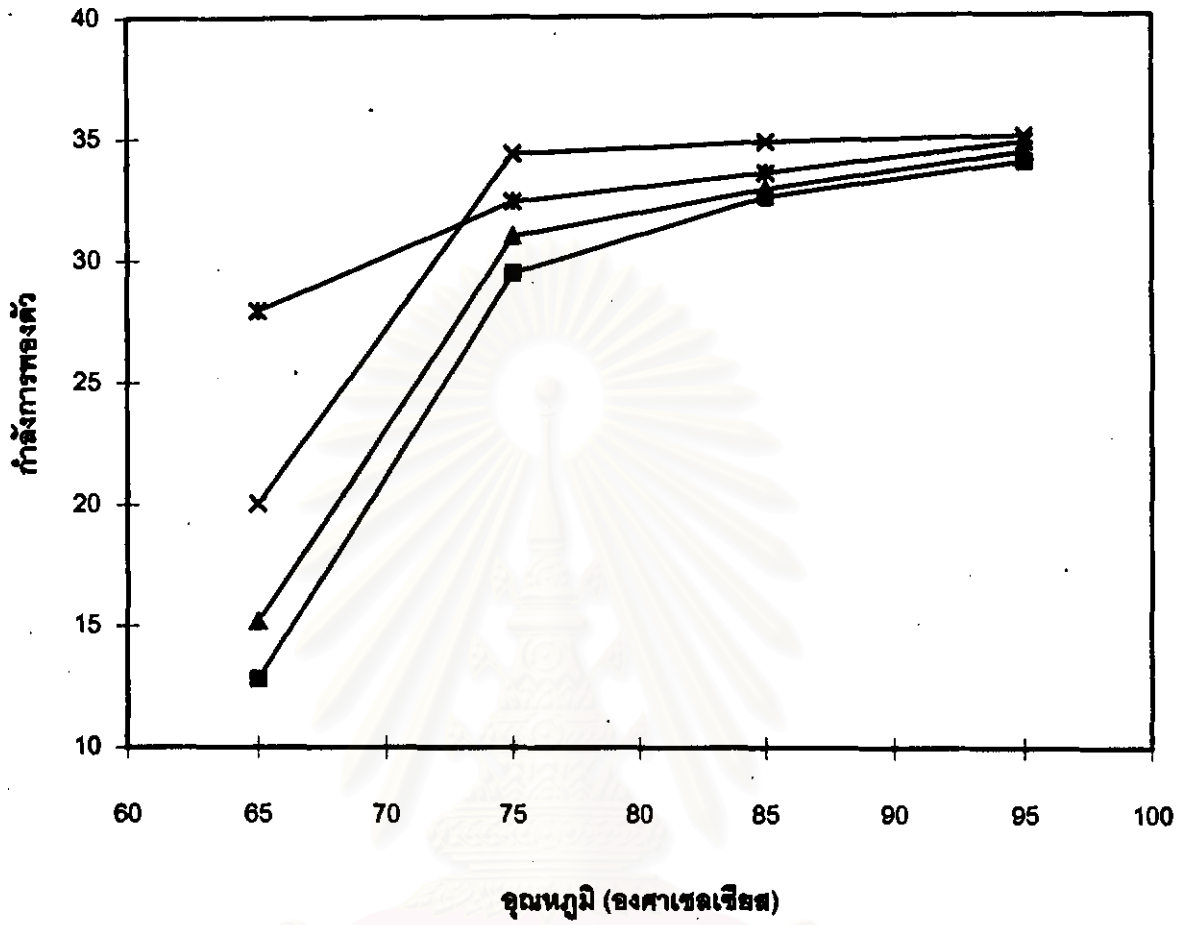
ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ก ตารางที่ 9) และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรจะมีการละลายต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง

4.2.2.3.2 กำลังการพองตัว

นำตัวอย่างแป้งดัดแปรจากข้อ 4.2.2.2 มาตรวจสอบกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส ตามวิธีในข้อ 3.2.3 โดยนำส่วนที่เป็นแป้งเปียกที่เหลือในหลอดเซนตริฟิวจ์มาหาน้ำหนัก นำค่าที่ได้ไปคำนวณกำลังการพองตัวดังสมการที่ 3.3 การคำนวณเช่นเดียวกับข้อ 4.1.2 จากรูปที่ 4.20-4.23 แสดงกำลังการพองตัวของแป้งดัดแปรที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส พบว่ากำลังการพองตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณ CHPTAC , เวลา และ ผลร่วมระหว่างปริมาณ CHPTAC กับเวลา มีผลทำให้ตัวอย่างแป้งดัดแปรมีกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ก ตารางที่6) แต่กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 85 และ 95 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก ก ตารางที่ 7) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส กำลังการพองตัวของตัวอย่างแป้งดัดแปรมีค่ามากกว่าแป้งมันสำปะหลัง และตัวอย่างแป้งที่มีระดับการแทนที่สูงจะมีกำลังการพองตัวมากกว่าตัวอย่างแป้งที่มีระดับการแทนที่ต่ำ แต่ที่อุณหภูมิ 85 และ 95 องศาเซลเซียส กำลังการพองตัวของตัวอย่างแป้งดัดแปรชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม กลับมีค่าน้อยกว่าแป้งมันสำปะหลัง

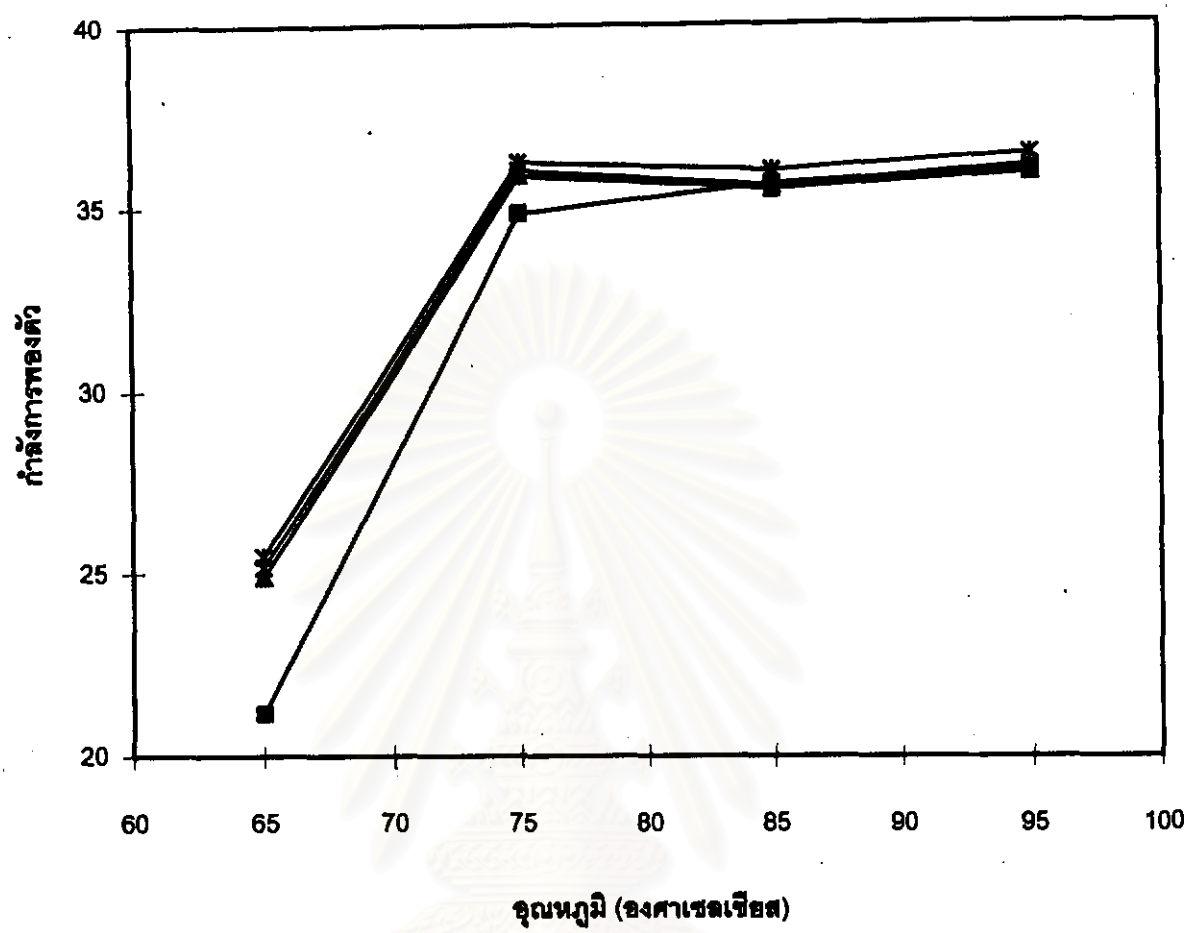
4.2.2.3.3 ความหนืด

นำตัวอย่างแป้งดัดแปรจากข้อ 4.2.2.2 มาตรวจสอบความหนืดที่อุณหภูมิ 25, 45, 65 และ 85 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นแป้งร้อยละ 8 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer โดยใช้เข็มหมายเลข 5 ที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ดังตารางที่ 4.8 พบว่า ความ



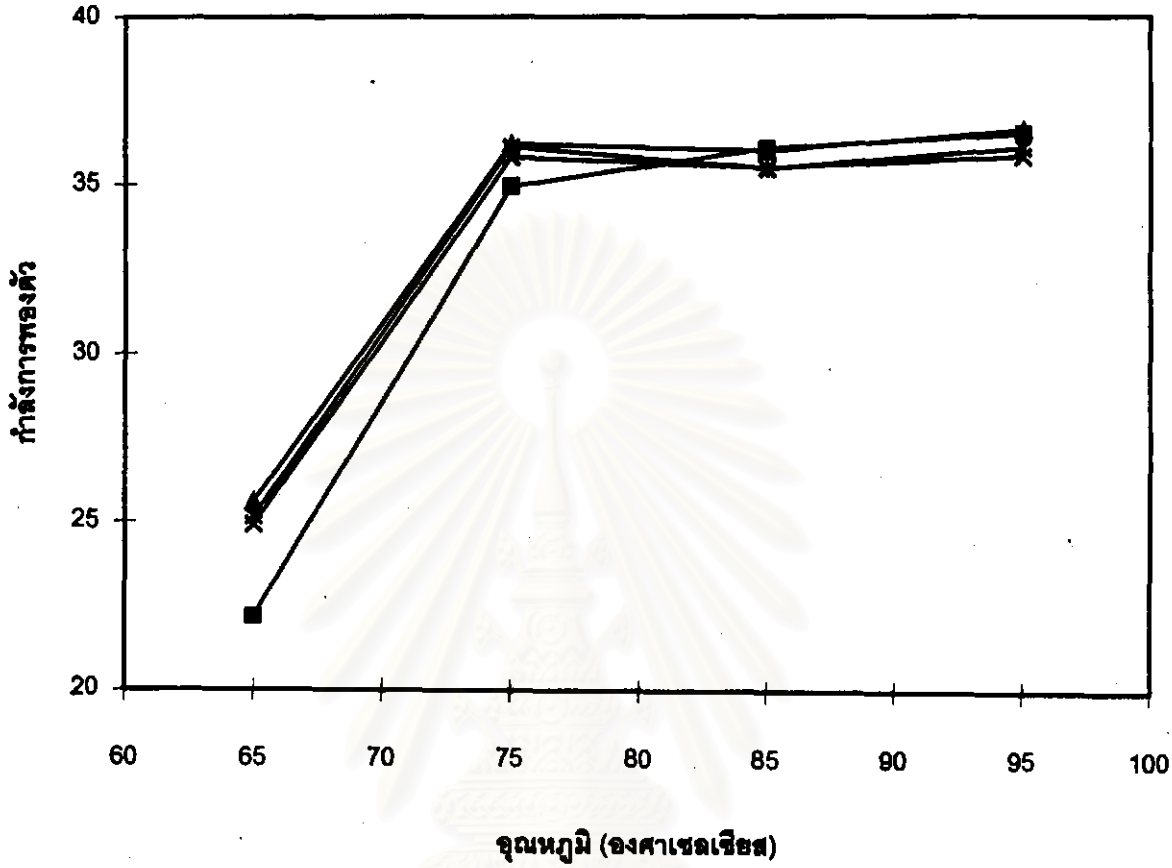
รูปที่ 4.20 กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ปริมาณ 3-chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride ร้อยละ 5.0(โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ที่เวลาต่างๆกัน

- เวลา 6 ชั่วโมง
- เวลา 12 ชั่วโมง
- เวลา 18 ชั่วโมง
- เวลา 24 ชั่วโมง

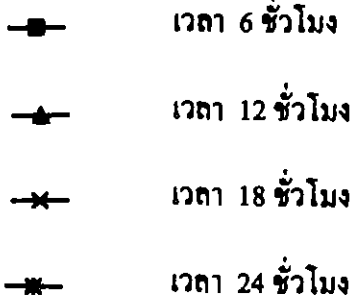


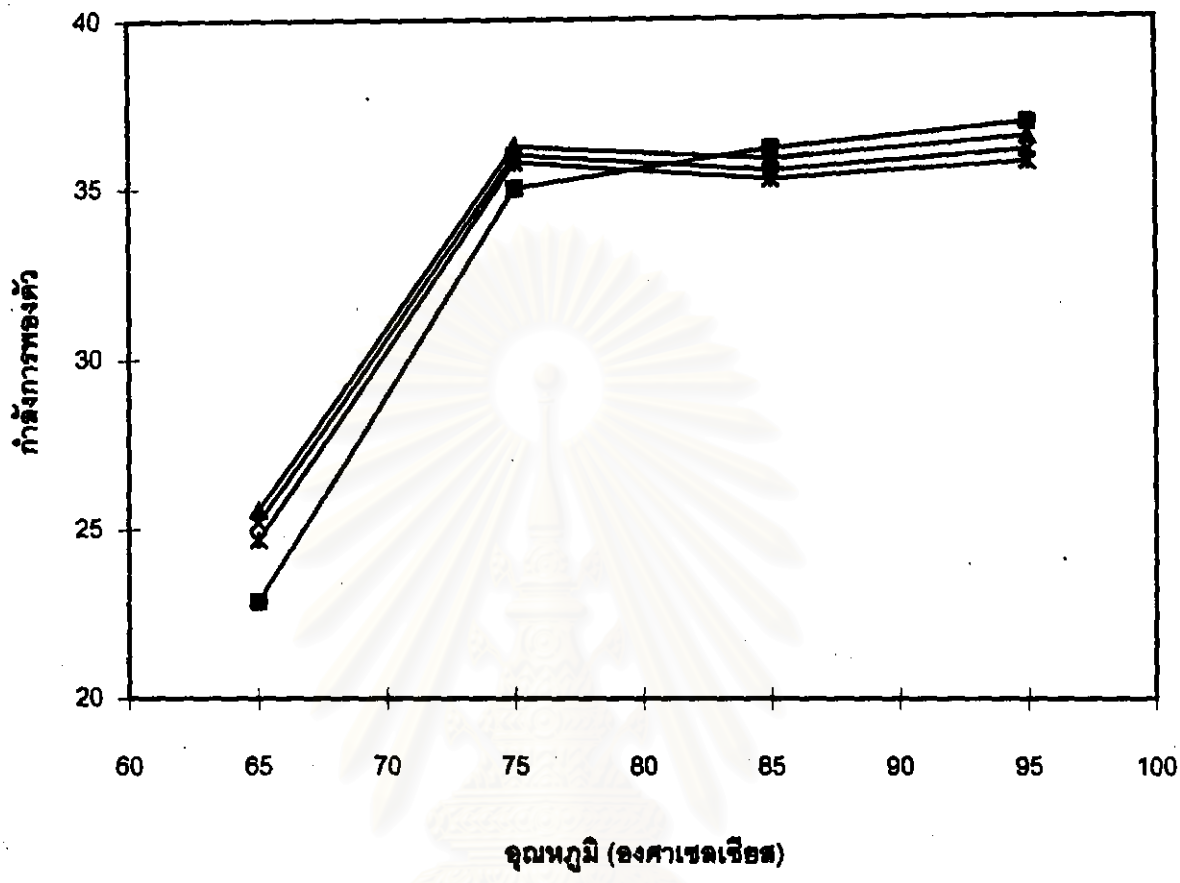
รูปที่ 4.21 กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ปริมาณ 3-chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride ร้อยละ 7.5(โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ที่เวลาต่างๆกัน

- เวลา 6 ชั่วโมง
- เวลา 12 ชั่วโมง
- เวลา 18 ชั่วโมง
- เวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.22 กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ปริมาณ 3-chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride ร้อยละ 10.0 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ที่เวลาต่างๆกัน





รูปที่ 4.23 กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ปริมาณ 3-chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride ร้อยละ 12.5(โดยน้ำหนักแป้งแห้ง) ที่เวลาต่างๆกัน

- เวลา 6 ชั่วโมง
- เวลา 12 ชั่วโมง
- เวลา 18 ชั่วโมง
- เวลา 24 ชั่วโมง

หนืดของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนืดของแป้งดัดแปรที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่ามีความหนืดเฉลี่ยมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง ความหนืดของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรนั้นที่อุณหภูมิ 25, 45, 65 และ 85 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดประมาณ 41.56-42.96, 59.16-60.90, 65.03-65.93 และ 61.73-62.96 poise ตามลำดับ ซึ่งที่อุณหภูมิ 25, 45, 65 และ 85 องศาเซลเซียส นั้นพบว่าปริมาณ CHPTAC , เวลา และ ผลร่วมระหว่างปริมาณ CHPTAC กับเวลา มีผลให้ค่าความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ก ตารางที่ 3-4) โดยพบว่าเมื่อค่าระดับการแทนที่เพิ่มขึ้นค่าความหนืดก็มีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าค่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง

4.2.2.3.4 ช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน

นำตัวอย่างแป้งดัดแปรจากข้อ 4.2.2.2 มาตรวจสอบช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน โดยวิธีการติดสีดองโก-เรด ของแป้งตามวิธีดังข้อ 3.2.5 และ 4.1.4 จากตาราง 4.9 จะเห็นว่าเม็ดแป้งดัดแปรชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม สามารถเกิดเจลาติไนเซชันได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง และพบว่าปริมาณ CHPTAC, เวลา และผลร่วมระหว่างปริมาณ CHPTAC กับเวลามีผลทำให้ตัวอย่างแป้งดัดแปรมีอุณหภูมิเจลาติไนเซชันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ก ตารางที่ 5) ตัวอย่างแป้งดัดแปรที่มีระดับการแทนที่สูงจะมีช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชันต่ำกว่าแป้งดัดแปรที่มีระดับการแทนที่ต่ำ

จากการทดลองในข้อ 4.2.2 เราจะพบว่าภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม คือ ภาวะที่ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3.5, ปริมาณ CHPTAC ร้อยละ 7.5,อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.8 ค่าความหนืดที่อุณหภูมิต่างๆของ แป้งมันสำปะหลังดัดแปร ชนิด ควอเทอนารี แอมโมเนียม ที่ปริมาณ 3-chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride(CHPTAC) และเวลาต่างๆกัน

ตัวอย่างแป้งดัดแปร		ความหนืด(poise)			
ปริมาณCHPTAC (ร้อยละ)	เวลา (ชั่วโมง)	25°C	45°C	65°C	85°C
5	6	41.56	59.16	65.03	62.96
	12	41.73	59.33	65.20	62.63
	18	41.86	59.56	65.36	62.46
	24	41.96	59.76	65.56	62.33
7.5	6	41.93	59.96	63.76	62.46
	12	42.73	60.83	65.90	61.73
	18	42.74	60.73	65.90	61.73
	24	42.72	60.76	65.89	61.76
10	6	42.13	60.26	64.96	62.33
	12	42.76	60.86	65.83	61.73
	18	42.73	60.80	65.82	61.74
	24	42.70	60.90	65.82	61.74
12.5	6	42.96	60.36	65.06	62.06
	12	42.83	60.83	65.93	61.73
	18	42.81	60.83	65.93	61.74
	24	42.80	60.80	65.90	61.73

4.3 ออกแบบถังปฏิกรณ์ในระดับขยายส่วนกึ่งอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการเตรียมแป้งมันสำปะหลังดัดแปร

จากข้อ 4.2 นั้นได้ดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาแทนที่ชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล และ ควอเทอนารีแอมโมเนียมในระดับห้องปฏิบัติการ การควบคุมอุณหภูมิ ความเร็วรอบการกวนค่อนข้างลำบาก อีกทั้งแป้งในขณะดัดแปรค่อนข้างหนืด และนอนก้น จึงเกิดความสนใจที่จะออกแบบถังปฏิกรณ์เพื่อใช้ในการดัดแปรแป้ง แผนผังถังปฏิกรณ์ และรูปถังปฏิกรณ์ที่ใช้ดัดแปรแป้งแสดงดังรูป 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ ถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบมีส่วนประกอบดังนี้

1. เครื่องปฏิกรณ์ถังกวน

เป็นส่วนที่ทำการดัดแปรแป้ง มีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ

1.1 ถังกวน

สร้างจากเหล็กกล้าไร้สนิม 304 (stainless steel 304) ถังกวนเป็นรูปทรงกระบอกขนาดความจุประมาณ 10.6 ลิตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 22 เซนติเมตร สูง 32 เซนติเมตร ด้านล่างของถังกวนเป็นรูปโค้งนูนสูง 11 เซนติเมตร และเจาะเป็นรูเล็กๆ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร เพื่อให้แป้งที่ดัดแปรได้ไหลลงไปตามท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร มีวาล์วที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นตัวควบคุมการไหลของแป้งที่ดัดแปรได้ ดังรูปที่ 4.26

ด้านข้างถังกวน มีแจคเก็ตหุ้ม 2 ชั้นคือ ชั้นแรกทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม เป็นรูปทรงกระบอกขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 34 เซนติเมตร สูง 28 เซนติเมตร ภายในบรรจุน้ำมันประมาณ 15.6 ลิตร และขดลวดให้ความร้อน ชั้นที่สอง ทำจากเหล็กเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 36 เซนติเมตร มีท่อน้ำเข้า ท่อน้ำออก และท่อน้ำล้น ใช้สำหรับถ่ายเทน้ำเมื่อต้องการลดอุณหภูมิภายในถัง ซึ่งทำหน้าที่เหมือนเครื่องควบแน่น(condenser) ช่วยลดอุณหภูมิให้กับน้ำมัน ทำให้อุณหภูมิภายในถังลดลงเร็วขึ้น

ตารางที่4.9 แสดงช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชันของแป้งชนิด ควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ปริมาณ 3-chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride(CHPTAC) และเวลาต่างๆกัน

ตัวอย่างแป้งดัดแปร		ช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน (°C)
ปริมาณCHPTAC (ร้อยละ)	เวลา(ชั่วโมง)	
5	6	58-64
	12	57-63
	18	56-62
	24	55-60
7.5	6	54-60
	12	51-55
	18	51-55
	24	51-56
10	6	54-60
	12	52-56
	18	51-55
	24	52-56
12.5	6	54-59
	12	51-55
	18	51-55
	24	52-56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 ฝาถังกวน

ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เป็นรูปโค้งนูนสูงประมาณ 10 เซนติเมตร ด้านบนฝาถังมีช่องเติมสาร, กระจก, ที่เสียบเทอร์โมมิเตอร์, ช่องสำหรับให้แกนใบพัดสอดขึ้นไปยึดกับมอเตอร์ และขอบฝาถังกวนมีประเก็นทำจาก ซิลิโคน หนา 0.7 เซนติเมตร

1.3 ใบพัดกวน

ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีลักษณะเป็นรูปเกือกม้า กว้าง 4.5 เซนติเมตร ยาว 24 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 20.5 เซนติเมตร ส่วนล่างของ เกือกม้ายึดติดกับแกนกลางรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ยาว 52 เซนติเมตร ตรงปลายของแกนกลางมีเดือยยึดตัวใบพัดกับถังกวน ส่วนตรงกลางแกนกลางมีใบพัดกว้าง 4.5 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร 4 ใบ ยื่นออกมาดังรูปที่ 4.27

2. ชุดควบคุมความเร็วรอบ

ประกอบด้วยมอเตอร์ และเครื่องควบคุมความเร็วรอบ มอเตอร์เป็นแบบปรับความเร็วรอบ ชนิด SH 195V กำลังไฟฟ้า 0.37 กิโลวัตต์ ความต่างศักย์ 190 โวลต์ กระแส 2.7 แอมแปร์ ความเร็วรอบสูงสุด 1750 รอบต่อนาที, เครื่องควบคุมความเร็วรอบ (motor controller) เป็นแบบกระแสตรง ชนิด Victor - 670S

3. ชุดควบคุมอุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.28

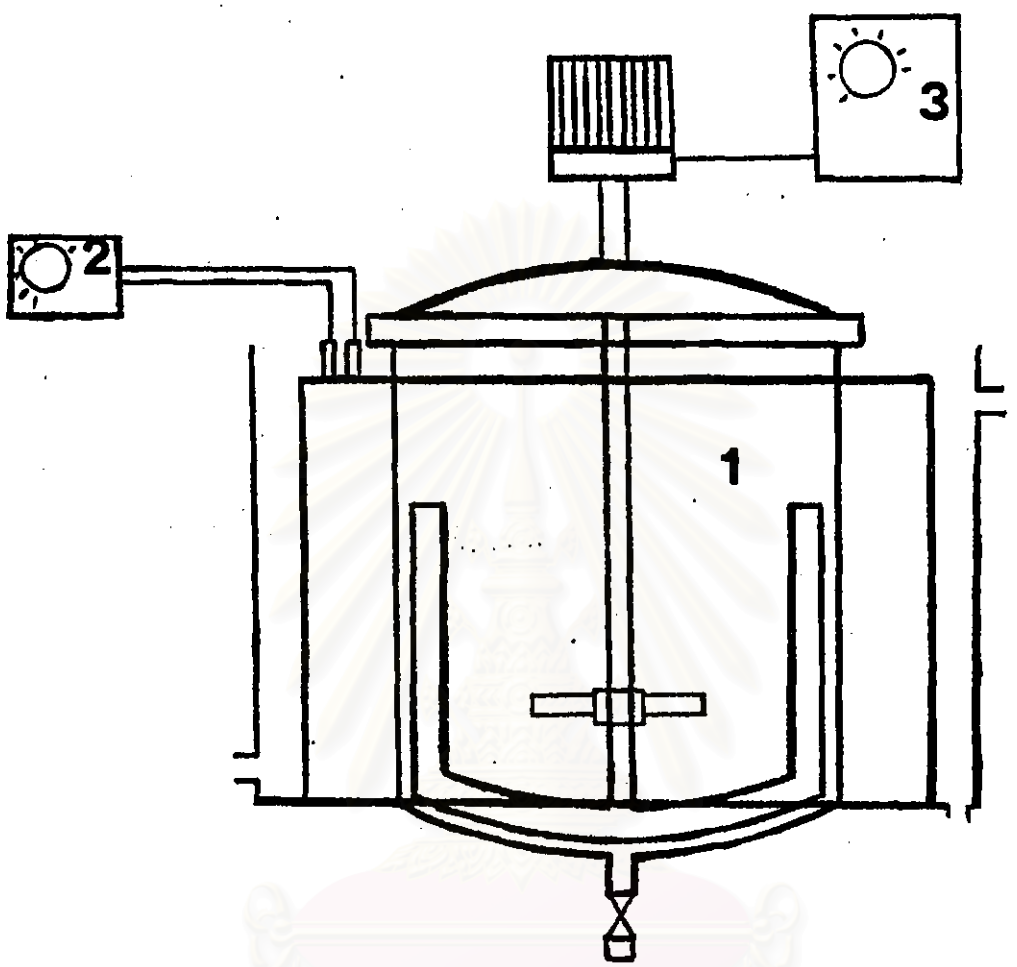
ชุดควบคุมอุณหภูมิ ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายในถังกวนให้คงที่ ประกอบด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิคู่ควบความร้อน หรือเทอโมคัปเปิล(thermocouple) และขดลวดให้ความร้อน (heater) ดังนี้

3.1 เครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นเครื่องควบคุมอุณหภูมิ แบบแมกเนติกคอนแทกเตอร์(magnetic contactor) ชนิด S- A1ORM

3.2 เทอโมคัปเปิล (thermocouple) วัดอุณหภูมิ ชนิดโครเมลอะลูเมลจุ่มในน้ำมัน

3.3 ขดลวดให้ความร้อน (heater) กำลังไฟฟ้า 1000 วัตต์ ความต่างศักย์ 220 โวลต์ ดัดเป็นรูปตัวยู จุ่มในน้ำมัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

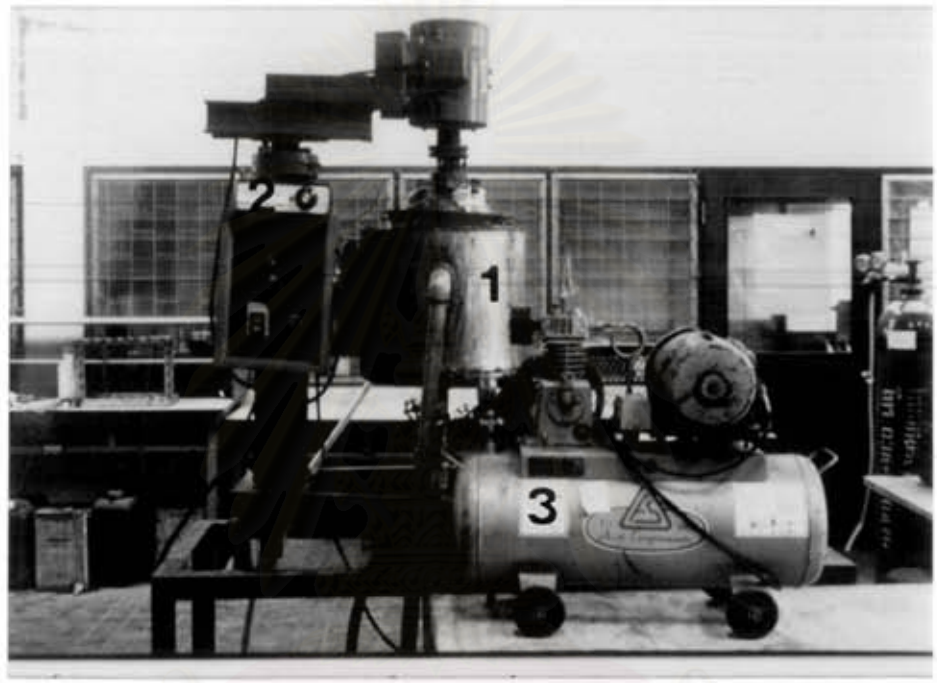


<u>รูปที่ 4.24</u> แผนผังถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังในระดับขยายส่วนถึง

อุตสาหกรรม

1. เครื่องปฏิกรณ์ถังกวน
2. ชุดควบคุมอุณหภูมิ
3. ชุดควบคุมความเร็วรอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



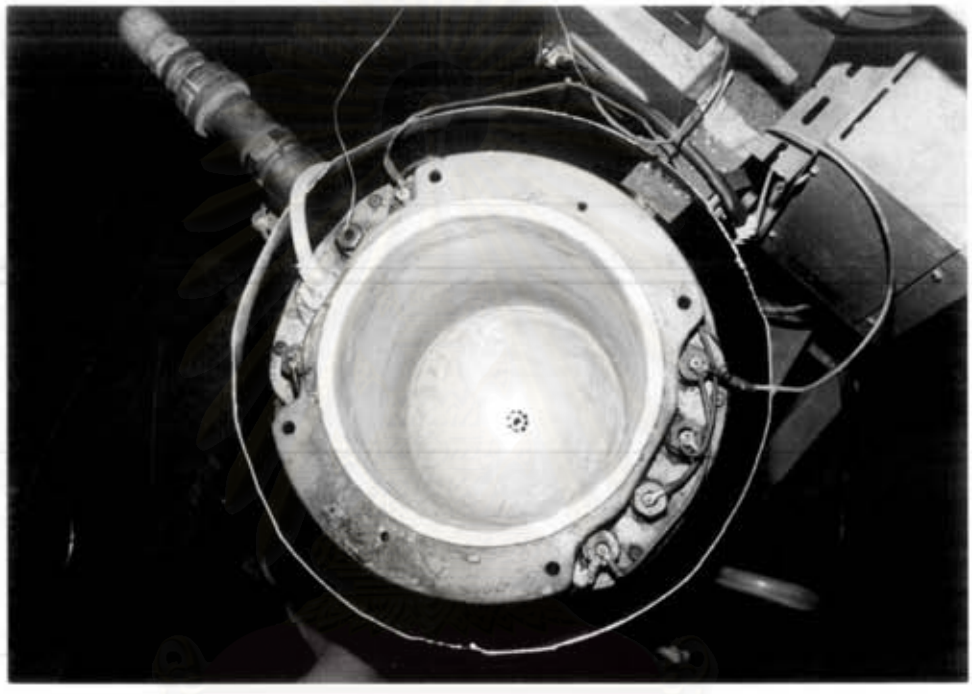
รูปที่ 4.25 ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังในระดับห้องปฏิบัติการ

1 = เครื่องปฏิกรณ์ถังกวน

2 = ชุดควบคุมอุณหภูมิ

3 = เครื่องอัดอากาศ

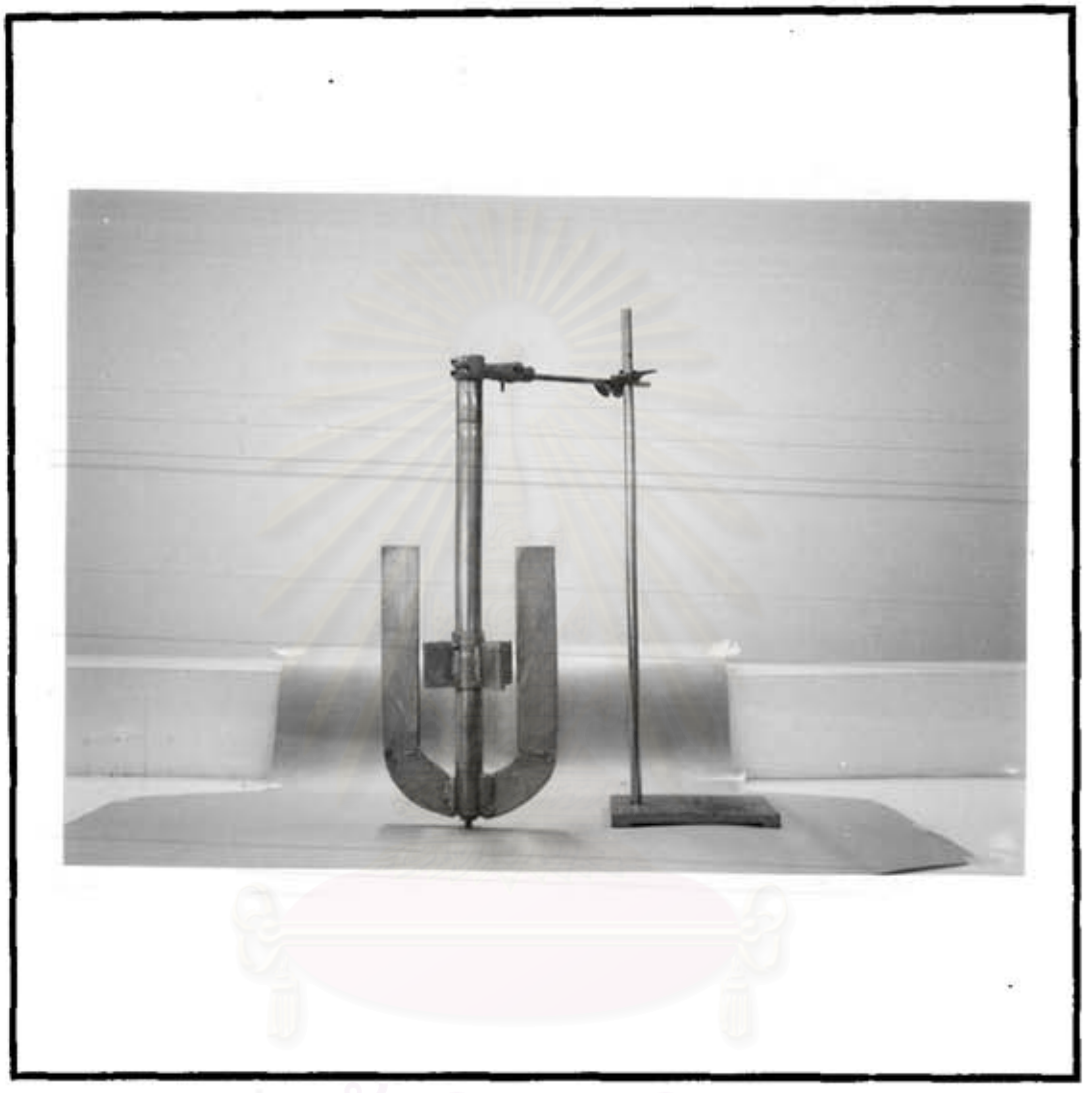
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.26 ถังกวน

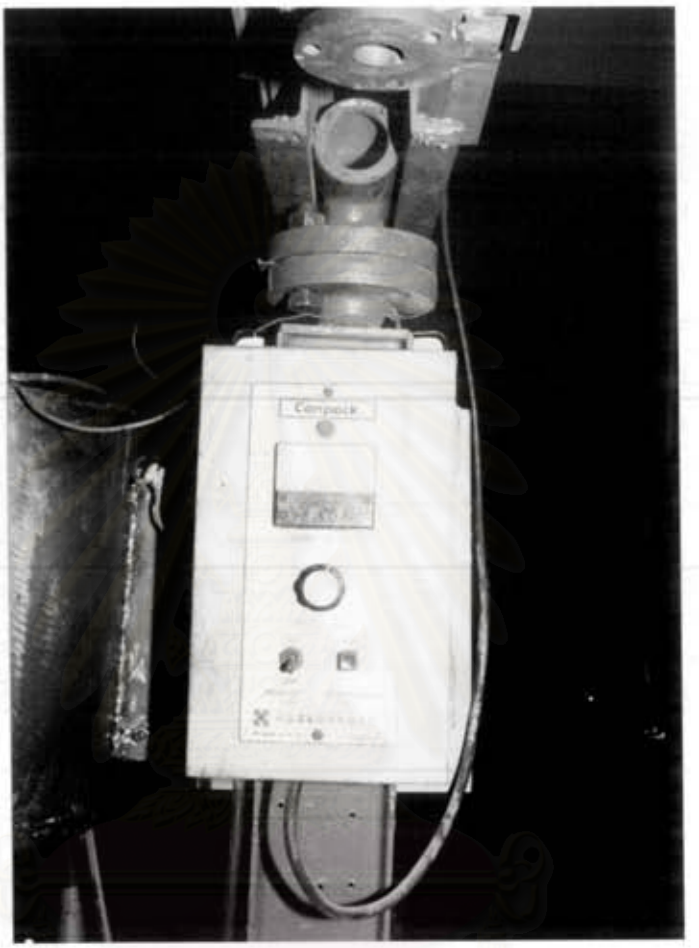
สร้างจากเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เป็นรูปทรงกระบอกความจุประมาณ 10.6 ลิตร ด้านข้างถังกวนมีแจคเกตหุ้ม 2 ชั้น ชั้นแรกทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมภายในบรรจุน้ำมันประมาณ 15.6 ลิตร และขดลวดให้ความร้อน ชั้นที่สอง ทำจากเหล็กกล้า มีท่อน้ำเข้า ท่อน้ำออก และท่อน้ำล้น



รูปที่ 4.27 ใบพัดกวน

ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีลักษณะเป็นรูปเกือกม้า ตรงกลางแกนกลางมีใบพัด 4 ใบ ยื่นออกมา

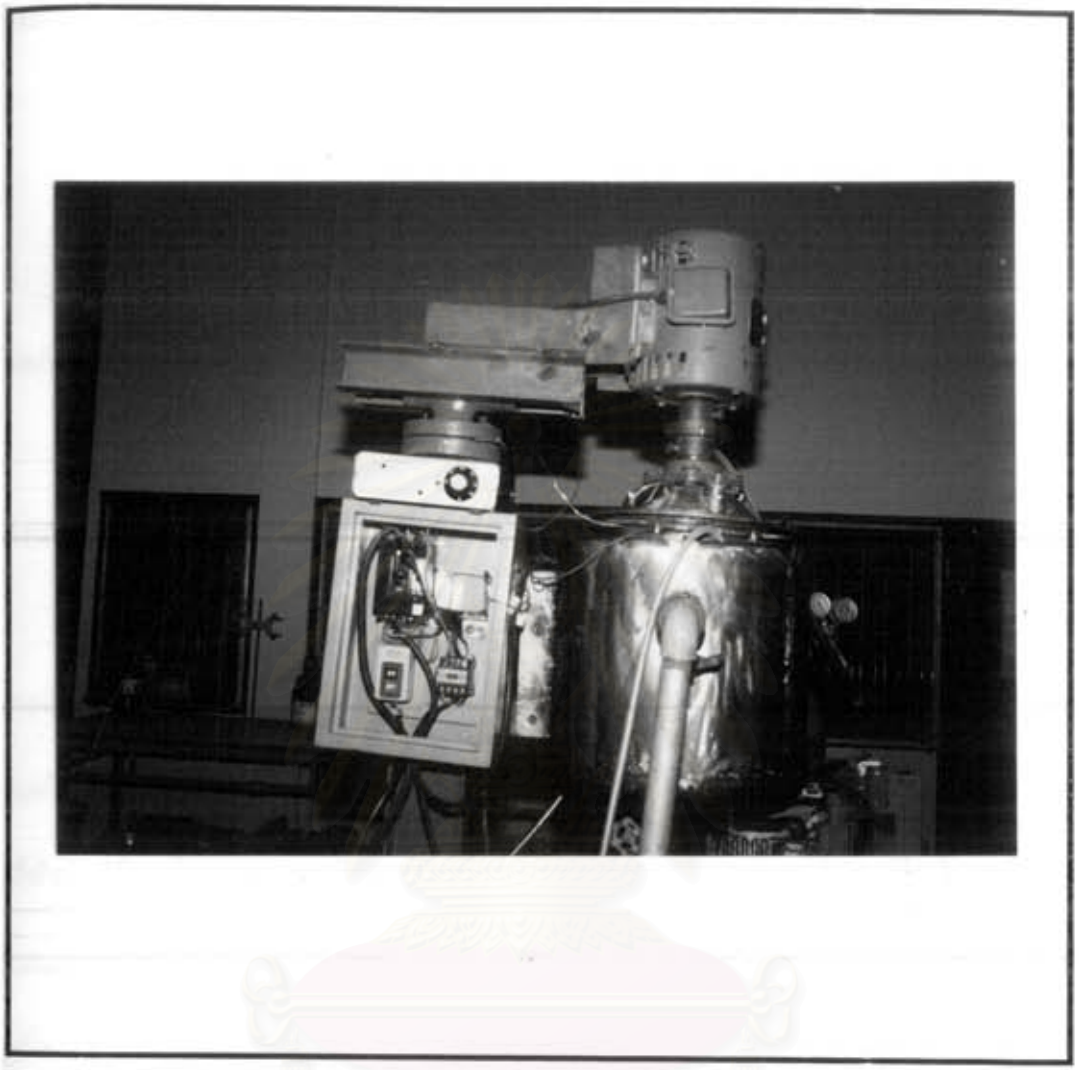
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



<u>รูปที่ 4.28</u> ชุดควบคุมความเร็วรอบ

ประกอบด้วย มอเตอร์เป็นแบบปรับความเร็วรอบชนิด SH 195V และเครื่องควบคุมความเร็วรอบชนิด Victor-670S

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.29 ชุดควบคุมอุณหภูมิ

ประกอบด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ, เทอร์โมคับเปิลวัดอุณหภูมิ และขดลวดให้ความร้อน ดัดเป็นรูปตัวยูจุ่มในน้ำมัน

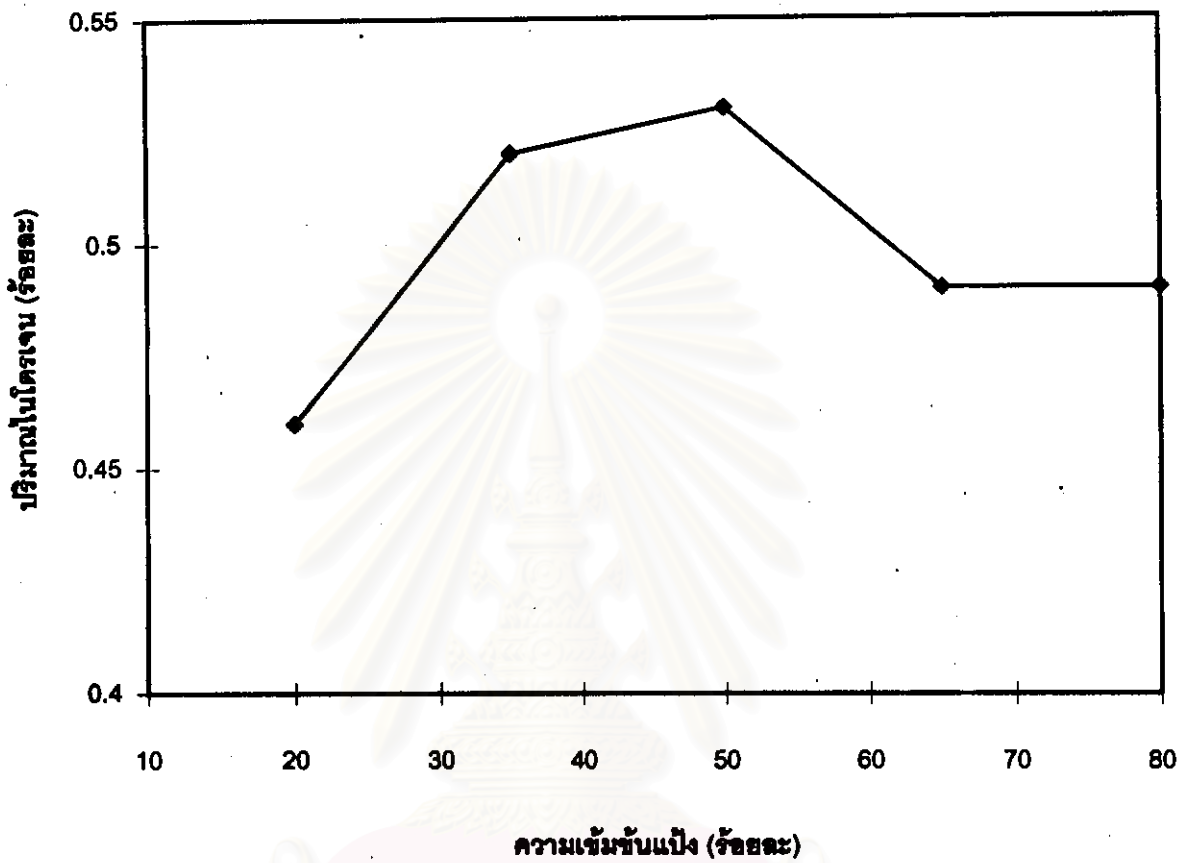
4.4 ภาวะที่มีผลต่อการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่ในถังปฏิกรณ์ระดับขยายส่วนถึงอุตสาหกรรม

4.4.1 ผลของความเข้มข้นแป้งที่ใช้ในการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่

นำถังปฏิกรณ์ที่ได้ออกแบบมาใช้ในการดัดแปรแป้งทั้งชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล และควอเทอนารีแอมโมเนียม พร้อมทั้งหาภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปร

4.4.1.1 ผลของความเข้มข้นแป้งที่ใช้ในการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล

ทำการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังในถังปฏิกรณ์ โดยเติมแป้ง สารเคมี และสารละลายเข้าทางช่องเติมสารซึ่งอยู่ตรงส่วนฝาของถังปฏิกรณ์ ปรับภาวะของระบบให้มีอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยเปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เปิดเครื่องอัดอากาศ เพื่อช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ทั่วถังปฏิกรณ์ หากอุณหภูมิสูงกว่าระดับที่ต้องการ สามารถลดอุณหภูมิโดยเปิดน้ำเข้าท่อน้ำเข้า น้ำจะเกิดการถ่ายเทออกมายังท่อน้ำออก และท่อน้ำล้นเพื่อลดอุณหภูมิภายในถังซึ่งทำหน้าที่เหมือนเครื่องควบแน่น ช่วยลดอุณหภูมิให้กับน้ำมัน ทำให้อุณหภูมิภายในถังลดลงเร็วขึ้น ในการดัดแปรแป้งนี้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4.0 ปริมาณ DEC.HCl ร้อยละ 10.0 และใช้เวลา 18 ชั่วโมง ทำการดัดแปรตามวิธีในข้อ 4.2.1.1 และแปรความเข้มข้นแป้งเป็นร้อยละ 20, 35, 50, 65 และ 80 วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นนำแป้งที่ได้ทุกตัวอย่างไปหาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธี Kjeldahl หลังจากการย่อยและกลั่นแล้ว นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไตเตรตกับกรดไฮโดรคลอริก 0.01 โมลาร์ วัดปริมาณกรดที่ใช้เพื่อไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน จากสูตรที่ 3.1 จากนั้นนำปริมาณไนโตรเจนที่ได้ในตัวอย่างแป้งดัดแปรไปลบปริมาณไนโตรเจนในแป้งควบคุม จากนั้นนำปริมาณไนโตรเจนที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นแป้งแป้ง และปริมาณ



รูปที่ 4.30 ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดเทอเทียรี อะมิโนอัลคิล ที่ความเข้มข้นแป้งต่างๆกัน

ไนโตรเจน ดังรูปที่ 4.30 เมื่อนำค่าไนโตรเจนที่ได้ไปคำนวณระดับการแทนที่ในสูตรที่ 3.4 การคำนวณเหมือนข้อ 4.2.1.1 จะได้ระดับการแทนที่ดังตารางที่ 4.10 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับการแทนที่ในตัวอย่างแป้งดัดแปรที่ได้พบว่า ความเข้มข้นแป้งที่ใช้ในการดัดแปรมีผลให้ระดับการแทนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ค ตารางที่ 1) จากตารางที่ 4.10 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นแป้งเป็นร้อยละ 20 เป็น 35 และ 50 จะทำให้ระดับการแทนที่เพิ่มจาก 0.0553 เป็น 0.0629 และ 0.0641 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นแป้งมากกว่าร้อยละ 50 ระดับการแทนที่จะน้อยกว่าที่ใช้ความเข้มข้นแป้งร้อยละ 50 ระดับการแทนที่สูงสุดคือ 0.0629 ดังนั้นการศึกษาในขั้นต่อไปจึงเลือกความเข้มข้นแป้งร้อยละ 50

4.4.1.2 ผลของความเข้มข้นแป้งที่ใช้ในการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิด ควอเทอนารีแอมโมเนียม

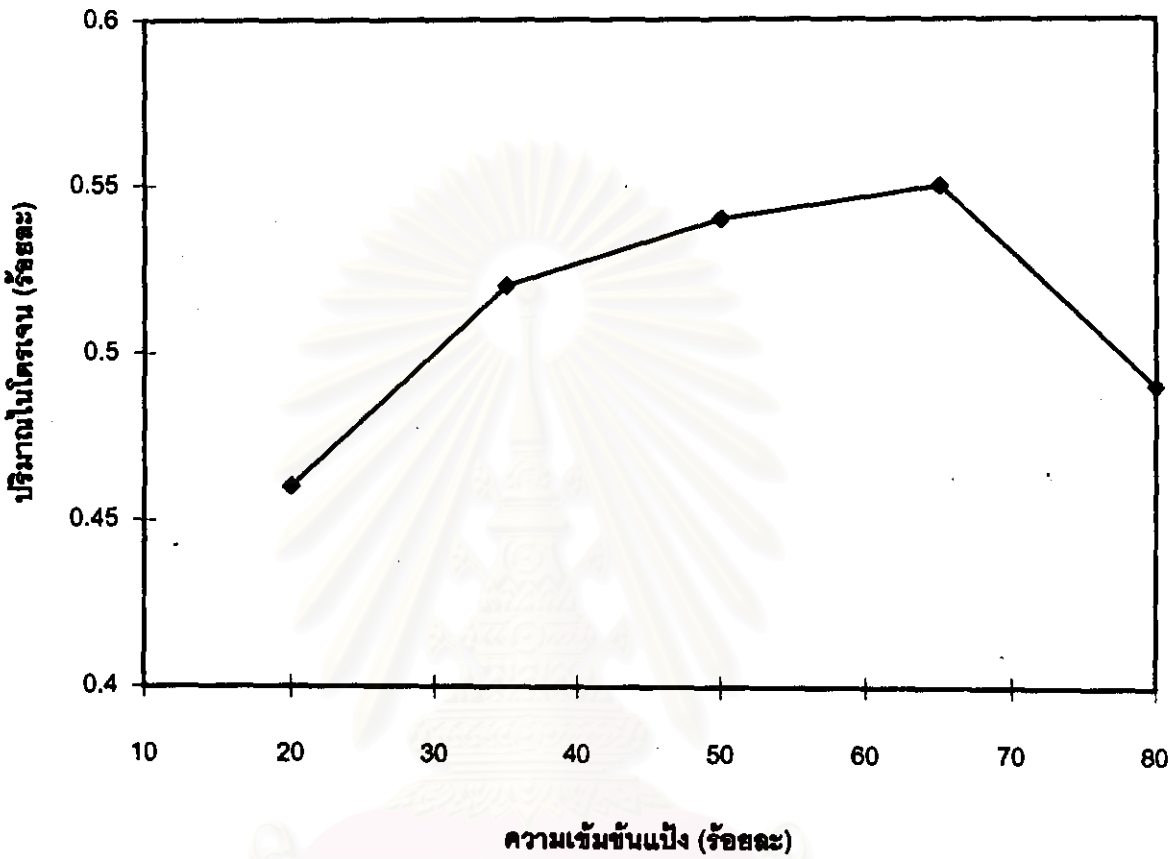
ทำการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังในถังปฏิกรณ์เช่นเดียวกับข้อ 4.4.1.1 แต่ภาวะที่ใช้คือ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส, โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3.5, ปริมาณ CHPTAC ร้อยละ 7.5 และใช้เวลา 12 ชั่วโมง ทำการดัดแปรตามวิธีในข้อ 4.2.2.1 และแปรความเข้มข้นแป้งเป็นร้อยละ 20, 35, 50, 65 และ 80 วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นนำแป้งที่ได้ที่กลั่นได้ไปไตเตรตกับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ วัดปริมาตรกรดที่ใช้ เพื่อไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน จากสูตรที่ 3.1 จากนั้นนำปริมาณไนโตรเจนที่ได้ในตัวอย่างแป้งดัดแปรไปลบปริมาณไนโตรเจนในตัวควบคุม จากนั้นนำปริมาณไนโตรเจนที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นแป้ง และปริมาณไนโตรเจน ดังรูปที่ 4.31 เมื่อนำค่าไนโตรเจนที่ได้ไปคำนวณระดับการแทนที่ในสูตรที่ 3.4 การคำนวณเหมือนข้อ 4.2.1.1 จะได้ระดับการแทนที่ดังตารางที่ 4.10 พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นแป้งจากการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังด้วย CHPTAC ที่ความเข้มข้นแป้งต่างๆกัน พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นแป้งในกระบวนการดัดแปรจากร้อยละ 20 เป็น35, 50 และ 65 ทำให้

ตัวอย่างแป้งดัดแปรที่ได้มีระดับการแทนที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังด้วยปฏิกิริยาการแทนที่โดยใช้ CHPTAC สามารถเกิดได้มากขึ้น จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับการแทนที่ในตัวอย่างแป้งดัดแปรที่ได้พบว่า ความเข้มข้นแป้งที่ใช้ในการดัดแปร มีผลให้ระดับการแทนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ค ตารางที่ 2) จากตารางที่ 4.10 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นแป้งในกระบวนการดัดแปรจากร้อยละ 20 เป็น 35, 50 และ 65 จะทำให้ระดับการแทนที่เพิ่มจาก 0.0553 เป็น 0.0629, 0.0654 และ 0.0667 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นแป้งถึงจุดหนึ่ง ระดับการแทนที่จะไม่เพิ่มขึ้น เช่นกรณีที่ใช้ ความเข้มข้นแป้งมากกว่าร้อยละ 65 ระดับการแทนที่จะน้อยกว่าที่ใช้ ความเข้มข้นแป้งร้อยละ 65 ค่าระดับการแทนที่สูงสุดคือ 0.0677 ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นแป้งที่ร้อยละ 65 ในการศึกษาขั้นต่อไป

4.4.2 ผลของความเร็วรอบการกวน ที่มีต่อการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่

4.4.2.1 ผลของความเร็วรอบการกวนที่มีต่อการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล

ทำการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังในถังปฏิกรณ์ ปรับภาวะที่ใช้ในระบบคือ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส, ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4.0, ปริมาณ DEC.HCl ร้อยละ 10.0, เวลา 18 ชั่วโมง และความเข้มข้นแป้งร้อยละ 50 ในงานวิจัยนี้แปรความเร็วรอบการกวนที่ 100, 125, 150, 175 และ 200 รอบต่อนาที วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นนำตัวอย่างแป้งที่ได้ไปหาปริมาณไนโตรเจน แล้วทำตามขั้นตอนดังข้อ 4.4.1.1 จากนั้นนำปริมาณไนโตรเจนที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างความเร็วรอบการกวน และปริมาณไนโตรเจนดังรูปที่ 4.32 เมื่อนำค่าไนโตรเจนที่ได้ไปคำนวณระดับการแทนที่ในสูตรที่ 3.4 การคำนวณเหมือนข้อ 4.2.1.1 จะได้ระดับการแทนที่



รูปที่4.31 ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิด ควอเทอนารี แอมโมเนียม ที่ความเข้มข้นแป้งต่างๆกัน

ตารางที่ 4.10 ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ) และระดับการแทนที่ (degree of substitution)ในตัวอย่างแป้งดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล และ ควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ความเข้มข้นแป้งต่างๆ กัน

ตัวอย่างแป้งดัดแปร	ความเข้มข้นแป้ง (ร้อยละ)	ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)	ระดับการแทนที่ (DS)
Tert.	20	0.46	0.0553
	35	0.52	0.0629
	50	0.53	0.0641
	65	0.49	0.0591
	80	0.49	0.0591
Quat.	20	0.46	0.0553
	35	0.52	0.0629
	50	0.54	0.0654
	65	0.55	0.0667
	80	0.49	0.0591

Tert. = tertiary aminoalkyl starch

Quat. = quaternary ammonium starch

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังตารางที่ 4.11 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับการแทนที่ในตัวอย่างแป้งดัดแปรที่ได้พบว่า ความเร็วรอบการกวนที่ใช้ในการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังมีผลให้ระดับการแทนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ค ตารางที่ 3) จากตารางที่ 4.11 พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบการกวนจาก 100 เป็น 125, 150 และ 175 รอบต่อนาที จะทำให้ระดับการแทนที่เพิ่มจาก0.0553 เป็น 0.0603, 0.0629 และ 0.0667 ตามลำดับ และพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบการกวนถึงจุดหนึ่งระดับการแทนที่จะไม่เพิ่มขึ้น เช่นกรณีที่ใช้ ความเร็วรอบการกวนมากกว่า 175 รอบต่อนาที ระดับการแทนที่จะน้อยกว่าที่ใช้ ความเร็วรอบการ 175 รอบต่อนาที ดังนั้นความเร็วรอบที่เหมาะสมคือ 175 รอบต่อนาที ปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ระดับการแทนที่สูงขึ้นด้วย ค่าระดับการแทนที่สูงที่สุดคือ 0.0667 ที่ภาวะที่ใช้ปริมาณ ปริมาณ DEC.HCl ร้อยละ 10.0, เวลา 18 ชั่วโมง, อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส,โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4.0, ความเข้มข้นแป้งร้อยละ 50 และความเร็วรอบการกวน 175 รอบต่อนาที

4.4.2.2 ผลของความเร็วรอบการกวนที่มีต่อการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิด ควอเทอนารีแอมโมเนียม

ทำการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังในถังปฏิกรณ์ ปรับภาวะที่ใช้ในระบบคือ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส, ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3.5, ปริมาณ CHPTAC ร้อยละ 7.5, เวลา 12 ชั่วโมง และความเข้มข้นแป้งร้อยละ 65 ในงานวิจัยนี้แปรความเร็วรอบการกวนที่ 100, 125, 150, 175 และ 200 รอบต่อนาที วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นนำตัวอย่างแป้งที่ได้ไปหาปริมาณไนโตรเจน แล้วทำตามขั้นตอนดังข้อ 4.4.1.2 จากนั้นนำปริมาณไนโตรเจนที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างความเร็วรอบการกวน และปริมาณไนโตรเจนดังรูปที่ 4.37 เมื่อนำปริมาณไนโตรเจนที่ได้ไปคำนวณระดับการแทนที่ในสูตรที่ 3.4 การคำนวณเหมือนข้อ 4.2.1.1 จะได้ระดับการแทนที่ดังตารางที่ 4.11 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของระดับการแทนที่ใน

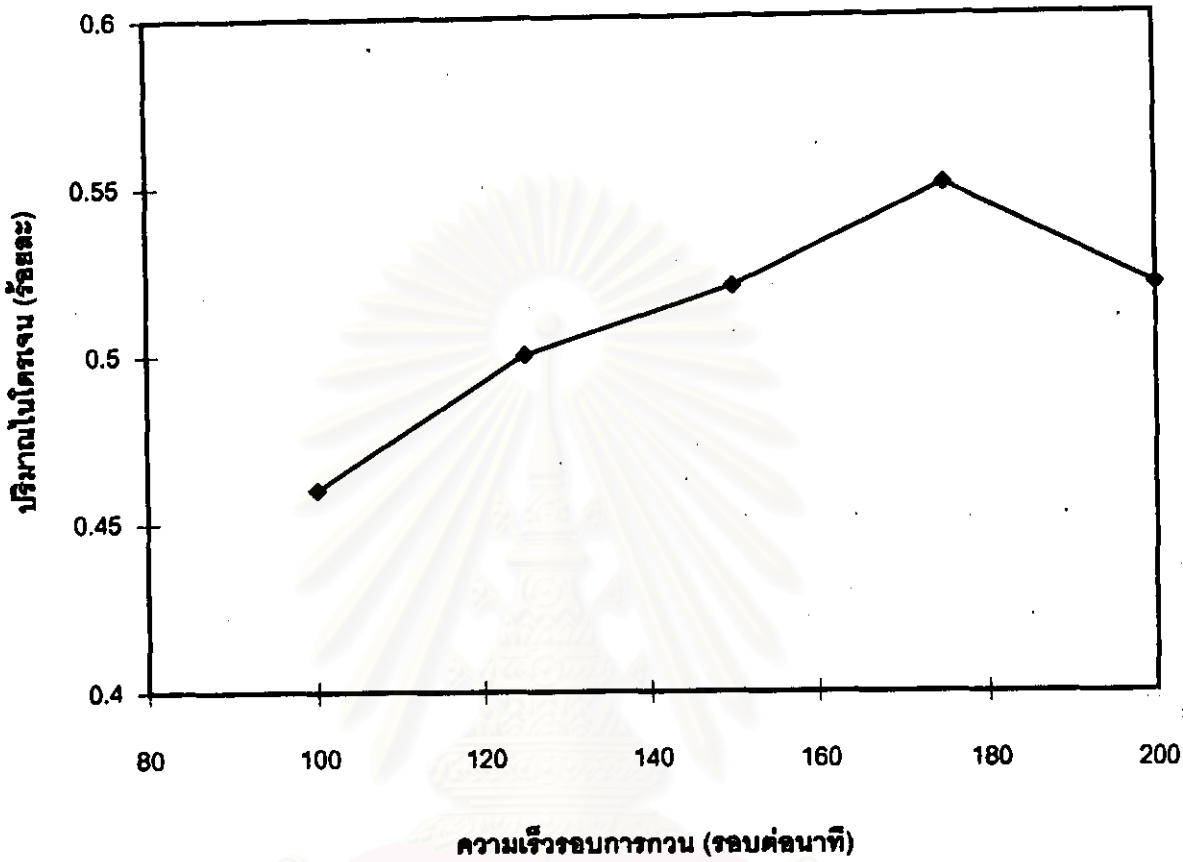
ตัวอย่างแป้งดัดแปรที่ได้พบว่า ความเร็วรอบการกวนที่ใช้ในการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังมีผลให้ระดับการแทนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ค ตารางที่ 3) จากตารางที่ 4.11 พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบการกวนจาก 100 เป็น 125 และ 150 รอบต่อนาที จะทำให้ระดับการแทนที่เพิ่มจาก 0.0553 เป็น 0.0641 และ 0.0679 ตามลำดับ และพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบการกวนถึงจุดหนึ่งระดับการแทนที่จะไม่เพิ่มขึ้น เช่นกรณีที่ใช้ ความเร็วรอบการกวนมากกว่า 150 รอบต่อนาที ระดับการแทนที่จะน้อยกว่าที่ใช้ ความเร็วรอบการกวน 150 รอบต่อนาที ปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ระดับการแทนที่สูงขึ้นด้วย ค่าระดับการแทนที่สูงสุดคือ 0.0679 ที่ภาวะที่ใช้ปริมาณ CHPTAC ร้อยละ 7.5,เวลา 12 ชั่วโมง, อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส, โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3.5, ความเข้มข้นแป้งร้อยละ 65 และความเร็วรอบการกวน 150 รอบต่อนาที

4.4.3 สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล และ ควอเทอนารีแอมโมเนียม

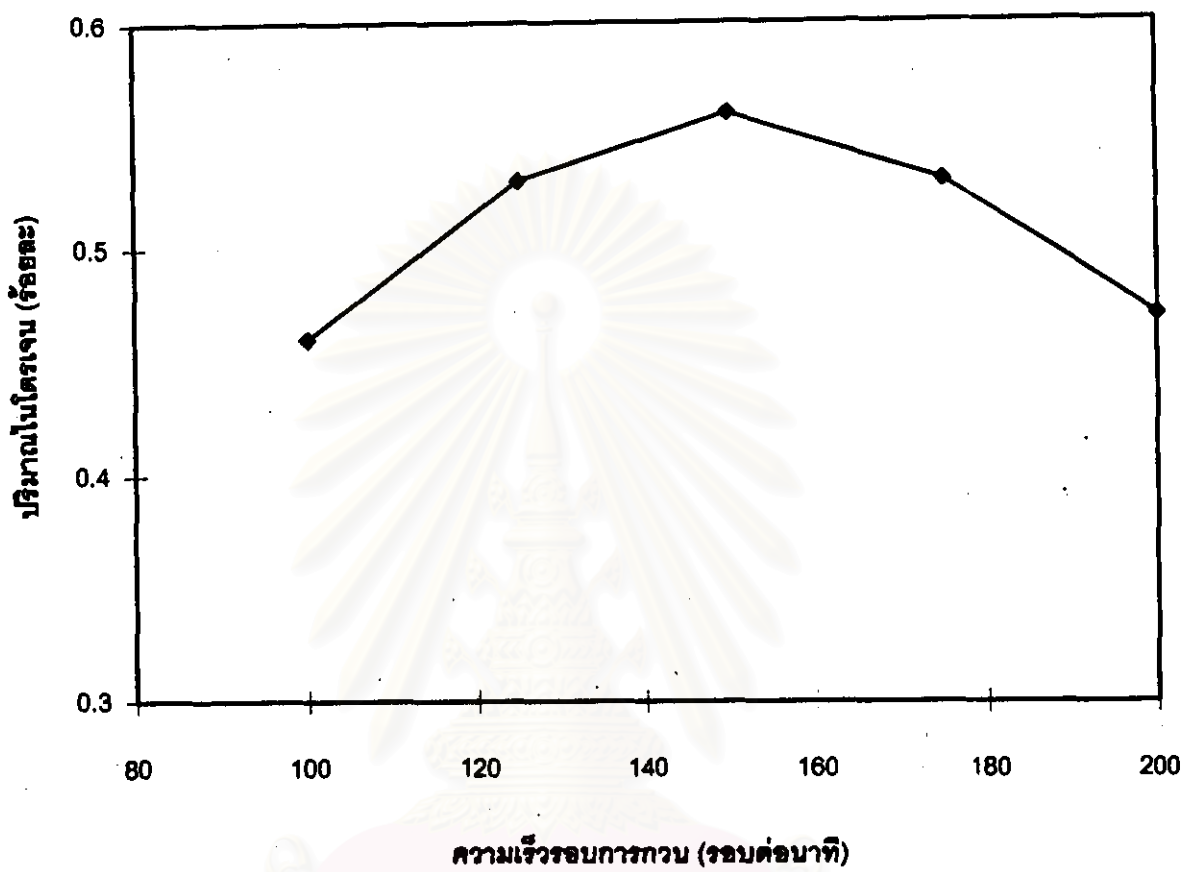
หลังจากทำการดัดแปรแป้งชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล และควอเทอนารีแอมโมเนียมที่ความเร็วรอบการกวนต่างๆกันแล้วนำแป้งดัดแปรที่ได้ มาตรวจสอบสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ดังนี้

4.4.3.1 การละลายของแป้งดัดแปร

นำตัวอย่างแป้งดัดแปรจากข้อ 4.4.2.1 และ 4.4.2.2 มาตรวจสอบการละลายที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส ตามวิธีในข้อ 3.2.2 โดยนำส่วนที่เป็นน้ำใสที่ได้จากการเซนตริฟิวจ์ไประเหยในเตาอบอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ นำค่าที่ได้ไปคำนวณการละลาย(ร้อยละ)จากสูตรที่ 3.2 วิธีการคำนวณเหมือนข้อ 4.1.1 แล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิ และการละลาย(ร้อยละ)ของแป้งดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล และควอเทอนารีแอมโมเนียม จากรูปที่ 4.34 และ 4.35 พบว่าแป้งดัดแปรชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล



รูปที่ 4.32 ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ความเร็วรอบการกวนต่างๆกัน



รูปที่ 4.33 ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิด ควอเทอนารี แอมโมเนียม ที่ความเร็วรอบการกวนต่างๆกัน

และ ควอเทอนารีแอมโมเนียม ตามลำดับที่ใช้ความเร็วรอบการกวนต่างๆกัน จะมีการละลายเพิ่มตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากอุณหภูมิ 65 ถึง 95 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบการกวนมีผลทำให้ตัวอย่างแป้งดัดแปรมีการละลายที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ค ตารางที่ 9, 15) ตัวอย่างแป้งดัดแปรที่มีระดับการแทนที่สูงจะมีการละลายสูงกว่าแป้งที่มีระดับการแทนที่ต่ำ แต่ที่อุณหภูมิ 85 และ 95 องศาเซลเซียส แป้งมันสำปะหลังดัดแปรจะมีการละลายต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง ความเร็วรอบการกวนมีผลทำให้ตัวอย่างแป้งดัดแปรมีการละลายที่อุณหภูมิ 85 และ 95 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ค ตารางที่ 9, 16)

4.4.3.2 กำลังการพองตัว

นำตัวอย่างแป้งดัดแปรจากข้อ 4.4.2.1 และ 4.4.2.2 มาตรวจสอบกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส ตามวิธีในข้อ 3.2.4 โดยนำส่วนที่เป็นแป้งเปียกที่เหลือในหลอดเซนตริฟิวจ์มาหาน้ำหนัก นำค่าที่ได้ไปคำนวณกำลังการพองตัวดังสมการที่ 3.3 การคำนวณเหมือนข้อ 4.1.2 จากรูปที่ 4.36 และ 4.37 แสดงกำลังการพองตัว ที่อุณหภูมิ 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส ของแป้งดัดแปรชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล และ ควอเทอนารีแอมโมเนียม ตามลำดับ พบว่ากำลังการพองตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่าความเร็วรอบการกวนมีผลทำให้ตัวอย่างแป้งดัดแปรมีกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65, และ 75 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก 6, 13) แต่กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 85 และ95 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก ค ตารางที่ 7, 14) แป้งที่มีระดับการแทนที่สูงมีกำลังการพองตัวมากกว่าตัวอย่างแป้งที่มีระดับการแทนที่ต่ำ แต่ที่อุณหภูมิ 85 และ95 องศาเซลเซียส กำลังการพองตัวของ

ตารางที่4.11 ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ) และระดับการแทนที่ (degree of substitution)ใน ตัวอย่างแป้งดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล และ ควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ความเร็วรอบ การกวนต่างๆกัน

ความเร็วรอบการกวน (รอบต่อนาที)	ปริมาณไนโตรเจน(ร้อยละ)		ระดับการแทนที่ (DS)	
	Tert.	Quat.	Tert.	Quat.
100	0.46	0.46	0.0553	0.0553
125	0.50	0.53	0.0603	0.0641
150	0.52	0.56	0.0629	0.0679
175	0.55	0.53	0.0667	0.0641
200	0.52	0.47	0.0629	0.0566

Tert. = tertiary aminoalkyl starch

Quat. = quaternary ammonium starch

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

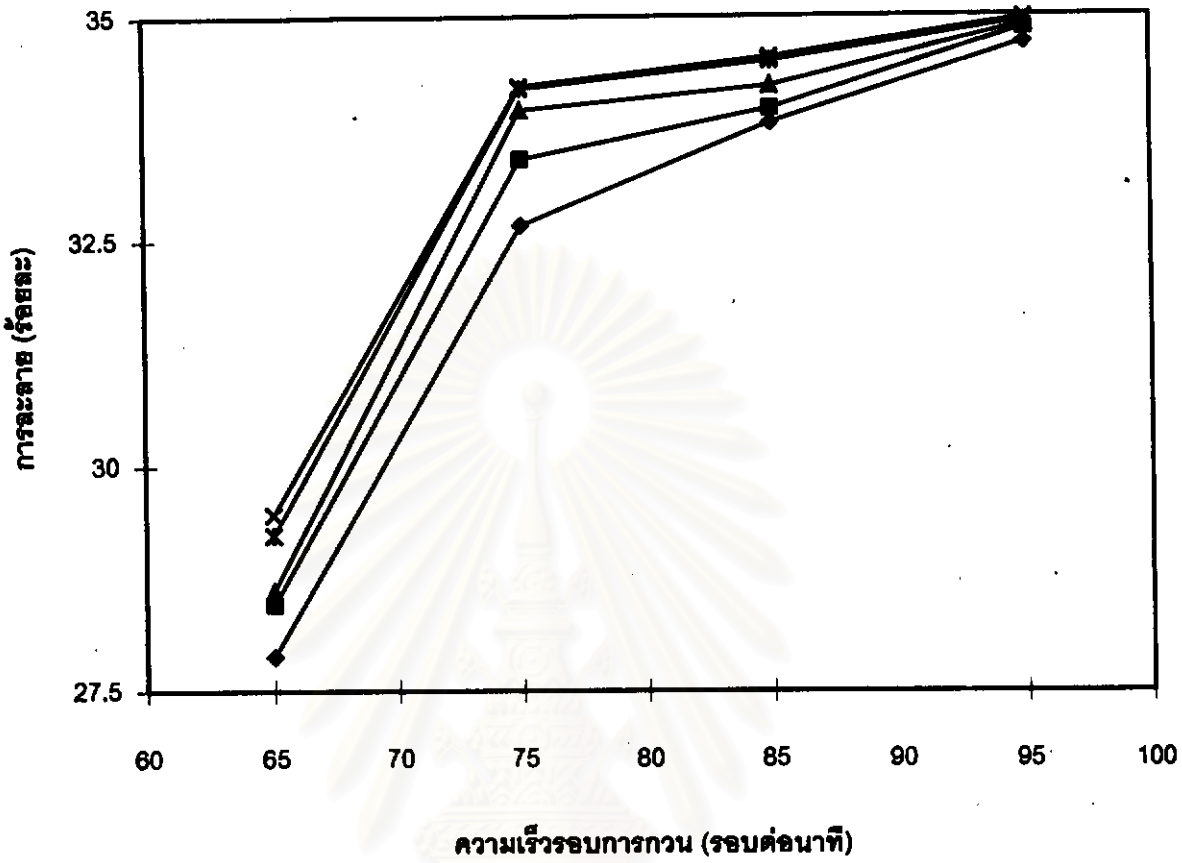
แป้งดัดแปรทั้งชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล และควอเทอนารีแอมโมเนียม มีค่าน้อยกว่าแป้งมันสำปะหลัง

4.4.3.3 ความหนืด

นำตัวอย่างแป้งดัดแปรจากข้อ 4.4.2.1 และ 4.4.2.2 มาตรวจสอบความหนืดที่อุณหภูมิ 25, 45, 65 และ 85 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นแป้ง ร้อยละ 8 (โดยน้ำหนักแป้งแห้ง)ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer โดยใช้เข็มหมายเลข 5 ที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที จากตาราง 4.12 แสดงค่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่อุณหภูมิ 25, 45, 65 และ 85 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดประมาณ 42.06 - 42.42, 60.73 - 60.96, 66.96 - 67.62 และ 63.46 - 63.50 poise ตามลำดับ ส่วนแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่อุณหภูมิ 25, 45, 65 และ 85 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดประมาณ 42.26 - 42.53, 60.93 - 61.26, 67.16 - 67.40 และ 63.50 - 63.86 ตามลำดับ ซึ่งที่อุณหภูมิ 25, 45, 65 และ 85 องศาเซลเซียสนั้น พบว่าความเร็วรอบการกวนมีผลให้ค่าความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ค ตารางที่ 4-5)

4.4.3.4 ช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน

นำตัวอย่างแป้งดัดแปรจากข้อ 4.4.2.1 และ 4.4.2.2 มาตรวจสอบช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน โดยวิธีการติดสีคองโก-เรด ของแป้ง ตามวิธีดังข้อ 3.2.5 และ 4.1.4 จากตาราง 4.13 พบว่าแป้งดัดแปรทั้งชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล และ ควอเทอนารีแอมโมเนียม สามารถเกิดเจลาติไนเซชันได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง และพบว่าความเร็วรอบการกวนส่งผลให้ตัวอย่างแป้งดัดแปรมีอุณหภูมิเจลาติไนเซชันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) (ภาคผนวก ค ตารางที่ 8, 17) แสดงว่าเม็ดแป้งดัดแปรสามารถเกิดเจลาติไนเซชันได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง



รูปที่4.34 การละลายที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งดัดแปรโดย ปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ใช้ความเร็วรอบการกวนต่างๆกัน

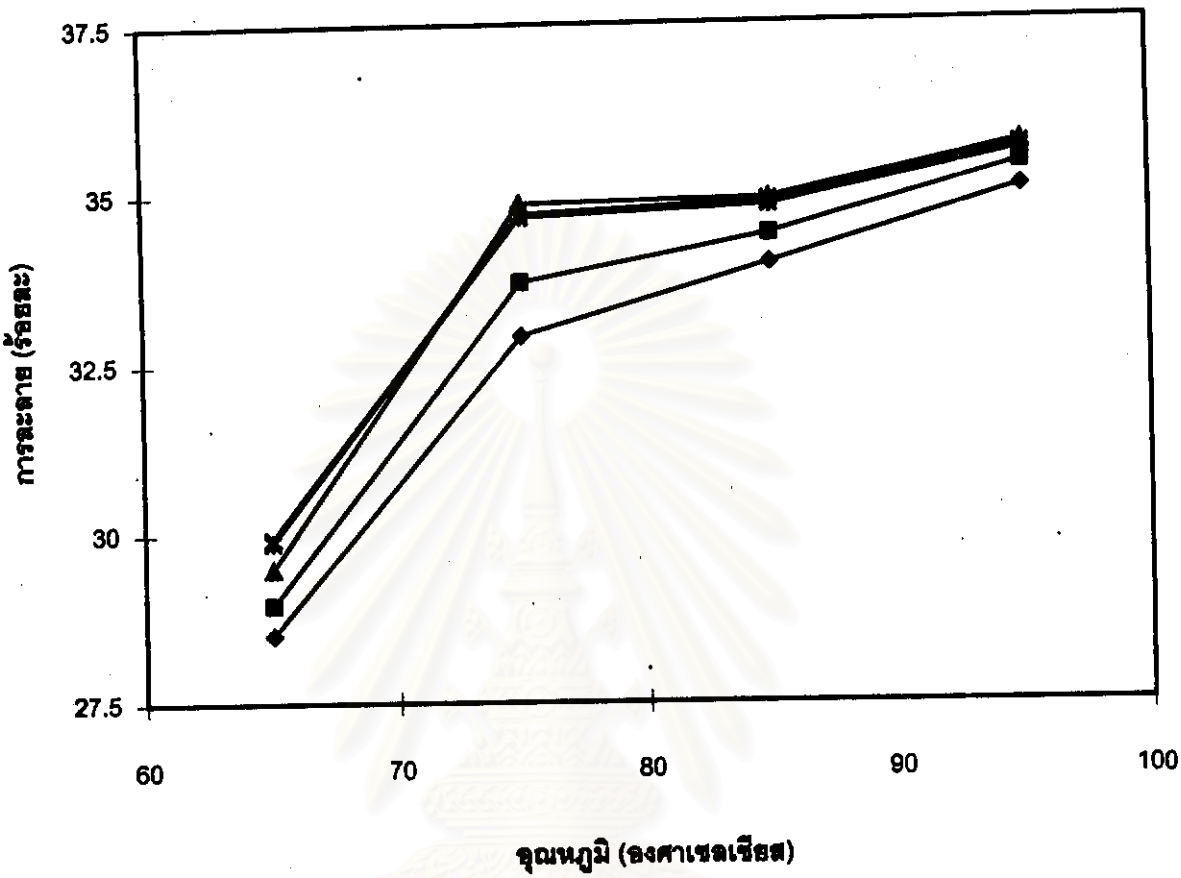
100 รอบต่อนาที

125 รอบต่อนาที

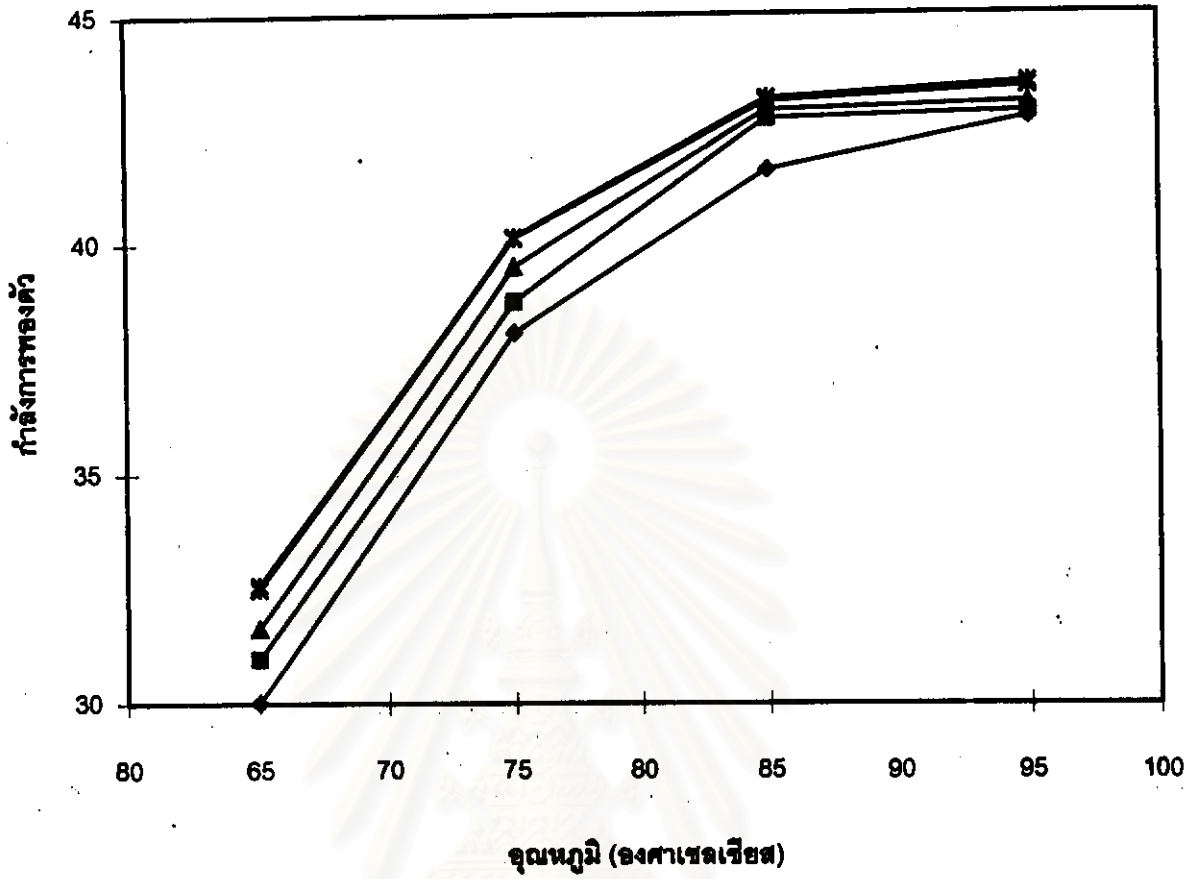
150 รอบต่อนาที

175 รอบต่อนาที

200 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.35 การละลายที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ใช้ความเร็วรอบการกวนต่างๆกัน



รูปที่ 4.36 กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ใช้ความเร็วรอบการกวนต่างๆกัน

100 รอบต่อนาที

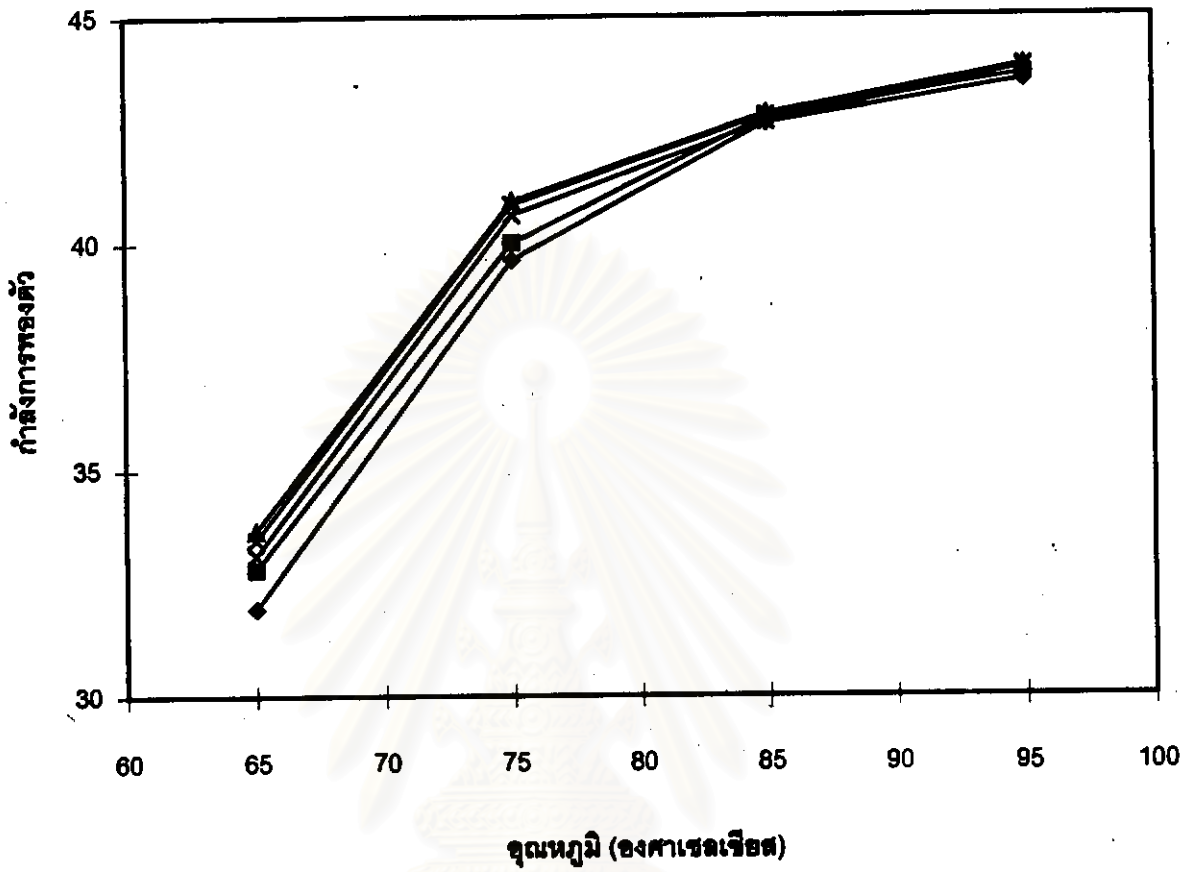
125 รอบต่อนาที

150 รอบต่อนาที

175 รอบต่อนาที

200 รอบต่อนาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่4.37 กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของตัวอย่างแป้งดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ใช้ความเร็วรอบการกวนต่างๆกัน

100 รอบต่อนาที

125 รอบต่อนาที

150 รอบต่อนาที

175 รอบต่อนาที

200 รอบต่อนาที

4.4.3.5 ลักษณะของเม็ดแป้งดัดแปร

นำตัวอย่างแป้งดัดแปรจากข้อ 4.4.2.1 และ 4.4.2.2 ที่ผ่านการละลายที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส มาศึกษาลักษณะของเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสะแกนโดยติดตัวอย่างแป้งบนฐานรองตัวอย่างด้วยเทปสองหน้า จากนั้นนำตัวอย่างแป้งไปฉาบทองด้วยเครื่องฉาบทอง และส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสะแกนที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 1000 เท่า ดังรูปที่ 4.38 - 4.41

จากรูปที่ 4.38 และ 4.39 เป็นลักษณะอนุภาคของแป้งดัดแปรชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล ที่ระดับการแทนที่ 0.0667 พบว่ามีรูพรุนกระจายอยู่ ส่วนรูปที่ 4.40 และ 4.41 เป็นลักษณะอนุภาคของแป้งดัดแปรชนิด ควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ระดับการแทนที่ 0.0679 พบว่ามีรูพรุนกระจายอยู่เช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบอนุภาคของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งดัดแปรทั้งสองชนิด แสดงให้เห็นว่า อนุภาคของแป้งมันสำปะหลังเปลี่ยนไปมากอย่างเห็นได้ชัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่4.12 ความหนืดที่อุณหภูมิต่างๆ ของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล และ ควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ความเร็วรอบการกวนต่างๆกัน

ตัวอย่างแป้งดัดแปร	ความเร็วรอบการกวน (รอบต่อนาที)	ความหนืด (poise)			
		25°C	45°C	65°C	85°C
Tert.	100	42.05	60.73	66.96	63.46
	125	42.10	60.86	67.01	63.47
	150	42.23	60.90	67.13	63.49
	175	42.42	60.96	67.26	63.50
	200	42.36	60.94	67.20	63.47
Quat.	100	42.26	60.93	67.16	63.50
	125	42.38	61.01	67.23	63.62
	150	42.53	61.26	67.40	63.86
	175	42.46	61.20	67.36	63.83
	200	42.33	61.00	67.32	63.80

Tert. = tertiary aminoalkyl starch

Quat. = quaternary ammonium starch

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

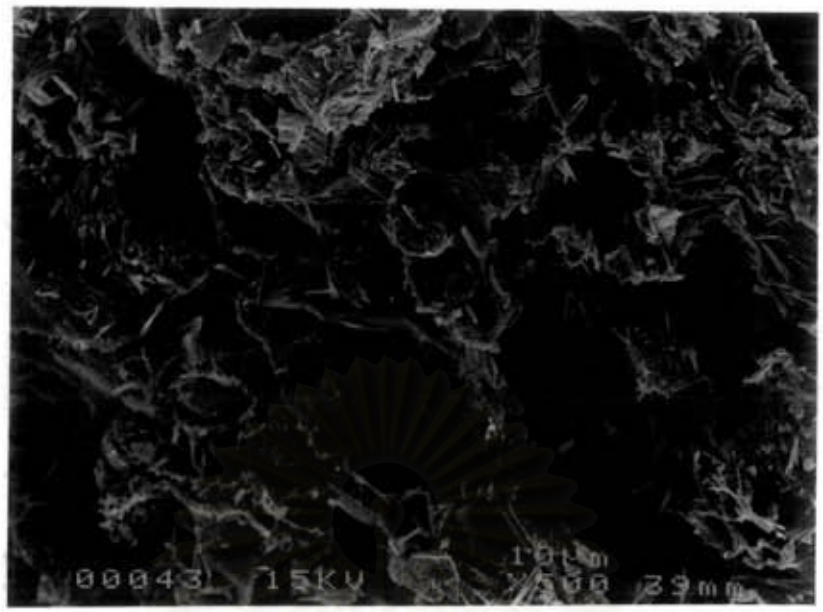
ตารางที่4.13 แสดงช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชันของแป้งดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล และควอเทอนารีแอมโมเนียม ที่ความเร็วรอบการกวนต่างๆกัน

ตัวอย่างแป้งดัดแปร	ความเร็วรอบ(รอบต่อนาที)	ช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน(°C)
Tert.	100	51-54
	125	50-54
	150	50-53
	175	49-52
	200	49-52
Quat.	100	49-53
	125	49-52
	150	48-51
	175	49-52
	200	49-52

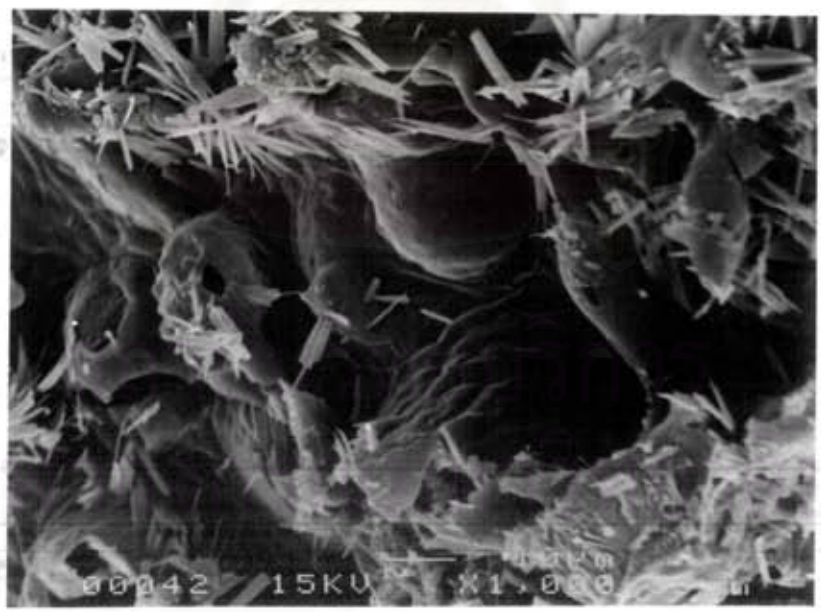
Tert. = tertiary aminoalkyl starch

Quat. = quaternary ammonium starch

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

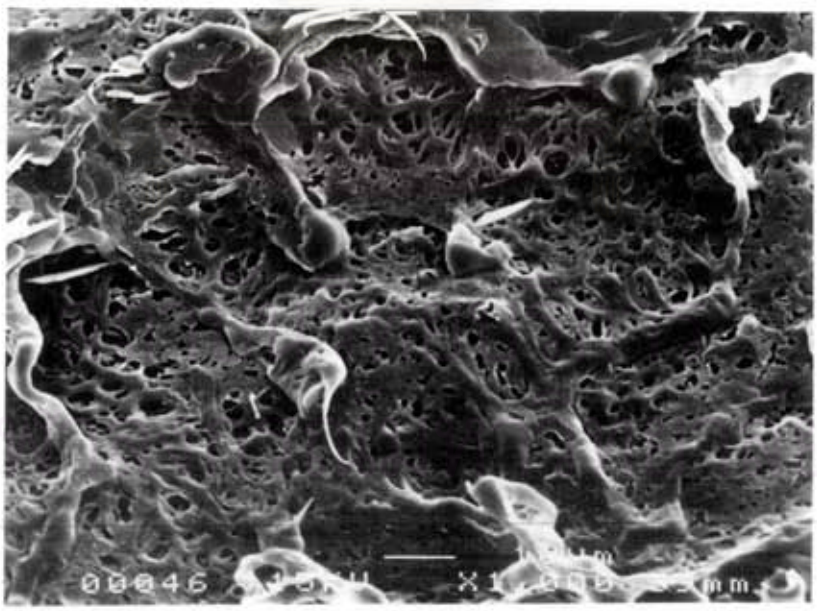


รูปที่ 4.38 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 500 เท่าของเม็ดแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล



รูปที่ 4.39 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1000 เท่าของเม็ดแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิด เทอเทียรีอะมิโนอัลคิล

รูปที่ 4.40 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 500 เท่าของเม็ดแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิด ควอเทอนารีแอมโมเนียม



รูปที่ 4.41 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1000 เท่าของเม็ดแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิด ควอเทอนารีแอมโมเนียม

จากการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังในข้อ 4.4 เราพบว่าภาวะที่เหมาะสมในการดัดแปรโดยปฏิกิริยาการแทนที่ชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล คืออุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส, ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 4.0, ปริมาณ DEC.HClร้อยละ 10.0, เวลา 18 ชั่วโมง, ความเข้มข้นแป้งร้อยละ 50 และความเร็วรอบการกวน 175 รอบต่อนาที ส่วนในแป้งดัดแปรชนิด ควอเทอนารีแอมโมเนียม ภาวะที่เหมาะสมคืออุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส, ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 3.5, ปริมาณ CHPTACร้อยละ 7.5, เวลา 12 ชั่วโมง, ความเข้มข้นแป้งร้อยละ 65 และความเร็วรอบการกวน 150 รอบต่อนาที เมื่อเปรียบเทียบระดับการแทนที่ของแป้งดัดแปรทั้งสองชนิดที่ทำการดัดแปรในห้องปฏิบัติการ และในระดับขยายส่วน ดังตารางที่ 4.14 พบว่าระดับการแทนที่ของแป้งดัดแปรในระดับขยายส่วนจะมีค่าสูงขึ้น และสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งดัดแปรทั้งสองชนิดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังดังตารางที่ 4.15 พบว่าแป้งดัดแปรทั้งสองชนิดมีการละลาย, กำลังการพองตัว และความหนืดสูงขึ้น แต่อุณหภูมิเจลาติไนเซชันจะต่ำลง แป้งดัดแปรชนิดควอเทอนารีแอมโมเนียมจะมีการละลาย, กำลังการพองตัว และความหนืดสูงกว่าแป้งดัดแปรชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล แต่อุณหภูมิเจลาติไนเซชันจะมีค่าต่ำกว่าแป้งดัดแปรชนิดเทอเทียรีอะมิโนอัลคิล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ระดับการแทนที่ของแป้งดัดแปรที่ภาวะต่างๆกัน

ภาวะในการดัดแปร	ระดับห้องปฏิบัติการ		ระดับขยายส่วน	
	Tert.	Quat.	Tert.	Quat.
35°C, NaOH 4.0%,DEC.HCl 10.0% 18 ชั่วโมง,ความเข้มข้นแป้ง35%,150rpm	0.0591		0.0629	
35°C, NaOH 4.0%,DEC.HCl 10.0% 18 ชั่วโมง,ความเข้มข้นแป้ง35%,175rpm			0.0667	
35°C, NaOH 4.0%,DEC.HCl 10.0% 18 ชั่วโมง,ความเข้มข้นแป้ง50%,150rpm			0.0629	
35°C, NaOH 4.0%,DEC.HCl 10.0% 18 ชั่วโมง,ความเข้มข้นแป้ง50%,175rpm			0.0667	
45°C, NaOH 3.5%,CHPTAC 7.5% 18 ชั่วโมง,ความเข้มข้นแป้ง35%,150rpm		0.0591		0.0629
45°C, NaOH 3.5%,CHPTAC 7.5% 18 ชั่วโมง,ความเข้มข้นแป้ง50%,150rpm				0.0654
45°C, NaOH 3.5%,CHPTAC 7.5% 18 ชั่วโมง,ความเข้มข้นแป้ง65%,150rpm				0.0667
45°C, NaOH 3.5%,CHPTAC 7.5% 18 ชั่วโมง,ความเข้มข้นแป้ง35%,175rpm				0.0641

ตารางที่ 4.15 สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งดัดแปร

สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์	แป้งมันสำปะหลัง	Tert.	Quat.
ระดับการแทนที่	-	0.0667	0.0679
การละลาย(ร้อยละ)ที่อุณหภูมิ 65°C	16.21	29.46	29.48
การละลาย(ร้อยละ)ที่อุณหภูมิ 75°C	24.78	34.22	34.85
การละลาย(ร้อยละ)ที่อุณหภูมิ 85°C	36.78	34.54	34.90
การละลาย(ร้อยละ)ที่อุณหภูมิ 95°C	46.98	34.97	35.70
กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65°C	3.63	32.58	33.65
กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 75°C	27.22	40.13	40.92
กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 85°C	45.87	43.15	42.84
กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 95°C	58.14	43.49	43.90
ความหนืดที่อุณหภูมิ 25°C	32.56	42.42	42.53
ความหนืดที่อุณหภูมิ 45°C	56.03	60.96	61.26
ความหนืดที่อุณหภูมิ 65°C	64.23	67.26	67.40
ความหนืดที่อุณหภูมิ 85°C	57.36	63.50	63.86
ช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน(°C)	60-67	49-52	48-51