



บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาสมบัติของแป้งชุปทอดทางการค้า

4.1.1 อุณหภูมิแป้งสุก การเปลี่ยนแปลงความหนืด และองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของแป้งชุปทอดทางการค้า

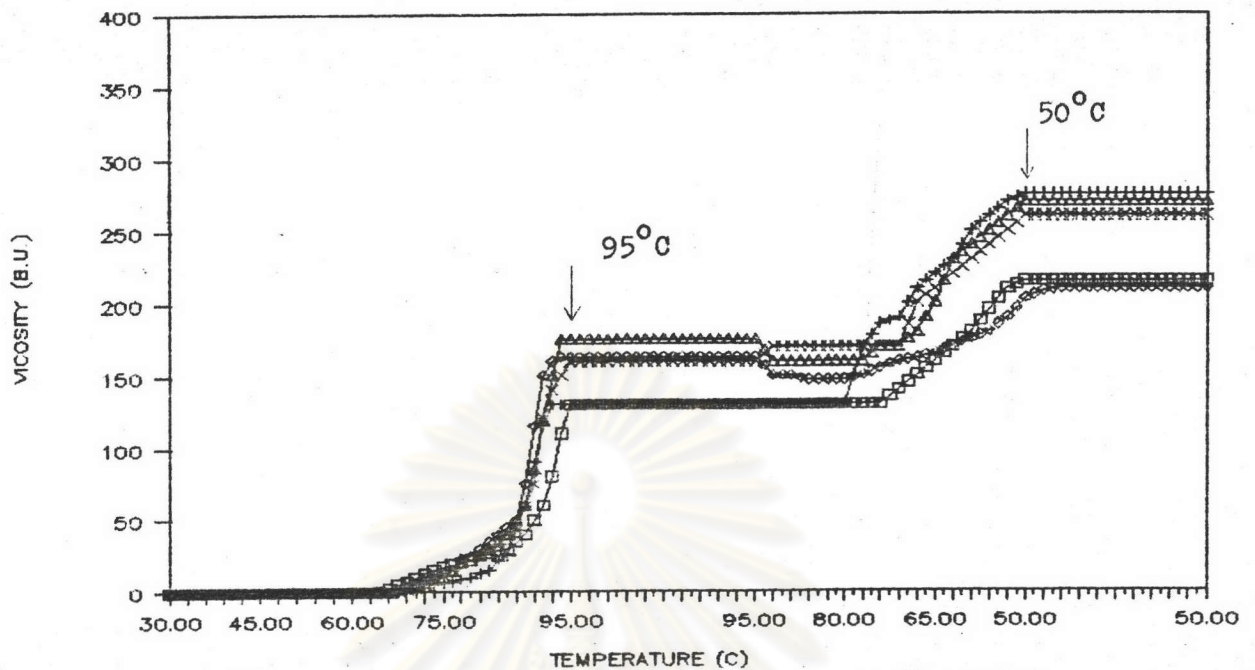
ผลการศึกษาอุณหภูมิแป้งสุกของแป้งชุปทอดทางการค้าที่มีจำหน่ายภายในประเทศ 5 ตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8 พบว่า อุณหภูมิแป้งสุกของแป้งชุปทอดตัวอย่างที่ 4 สูงที่สุด รองลงมาคือ ตัวอย่างที่ 3 5 และ 2 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนตัวอย่างที่ 1 มีค่าต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ 4 สำหรับการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ความหนืดที่ 95°C ของ paste แป้งชุปทอด ตัวอย่างที่ 2 4 และ 5 มีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ 1 และ 3 เมื่อได้รับความร้อนที่ 95°C เวลานาน 20 นาที พบว่า ความหนืดของแต่ละตัวอย่างมีค่าคงที่ ดังนั้น จึงมีเสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle คงที่ หลังจาก paste เย็นลงจนมีอุณหภูมิ 50°C พบว่า ความหนืดของ paste แป้งชุปทอดตัวอย่างที่ 3 2 และ 5 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ 1 และ 4 ความหนืดของการคืนตัวทั้งหมดของ paste แป้งชุปทอดตัวอย่างที่ 3 มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ตัวอย่างที่ 5 กับ 2 ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างที่ 1 และ 4 ตามลำดับ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 9

สำหรับปริมาณอะไมโลสในแป้งชุปทอดทั้ง 5 ตัวอย่าง พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่ปริมาณอะไมโลสในตัวอย่างที่ 3 มีค่าสูงสุด และตัวอย่างที่ 1 มีค่าต่ำสุด สำหรับตัวอย่างที่ 4 2 และ 5 มีปริมาณอะไมโลสในระดับกลางระหว่างตัวอย่างที่ 3 และ 1 สำหรับปริมาณโปรตีน พบว่า ตัวอย่างที่ 1 มีโปรตีนสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ตัวอย่างที่ 4 กับ 2 และ 3 กับ 5 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมบัติของแป้งชบทอดทางการค้า

สมบัติ	แป้งชบทอดทางการค้า				
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5
อุณหภูมิแป้งสุกเจ็ลลี่ ($^{\circ}\text{C}$)	64.13 ^a	66.57 ^b	67.13 ^b	69.00 ^c	66.94 ^b
ความหนืดเจ็ลลี่ที่ 95 $^{\circ}\text{C}$ (บี.ยู.) ²	130.00 ^a	175.00 ^b	130.00 ^a	163.00 ^b	160.00 ^b
ความหนืดเจ็ลลี่ที่ 95 $^{\circ}\text{C}$ นาน 20 นาที (บี.ยู.)	130.00 ^a	175.00 ^b	130.00 ^a	163.00 ^b	160.00 ^b
เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle ³ (บี.ยู.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ความหนืดเจ็ลลี่ที่ 50 $^{\circ}\text{C}$ (บี.ยู.)	215.00 ^a	270.00 ^b	275.00 ^b	203.00 ^a	260.00 ^b
ความหนืดเจ็ลลี่ของการคืนตัว	85.00 ^b	95.00 ^{b,c}	145.00 ^d	40.00 ^a	100.00 ^c
ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	19.08 ^a	19.99 ^b	20.91 ^c	20.11 ^b	19.55 ^b
ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	10.28 ^c	9.89 ^b	9.56 ^a	10.07 ^b	9.65 ^a

- 1 วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8
- 2 บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)
- 3 ค่าเจ็ลลี่ที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
- 4 เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle (breakdown) มีค่าเท่ากับ ผลต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดที่ 95 $^{\circ}\text{C}$ นาน 20 นาที ถ้าผลต่างมีค่ามาก หมายถึง มีเสถียรภาพความหนืดต่ำ ในทางตรงข้ามถ้าผลต่างมีค่าน้อยหมายถึง มีเสถียรภาพความหนืดสูง
- 5 ความหนืดของการคืนตัวทั้งหมด (total setback) หมายถึง ผลต่างระหว่างความหนืดที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}\text{C}$ และความหนืดที่อุณหภูมิ 95 $^{\circ}\text{C}$ นาน 20 นาที ถ้ามีค่าน้อย หมายถึง paste เกิดการคืนตัวต่ำ



□ ตัวอย่างที่ 1

Δ ตัวอย่างที่ 2

+ ตัวอย่างที่ 3

◇ ตัวอย่างที่ 4

× ตัวอย่างที่ 5

รูปที่ 9 กราฟแสดงความหนืดของ paste แป้งชงทอดทางการค้า ความเข้มข้นของน้ำแป้ง ร้อยละ 8

4.1.2 ลักษณะคุณภาพทั่วไปของแป้งชงทอดทางการค้า

4.1.2.1 ลักษณะทางกายภาพด้านแรงตัดขาดและการพองตัวของแป้งหลังการทอด

ผลการศึกษาค่าแรงตัดขาดของแป้งชงทอดทางการค้า 5 ตัวอย่างซึ่งวัดด้วยเครื่อง Texturometer พบว่า แต่ละตัวอย่างมีค่าแรงตัดขาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยที่ตัวอย่างที่ 3 มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ตัวอย่างที่ 2 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าตัวอย่างที่ 3 แต่สูงกว่าตัวอย่างที่ 1 4 และ 5 ตามลำดับ

สำหรับผลการศึกษการพองตัวของผลิตภัณฑ์แป้งหลังการทอดโดยพิจารณาจาก bulk density ถ้าค่า bulk density มีค่าน้อย หมายถึง ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวสูง ในทางตรงข้าม ถ้าค่า bulk density มีค่ามาก หมายถึง มีการพองตัวน้อย จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่า bulk density เฉลี่ยต่ำที่สุด แต่ตัวอย่างที่ 3 มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ส่วนตัวอย่างที่ 5 และ 4 มีค่าเฉลี่ยในระดับกลางซึ่งสูงกว่าตัวอย่างที่ 1 และ 2

ตารางที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของแป้งชงทอดทางการค้า

แป้งชงทอด	ค่าเฉลี่ยแรงตัดขาด ¹ (นิวตัน)	ค่าเฉลี่ย BULK DENSITY (กรัม/100 มิลลิลิตร)
ตัวอย่างที่ 1	35.04 ^c	28.00 ^a
ตัวอย่างที่ 2	41.55 ^d	28.50 ^a
ตัวอย่างที่ 3	46.25 ^a	31.89 ^c
ตัวอย่างที่ 4	30.50 ^b	29.86 ^b
ตัวอย่างที่ 5	28.30 ^a	29.92 ^b

¹ วัดด้วยเครื่อง Texturometer

² ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2.2 ลักษณะทางประสาทสัมผัส

จากการศึกษาลักษณะคุณภาพของแป้งชูบทอดทางการค้า 5 ตัวอย่าง โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี descriptive-analytical method ใช้ผู้ทดสอบชิม ที่ผ่านการฝึก 6 คน พบว่า แป้งชูบทอดตัวอย่าง 1 2 และ 3 ได้รับคะแนนการยอมรับด้านสีสูง แตกต่างจากตัวอย่างที่ 4 และ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และได้คะแนนด้านความกรอบ การอมน้ำมัน และการยอมรับรวม อยู่ในระดับสูง ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของแป้งชูบทอดทางการค้า

แป้งชูบทอด	สี	ความกรอบ	การอมน้ำมัน	การยอมรับรวม
ตัวอย่างที่ 1	4.18 ^b	4.09 ^{b^c}	3.29 ^{b^c}	3.91 ^c
ตัวอย่างที่ 2	4.60 ^b	4.32 ^c	3.63 ^c	4.06 ^c
ตัวอย่างที่ 3	4.68 ^b	4.27 ^c	3.47 ^{b^c}	3.88 ^{b^c}
ตัวอย่างที่ 4	2.34 ^a	3.79 ^{b^c}	3.80 ^c	3.64 ^{a^{b^c}}
ตัวอย่างที่ 5	1.88 ^a	3.23 ^a	2.82 ^a	3.09 ^{a^b}

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ระดับคะแนนที่ใช้ในการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัส

สี	ความกรอบ	การอมน้ำมัน	การยอมรับรวม
5-น้ำตาลทอง	5-กรอบเบา เนื้อเปราะ	5-ไม่อมน้ำมัน	5-ชอบมาก
4-เหลืองอ่อน	4-กรอบร่วน เนื้อแน่น	4-อมน้ำมันน้อย	4-ชอบ
3-เหลืองซีด	3-กรอบกระด้าง	3-อมน้ำมันปานกลาง	3-เฉยๆ
2-น้ำตาลเข้ม	2-ไม่กรอบ แข็งกระด้าง	2-อมน้ำมันมาก	2-ไม่ชอบ
1-น้ำตาลไหม้	1-นิ่ม เหนียว	1-อมน้ำมันมากที่สุด	1-ไม่ชอบมาก

4.2 ศึกษาสมบัติของแป้งข้าวเจ้าจากโรงงานผลิตภายในประเทศ

4.2.1 อุณหภูมิแป้งสุกและการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าจากโรงงานผลิตภายในประเทศ

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้า 3 ตัวอย่าง จากโรงงานผลิตภายในประเทศ โดยใช้เครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8 พบว่า อุณหภูมิแป้งสุกของแป้งข้าวเจ้าทั้ง 3 ตัวอย่าง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 7 และรูปที่ 10 แต่ ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดที่อุณหภูมิ 95°C ความหนืดที่อุณหภูมิ 95°C นาน 20 นาที ความหนืดเมื่อ paste เย็นลงถึงอุณหภูมิ 50°C ความหนืดที่อุณหภูมิ 50°C นาน 20 นาที เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle และ ความหนืดของการคืนตัวทั้งหมด ของแป้งข้าวเจ้าตัวอย่างทั้ง 3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่ความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวเจ้าตัวอย่างที่ 1 มีค่าต่ำที่สุด แต่ความหนืดของตัวอย่างที่ 2 มีค่าสูงสุด และตัวอย่างที่ 3 มีค่าอยู่ระหว่างกลางของตัวอย่างที่ 1 และ 2 เมื่อได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิ 95°C พบว่า ความหนืดของตัวอย่างที่ 1 ยังคงมีค่าต่ำที่สุด และตัวอย่างที่ 2 สูงที่สุด และเมื่อได้รับความร้อนที่ 95°C นาน 20 นาที พบว่า ความหนืดของ paste ตัวอย่างที่ 1 มีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ 3 แต่ต่ำกว่าตัวอย่างที่ 2 เสถียรภาพความหนืดของแป้งข้าวเจ้าตัวอย่าง 1 และ 2 มีค่าต่ำที่สุด แต่ตัวอย่างที่ 3 มีค่าสูงที่สุด แสดงว่า เม็ดแป้งตัวอย่าง 1 และ 2 มีความคงทนต่อการกวนได้ดีที่สุด ในขณะที่เม็ดแป้งตัวอย่างที่ 3 แตกออกง่ายที่สุด หลังจากปล่อยให้ paste เย็นลงจนมีอุณหภูมิ 50°C พบว่า ความหนืดที่ 50°C และความหนืดของการคืนตัวทั้งหมดของแป้งข้าวเจ้าตัวอย่างที่ 1 มีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ 3 แต่ต่ำกว่าตัวอย่างที่ 2 ซึ่งแสดงว่า paste แป้งตัวอย่างที่ 1 เกิดการคืนตัวมากกว่าตัวอย่างที่ 3 แต่น้อยกว่าตัวอย่างที่ 2

ตารางที่ 7 สมบัติของแป้งข้าวเจ้าตัวอย่าง 3 ชนิด จากโรงงานผลิตภายในประเทศ

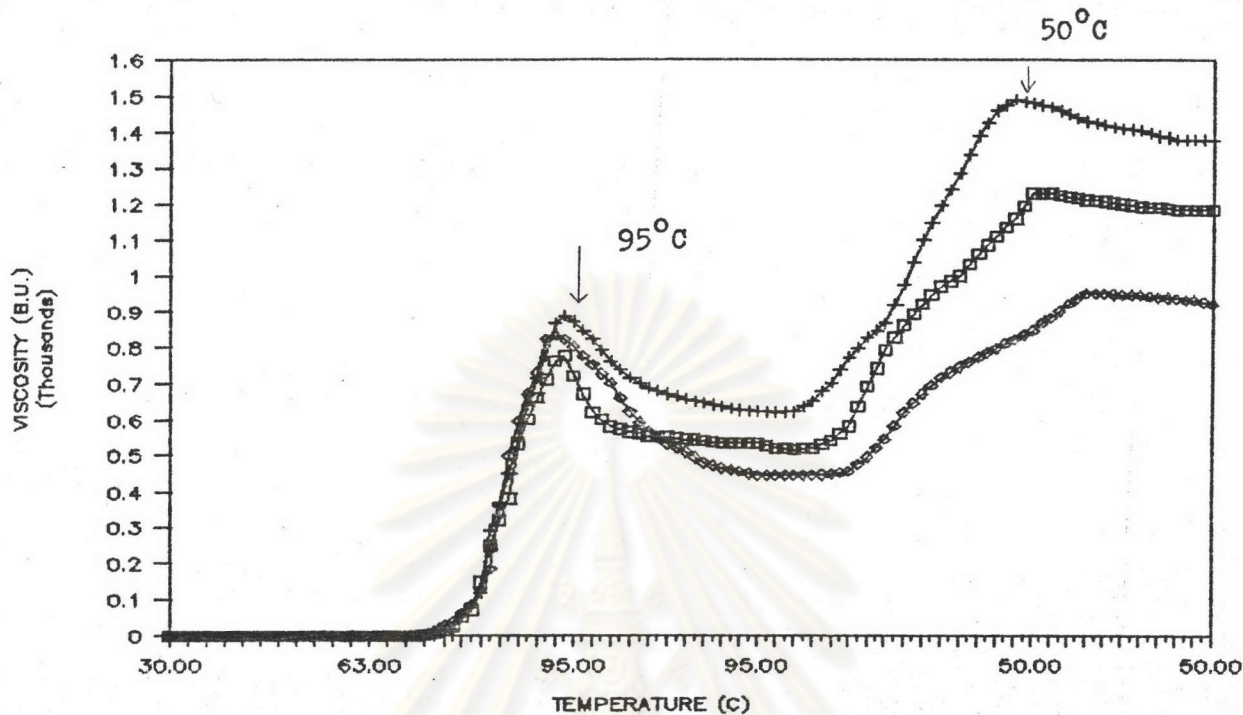
สมบัติ	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
อุณหภูมิแป้งสุก ¹ (°C)	70.13 ^a	69.94 ^a	70.13 ^a
ความหนืดสูงสุด (บี.ยู.) ²	775 ^a	885 ^c	830 ^b
ความหนืดที่ 95°C (บี.ยู.)	720 ^a	870 ^c	797.50 ^b
ความหนืดที่ 95°C นาน 20 นาที (บี.ยู.)	535 ^b	623 ^c	445 ^a
ความหนืดที่ 50°C (บี.ยู.)	1230 ^b	1480 ^c	845 ^a
ความหนืดที่ 50°C นาน 20 นาที (บี.ยู.)	1185 ^b	1380 ^c	920 ^a
เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating - cycle ⁴ (บี.ยู.)	240 ^a	262 ^a	382.50 ^b
ความหนืดของการคินตัวทั้งหมด ⁵ (บี.ยู.)	695 ^b	857 ^c	400 ^a

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8

² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



□ ตัวอย่างที่ 1

+ ตัวอย่างที่ 2

○ ตัวอย่างที่ 3

รูปที่ 10 กราฟแสดงความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้า 3 ตัวอย่าง จากโรงงานผลิตภายในประเทศ ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8

4.2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ที่สำคัญของแป้งข้าวเจ้าจากโรงงานผลิตภายในประเทศ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ที่สำคัญของแป้งข้าวเจ้า 3 ตัวอย่าง ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน อะไมโลส ความชื้น และ pH พบว่า ปริมาณโปรตีน อะไมโลส และ pH ของแป้งข้าวเจ้าตัวอย่างทั้ง 3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 8 โดยที่แป้งข้าวเจ้าตัวอย่างที่ 1 มีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าแป้งตัวอย่างที่ 2 แต่สูงตัวอย่างที่ 3 สำหรับ pH พบว่า แป้งข้าวเจ้าตัวอย่างที่ 1 มี pH เป็นกลาง แต่ตัวอย่างที่ 2 มี pH เป็นกรดและมีความเป็นกรดมากกว่าตัวอย่างที่ 3

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของแป้งข้าวเจ้าจากโรงงานผลิตในประเทศ

องค์ประกอบทางเคมี	ตัวอย่าง		
	1	2	3
โปรตีน (ร้อยละ)	6.96 ^{a,b}	7.12 ^b	6.89 ^a
ไขมัน (ร้อยละ)	0.43 ^a	0.47 ^a	0.52 ^a
อะไมโลส (ร้อยละ)	20.45 ^b	21.12 ^c	19.20 ^a
ความชื้น (ร้อยละ)	12.00 ^a	12.20 ^a	12.20 ^a
pH	6.75 ^c	4.68 ^a	5.18 ^b

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

คัดเลือกแป้งข้าวเจ้าจากโรงงานผลิตภายในประเทศ

จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้า ประกอบด้วยผลวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ทางเคมีที่สำคัญของแป้งข้าวเจ้าทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่า แป้งข้าวเจ้าตัวอย่างที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste เมื่อได้รับความร้อนดีกว่าตัวอย่างที่ 2 และ 3 โดยพิจารณาเสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle ความหนืดสูงสุด อุณหภูมิแป้งสุก และการคืนตัวของ paste เป็นเกณฑ์ นอกจากนี้ยังมี pH และปริมาณอะไมโลสอยู่ในระดับที่เหมาะสมกว่าตัวอย่างที่ 2 และ 3 ดังนั้นจึงเลือกแป้งข้าวเจ้าตัวอย่างที่ 1 เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยา cross-linking แป้งข้าวเจ้าด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต

4.3.1 ผลของความเร็วของเครื่องกวนในระหว่างการทำปฏิกิริยา cross-linking

4.2.1.1 ผลของความเร็วของเครื่องกวนในระหว่างการทำปฏิกิริยา cross-linking ต่อสมบัติของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ เปรียบเทียบกับ native rice flour

โดยใช้ความเร็วของเครื่องกวน 2 ระดับ คือ 60 และ 110

รอบต่อนาที ในระหว่างการทำปฏิกิริยา cross-linking แป้งข้าวเจ้าด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต ร้อยละ 1.4 ของน้ำหนักแป้งแห้ง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C เวลา 1.5 ชั่วโมง พบว่า ความเร็วของเครื่องกวนไม่มีผลทำให้คุณสมบัติแป้งสุกของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ และ native rice flour แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่มีผลทำให้ทำให้ความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพและ native rice flour แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 9 และรูปที่ 11 โดยทำให้ความหนืดของ paste เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 95°C ที่อุณหภูมิ 95°C นาน 20 นาที และความหนืดเมื่อ paste เย็นลงจนมีอุณหภูมิ 50°C มีค่าต่ำกว่าความหนืดที่จุดเดียวกันของ native rice flour และเสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle รวมทั้งความหนืดของการคืนตัวทั้งหมดของ paste มีค่าน้อยลง ซึ่งแสดงว่า แป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการแปรสภาพมีเสถียรภาพความหนืดสูงขึ้น แต่เกิดการคืนตัวต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับ native flour รวมทั้งมีปริมาณอะไมโลสสูงกว่า native flour เมื่อความเร็วของเครื่องกวนมีระดับสูงขึ้น คือ 110 รอบต่อนาที ยิ่งมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ มีค่าต่ำกว่า native flour มากขึ้น พบว่า ความหนืดไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด (peak viscosity) และปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีค่าสูงกว่า native flour มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยใช้ความเร็วของเครื่องกวนที่มีระดับต่ำคือ 60 รอบต่อนาที

ตารางที่ 9 สมบัติของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร้อยละ 1.4 ของ
 น้ำหนักแป้งแห้ง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C เวลา 1.5 ชั่วโมง
 โดยใช้ความเร็วของเครื่องกวนต่างกัน เปรียบเทียบกับ NATIVE RICE FLOUR

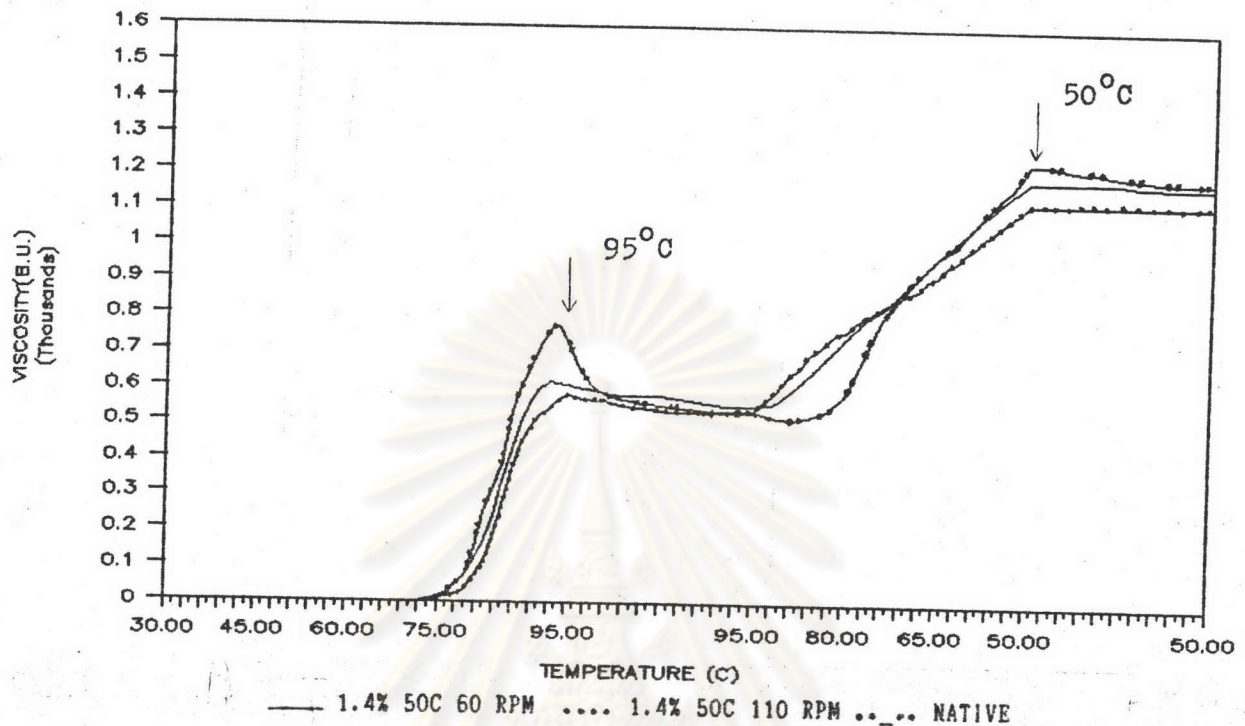
สมบัติ	NATIVE FLOUR	แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ	
		ความเร็วเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
		60	110
อุณหภูมิแป้งสุก ¹ (°C)	70.13 ^a	70.32 ^a	71.25 ^a
ความหนืดสูงสุด (บี.ยู.) ²	775.00 ^b	615.00 ^a	- ⁴
ความหนืดที่ 95°C (บี.ยู.)	720.00 ^c	605.00 ^b	580.00 ^a
ความหนืดที่ 95°C นาน 20 นาที (บี.ยู.)	535.00 ^a	550.00 ^a	532.50 ^a
ความหนืดที่ 50°C (บี.ยู.)	1230.00 ^c	1180.00 ^b	1120.00 ^a
เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating - cycle (บี.ยู.)	240.00 ^c	65.00 ^b	47.50 ^a
ความหนืดของการคืนตัวทั้งหมด (บี.ยู.)	695.00 ^c	630.00 ^b	587.50 ^a
อะไมโลส (ร้อยละ)	20.45 ^a	21.70 ^b	22.25 ^c

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้ง ร้อยละ 8

² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

⁴ วัดค่าไม่ได้ เนื่องจาก ไม่ปรากฏเป็นค่าสูงสุด (peak viscosity)



รูปที่ 11 ความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วยไซเตียมไตรเมต้าฟอสเฟต ร้อยละ 1.4 ของน้ำหนักแป้งแห้ง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C เวลา 1.5 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับ NATIVE RICE FLOUR

เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นคือ 55°C พบว่า ความเร็วของเครื่องกวนที่ใช้ในระหว่างทำปฏิกิริยา มีผลต่อสมบัติด้านความหนืด และปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แตกต่างจาก native flour อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมิผลทำให้ความหนืดของ paste ลดต่ำลง ไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด ความหนืดที่ 95 และ 50°C มีค่าลดลง เสถียรภาพของความหนืดระหว่าง heating cycle สูงขึ้น แต่เกิดการคืนตัวต่ำลงและมีปริมาณอะไมโลสสูงขึ้น เมื่อความเร็วของเครื่องกวนมีระดับสูงขึ้น ยังมีผลทำให้สมบัติต่างๆ ดังกล่าวแตกต่างจาก native flour มากขึ้น โดยมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกับผลการทดลองที่อุณหภูมิ 50°C ดังแสดงในตารางที่ 10 และ รูปที่ 12

ตารางที่ 10 สมบัติของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร้อยละ 1.4 ของ
น้ำหนักแป้งแห้ง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง
โดยใช้ความเร็วของเครื่องกวนต่างกัน เปรียบเทียบกับ NATIVE RICE FLOUR

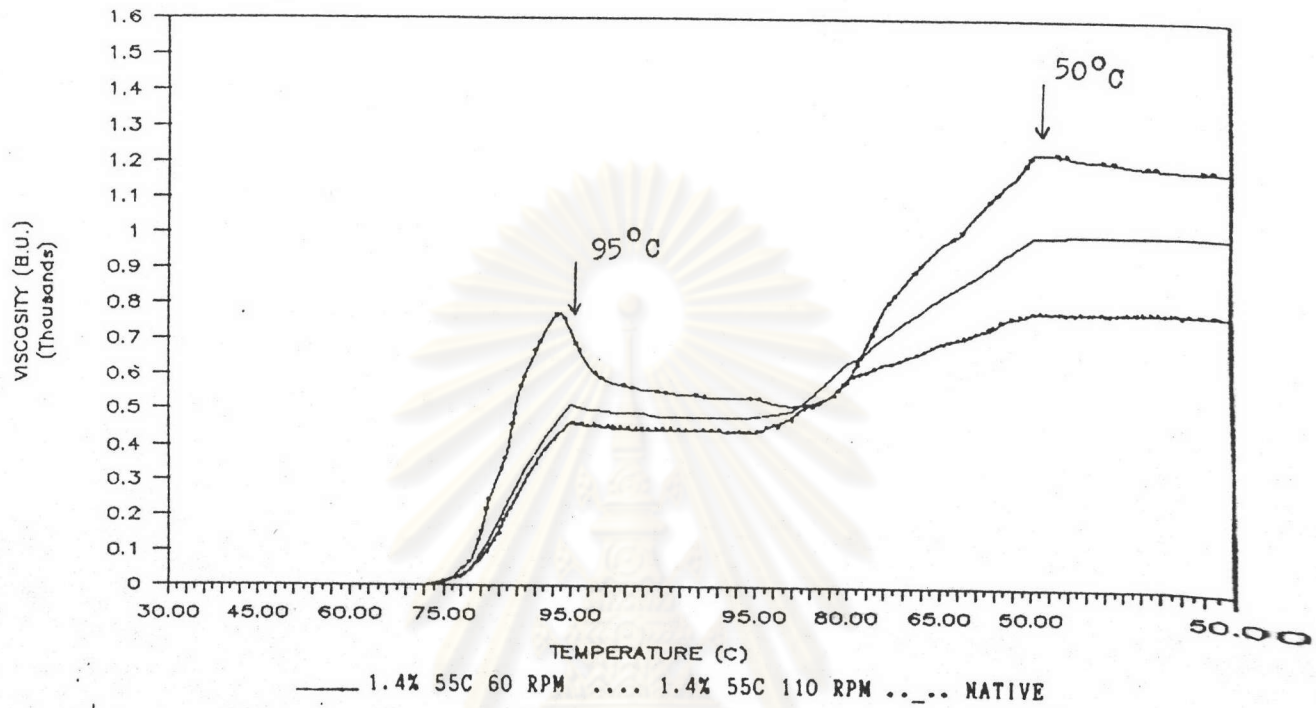
สมบัติ	NATIVE FLOUR	แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ	
		ความเร็วเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
		60	110
อุณหภูมิแป้งสุก ¹ (°C)	70.13 ^a	71.25 ^a	71.44 ^a
ความหนืดสูงสุด (บี.ยู.) ²	775.00 ^b	- ⁴	- ⁴
ความหนืดที่ 95°C (บี.ยู.)	720.00 ^c	515.00 ^b	465.00 ^a
ความหนืดที่ 95°C นาน 20 นาที (บี.ยู.)	535.00 ^c	482.50 ^b	440.00 ^a
ความหนืดที่ 50°C (บี.ยู.)	1230.00 ^c	995.00 ^b	780.00 ^a
เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating - cycle (บี.ยู.)	240.00 ^b	32.50 ^a	25.00 ^a
ความหนืดของการคินตัวทั้งหมด (บี.ยู.)	695.00 ^c	512.50 ^b	340.00 ^a
อะไมโลส (ร้อยละ)	20.45 ^a	22.40 ^b	23.04 ^c

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้ง ร้อยละ 8

² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

⁴ วัดค่าไม่ได้ เนื่องจาก ไม่ปรากฏเป็นค่าสูงสุด (peak viscosity)



รูปที่ 12 ความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต ร้อยละ 1.4 ของน้ำหนักแป้งแห้ง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับ NATIVE RICE FLOUR

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.1.2 ผลของความเร็วของเครื่องกวนในระหว่างการทำปฏิกิริยา cross-linking ที่สภาวะต่างกัน

จากการศึกษาความเร็วของเครื่องกวนต่างกัน 2 ระดับ คือ 60 และ 110 รอบต่อนาที ในระหว่างการทำปฏิกิริยา cross-linking แป้งข้าวเจ้าด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต ปริมาณต่างกัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1.4 1.7 และ 2.0 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ทั้งที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 และ 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง ได้ผลดังนี้

ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C

จากการทดลองพบว่า ความเร็วของเครื่องกวนในระหว่างการทำปฏิกิริยา ไม่มีผลทำให้อุณหภูมิแป้งสุกของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 11 แต่มีผลต่อความหนืดของ paste แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 12-16 และรูปที่ 13 เมื่อความเร็วของเครื่องกวนมีระดับสูงขึ้น มีผลทำให้ความหนืดของ paste ที่อุณหภูมิ 95°C ความหนืดที่ 95°C นาน 20 นาที ความหนืดที่อุณหภูมิ 50°C มีแนวโน้มลดต่ำลง เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle มีค่าน้อยลง หมายถึง paste มีเสถียรภาพความหนืดสูงขึ้น แสดงว่า เม็ดแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีความคงทนต่อการกวนในระหว่างได้รับความร้อนดีขึ้น เมื่อปล่อยให้ paste เย็นลงจนมีอุณหภูมิ 50°C พบว่า paste เกิดการคืนตัวต่ำลง รวมทั้งมีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสและอะไมโลสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 17 และ 18 ตามลำดับ

นอกจากนี้พบว่า ปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตที่ใช้ศึกษา 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1.4 1.7 และ 2.0 ของน้ำหนักแป้งแห้ง มีผลต่อสมบัติแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพในลักษณะเดียวกับผลของความเร็วของเครื่องกวน ดังแสดงในตารางที่ 12-18 คือ เมื่อปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตมีระดับสูงขึ้น มีผลทำให้ความหนืดของ paste ที่อุณหภูมิ 95°C และ 50°C และการคืนตัวของ paste มีแนวโน้มลดลง แต่เสถียรภาพความหนืด ปริมาณฟอสฟอรัส และอะไมโลส มีแนวโน้มสูงขึ้น และพบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วของเครื่องกวน และปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทิศทางเสริมกัน ดังแสดงในรูปที่ 14 และ 15 คือ เมื่อความเร็วของเครื่องกวนและปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตมีระดับสูงขึ้น ทำให้ความหนืดของ paste ทั้งที่อุณหภูมิ 95°C และ 50°C ลดลง แต่ paste มีเสถียรภาพความหนืดสูงขึ้น และเกิดการคืนตัวต่ำ และมีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสและอะไมโลสมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 16

ตารางที่ 11 อุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) เฉลี่ย ของ paste แป้งข้าวเจ้า
แปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตปริมาณและความเร็ว
ของเครื่องกวนต่างกัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ปริมาณโซเดียม ไตรเมต้าฟอสเฟต (ร้อยละ)	อุณหภูมิแป้งสุกเฉลี่ย ¹ (°C)	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60 ^{ns}	110 ^{ns}
1.4	70.32	71.25
1.7	71.07	71.63
2.0	71.44	71.63

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้ง
ร้อยละ 8

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 12 ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 95°C ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตปริมาณและความเร็วของเครื่องกวนต่างกัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ปริมาณโซเดียม ไตรเมต้าฟอสเฟต (ร้อยละ)	ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 95°C ¹ (บี.ยู.) ²	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60	110
1.4	^c 605.00 ^f	^c 580.00 ^e
1.7	^b 555.00 ^d	^b 500.00 ^c
2.0	^a 485.00 ^b	^a 455.00 ^a

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้ง ร้อยละ 8

² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวใหญ่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตระดับต่างกัน

⁴ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวเล็กต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างความเร็วของเครื่องกวนระดับต่างกัน

ตารางที่ 13 ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 95°C นาน 20 นาที ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ โดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตปริมาณและความเร็วของ เครื่องกวนต่างกัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ปริมาณโซเดียม ไตรเมต้าฟอสเฟต (ร้อยละ)	ความหนืดที่อุณหภูมิ 95°C นาน 20 นาที ¹ (บี.ยู.) ²	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60	110
1.4	^c 550.00 ^a	^b 532.50 ^d
1.7	^b 515.00 ^c	^a 470.00 ^b
2.0	^a 460.00 ^a	^a 465.00 ^a

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้ง

ร้อยละ 8

² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวใหญ่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตระดับต่างกัน

⁴ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวเล็กต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างความเร็วของเครื่องกวนระดับต่างกัน

ตารางที่ 14 ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 50°C ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตปริมาณและความเร็วของเครื่องกวนต่างกัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ปริมาณโซเดียม ไตรเมตาฟอสเฟต (ร้อยละ)	ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 50°C ¹ (บี.ยู.) ²	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60	110
1.4	^c 1180.00 ^f	^c 1120.00 ^a
1.7	^b 1125.00 ^d	^b 992.50 ^c
2.0	^a 1050.00 ^b	^a 882.50 ^a

- ¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้ง
- ² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)
- ³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวใหญ่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตระดับต่างกัน
- ⁴ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวเล็กต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างความเร็วของเครื่องกวนระดับต่างกัน

ตารางที่ 15 เสร็จสภาพความหนืดเฉลี่ยระหว่าง heating cycle (breakdown) ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต ปริมาณและความเร็วของเครื่องกวนต่างกัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ปริมาณโซเดียม ไตรเมตาฟอสเฟต (ร้อยละ)	เสร็จสภาพความหนืดเฉลี่ย ¹ (บี.ยู.) ²	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60	110
1.4	^c 65.00 ^a	^c 47.50 ^d
1.7	^b 40.00 ^c	^b 30.00 ^c
2.0	^a 25.00 ^b	^a -10.00 ^a

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้ง ร้อยละ 8

² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวใหญ่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตระดับต่างกัน

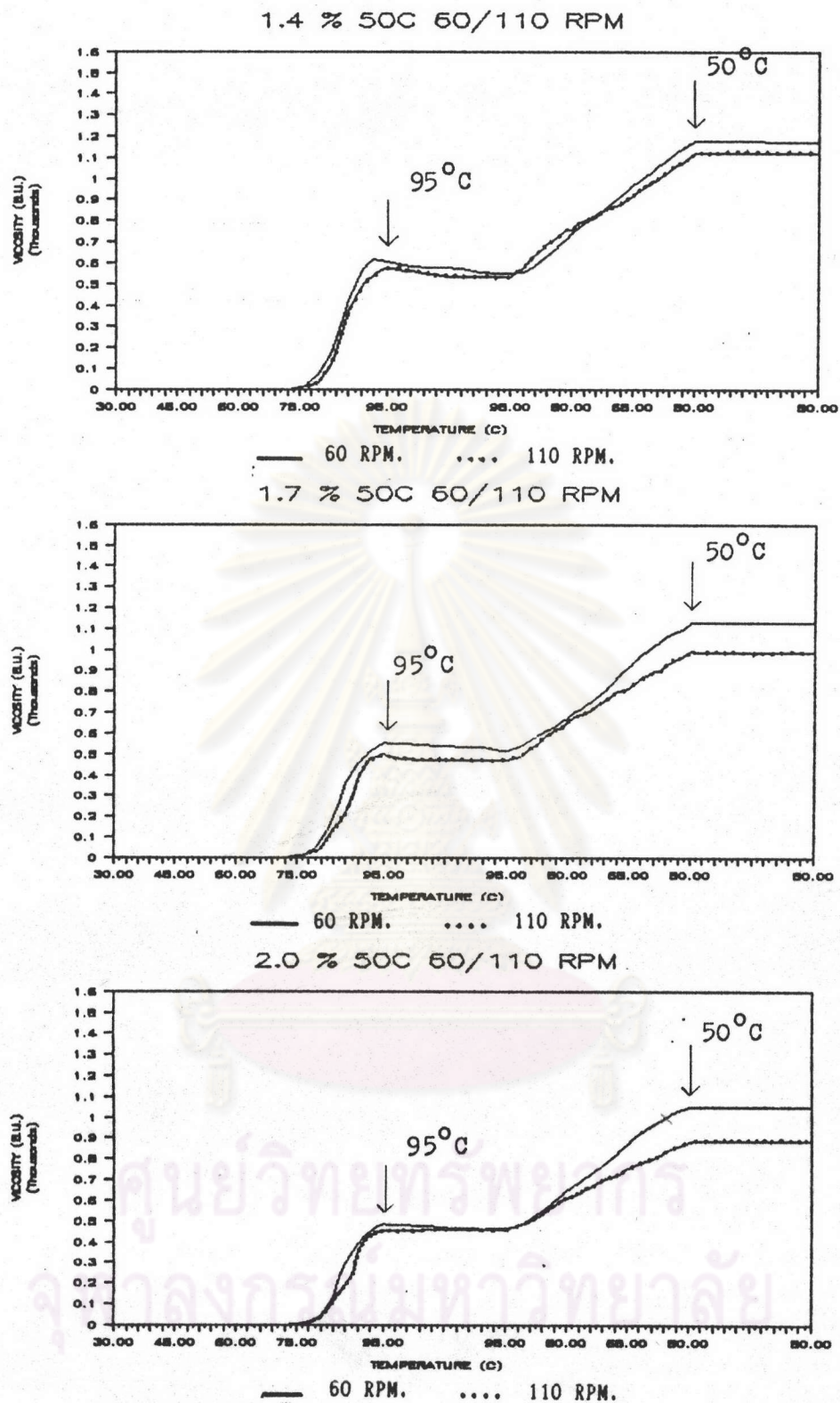
⁴ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวเล็กต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างความเร็วของเครื่องกวนระดับต่างกัน

⁵ เสร็จสภาพความหนืดระหว่าง heating cycle (breakdown) มีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดที่ 95°C นาน 20 นาที ถ้าผลต่างมีค่ามาก หมายถึง มีเสร็จสภาพความหนืดต่ำ ในทางตรงข้ามถ้าผลต่างมีค่าน้อย หมายถึง มีเสร็จสภาพความหนืดสูง

ตารางที่ 16 ความหนืดเฉลี่ยของการคินตัวทั้งหมด (total setback) ของ paste แป้งข้าวเจ้า แปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต ปริมาณและความเร็วของเครื่องกวนต่างกัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ปริมาณโซเดียม ไตรเมต้าฟอสเฟต (ร้อยละ)	ความหนืดเฉลี่ยของการคินตัวทั้งหมด ¹ (บี.ยู.) ²	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60	110
1.4	^B 630.00 ^E	^C 587.50 ^A
1.7	^{A,B} 610.00 ^D	^B 522.50 ^C
2.0	^A 590.00 ^B	^A 417.50 ^A

- ¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้ง ร้อยละ 8
- ² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)
- ³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวใหญ่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตระดับต่างกัน
- ⁴ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวเล็กต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างความเร็วของเครื่องกวนระดับต่างกัน
- ⁵ ความของการคินตัวทั้งหมด (total setback) หมายถึง ผลต่างระหว่างความหนืดที่อุณหภูมิ 50°C และความหนืดที่อุณหภูมิ 95°C นาน 20 นาที ถ้ามีค่าน้อย หมายถึง paste เกิดการคินตัวต่ำ



รูปที่ 13 กราฟแสดงความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต ร้อยละ 1.4 1.7 และ 2.0 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ความเร็วของเครื่องกวน 60 และ 110 รอบต่อนาที อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ตารางที่ 17 ปริมาณ ฟอสฟอรัสเฉลี่ยในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วย โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตปริมาณและสภาวะต่างกัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

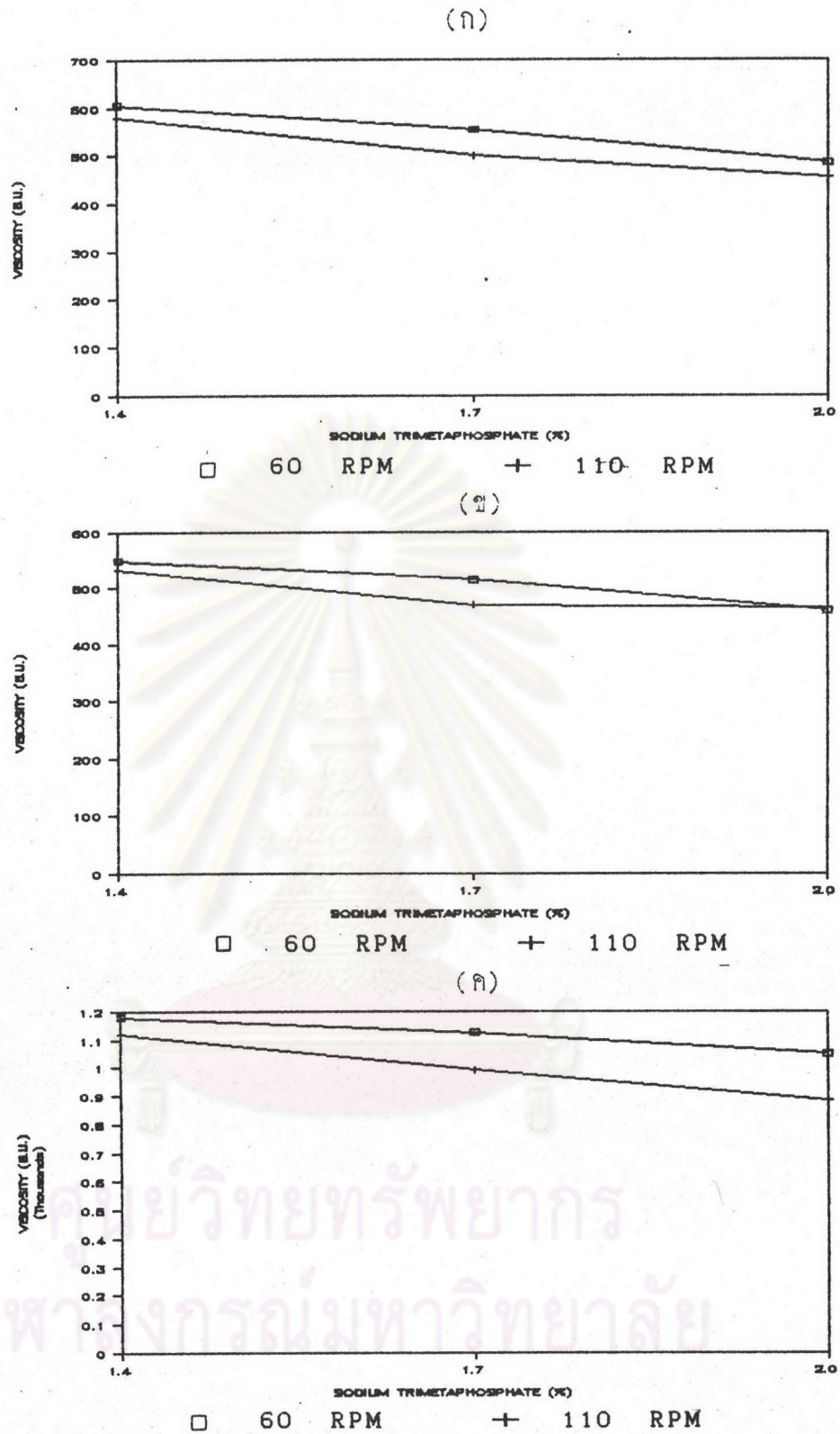
ปริมาณโซเดียม ไตรเมตาฟอสเฟต (ร้อยละ)	ปริมาณฟอสฟอรัส x 1000 (ร้อยละ)	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60	110
1.4	^a 2.18 ^b	^a 2.80 ^b
1.7	^a 2.65 ^c	^a 3.05 ^d
2.0	^b 3.02 ^c	^a 3.20 ^c

- ¹ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวใหญ่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตระดับต่างกัน
- ² ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวเล็กต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างความเร็วของเครื่องกวนระดับต่างกัน

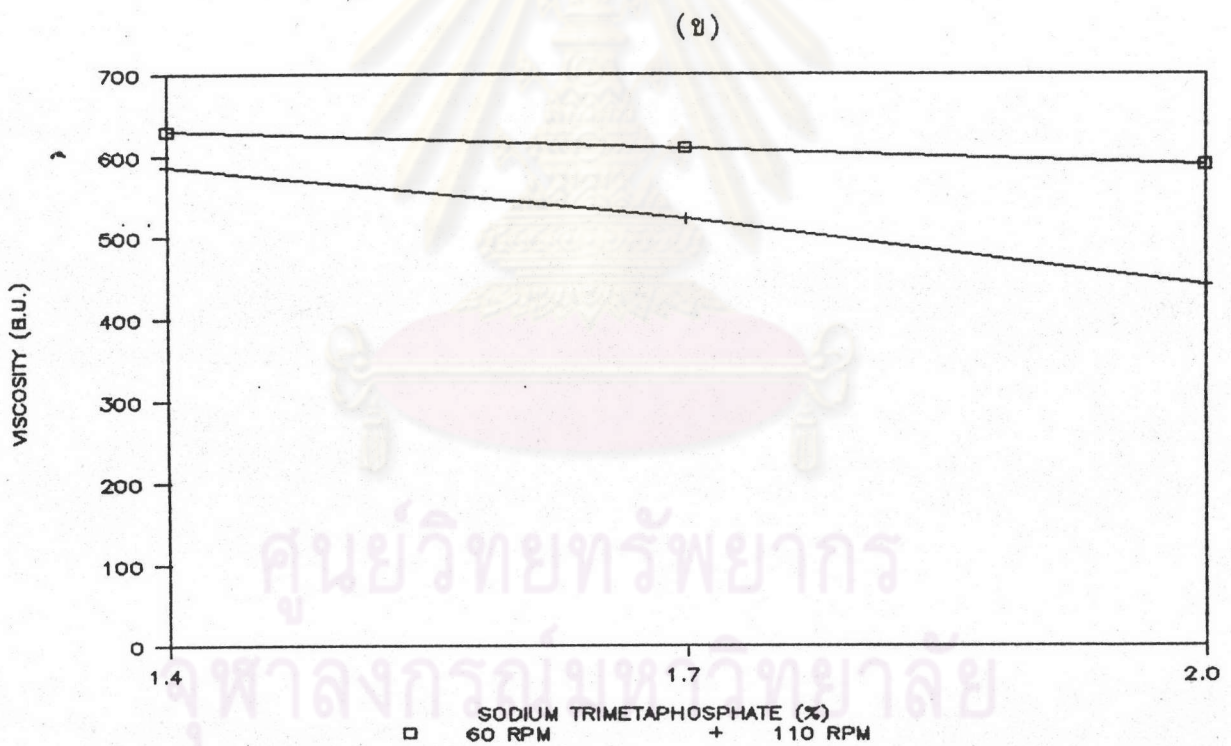
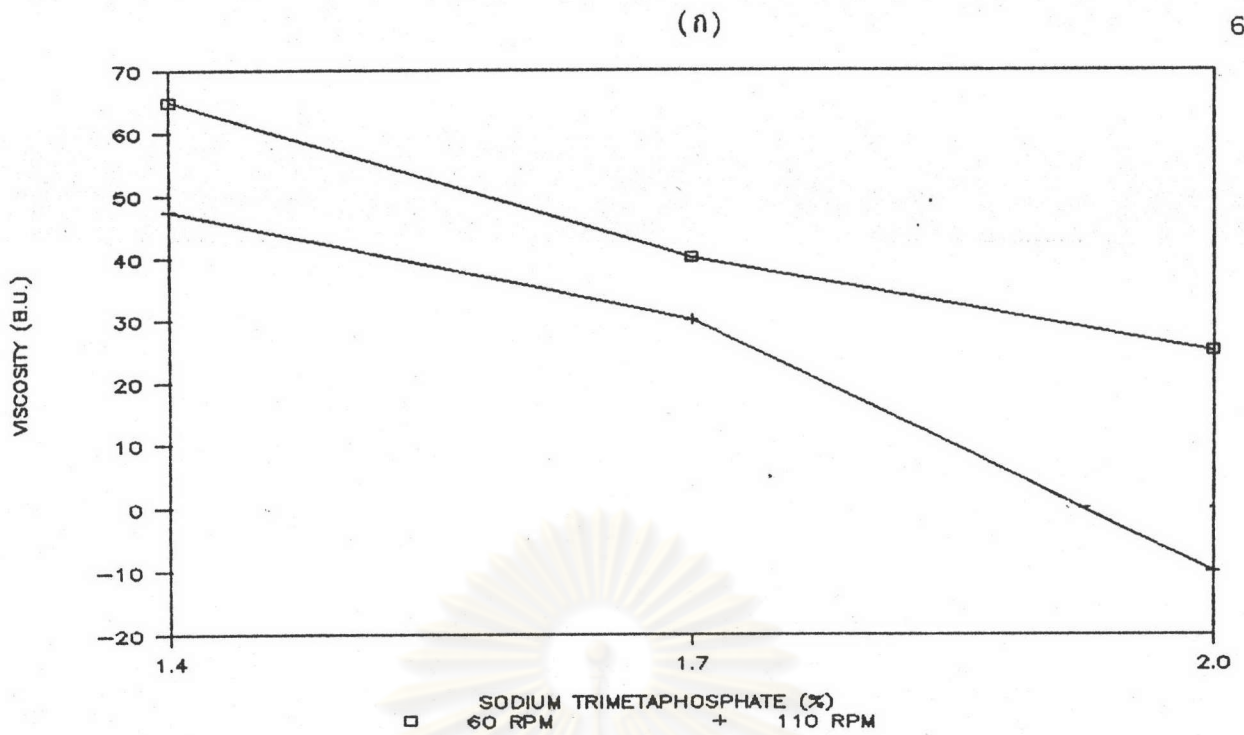
ตารางที่ 18 ปริมาณอะไมโลสเฉลี่ยในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วย โซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตในปริมาณและสภาวะต่างกัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ปริมาณโซเดียม ไตรเมต้าฟอสเฟต (ร้อยละ)	ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60	110
1.4	^A 21.70 ^a	^A 22.25 ^b
1.7	^B 22.15 ^c	^B 22.95 ^d
2.0	^C 22.51 ^d	^B 22.88 ^e

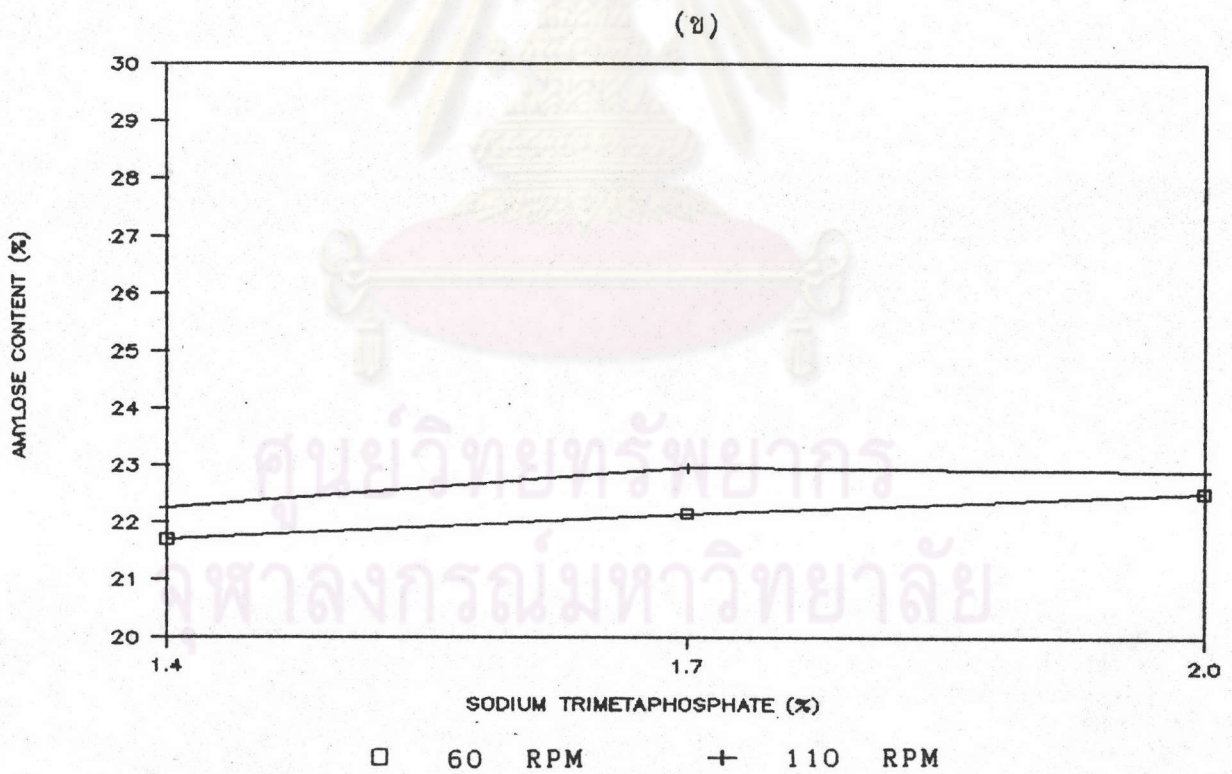
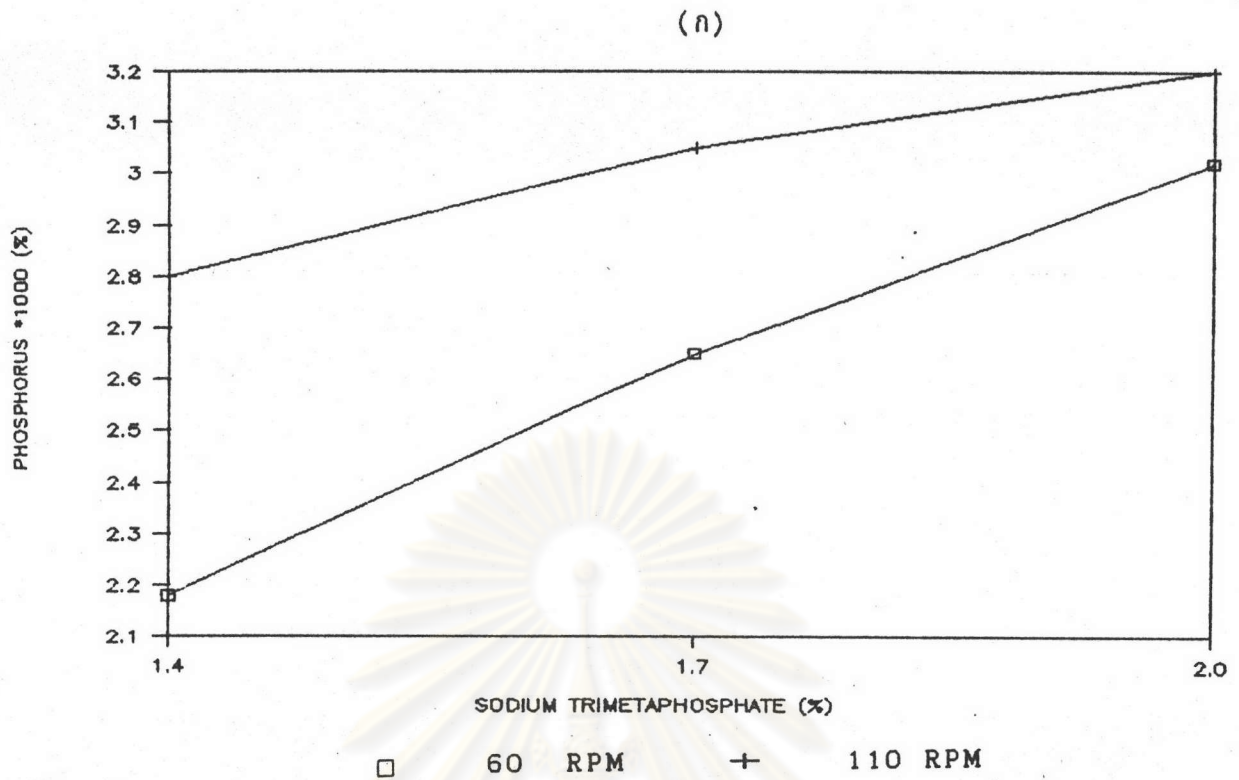
- ¹ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวใหญ่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตระดับต่างกัน
- ² ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวเล็กต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างความเร็วของเครื่องกวนระดับต่างกัน



รูปที่ 14 อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตและความเร็วของเครื่องกวน ต่อ ความหนืดที่อุณหภูมิ 95°C (ก) 95°C นาน 20 นาที (ข) และ 50°C (ค) ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C เวลา 1.5 ชั่วโมง



รูปที่ 15 อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตและความเร็วของเครื่องกวน ต่อ เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle (breakdown) (ก) และ ความหนืดของการคืนตัวทั้งหมด (total setback) (ข) ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ โดยวิธี cross-linking อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C เวลา 1.5 ชั่วโมง



รูปที่ 16 อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตและความเร็วของเครื่องกวน ต่อ ปริมาณฟอสฟอรัส (ก) และ อะไมโลส (ข) ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดย วิธี cross - linking อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C

ผลการทดลอง พบว่า ความเร็วของเครื่องกวน และปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต มีผลต่อสมบัติด้านความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพลักษณะเดียวกับที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C คือเมื่อความเร็วของเครื่องกวนและปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตมีระดับสูงขึ้น ไม่มีผลทำให้อุณหภูมิแป้งสุกของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพแตกต่างกันทางสถิติ แต่ทำให้ความหนืดที่อุณหภูมิ 95°C ที่ 95°C นาน 20 นาที ที่ 50°C และการคืนตัวของ paste มีแนวโน้มลดลง เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle มีแนวโน้มสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 19-24 และรูปที่ 17 รวมทั้งมีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสและอะไมโลสมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 25 และ 26 ตามลำดับ

สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วของเครื่องกวน และปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต พบว่า มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทิศทางเสริมกัน โดยมีผลต่อความหนืดของ paste ที่อุณหภูมิ 95°C ความหนืดที่ 95°C นาน 20 นาที ความหนืดที่ 50°C ความหนืดของการคืนตัวทั้งหมดและปริมาณอะไมโลส ดังแสดงในรูปที่ 18-20 ยกเว้น เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle และปริมาณฟอสฟอรัส

จากการศึกษาความเร็วของเครื่องกวนต่างกัน 2 ระดับ คือ 60 และ 110 รอบต่อนาที ในระหว่างการทำปฏิกิริยา cross-linking แป้งข้าวเจ้าด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตในสภาวะต่างกัน พบว่า เมื่อความเร็วของเครื่องกวนหรือปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตมีระดับสูงขึ้น มีผลทำให้ความหนืดและการคืนตัวของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีแนวโน้มลดลง แต่เสถียรภาพความหนืด และปริมาณอะไมโลสมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน จึงเลือกใช้ความเร็วของเครื่องกวนที่ระดับ 110 รอบต่อนาที ในระหว่างการทำปฏิกิริยา cross-linking เพื่อใช้ศึกษาต่อไป

ตารางที่ 19 อุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) เจลลี่ของ paste แป้งข้าวเจ้า
แปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต ปริมาณและ
ความเร็วของเครื่องกวนต่างกัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ปริมาณโซเดียม ไตรเมตาฟอสเฟต (ร้อยละ)	อุณหภูมิแป้งสุกเจลลี่ ¹ (°C)	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60 ^{NS}	110 ^{NS}
1.4	71.25	71.44
1.7	71.44	71.63
2.0	71.82	71.82

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้ง
ร้อยละ 8

^{NS} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 20 ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 95°C ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต ปริมาณและความเร็วของเครื่องกวนต่างกัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ปริมาณโซเดียม ไตรเมต้าฟอสเฟต (ร้อยละ)	ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 95°C ¹ (บี.ยู.) ²	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60	110
1.4	^c 515.00 ^e	^c 465.00 ^a
1.7	^b 447.50 ^d	^b 417.50 ^c
2.0	^a 395.00 ^b	^a 367.50 ^a

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้ง ร้อยละ 8

² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวใหญ่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตระดับต่างกัน

⁴ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวเล็กต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างความเร็วของเครื่องกวนระดับต่างกัน

ตารางที่ 21 ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 95°C นาน 20 นาที ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ โดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต ปริมาณและความเร็วของ เครื่องกวนต่างกัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ปริมาณโซเดียม ไตรเมต้าฟอสเฟต (ร้อยละ)	ความหนืดที่อุณหภูมิ 95°C นาน 20 นาที ¹ (บี.ยู.) ²	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60	110
1.4	^c 482.50 ^a	^b 440.00 ^d
1.7	^b 460.00 ^c	^b 435.00 ^b
2.0	^a 422.50 ^a	^a 412.50 ^a

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้ง ร้อยละ 8

² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวใหญ่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตระดับต่างกัน

⁴ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวเล็กต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างความเร็วของเครื่องกวนระดับต่างกัน

ตารางที่ 22 ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 50°C ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต ปริมาณและความเร็วของเครื่องกวนต่างกัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ปริมาณโซเดียม ไตรเมตาฟอสเฟต (ร้อยละ)	ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 95°C ¹ (บี.ยู.) ²	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60	110
1.4	^c 995.00 ^e	^b 780.00 ^a
1.7	^b 760.00 ^d	^b 715.00 ^c
2.0	^a 647.50 ^b	^a 622.50 ^a

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้ง ร้อยละ 8

² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวใหญ่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตระดับต่างกัน

⁴ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวเล็กต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างความเร็วของเครื่องกวนระดับต่างกัน

ตารางที่ 23 เสร็จสภาพความหนืดเฉลี่ยระหว่าง heating cycle (breakdown) ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต ปริมาณ และความเร็วของเครื่องกวนต่างกัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ปริมาณโซเดียม ไตรเมต้าฟอสเฟต (ร้อยละ)	เสร็จสภาพความหนืดเฉลี่ย ¹ (บี.ยู.) ²	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60	110
1.4	^b 32.50 ^c	^c 25.00 ^c
1.7	^a -12.50 ^b	^b -17.50 ^b
2.0	^a -27.50 ^a	^a -45.00 ^a

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้ง ร้อยละ 8

² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวใหญ่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตระดับต่างกัน

⁴ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวเล็กต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างความเร็วของเครื่องกวนระดับต่างกัน

ตารางที่ 24 ความหนืดเฉลี่ยของการคินตัวทั้งหมด (total setback) ของ paste แป้งข้าวเจ้า แปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต ปริมาณและความเร็วของเครื่องกวนต่างกัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

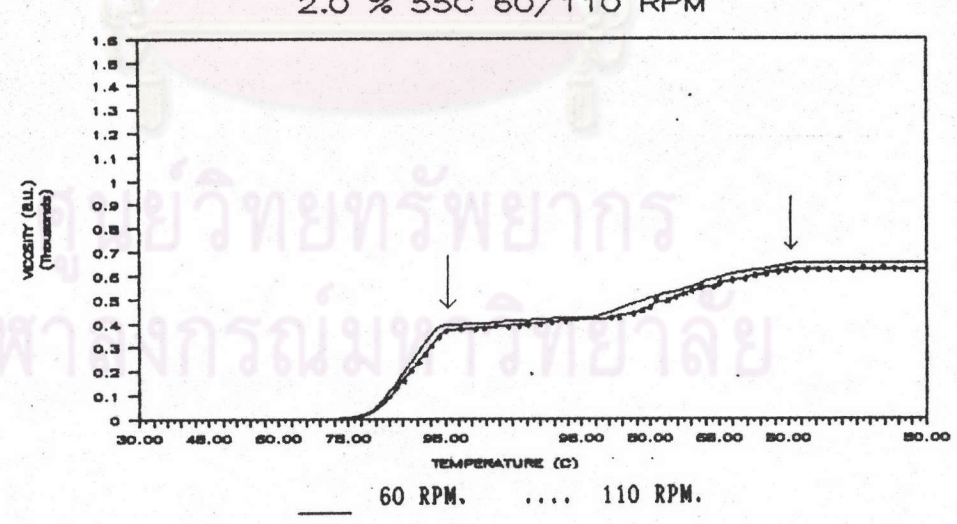
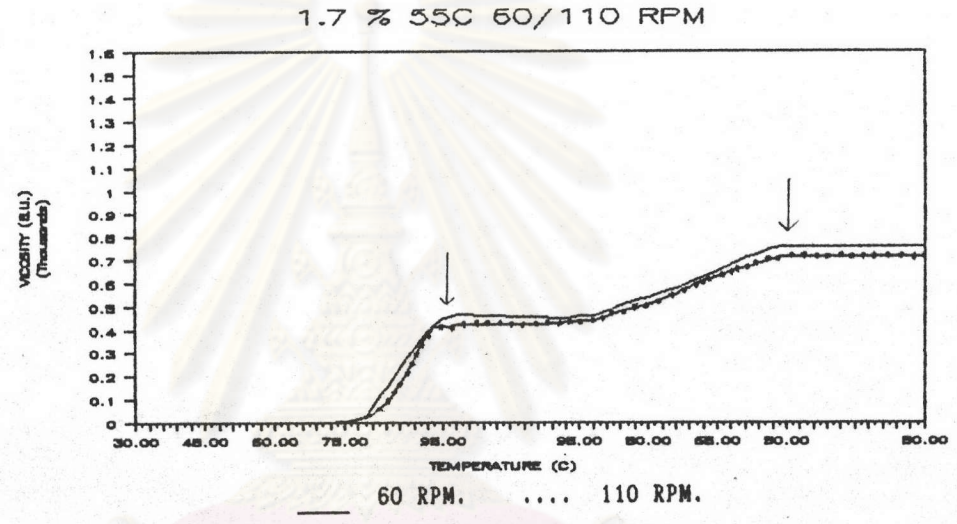
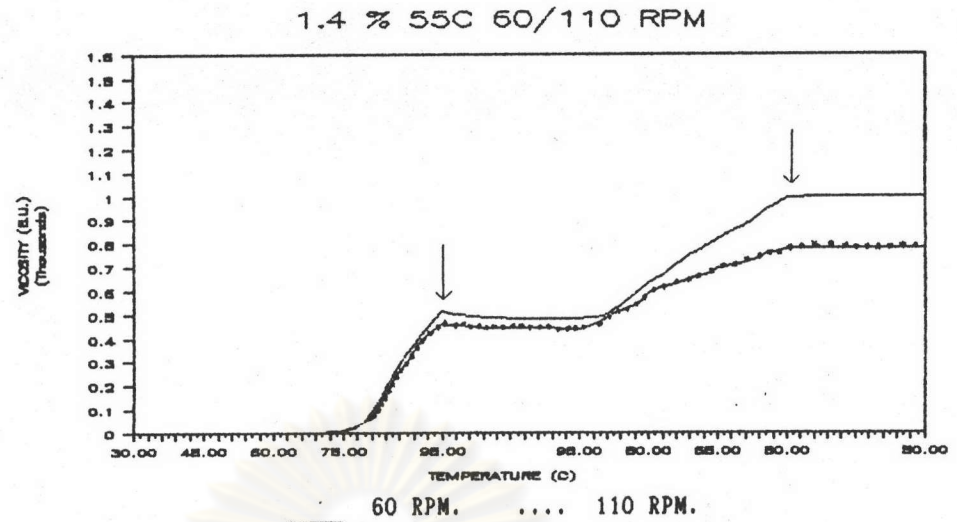
ปริมาณโซเดียม ไตรเมต้าฟอสเฟต (ร้อยละ)	ความหนืดเฉลี่ยของการคินตัวทั้งหมด ¹ (บี.ยู.) ²	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60	110
1.4	^c 512.50 ^d	^b 340.00 ^e
1.7	^b 300.00 ^b	^b 280.00 ^b
2.0	^a 225.00 ^a	^a 210.00 ^a

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้ง ร้อยละ 8

² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวใหญ่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตระดับต่างกัน

⁴ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวเล็กต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างความเร็วของเครื่องกวนระดับต่างกัน



รูปที่ 17 กราฟแสดงความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วยไซเตียมไตรเมตาฟอสเฟต ร้อยละ 1.4 1.7 และ 2.0 ของน้ำหนักระหว่างกัน ความเร็วของเครื่องกวน 60 และ 110 รอบต่อนาที อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ตารางที่ 25 ปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วย โซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต ปริมาณและสภาวะต่างกัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ปริมาณโซเดียม ไตรเมต้าฟอสเฟต (ร้อยละ)	ปริมาณฟอสฟอรัส x 1000 (ร้อยละ)	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60	110
1.4	^a 2.88 ^a	^a 3.35 ^b
1.7	^a 3.02 ^b	^a 3.40 ^b
2.0	^b 3.40 ^b	^a 3.60 ^b

¹ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวใหญ่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตระดับต่างกัน

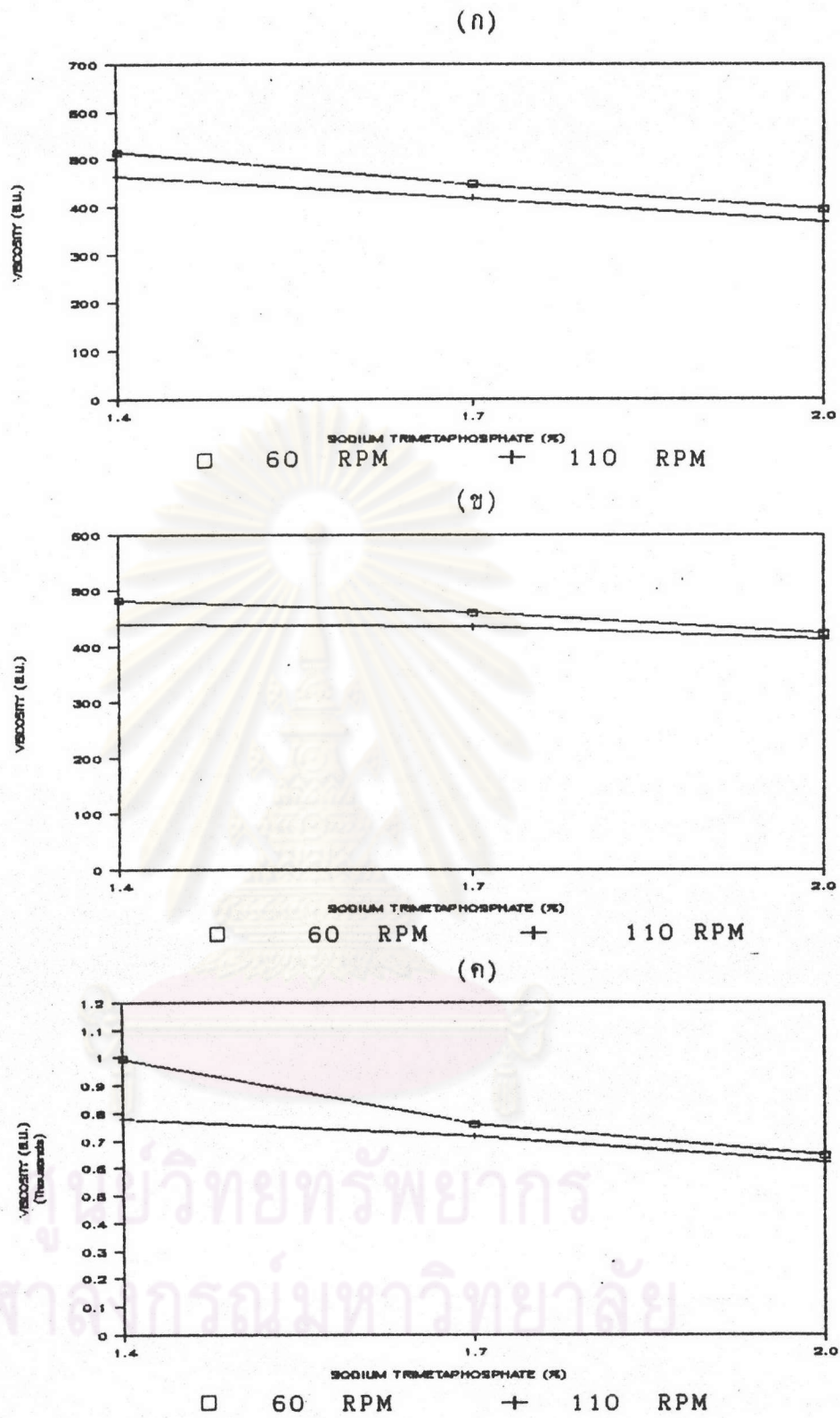
² ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวเล็กต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างความเร็วของเครื่องกวนระดับต่างกัน

ตารางที่ 26 ปริมาณอะไมโลสเฉลี่ยในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตในปริมาณและสภาวะต่างกัน อนุกรมในการทำปฏิกิริยา 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

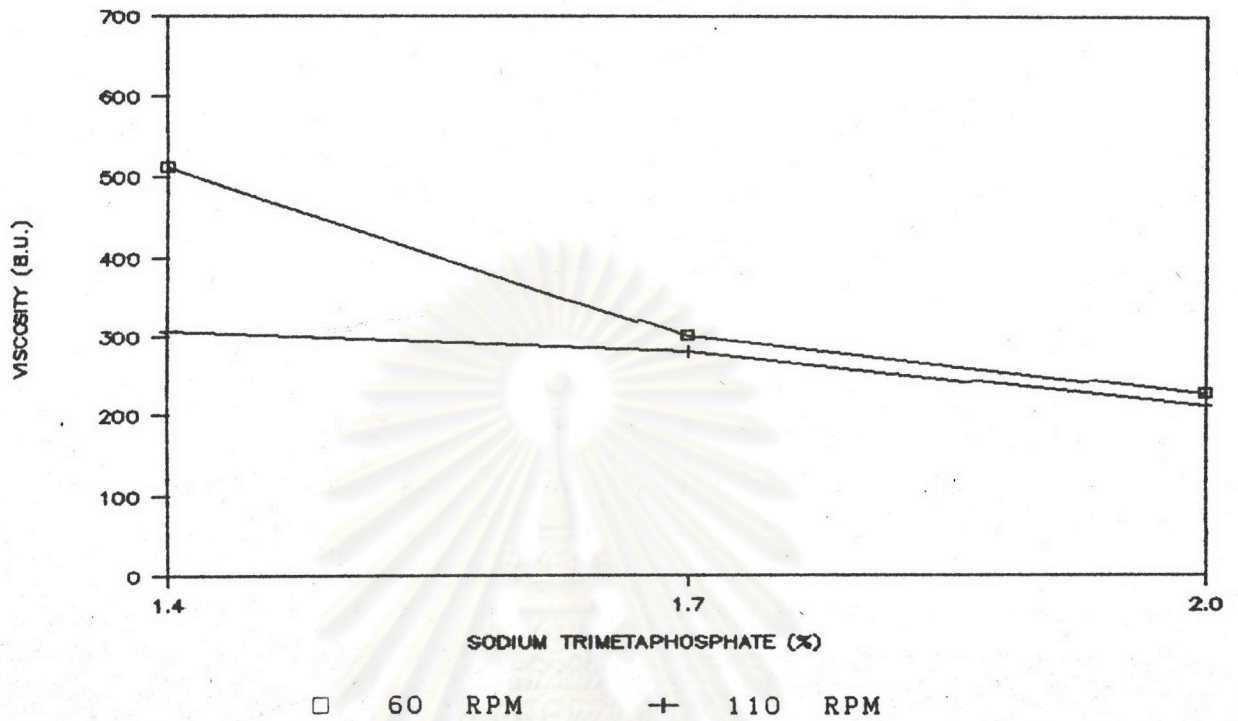
ปริมาณโซเดียม ไตรเมตาฟอสเฟต (ร้อยละ)	ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	
	ความเร็วของเครื่องกวน (รอบ/นาที)	
	60	110
1.4	^a 22.40 ^a	^a 23.04 ^b
1.7	^a 23.11 ^c	^a 23.28 ^d
2.0	^b 23.25 ^c	^a 23.43 ^e

¹ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวใหญ่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตระดับต่างกัน

² ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรตัวเล็กต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างความเร็วของเครื่องกวนระดับต่างกัน

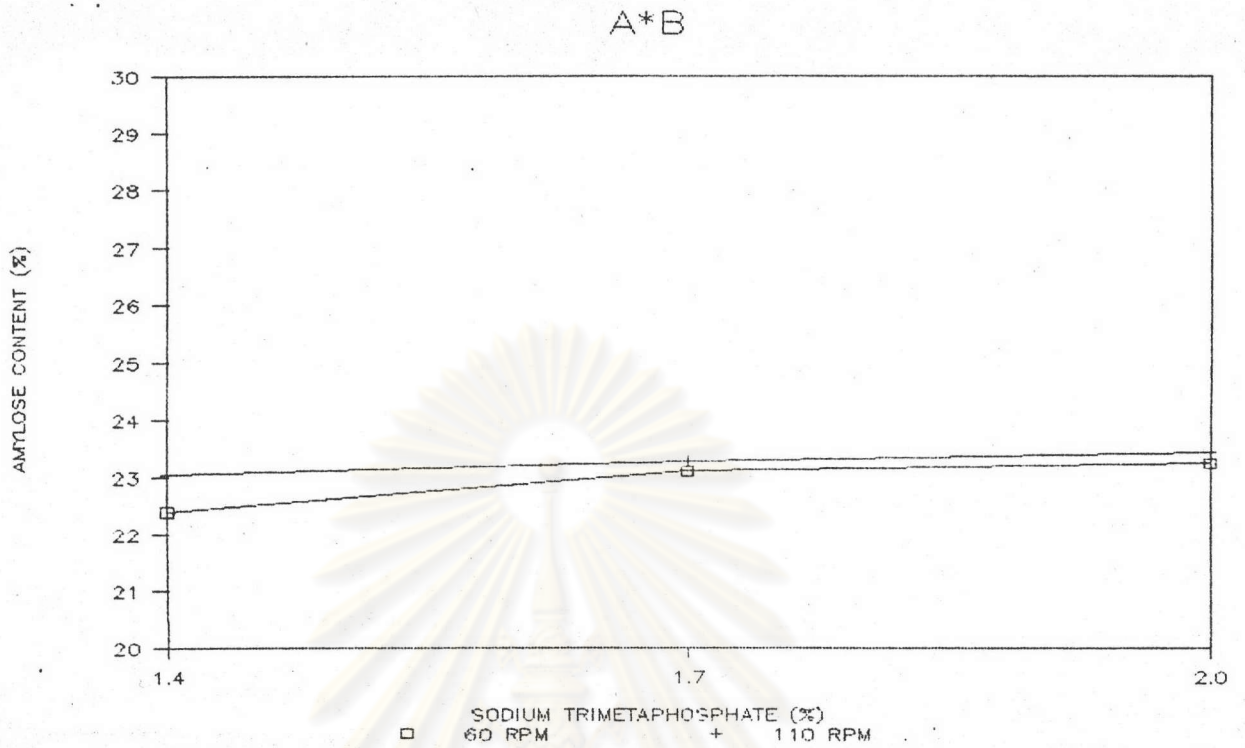


รูปที่ 18 อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตและความเร็วของเครื่องกวน ต่อ ความหนืดที่อุณหภูมิ 95°C (ก) 95°C นาน 20 นาที (ข) และ 55°C (ค) ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง



รูปที่ 19 อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตและความเร็วของเครื่องกวน ต่อ ความหนืดของการคินตัวทั้งหมด (total setback) ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ โดยวิธี cross-linking อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 20 อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตและความเร็วของเครื่องกวน ต่อ ปริมาณอะไมโลสของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking อดหมุมในการทำปฏิกิริยา 55°C เวลา 1.5 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 ผลของปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่มีต่อปฏิกิริยา cross-linking แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ โดยใช้ความเร็วของ เครื่องกวน 110 รอบต่อนาที

4.3.2.1 ผลของปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำ ปฏิกิริยาต่ออุณหภูมิแป้งสุกและการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ

จากการศึกษาผลของปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต 3 ระดับ คือ ร้อยละ 1.4 1.7 และ 2.0 ของน้ำหนักแป้งแห้ง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 2 ระดับ คือ 50 และ 55°C เวลา 3 ระดับ คือ 1.5 3.0 และ 4.5 ชั่วโมง ที่มีต่อปฏิกิริยา cross-linking แป้งข้าวเจ้า โดยใช้ความเร็วของเครื่องกวน 110 รอบต่อนาที ติดตามผลของปฏิกิริยาโดยพิจารณา อุณหภูมิแป้งสุกและการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ ซึ่งวัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8 ได้ผลดังนี้

ก. ผลของปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต พบว่าปริมาณโซเดียม ไตรเมต้าฟอสเฟตมีผลต่ออุณหภูมิแป้งสุก และความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 27 และรูปที่ 21 เมื่อปริมาณโซเดียมไตรเมต้า ฟอสเฟตมีระดับสูงขึ้น มีผลทำให้ความหนืดที่ 95°C ของ paste ลดลง และเมื่อได้รับความร้อนที่ 95°C เป็นเวลานาน 20 นาที พบว่า เสถียรภาพความหนืดของ paste มีแนวโน้มสูงขึ้น หลังจาก paste เย็นลงจนมีอุณหภูมิ 50°C ความหนืดของ paste รวมทั้งความหนืดของการคืนตัวทั้งหมดลดลง แสดงว่า paste เกิดการคืนตัวน้อยลงเช่นกัน

ข. ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา พบว่า อุณหภูมิในการทำ ปฏิกิริยามีผลต่ออุณหภูมิแป้งสุก และการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 27 และรูปที่ 22.1-22.3 เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยามีระดับ สูงขึ้น ทำให้ความหนืดที่ 95°C และ 50°C ของ paste ลดลง แต่เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle มีแนวโน้มสูงขึ้น และเกิดการคืนตัวน้อยลง

ค. ผลของเวลา พบว่า เวลาที่มีผลต่ออุณหภูมิแป้งสุกและความหนืดของ paste อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 27 และรูปที่ 23 โดยมีผลทำให้อุณหภูมิแป้งสุกมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ความหนืดที่ 95°C และ 50°C และความหนืดของการคืนตัวทั้งหมดลดลง รวมทั้งมีผลทำให้เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle ของ paste มีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นเดียวกับผลของปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

ง. ผลของอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตและเวลา อุณหภูมิและเวลา มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 27 แต่พบว่า มีเฉพาะอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาเท่านั้น ที่มีผลทำให้อุณหภูมิแป้งสุกของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 27 และรูปที่ 24



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

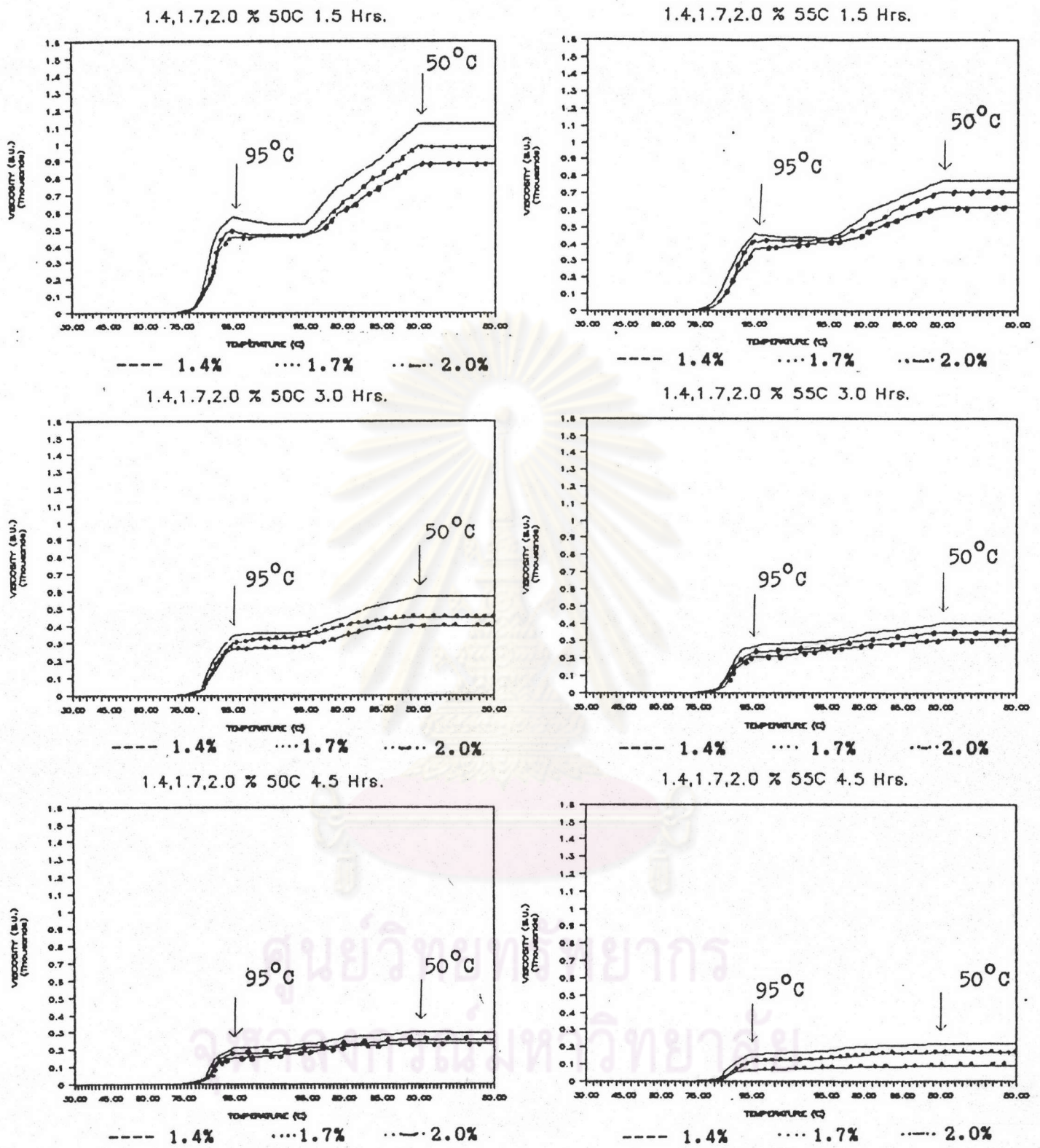
ตารางที่ 27 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลของปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลา ต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ

SOV	df	F ค่ารวม					เสถียรภาพ ความเหนียว	ความเหนียวของ การคืนตัวทั้งหมด
		อุณหภูมิแป้งสุก	ความเหนียวที่ 95°C	ความเหนียวที่ 95°C นาน 20	ความเหนียวที่ 50°C นาที			
A	2	18.575 [*]	519.779 [*]	128.387 [*]	709.270 [*]	12.912 [*]	295.231 [*]	
B	1	22.012 [*]	1338.321 [*]	430.229 [*]	3088.325 [*]	10.811 [*]	1544.093 [*]	
C	2	167.847 [*]	7569.068 [*]	2686.452 [*]	14710.81 [*]	42.101 [*]	6260.714 [*]	
AB	2	0.917 ^{ns}	1.745 ^{ns}	0.741 ^{ns}	14.585 [*]	0.493 [*]	11.569 [*]	
AC	4	2.379 ^{ns}	15.297 [*]	2.918 ^{ns}	31.000 [*]	14.027 [*]	67.469 [*]	
BC	2	9.401 [*]	15.779 [*]	4.097 [*]	367.076 [*]	15.412 [*]	556.339 [*]	
ABC	4	1.147 ^{ns}	6.552 [*]	10.14 [*]	18.928 [*]	2.905 ^{ns}	13.099 [*]	

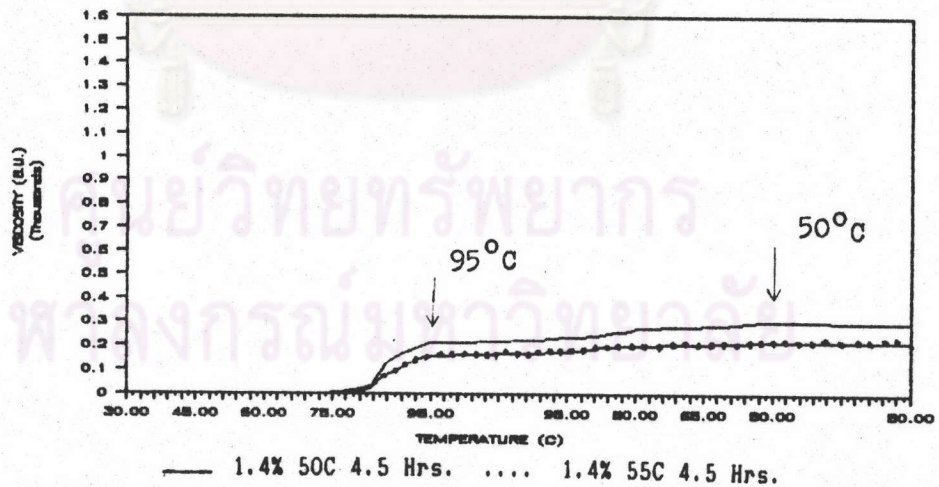
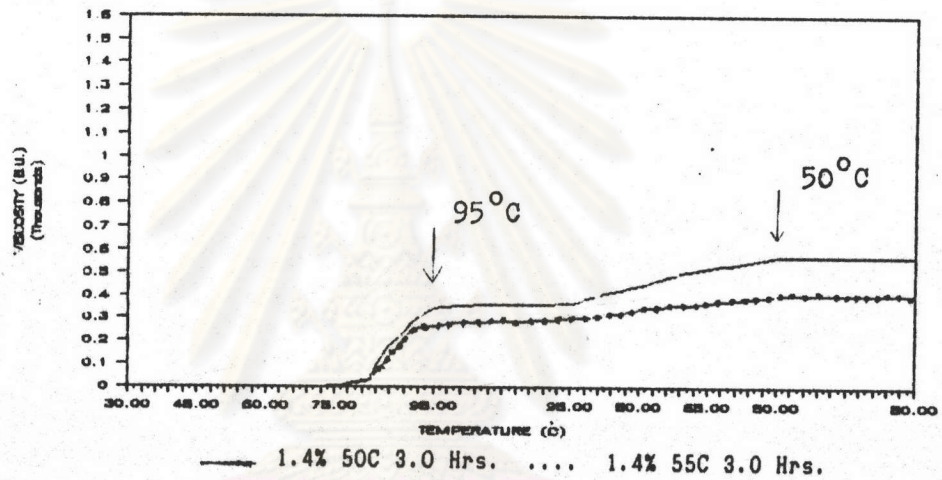
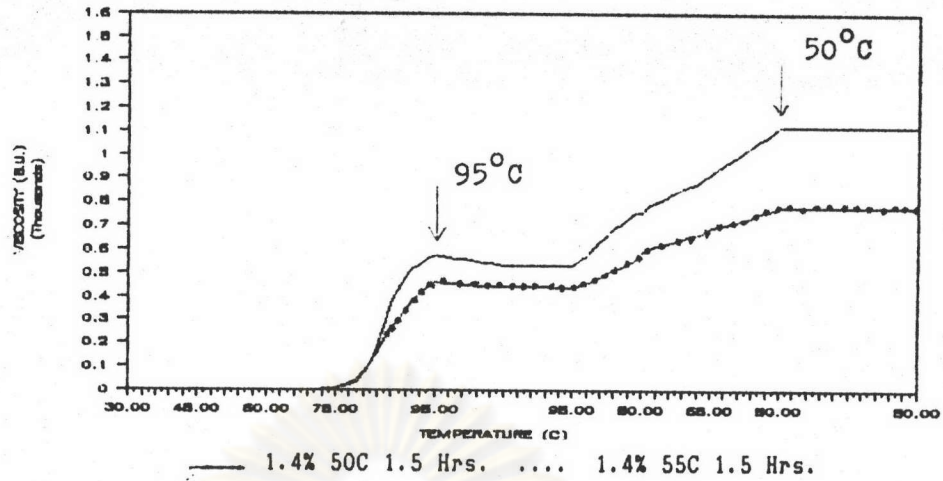
A หมายถึง ปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต

B หมายถึง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

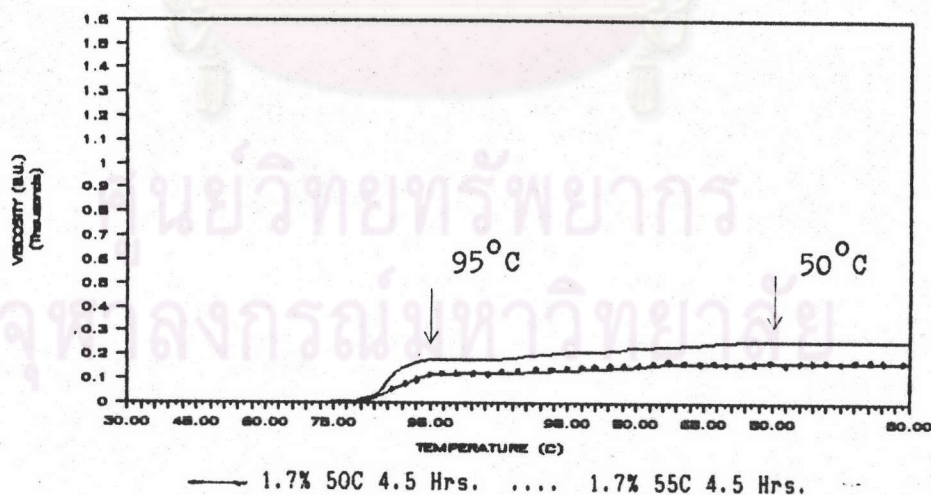
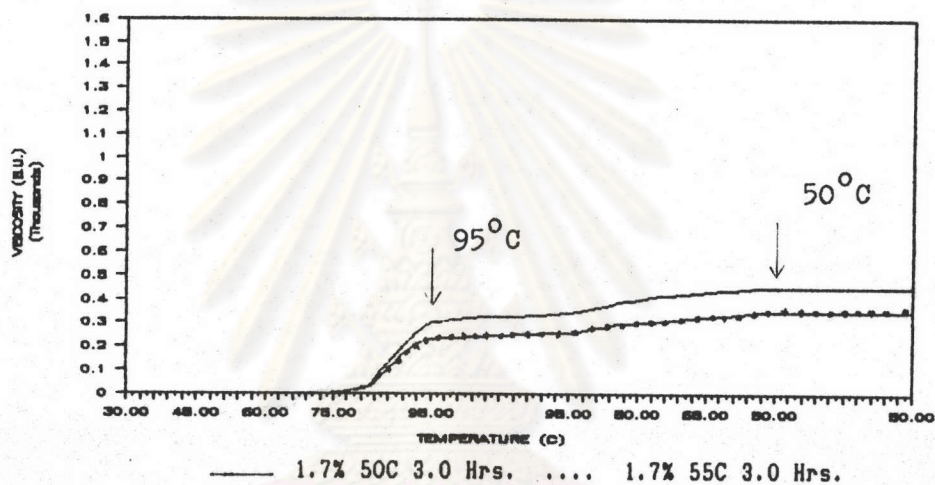
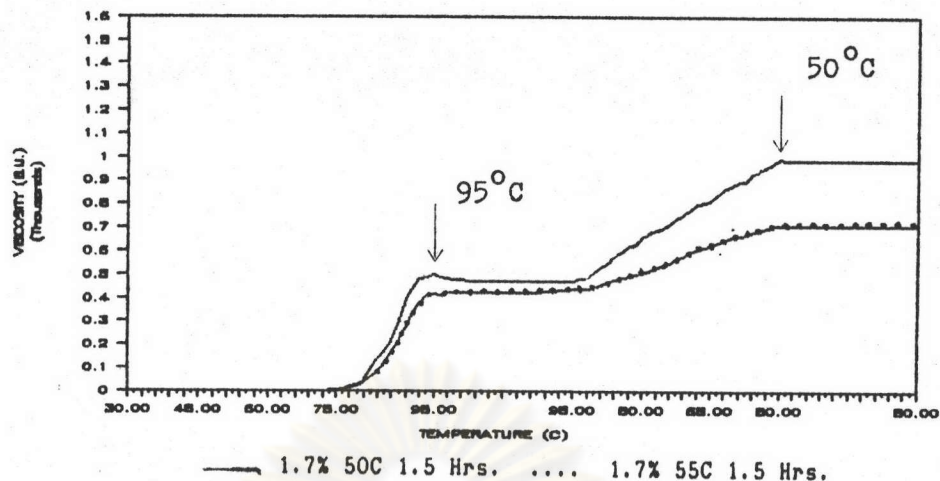
C หมายถึง เวลาในการทำปฏิกิริยา



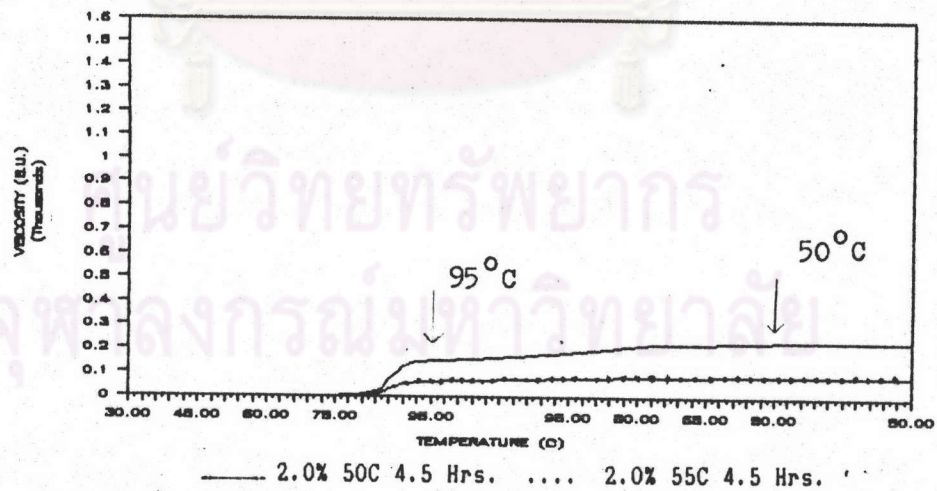
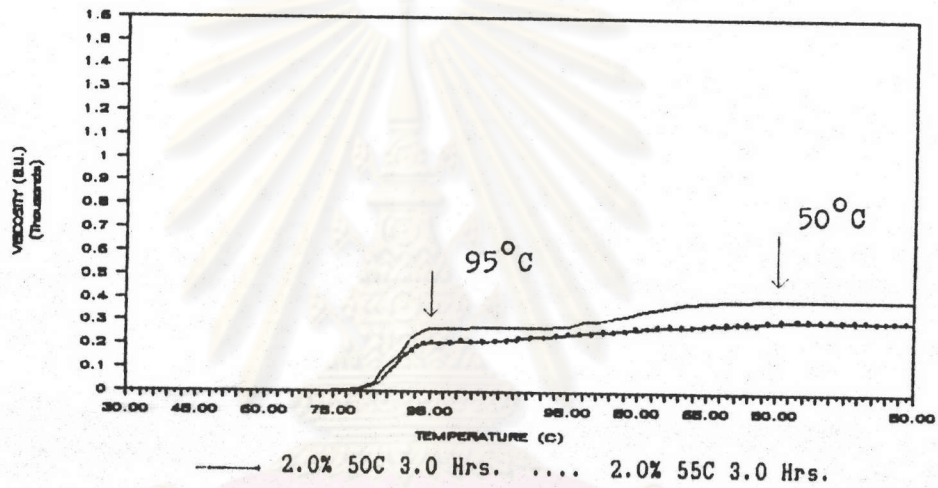
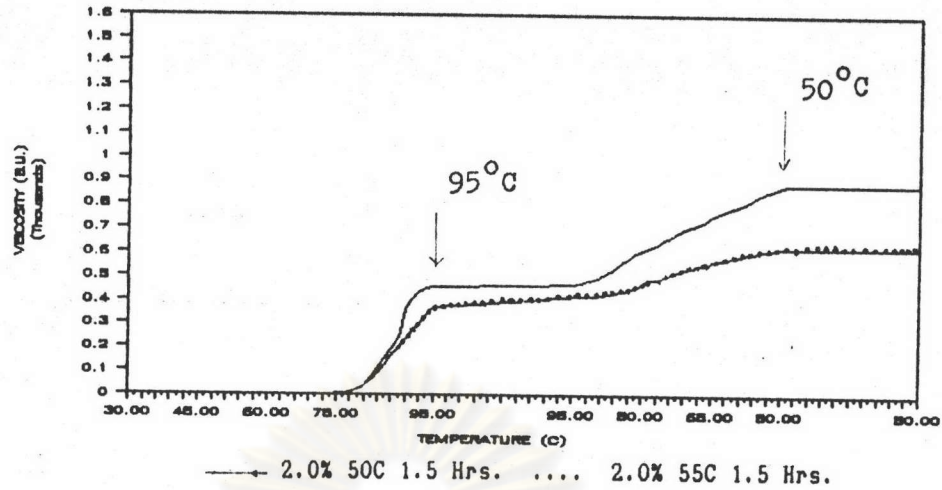
รูปที่ 21 ผลของไซเตียมไตรเมต้าฟอสเฟตเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ระดับ (ร้อยละ 1.4 1.7 และ 2.0 ของน้ำหนักแห้ง) ต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้า แปรสภาพที่อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาระดับต่างกัน



รูปที่ 22.1 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 2 ระดับ (50 และ 55°C) ต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต ร้อยละ 1.4 ของน้ำหนักแป้งแห้ง เวลาในการทำปฏิกิริยา 1.5 3.0 และ 4.5 ชั่วโมง

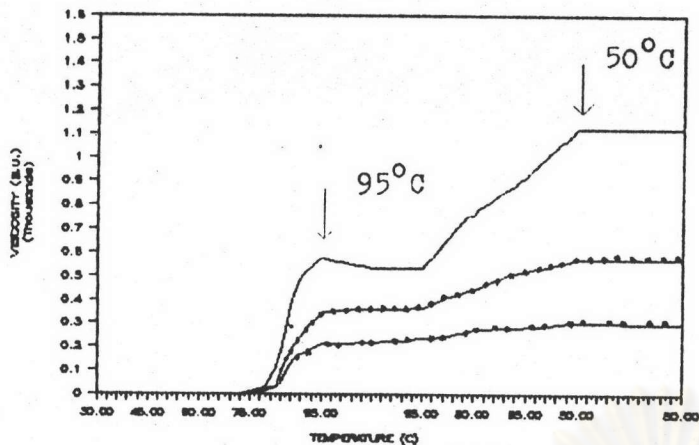


รูปที่ 22.2 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 2 ระดับ (50 และ 55°C) ต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วยไซเตียมไตรเมต้าฟอสเฟต ร้อยละ 1.7 ของน้ำหนักแป้งแห้ง เวลาในการทำปฏิกิริยา 1.5 3.0 และ 4.5 ชั่วโมง



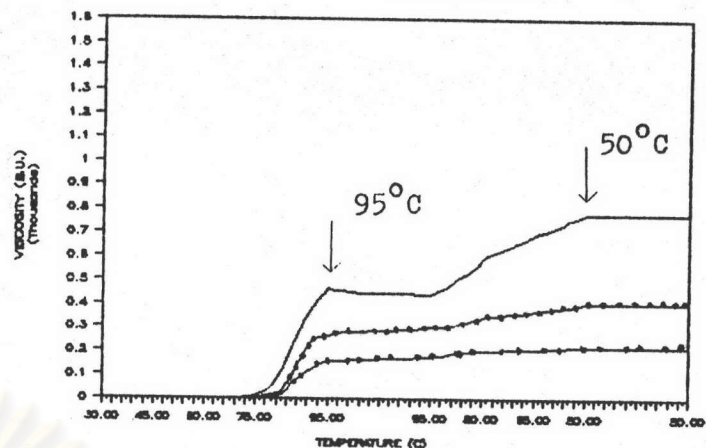
รูปที่ 22.3 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา-2 ระดับ (50 และ 55°C) ต่อความหนืดของ paste-แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต ร้อยละ 2.0 ของน้ำหนักแป้งแห้ง เวลาในการทำปฏิกิริยา 1.5 3.0 และ 4.5 ชั่วโมง

1.4 % 50C 1.5,3.0,4.5 Hrs.



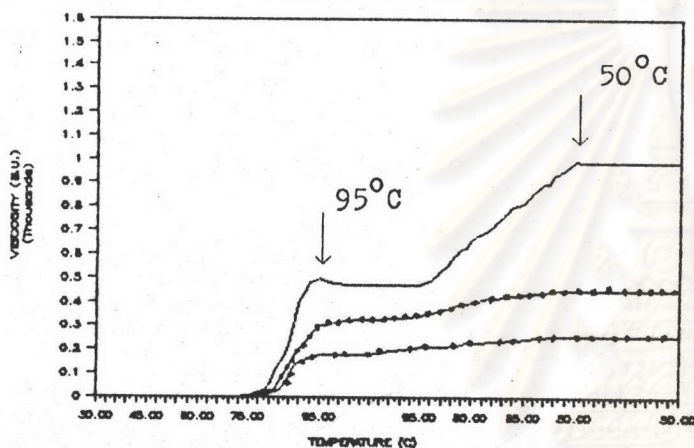
— 1.5 Hrs. 3.0 Hrs. - - - 4.5 Hrs.

1.4 % 55C 1.5,3.0,4.5 Hrs.



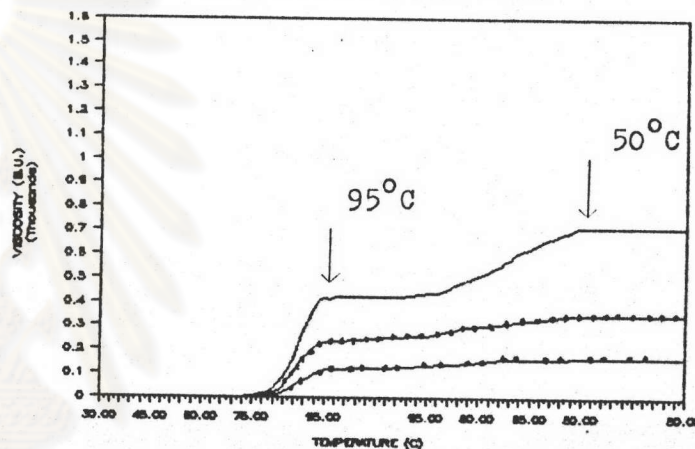
— 1.5 Hrs. 3.0 Hrs. - - - 4.5 Hrs.

1.7 % 50C 1.5,3.0,4.5 Hrs.



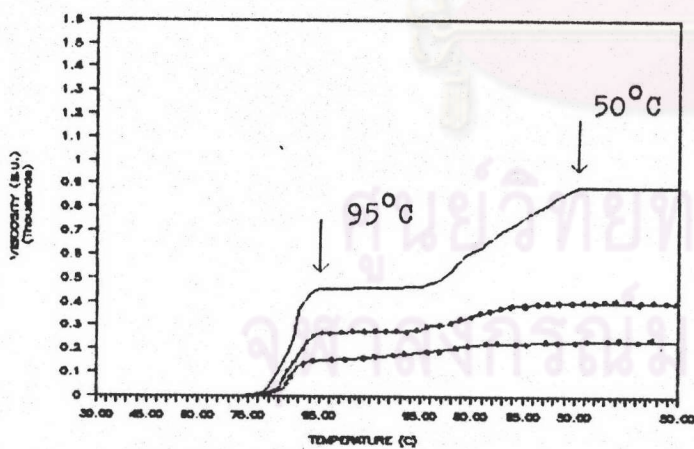
— 1.5 Hrs. 3.0 Hrs. - - - 4.5 Hrs.

1.7 % 55C 1.5,3.0,4.5 Hrs.



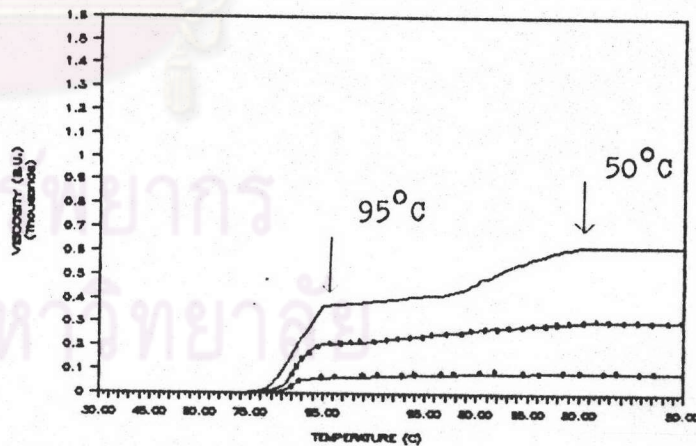
— 1.5 Hrs. 3.0 Hrs. - - - 4.5 Hrs.

2.0 % 50C 1.5,3.0,4.5 Hrs.



— 1.5 Hrs. 3.0 Hrs. - - - 4.5 Hrs.

2.0 % 55C 1.5,3.0,4.5 Hrs.



— 1.5 Hrs. 3.0 Hrs. - - - 4.5 Hrs.

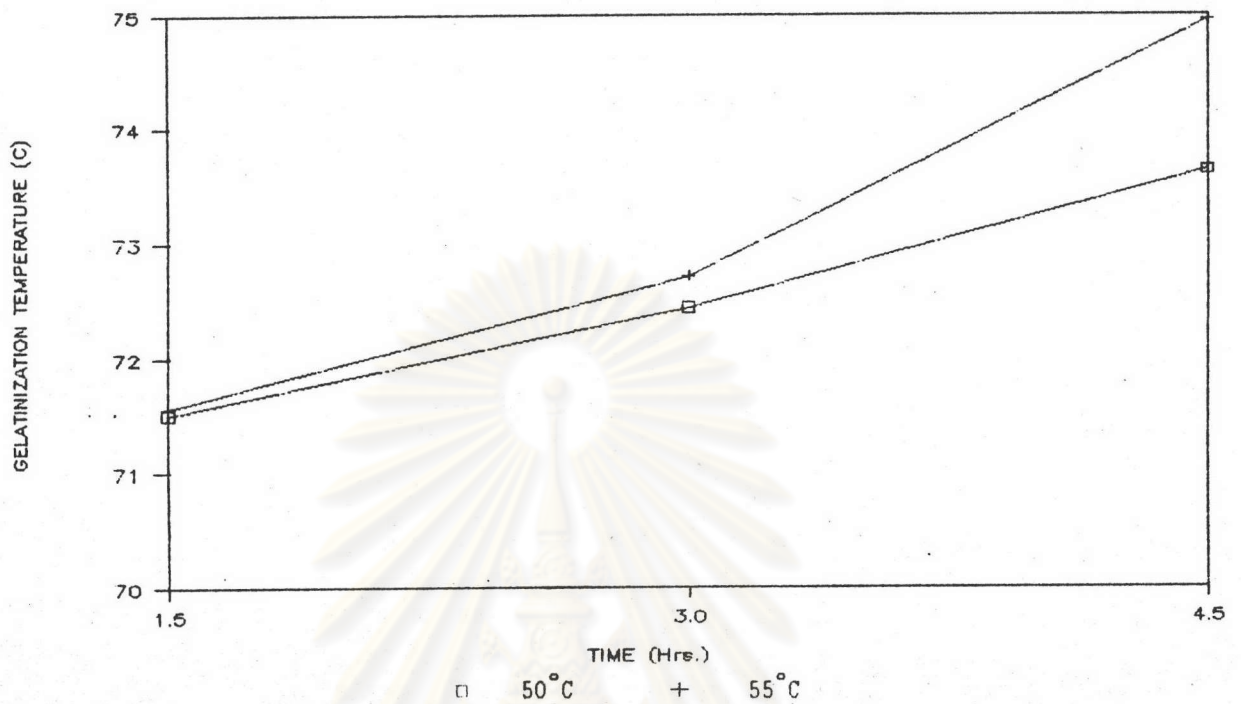
รูปที่ 23 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ระดับ (1.5 3.0 และ 4.5 ชั่วโมง) ต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต และ อุดหนุนในการทำปฏิกิริยาระดับต่างกัน

ตารางที่ 28 อุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature)เฉลี่ย ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต ปริมาณและสภาวะต่างกัน โดยใช้เครื่องกวนที่มีความเร็ว 110 รอบต่อนาที

ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต (ร้อยละ)	อุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) ¹ (°C)					
	อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C			อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C		
	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)			เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)		
	1.5	3.0	4.5	1.5	3.0	4.5
1.4	71.25 ^a	72.00 ^{abcd}	73.13 ^f	71.44 ^{ab}	72.25 ^{bcde}	74.13 ^{gh}
1.7	71.63 ^{abc}	72.38 ^{cddef}	73.69 ^g	71.63 ^{abc}	72.75 ^{def}	74.63 ^h
2.0	71.63 ^{abc}	72.94 ^a	74.07 ^{gh}	71.82 ^{abc}	73.13 ^f	76.13 ⁱ

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8

² ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา ระดับต่างกัน



รูปที่ 24 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา ต่ออุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร้อยละ 1.4 1.7 และ 2.0 ของน้ำหนักแป้งแห้ง โดยใช้เครื่องกวนที่มีความเร็ว 110 รอบต่อนาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย ระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้า
ฟอสเฟต อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ในทิศทางเสริมกัน โดยมีผลทำให้ความหนืดที่ 95°C ที่ 95°C นาน 20 นาที และ 50°C ของ
paste ลดลง เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle มีแนวโน้มสูงขึ้น แต่การคืนตัวของ
paste ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 29-33 และรูปที่ 25-29 แต่อิทธิพลร่วมทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าว
ไม่มีผลทำให้อุณหภูมิแข็งสุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 27



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 29 ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 95°C ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต ปริมาณและสภาวะต่างกันโดยใช้เครื่องกวนที่มีความเร็ว 110 รอบต่อนาที

ปริมาณโซเดียม ไตรเมตา ฟอสเฟต (ร้อยละ)	ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 95°C ¹ (บี.ยู.) ²					
	อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C			อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C		
	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)			เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)		
	1.5	3.0	4.5	1.5	3.0	4.5
1.4	580.00 ^a	340.00 ¹	210.00 ^a	465.00 ^m	265.00 ^a	155.00 ^a
1.7	500.00 ⁿ	300.00 ⁿ	180.00 ^d	417.50 ^k	230.00 ^f	115.00 ^b
2.0	455.00 ¹	270.00 ^a	150.00 ^c	367.50 ^j	205.00 ^a	62.50 ^a

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8

² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา ระดับต่างกัน

ตารางที่ 30 ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 95°C นาน 20 นาที ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ โดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต ปริมาณและสภาวะต่างกัน โดยใช้เครื่องกวนที่มีความเร็ว 110 รอบต่อนาที

ปริมาณโซเดียม ไตรเมต้า ฟอสเฟต (ร้อยละ)	ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 95°C นาน 20 นาที ¹ (บี.ยู.) ²					
	อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C			อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C		
	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)			เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)		
	1.5	3.0	4.5	1.5	3.0	4.5
1.4	532.50 ^m	365.00 ^j	235.00 ⁿ	440.00 ⁱ	300.00 ^h	175.00 ^c
1.7	470.00 ^m	342.50 ⁱ	210.00 ^d	435.00 ⁱ	260.00 ^f	135.00 ^b
2.0	465.00 ^m	280.00 ^g	185.00 ^e	412.50 ^k	245.00 ^g	80.00 ^a

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8

² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่าง ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา ระดับต่างกัน

ตารางที่ 31 ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 50°C ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต ปริมาณและสภาวะต่างกันโดยใช้เครื่องกวนที่มีความเร็ว 110 รอบต่อนาที

ปริมาณโซเดียม ไตรเมตา ฟอสเฟต (ร้อยละ)	ความหนืดเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 50°C ¹ (บี.ยู.) ²					
	อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C			อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C		
	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)			เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)		
	1.5	3.0	4.5	1.5	3.0	4.5
1.4	1120.00 ^a	572.50 ^d	300.00 ^e	780.00 ^l	402.50 ^m	220.00 ⁿ
1.7	992.50 ^b	450.00 ^e	260.00 ^f	715.00 ^k	350.00 ^o	165.00 ^b
2.0	882.50 ^c	400.00 ^f	232.50 ^g	622.50 ^j	305.00 ^p	90.00 ^a

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8

² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา ระดับต่างกัน

ตารางที่ 32 เสถียรภาพความหนืดเฉลี่ยระหว่าง heating cycle (breakdown) ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรรูปโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตปริมาณต่างกัน โดยใช้เครื่องกวนที่มีความเร็ว 110 รอบต่อนาที

ปริมาณโซเดียม ไตรเมตา ฟอสเฟต (ร้อยละ)	เสถียรภาพความหนืดระหว่าง heating cycle (breakdown) ¹ (บี.ยู.) ²					
	อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C			อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C		
	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)			เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)		
	1.5	3.0	4.5	1.5	3.0	4.5
1.4	47.50 ^f	-25.00 ^{abcd}	-25.00 ^{abcd}	25.00 ^e	-35.00 ^{abc}	-20.00 ^{abcd}
1.7	30.00 ¹	-42.50 ^{ab}	-30.00 ^{abcd}	-17.50 ^{cd}	-30.00 ^{abcd}	-20.00 ^{abcd}
2.0	-10.00 ^d	-10.00 ^d	-35.00 ^{abc}	-45.00 ^a	-40.00 ^{abc}	-17.50 ^{cd}

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8

² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา ระดับต่างกัน

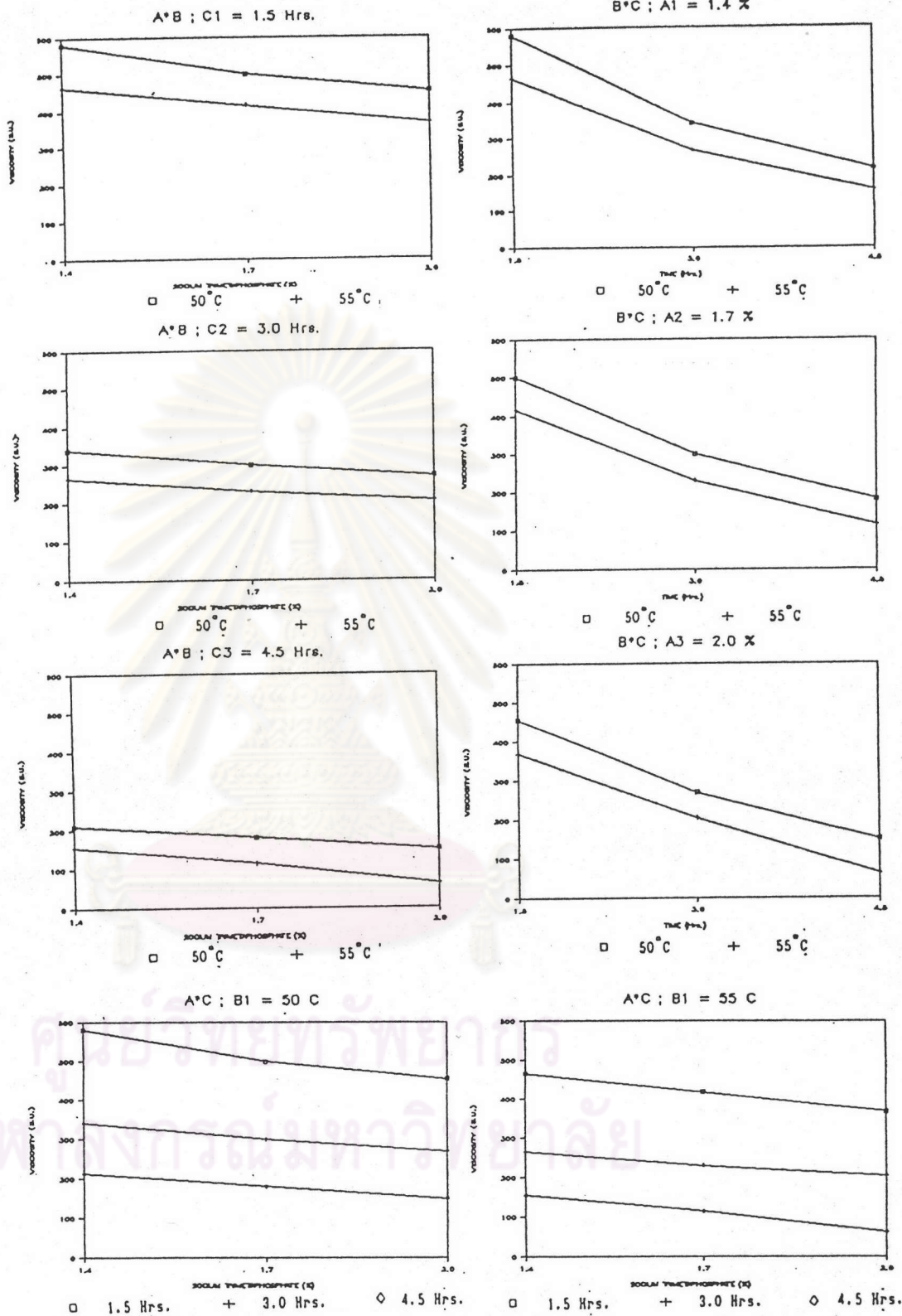
ตารางที่ 33 ความหนืดเฉลี่ยของการคินตัวทั้งหมด (total setback) ของ paste แป้งข้าวเจ้า แปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต ปริมาณและสภาวะต่างกัน โดยใช้เครื่องกวนที่มีความเร็ว 110 รอบต่อนาที

ปริมาณโซเดียม ไตรเมต้า ฟอสเฟต (ร้อยละ)	ความหนืดเฉลี่ยของการคินตัวทั้งหมด (total setback) ¹ (บี.ยู.) ²					
	อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C			อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C		
	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)			เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)		
	1.5	3.0	4.5	1.5	3.0	4.5
1.4	587.50 ¹	207.50 ^a	65.00 ^d	340.00 ¹	102.50 ^a	45.00 ^{b,c}
1.7	522.50 ^k	107.50 ^a	50.00 ^{c,d}	280.00 ^h	90.00 ^a	30.00 ^b
2.0	417.50 ^j	120.00 ^f	47.50 ^{b,c}	210.00 ^g	60.00 ^{c,d}	10.00 ^a

¹ วัดด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8

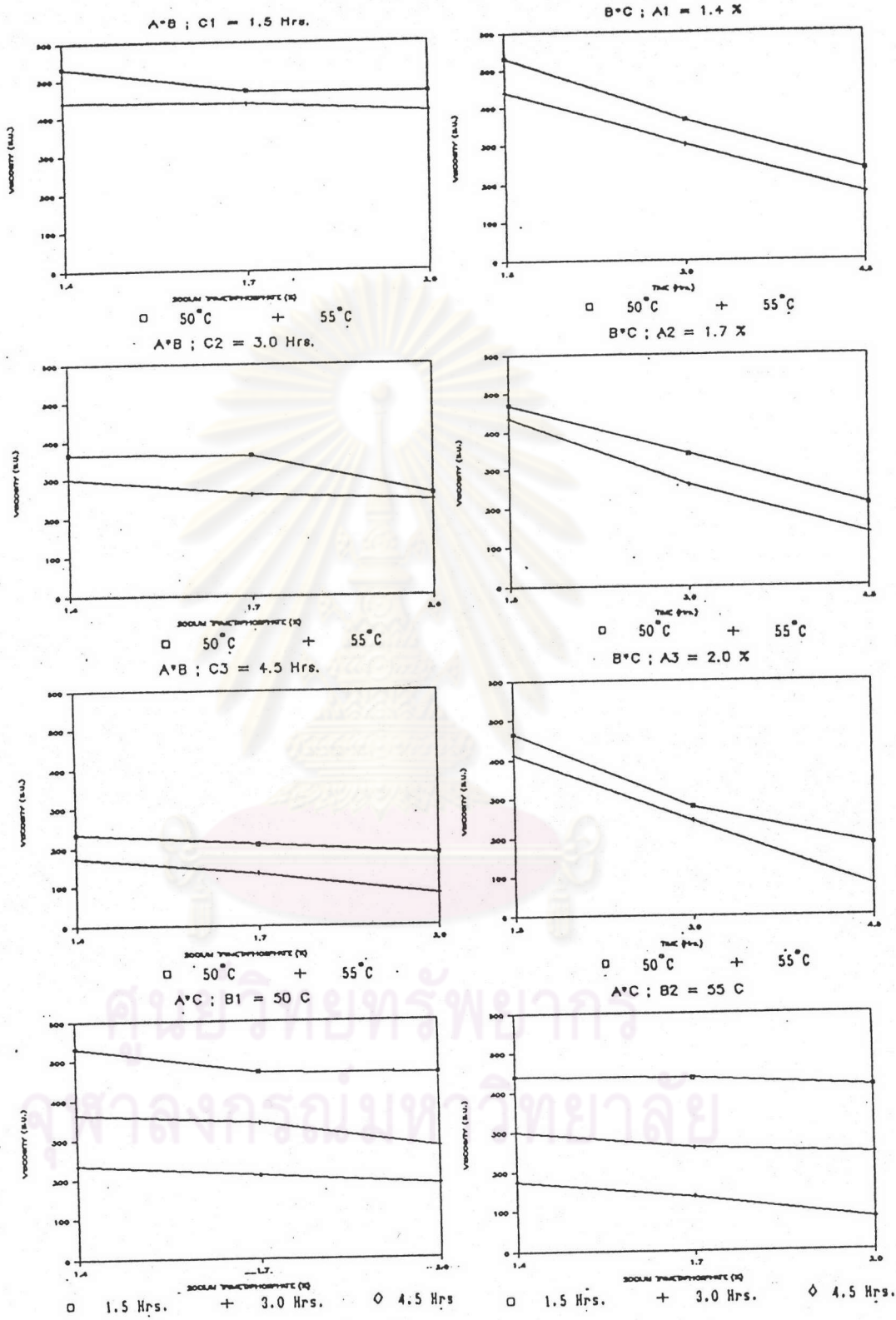
² บี.ยู. ย่อมาจาก Brabender Unit (B.U.)

³ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา ระดับต่างกัน



รูปที่ 25 อิทธิพลร่วมของปริมาณโซเดียมโครเมต้ำฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา
ต่อความหนืดที่อุณหภูมิ 95°C ของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ

ปริมาณโซเดียมโครเมต้ำฟอสเฟต (ร้อยละ) $A_1 = 1.4$ $A_2 = 1.7$ $A_3 = 2.0$
 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (°C) $B_1 = 50$ $B_2 = 55$
 เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง) $C_1 = 1.5$ $C_2 = 3.0$ $C_3 = 4.5$



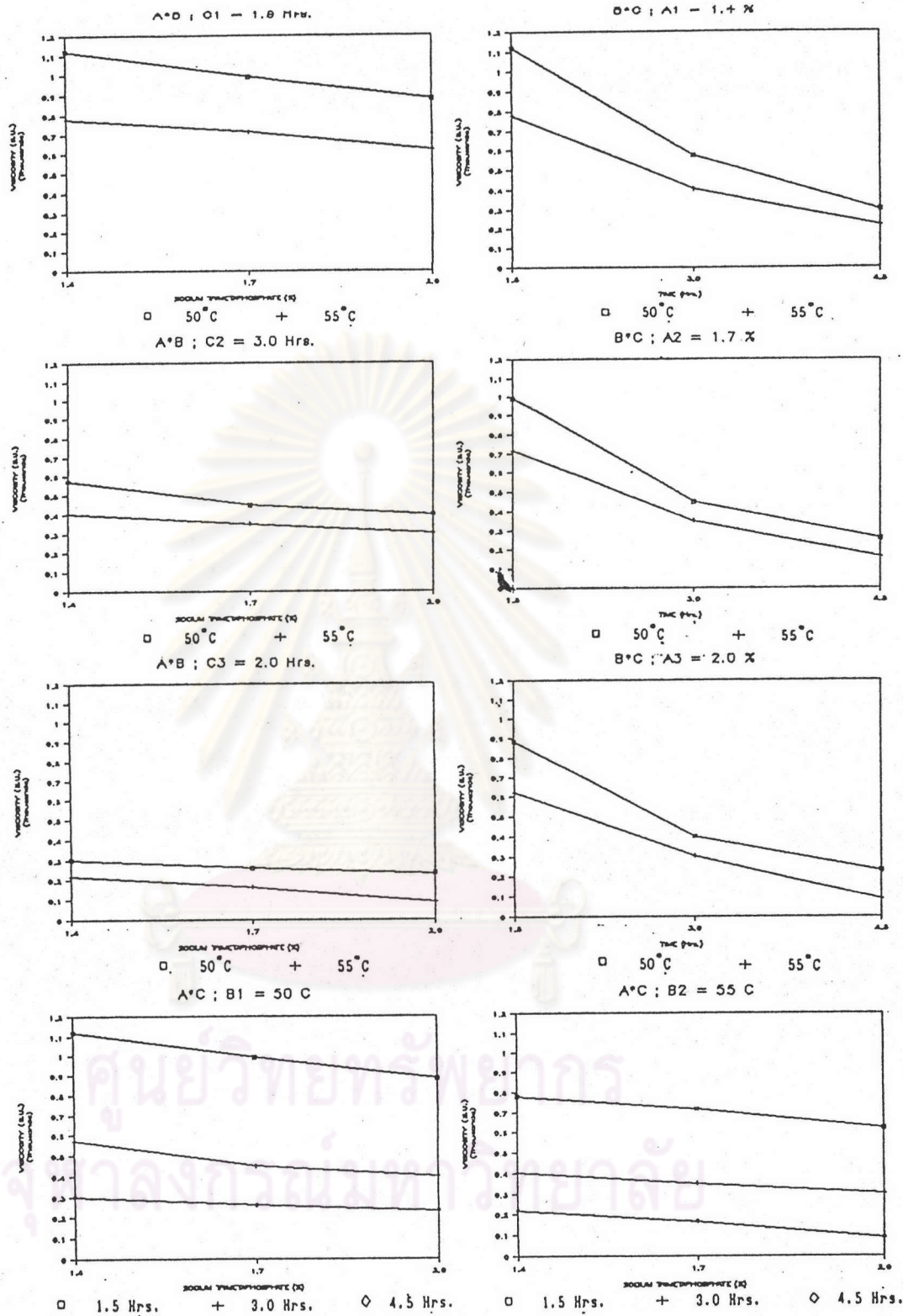
รูปที่ 26 อิทธิพลร่วมของปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา

ต่อความหนืดที่อุณหภูมิ 95°C นาน 20 นาที ของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ

ปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต (ร้อยละ) $A_1 = 1.4$ $A_2 = 1.7$ $A_3 = 2.0$

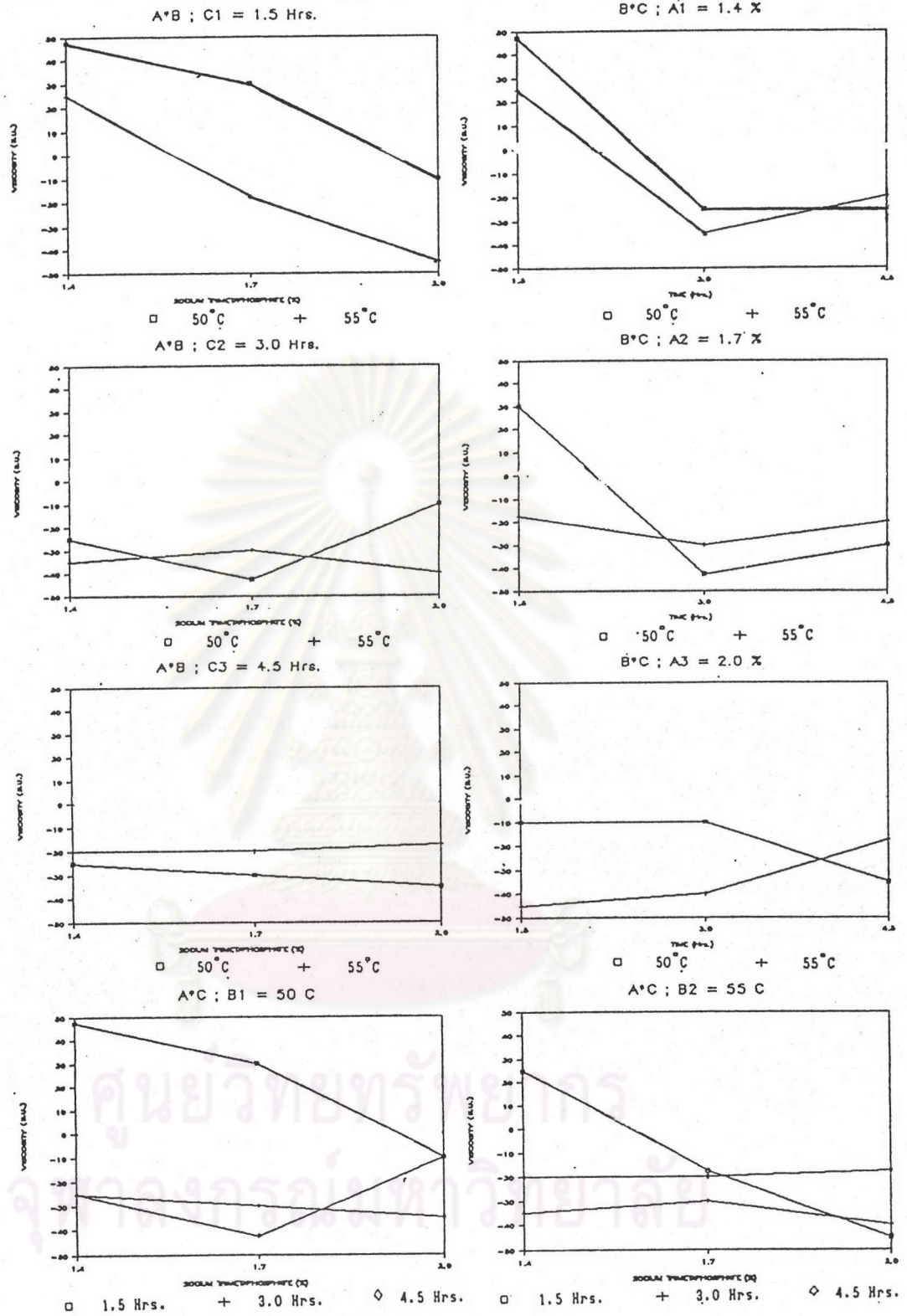
อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (°C) $B_1 = 50$ $B_2 = 55$

เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง) $C_1 = 1.5$ $C_2 = 3.0$ $C_3 = 4.5$



รูปที่ 27 อิทธิพลร่วมของปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา ต่อความหนืดที่อุณหภูมิ 50°C ของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ

ปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต (ร้อยละ) $A_1 = 1.4$ $A_2 = 1.7$ $A_3 = 2.0$
 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (°C) $B_1 = 50$ $B_2 = 55$
 เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง) $C_1 = 1.5$ $C_2 = 3.0$ $C_3 = 4.5$



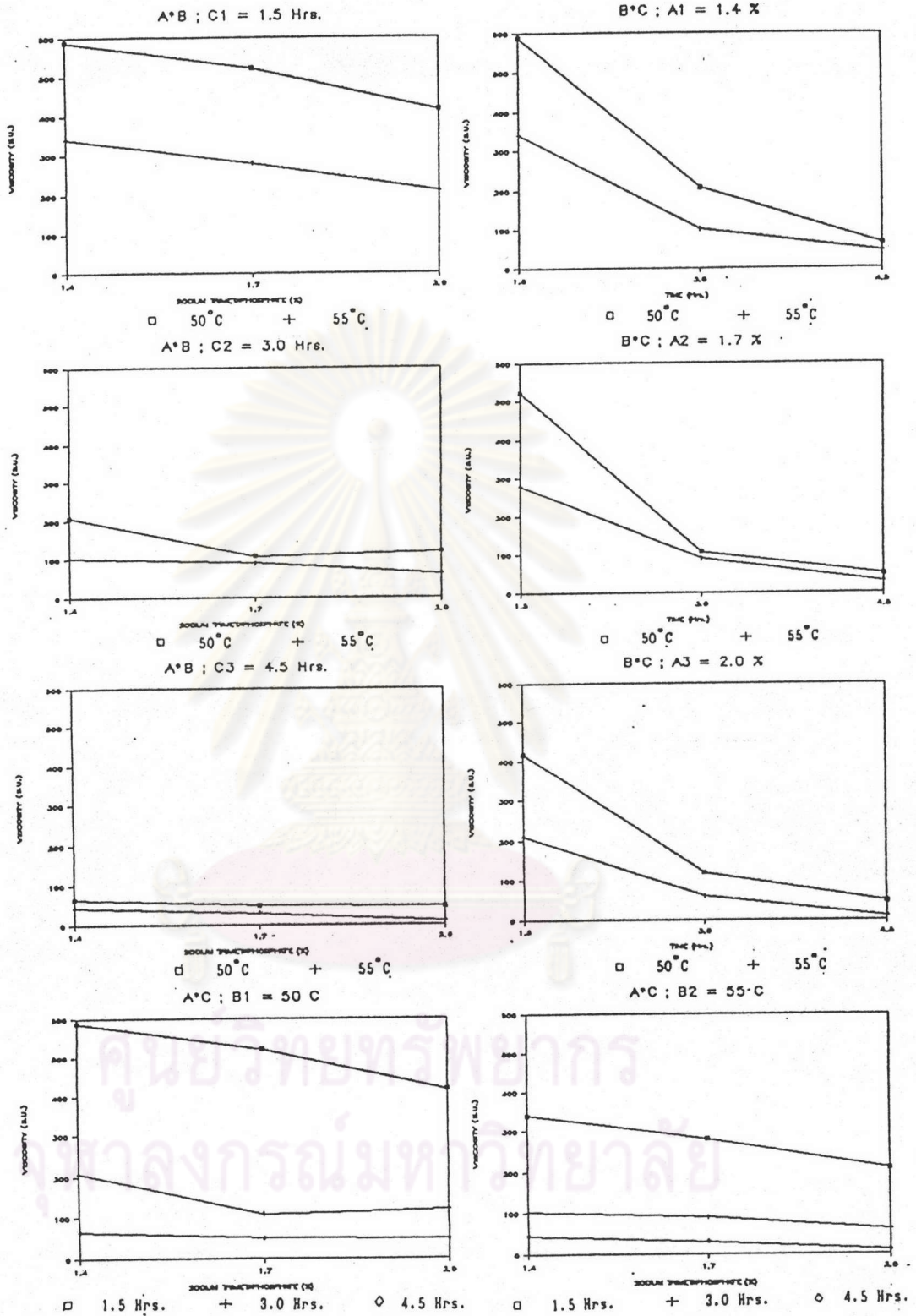
รูปที่ 28 อิทธิพลร่วมของปริมาณโซเดียมไตรฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลา ต่อเสถียรภาพความหนืด

ระหว่าง heating cycle (breakdown) ของแป้งข้าวเจ้าแปรรูป

ปริมาณโซเดียมไตรฟอสเฟต (ร้อยละ) $A_1 = 1.4$ $A_2 = 1.7$ $A_3 = 2.0$

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ($^{\circ}C$) $B_1 = 50$ $B_2 = 55$

เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง) $C_1 = 1.5$ $C_2 = 3.0$ $C_3 = 4.5$



รูปที่ 29 อิทธิพลร่วมของปริมาณโซเดียมไตรฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา
 ต่อความหนืดของการคืนตัวทั้งหมด (total setback) ของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ
 ปริมาณโซเดียมไตรฟอสเฟต (ร้อยละ) $A_1 = 1.4$ $A_2 = 1.7$ $A_3 = 2.0$
 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (°C) $B_1 = 50$ $B_2 = 55$
 เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง) $C_1 = 1.5$ $C_2 = 3.0$ $C_3 = 4.5$

4.3.2.2 ผลของปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการ
ทำปฏิกิริยาต่อปริมาณฟอสฟอรัสและอะไมโลสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ

จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ หรือเวลาในการทำปฏิกิริยา มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 34 เมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ หรือเวลาในระดับสูงขึ้น มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีแนวโน้มสูงขึ้น นอกจากนี้ พบว่า อิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัย คือ ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟตและเวลา อุณหภูมิ และเวลา และอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย ระหว่างปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลา มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทิศทางเสริมกัน คือ ทั้งปริมาณของโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 35 และรูปที่ 30

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัส (X) และ อุณหภูมิแป้งสุก (Y) ของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ มีความสัมพันธ์กันแบบพาราโบลาตามสมการ

$$Y = 71.99 - 0.61X + 0.15X^2 \quad (R^2 = 0.974) \quad \text{ดังแสดงในรูปที่ 31}$$

สำหรับปริมาณอะไมโลส พบว่า ทั้งปริมาณโซเดียมเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ หรือเวลาในการทำปฏิกิริยา มีผลต่อปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 34 เมื่อแต่ละปัจจัยมีระดับสูงขึ้นทำให้ปริมาณอะไมโลสสูงขึ้น และอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยนี้ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทิศทางเสริมกัน คือทำให้ปริมาณอะไมโลสมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 36 และรูปที่ 32

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณอะไมโลส (Y) และ ปริมาณฟอสฟอรัส (X) ในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ มีความสัมพันธ์กันแบบพาราโบลาตามสมการ

$$Y = 20.94 + 0.58X + 0.015X^2 \quad (R^2 = 0.976) \quad \text{ดังแสดงในรูปที่ 33}$$

นอกจากนี้ พบว่า ปริมาณอะไมโลส (X) และความหนืดของการคินตัวทั้งหมด (Y) ในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ มีความสัมพันธ์กันแบบเอกซ์โปเนนเชียลตามสมการ

$$Y = 2.8 * 10^{12} e^{-0.0003X} \quad (R^2 = 0.947) \quad \text{ดังแสดงในรูปที่ 34}$$

ตารางที่ 34 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลของปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลา ต่อปริมาณฟอสฟอรัส และ อะไมโลสของแป้งข้าวเจ้าแปรรูป

SOV	df	F จำนวน	
		ปริมาณฟอสฟอรัส	ปริมาณอะไมโลส
A	2	62.476 [*]	77.752 [*]
B	1	220.760 [*]	242.797 [*]
C	2	1289.704 [*]	1108.083 [*]
AB	2	1.62 ^{NS}	0.270 ^{NS}
AC	4	4.984 [*]	7.748 [*]
BC	2	12.147 [*]	14.481 [*]
ABC	4	3.17 [*]	3.688 [*]

A หมายถึง ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต

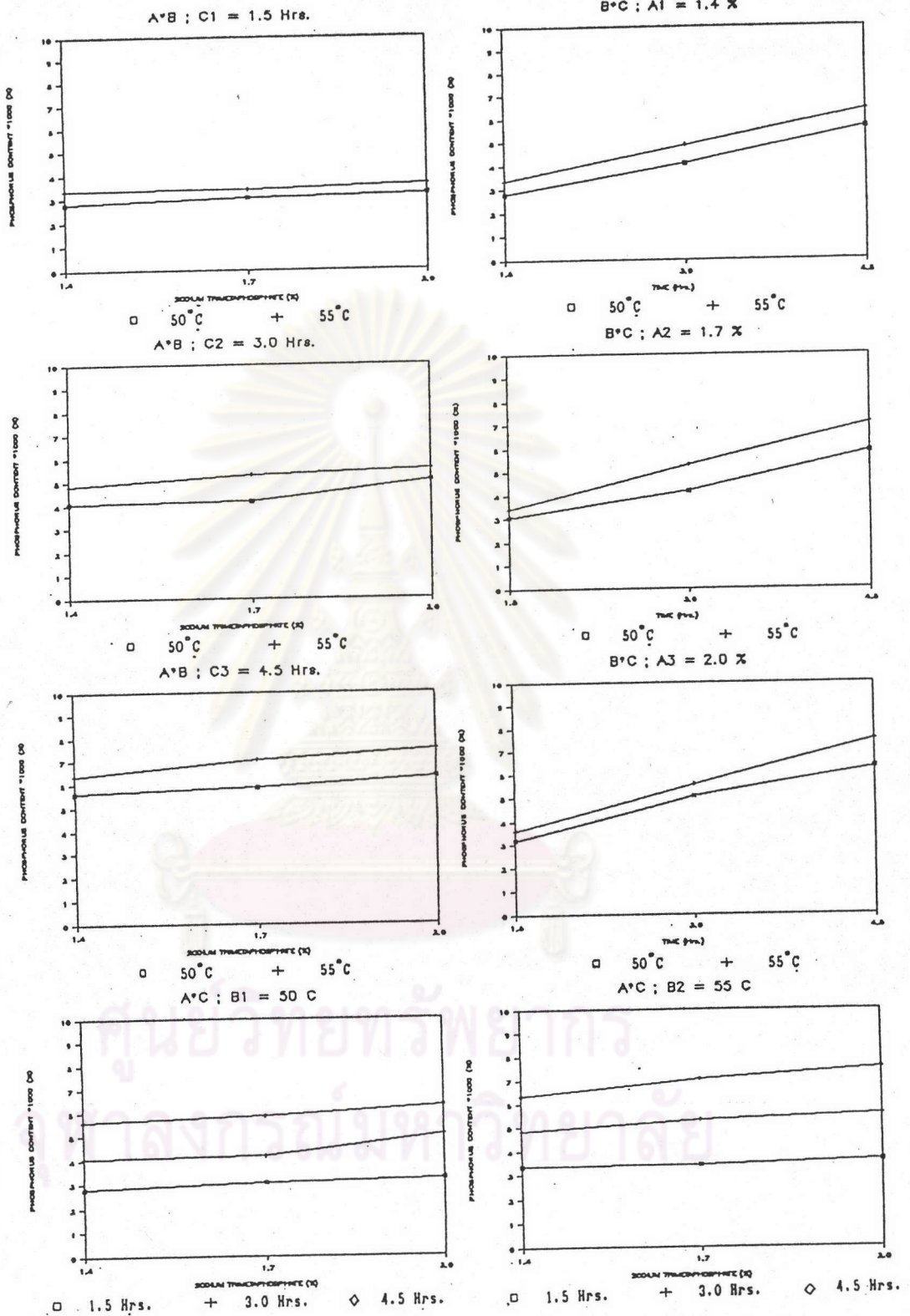
B หมายถึง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

C หมายถึง เวลาในการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ 35 ปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วย
โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต ปริมาณและสภาวะต่างกันโดยใช้เครื่องกวนที่มีความเร็ว
110 รอบต่อนาที

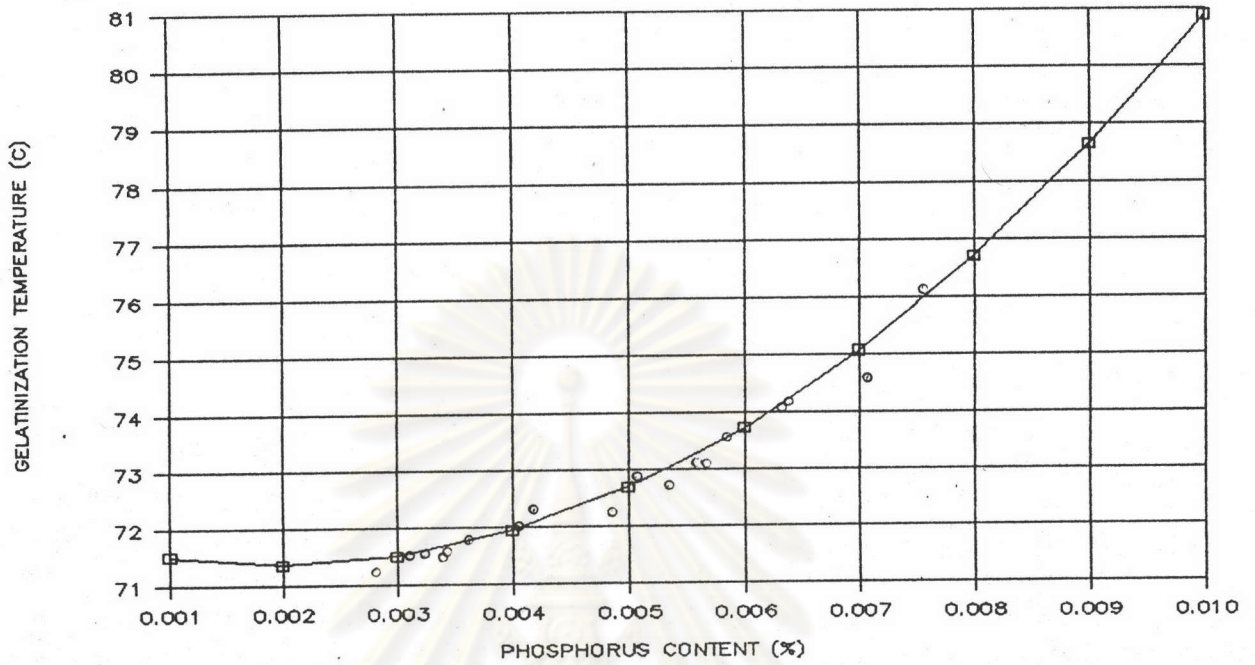
ปริมาณโซเดียม ไตรเมตา ฟอสเฟต (ร้อยละ)	ปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ย x 1000 ¹ (ร้อยละ)					
	อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C			อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C		
	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)			เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)		
	1.5	3.0	4.5	1.5	3.0	4.5
1.4	2.80 ^a	4.05 ^d	5.60 ^f	3.35 ^{b,c}	4.85 ^e	6.33 ^h
1.7	3.05 ^b	4.16 ^d	5.85 ^d	3.40 ^{b,c}	5.30 ^e	7.05 ⁱ
2.0	3.20 ^b	5.05 ^e	6.29 ^h	3.60 ^c	5.55 ^e	7.51 ^j

¹ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่าง
ปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา ระดับต่างกัน



รูปที่ 30 อิทธิพลร่วมของปริมาณโซเดียมไตรคาร์บอเนต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา
ต่อปริมาณฟอสฟอรัสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ

ปริมาณโซเดียมไตรคาร์บอเนต (ร้อยละ) $A_1 = 1.4$ $A_2 = 1.7$ $A_3 = 2.0$
 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (°C) $B_1 = 50$ $B_2 = 55$
 เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง) $C_1 = 1.5$ $C_2 = 3.0$ $C_3 = 4.5$



รูปที่ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัส (X) และอุณหภูมิแป้งสุก (Y)

$$Y = 71.99 - 0.61X + 0.15X^2 \quad (R^2 = 0.974)$$

□ ค่าที่ได้จากการคำนวณ

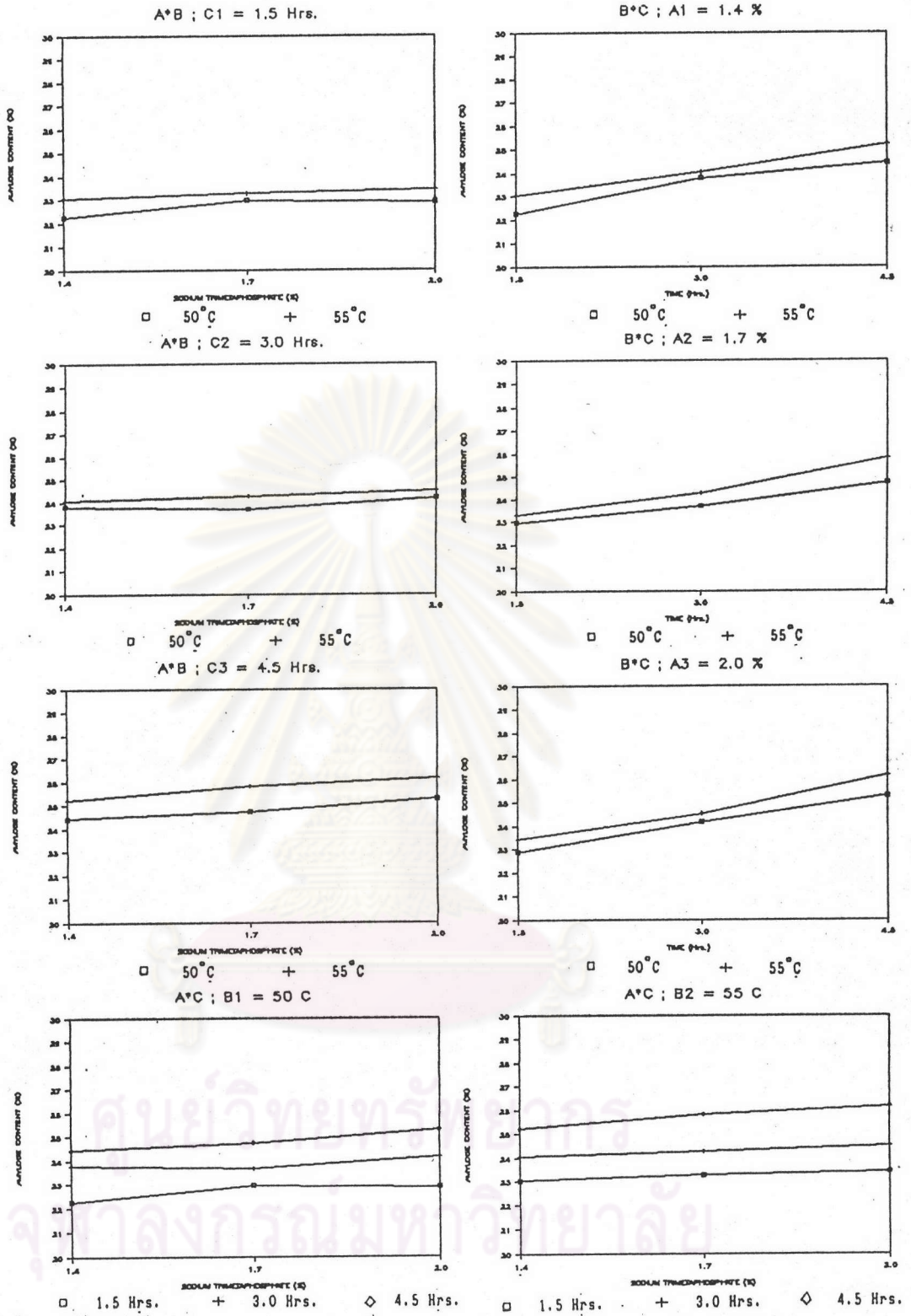
○ ค่าที่ได้จากการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 36 ปริมาณอะไมโลสเฉลี่ยในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ด้วย
โซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต ปริมาณและสภาวะต่างกันโดยใช้เครื่องกวนที่มีความเร็ว
110 รอบต่อนาที

ปริมาณโซเดียม ไตรเมต้า ฟอสเฟต (ร้อยละ)	ปริมาณอะไมโลสเฉลี่ย ¹ (ร้อยละ)					
	อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50°C			อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 55°C		
	เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)			เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)		
	1.5	3.0	4.5	1.5	3.0	4.5
1.4	22.25 ^a	23.80 ^d	24.44 ^f	23.04 ^b	24.05 ^e	25.21 ^h
1.7	22.95 ^b	23.68 ^d	24.75 ^g	23.28 ^c	24.28 ^{e,f}	25.82 ⁱ
2.0	22.88 ^b	24.18 ^e	25.28 ^h	23.43 ^c	24.53 ^f	26.18 ^j

¹ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่าง
ปริมาณโซเดียมไตรเมต้าฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา ระดับต่างกัน



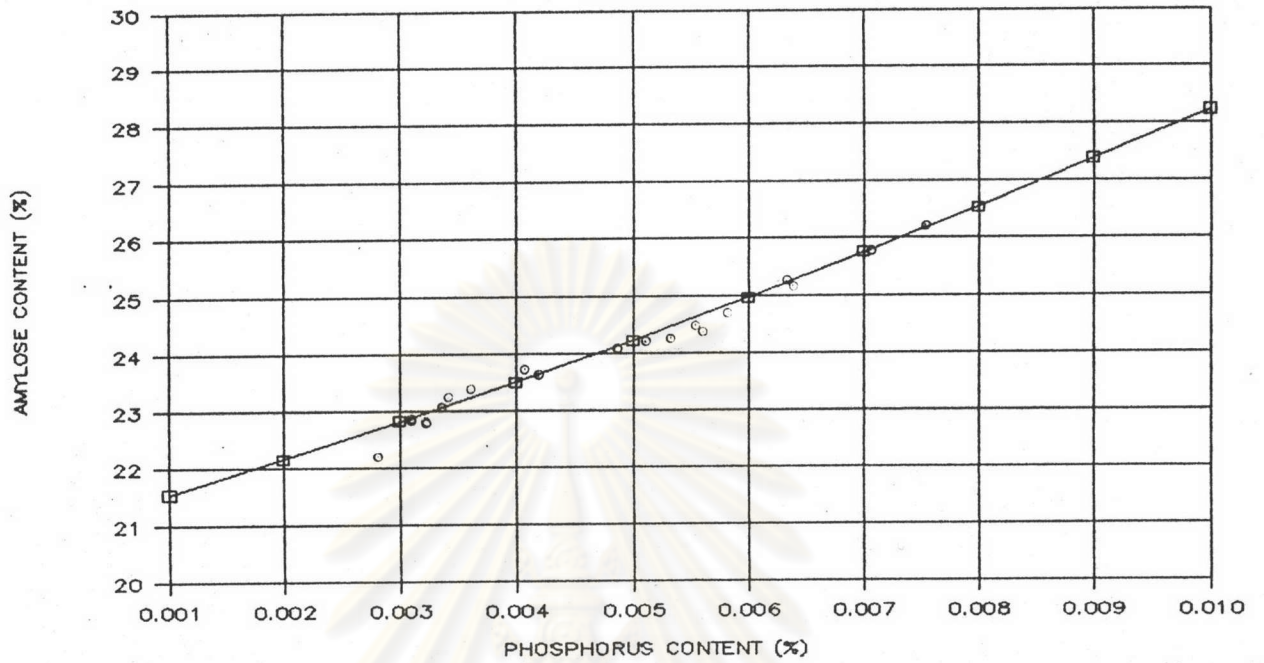
รูปที่ 32 อิทธิพลร่วมของปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา

ต่อปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ

ปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต (ร้อยละ) $A_1 = 1.4$ $A_2 = 1.7$ $A_3 = 2.0$

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (°C) $B_1 = 50$ $B_2 = 55$

เวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง) $C_1 = 1.5$ $C_2 = 3.0$ $C_3 = 4.5$



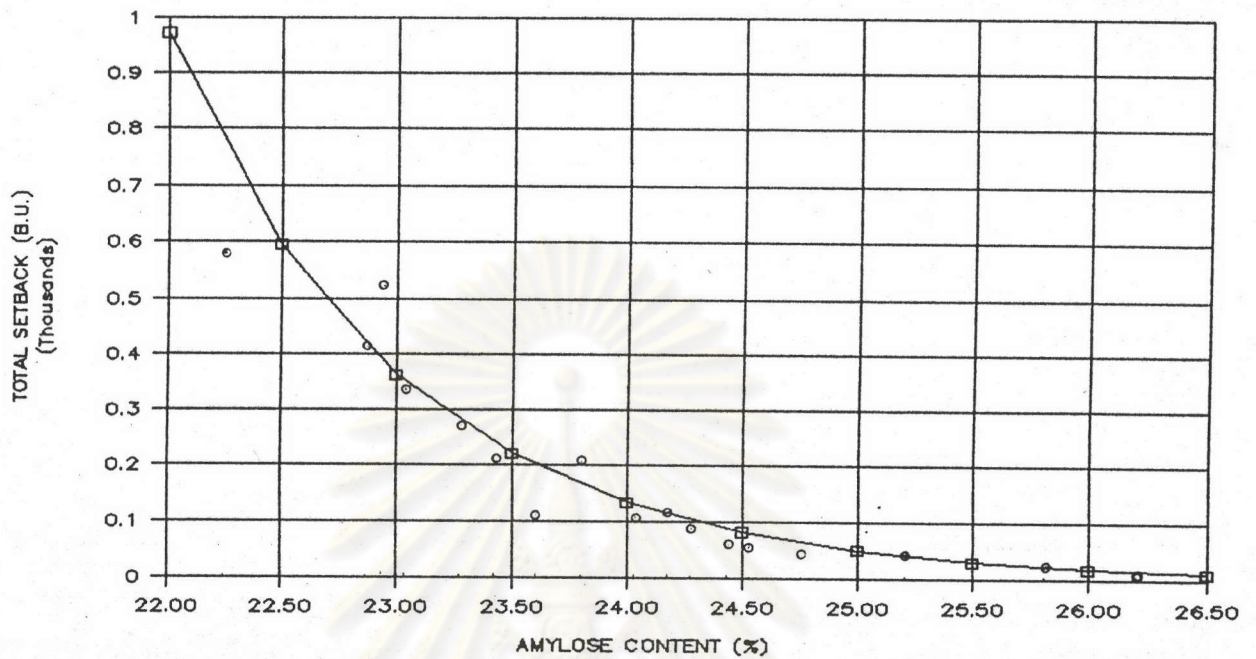
รูปที่ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลส (Y) และ ปริมาณฟอสฟอรัส (X) ในแป้งข้าวเจ้าปรสภาน

$$Y = 20.94 + 0.58X + 0.015X^2 \quad (R^2 = 0.976)$$

□ ค่าที่ได้จากการคำนวณ

○ ค่าที่ได้จากการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลส (X) และความหนืดของการคืนตัวทั้งหมด (Y) ของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ

$$Y = 2.80 * 10^{12} e^{-0.99x} \quad (R^2 = 0.947)$$

□ ค่าที่ได้จากการคำนวณ

○ ค่าที่ได้จากการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คัดเลือกแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์แป้งชุปทอด
 จากผลการทดลองแปรสภาพแป้งข้าวเจ้าโดยวิธี cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตปริมาณร้อยละ 1.4 1.7 และ 2.0 ของน้ำหนักแป้งแห้ง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 และ 55°C เวลา 1.5 3.0 และ 4.5 ชั่วโมง pH ของน้ำแป้งระหว่างทำปฏิกิริยา 11.00 ± 0.10 ความเร็วของเครื่องกวนคองที่ คือ 110 รอบต่อนาที และผลการศึกษสมบัติด้านต่างๆ ของแป้งชุปทอดทางการค้า ได้คัดเลือกแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์แป้งชุปทอด โดยมี

เกณฑ์สำคัญในการประเมินผล ได้แก่

อุณหภูมิแป้งสุก โดยพิจารณาคัดเลือกแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูง ซึ่งทำให้แป้งเกิดเป็นเจลได้ช้าลง เพื่อให้น้ำในชั้นอาหารมีโอกาสระเหยออกได้มาก และควรมีระดับที่สูงกว่าแป้งชุปทอดทางการค้าเพื่อเป็นการปรับปรุงให้มีความกรอบสูงขึ้น ผลการพิจารณาพบว่า แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพตัวอย่างที่ 1 มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงที่สุด รองลงมาคือ ตัวอย่างที่ 2 3 และ 4 ซึ่งมีค่าสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติ และตัวอย่างที่ 5 มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติกับตัวอย่างที่ 3 และ 4 ดังตารางที่ 37

ปริมาณอะไมโลส เกณฑ์ที่ต้องการคืออยู่ในระดับสูงและควรสูงกว่าแป้งชุปทอดทางการค้าเพื่อให้อุณหภูมิแป้งสุกสูงขึ้นและช่วยเพิ่มความกรอบของผลิตภัณฑ์ จากการทดลองพบว่า ปริมาณอะไมโลสในตัวอย่างที่ 1 มีค่าสูงสุด รองลงมาคือตัวอย่างที่ 2 ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างที่ 3 กับ 4 และตัวอย่างที่ 5 มีค่าต่ำที่สุด

จากเกณฑ์สำคัญทั้งหมดที่ใช้ประเมินผล คือ อุณหภูมิแป้งสุกและปริมาณอะไมโลส พบว่า แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพตัวอย่างที่ 1 2 3 และ 4 มีสมบัติที่สำคัญได้ตามเกณฑ์ซึ่งกำหนดไว้ เนื่องจากแป้งตัวอย่างที่ 3 และ 4 มีอุณหภูมิแป้งสุกและปริมาณอะไมโลสไม่แตกต่างกันทางสถิติ แม้ว่าแป้งตัวอย่างที่ 3 ใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตน้อยกว่าตัวอย่างที่ 4 แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงกว่า แป้งตัวอย่างที่ 4 จึงเหมาะสมกว่าตัวอย่างที่ 3 ดังนั้น แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพตัวอย่างที่ 1 2 และ 4 จึงมีสมบัติเหมาะสมตามเกณฑ์สำคัญมากกว่าสภาวะอื่น

เกณฑ์สำคัญลำดับรองที่ใช้พิจารณา ได้แก่

ความหนืดที่ 95°C เกณฑ์ที่ใช้คือ มีความหนืดอยู่ในช่วงเดียวกับแป้งชุปทอดทางการค้า หรือต่ำกว่า ผลการทดลองพบว่า ความหนืดของแป้งตัวอย่างที่ 3-5 อยู่ในช่วงเดียวกับแป้งชุปทอดทางการค้า แต่ความหนืดของตัวอย่างที่ 2 ต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ตัวอย่างที่ 1 ต่ำกว่าแป้งทางการค้าประมาณ 2 เท่า

ความหนืดที่ 50°C เกณฑ์ที่ใช้คือ ช่วงความหนืดของแป้งชุปทอดทางการค้าหรือต่ำกว่า จากการทดลองพบว่า ความหนืดของแป้งชุปทอดตัวอย่างที่ 3-5 อยู่ในช่วงเดียวกับแป้งชุปทอดทางการค้า แต่ตัวอย่างที่ 2 มีความหนืดต่ำกว่าเล็กน้อยและตัวอย่างที่ 1 มีความหนืดต่ำกว่าแป้งทางการค้าประมาณ 2 เท่า

จากการพิจารณาความหนืดทั้งที่ 95°C และ 50°C พบว่า แป้งที่มีสมบัติตามเกณฑ์ที่สำคัญคือ แป้งตัวอย่างที่ 4 มีความหนืดเหมาะสมระดับเดียวกับแป้งทางการค้า แต่แป้งตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีความหนืดต่ำกว่าแป้งทางการค้า

เนื่องจากความหนืดของ paste ที่อุณหภูมิ 95°C และ 50°C มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แป้งชุปทอดน้อยกว่าอุณหภูมิแป้งสุก และปริมาณอะไมโลส แม้ว่า แป้งตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีความหนืดต่ำ แต่สามารถปรับปรุงให้มีความหนืดสูงขึ้นอยู่ในระดับเดียวกับแป้งทางการค้าได้ โดยนำไปผสมกับแป้งชนิดอื่นที่มีความหนืดสูง เช่น แป้งข้าวโพด เป็นต้น

การคืนตัวของ paste โดยพิจารณาจากค่าความหนืดของการคืนตัวทั้งหมดของ paste ถ้ามีค่ามากแสดงว่า paste เกิดการคืนตัวมาก เกณฑ์ที่ใช้คือ ความหนืดของการคืนตัวทั้งหมดของ paste แป้งชุปทอดทางการค้าหรือต่ำกว่า ผลการทดลองพบว่า การคืนตัวของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพทุกตัวอย่างอยู่ในช่วงเดียวกับเกณฑ์ที่กำหนด

จากการพิจารณาความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพที่มีสมบัติเหมาะสมทั้ง 3 สภาวะ พบว่า ความหนืดของ paste แป้งแปรสภาพตัวอย่างที่ 4 อยู่ในช่วงเดียวกับแป้งชุปทอดทางการค้า สามารถใช้เป็นส่วนผสมหลักในผลิตภัณฑ์แป้งชุปทอดได้โดยไม่ต้องผสมแป้งชนิดอื่น แต่พบว่า ความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพอีก 2 สภาวะ คือตัวอย่างที่ 1 และ 2 ต่ำกว่าความหนืดของแป้งชุปทอดทางการค้า แต่เนื่องจากความหนืดของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพตัวอย่างที่ 2 ต่ำกว่าเพียงเล็กน้อยสามารถใช้แป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสมเพื่อทำให้ความหนืดสูงขึ้นในอัตราส่วนน้อยกว่าตัวอย่างที่ 1 ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้มากกว่า เพราะแป้งข้าวโพดมีราคาแพง ดังนั้น จึงคัดเลือกแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพตัวอย่างที่ 2 และ 4 ไปใช้ในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์แป้งชุปทอดต่อไป

ตารางที่ 37 สมบัติแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพในสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์แป้งชุปทอด โดยนิจากรณสมบัติของแป้งชุปทอดเป็นเกณฑ์ประกอบ

สมบัติ	แป้งชุปทอด ทางการค้า	แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพในสภาวะต่างกัน				
		1	2*	3	4*	5
อุณหภูมิแป้งสุก (°C)	64.13 - 69.00	76.13	74.63	74.13	74.07	73.69
ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	19.08 - 20.91	26.18	25.82	25.21	25.28	24.75
ความหนืดที่ 95°C (บี.ยู.)	130-175	62.50	115.00	155.00	150.00	180.00
ความหนืดที่ 50°C (บี.ยู.)	203-275	90.00	165.00	220.00	232.50	260.00
เสถียรภาพความหนืด (บี.ยู.)	0	-17.50	-20.00	-20.00	-35.00	-30.00
ความหนืดของการคั่ว (บี.ยู.)	40 - 145	10.00	30.00	45.00	47.50	50.00

- ตัวอย่าง 1 แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วย $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9$ 2.0 % อุณหภูมิ 55°C เวลา 4.5 ชั่วโมง
- ตัวอย่าง 2 แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วย $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9$ 1.7 % อุณหภูมิ 55°C เวลา 4.5 ชั่วโมง
- ตัวอย่าง 3 แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วย $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9$ 1.4 % อุณหภูมิ 55°C เวลา 4.5 ชั่วโมง
- ตัวอย่าง 4 แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วย $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9$ 2.0 % อุณหภูมิ 50°C เวลา 4.5 ชั่วโมง
- ตัวอย่าง 5 แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพด้วย $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9$ 1.7 % อุณหภูมิ 50°C เวลา 4.5 ชั่วโมง

4.4 ศึกษาการพัฒนาสูตรแป้งชุปทอด โดยใช้แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนต่างกัน

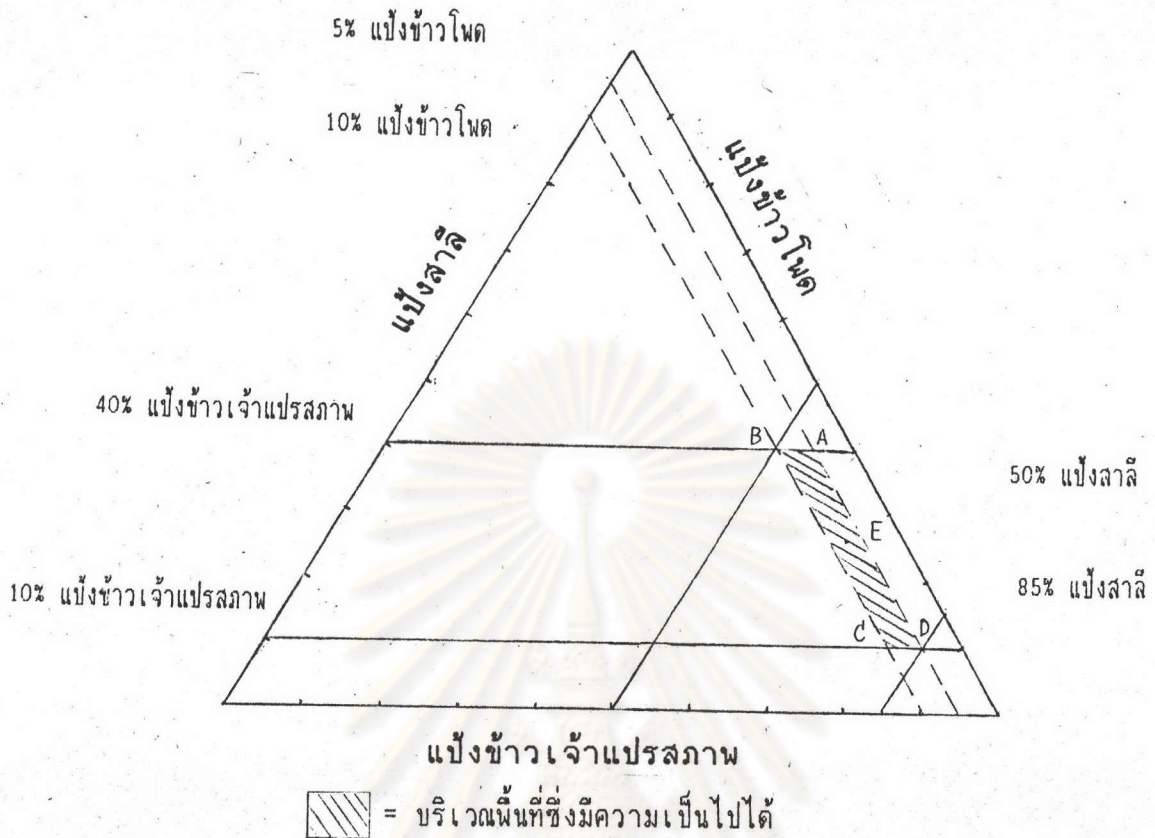
จากการคำนวณหาอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งสาลี และแป้งข้าวโพดที่ใช้เป็นส่วนผสม โดยกำหนดปริมาณให้อยู่ระหว่างร้อยละ 10-40 50-85 และ 5-10 ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด ตามลำดับ ด้วยวิธี mixture design และคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมจากบริเวณพื้นที่ซึ่งมีความเป็นไปได้ (feasible region) มา 5 สูตรหลัก คือ สูตร A-E ดังแสดงในรูปที่ 35 เพื่อศึกษาต่อไป

ในการศึกษานี้เลือกใช้แป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์และแป้งขนมปังเป็นส่วนผสม เนื่องจากแป้งทั้ง 2 ชนิดนี้มีราคาใกล้เคียงกัน คือ แป้งชนิดเอนกประสงค์ ราคาประมาณ 24 บาทต่อกิโลกรัม สำหรับแป้งขนมปังราคาสูงกว่าเล็กน้อย คือ ประมาณ 25 บาทต่อกิโลกรัม แต่แป้งขนมปังจะมีโปรตีนสูงกว่า คือ ร้อยละ 13.60 ของน้ำหนัก ในขณะที่แป้งเอนกประสงค์มีร้อยละ 10.80

4.4.1 ศึกษาผลของแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์และแป้งขนมปังต่อสมบัติของแป้งชุปทอด ซึ่งใช้แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนต่างกัน

จากการศึกษาโดยใช้แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งข้าวโพด และแป้งสาลี 2 ชนิดในแต่ละสูตรหลัก คือ A-E โดยสูตร A-E ใช้แป้งเอนกประสงค์ และสูตร A1-E1 ใช้แป้งขนมปัง กำหนดให้ปริมาณน้ำตาล เกลือ และผงฟู คงที่คือร้อยละ 4.0 1.5 และ 4.5 ตามลำดับ พบว่า สมบัติที่สำคัญได้แก่ อุณหภูมิแป้งสุก ความหนืดที่ 95°C และ 50°C ความหนืดของการคืนตัว ทั้งหมด รวมทั้งปริมาณอะไมโลสของแป้งชุปทอดสูตร A กับ A1 หรือ B กับ B1 หรือ C กับ C1 หรือ D กับ D1 หรือ E กับ E1 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ยกเว้นปริมาณโปรตีนเท่านั้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 38 และรูปที่ 36 โดยสูตรที่ใช้แป้งขนมปังมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสูตรที่ใช้แป้งเอนกประสงค์ที่มีอัตราส่วนของแป้งเท่ากัน

ดังนั้นจึงเลือกใช้แป้งชุปทอดสูตร A1-E1 ในการศึกษาต่อไป



รูปที่ 35 กราฟแสดงบริเวณพื้นที่ซึ่งมีความเป็นไปได้ (Feasible Region) ของอัตราส่วนผสมหลัก ระหว่าง แปะงาเจ้าแปรสภาพ แปะงาลีและแป้งข้า้วโพด สำหรับผลิตภัณฑ์แป้งซุบทอด

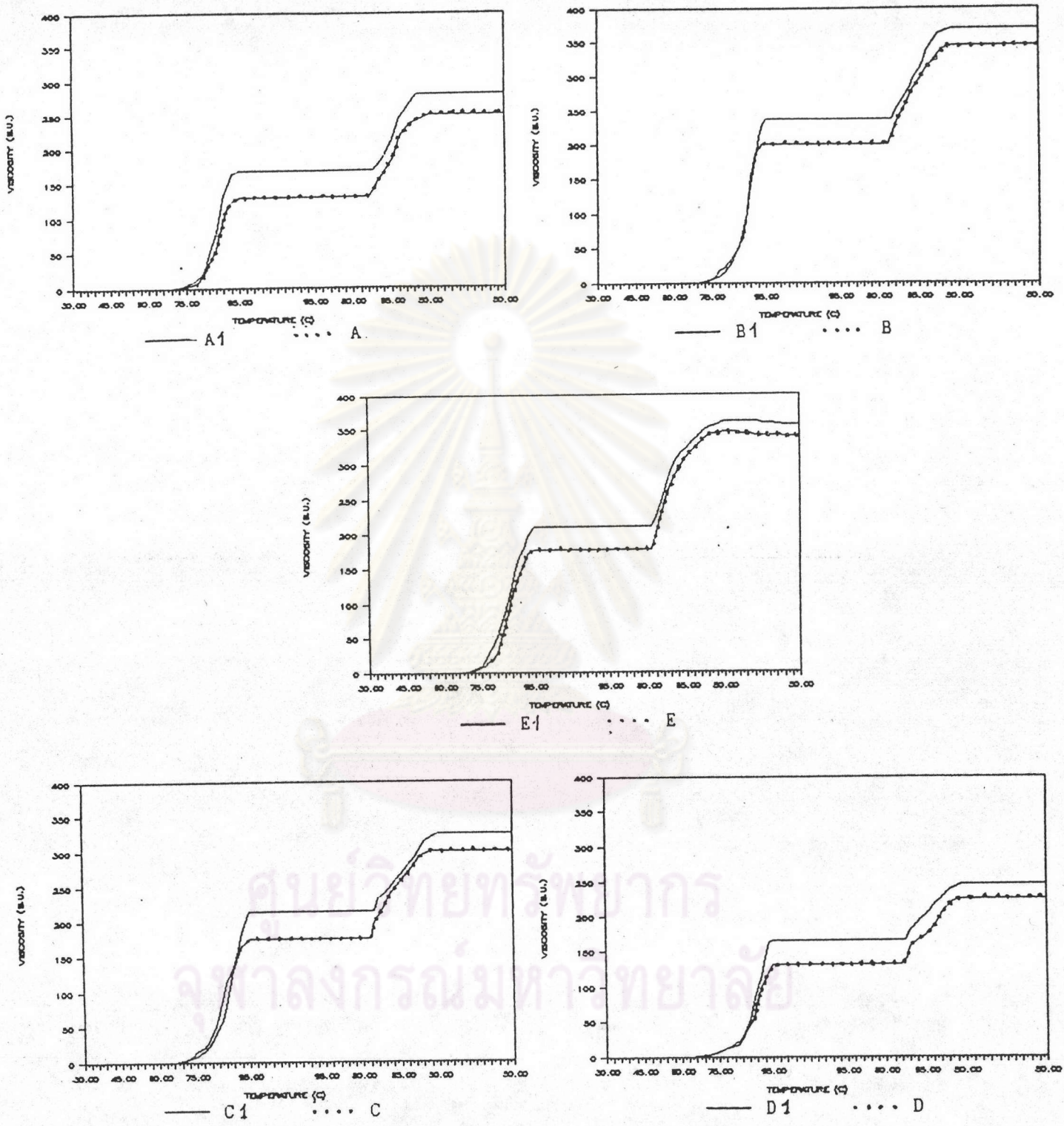
- สูตร A หมายถึง แป้งซุบทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้า้วเจ้าแปรสภาพ แปะงาลี และแป้งข้า้วโพด (ร้อยละ) 40:55:5
- สูตร B หมายถึง แป้งซุบทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้า้วเจ้าแปรสภาพ แปะงาลี และแป้งข้า้วโพด (ร้อยละ) 40:50:10
- สูตร C หมายถึง แป้งซุบทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้า้วเจ้าแปรสภาพ แปะงาลี และแป้งข้า้วโพด (ร้อยละ) 10:80:10
- สูตร D หมายถึง แป้งซุบทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้า้วเจ้าแปรสภาพ แปะงาลี และแป้งข้า้วโพด (ร้อยละ) 10:85:5
- สูตร E หมายถึง แป้งซุบทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้า้วเจ้าแปรสภาพ แปะงาลี และแป้งข้า้วโพด (ร้อยละ) 26.0:66.5:7.5

ตารางที่ 38 ผลของแป้งเอนกประสงค์และแป้งขนมปังต่อสมบัติของแป้งชบทอด ซึ่งใช้แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเป็นส่วนผสม ในอัตราส่วนต่างกัน

สมบัติ	แป้งชบทอด									
	A	A1	B	B1	C	C1	D	D1	E	E1
อุณหภูมิแป้งสุก ($^{\circ}\text{C}$) ^{NS}	70.69	70.13	71.44	71.07	66.75	66.19	65.63	65.25	68.63	68.25
ความหนืดที่ 95 $^{\circ}\text{C}$ (บี.ยู.) ^{NS}	130	170	200	237	175	215	130	165	177	210
ความหนืดที่ 50 $^{\circ}\text{C}$ (บี.ยู.) ^{NS}	250	280	345	370	300	325	225	250	345	360
ความหนืดของการคืนตัว (บี.ยู.) ^{NS}	120	110	145	133	125	110	95	80	168	150
ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ) ^{NS}	22.13	22.24	22.49	22.59	20.45	20.61	20.09	20.26	21.35	21.48
ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	8.75 ^a	10.29 ^b	8.25 ^c	9.63 ^d	9.39 ^e	11.63 ^f	10.17 ^g	12.28 ^h	9.03 ⁱ	10.90 ^j

- สูตร A หมายถึง แป้งชบทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งเอนกประสงค์ และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ) 40:55:5
- สูตร A1 หมายถึง แป้งชบทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งขนมปัง และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ) 40:55:5
- สูตร B หมายถึง แป้งชบทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งเอนกประสงค์ และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ) 40:50:10
- สูตร B1 หมายถึง แป้งชบทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งขนมปัง และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ) 40:50:10
- สูตร C หมายถึง แป้งชบทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งเอนกประสงค์ และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ) 10:80:10
- สูตร C1 หมายถึง แป้งชบทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งขนมปัง และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ) 10:80:10
- สูตร D หมายถึง แป้งชบทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งเอนกประสงค์ และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ) 10:85:5
- สูตร D1 หมายถึง แป้งชบทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งขนมปัง และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ) 10:85:5
- สูตร E หมายถึง แป้งชบทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งเอนกประสงค์ และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ) 26.0:66.5:7.5
- สูตร E1 หมายถึง แป้งชบทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งขนมปัง และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ) 26.0:66.5:7.5

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างสูตรที่ใช้แป้งเอนกประสงค์และแป้งขนมปัง



รูปที่ 36 กราฟแสดงผลของแป้งสาลีชนิดเอนกประสงค์และแป้งขนมปัง ต่อความหนืดของแป้งขบทอด ที่ใช้แป้งข้าวเจ้าปรสภาพเป็นส่วนผสม ในอัตราส่วนต่างกัน ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8

4.4.2 ศึกษาสมบัติของแป้งชุปทอดซึ่งใช้แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนต่างกัน

4.4.2.1 อุณหภูมิแป้งสุก การเปลี่ยนแปลงความหนืด และองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ

ผลการศึกษาสมบัติของแป้งชุปทอดสูตร F ซึ่งใช้แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ ตัวอย่างที่ 4 เพียงชนิดเดียวเป็นส่วนผสมหลัก เปรียบเทียบกับแป้งชุปทอดสูตร A1-E1 ซึ่งใช้แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพตัวอย่างที่ 2 แป้งขนมปัง และแป้งข้าวโพด ในอัตราส่วนต่างกันโดยกำหนดให้ปริมาณน้ำตาล เกลือ และผงฟูคงที่ คือ ร้อยละ 4.0 1.5 และ 4.5 ของน้ำหนักทั้งหมด ตามลำดับ พบว่า อุณหภูมิแป้งสุกของแป้งชุปทอดทั้ง 6 สูตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 39 โดยที่อุณหภูมิแป้งสุกของแป้งชุปทอดสูตร F สูงกว่าสูตร A1-E1 และในระหว่างสูตรซึ่งใช้แป้งผสม พบว่า สูตร A1 กับ B1 มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ สูตร E1 และ C1 กับ D1 ตามลำดับ แต่อุณหภูมิแป้งสุกของสูตรที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเท่ากัน คือ สูตร A1 กับ B1 หรือ C1 กับ D1 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

นอกจากนี้ พบว่า การเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste เมื่อได้รับความร้อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 39 และรูปที่ 37 โดยที่ความหนืดที่ 95°C ของ paste แป้งชุปทอดสูตร B1 มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ สูตร C1 กับ E1 และที่มีค่าต่ำสุด ได้แก่ สูตร A1 D1 และ F

เมื่อ paste เย็นลงจนมีอุณหภูมิ 50°C พบว่า ความหนืดของสูตร B1 กับ E1 มีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ สูตร C1 A1 D1 และ F ตามลำดับ ความหนืดของการคืนตัว พบว่า สูตร B1 กับ E1 มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ สูตร A1 กับ C1 D1 และ F ตามลำดับ สำหรับองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ อะไมโลส พบว่า ปริมาณอะไมโลสในสูตร F สูงที่สุด รองลงมาคือ สูตร B1 A1 E1 C1 และ D1 ตามลำดับ แต่ปริมาณโปรตีนในสูตร D1 มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ สูตร C1 E1 A1 B1 และ F ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 39

ตารางที่ 39 สมบัติของแป้งชงทอด ซึ่งใช้แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเป็นส่วนผสม

สมบัติ	แป้งชงทอด					
	A1	B1	C1	D1	E1	F
อุณหภูมิแป้งสุก ($^{\circ}\text{C}$)	70.13 ^c	71.07 ^c	66.19 ^a	65.63 ^a	68.25 ^b	73.50 ^d
ความหนืดที่ 95 $^{\circ}\text{C}$ (บี.ยู.)	170 ^a	237 ^c	215 ^b	165 ^a	210 ^b	177 ^a
ความหนืดที่ 50 $^{\circ}\text{C}$ (บี.ยู.)	280 ^c	370 ^e	325 ^d	250 ^b	360 ^e	210 ^a
ความหนืดของการคืนตัว (บี.ยู.)	110 ^c	133 ^d	110 ^c	85 ^b	150 ^d	30 ^a
ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	22.24 ^d	22.59 ^e	20.61 ^b	20.26 ^a	21.48 ^c	25.28 ^f
ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	10.29 ^c	9.63 ^b	11.63 ^e	12.28 ^f	10.90 ^d	6.96 ^a

สูตร A1 หมายถึง แป้งชงทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งขนมปัง และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ) 40:55:5

สูตร B1 หมายถึง แป้งชงทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งขนมปัง และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ) 40:50:10

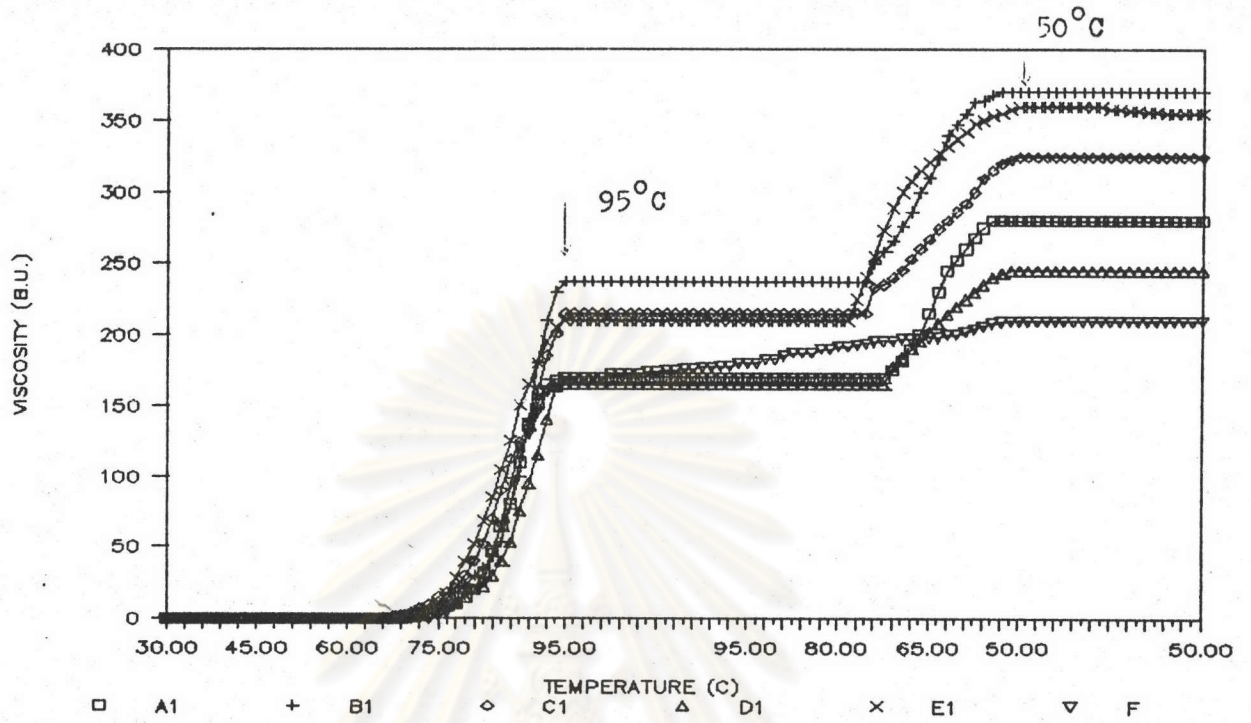
สูตร C1 หมายถึง แป้งชงทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งขนมปัง และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ) 10:80:10

สูตร D1 หมายถึง แป้งชงทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งขนมปัง และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ) 10:85:5

สูตร E1 หมายถึง แป้งชงทอดที่มีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพ แป้งขนมปัง และแป้งข้าวโพด (ร้อยละ) 26.0:66.5:7.5

สูตร F หมายถึง แป้งชงทอดที่มีแป้งข้าวเจ้าแปรสภาพตัวอย่างที่ 4 เพียงชนิดเดียว

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างสูตรที่ใช้ แป้งเอนกประสงค์และแป้งขนมปัง



รูปที่ 37 กราฟแสดงความหนืดของแป้งซุบทอด ซึ่งใช้แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนต่างกัน ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2.2 ลักษณะคุณภาพของแป้งชุปทอด

4.4.2.2.1 ลักษณะทางกายภาพด้านแรงตัดขาดและการบองตัว

ภายหลังการทอด

จากการทดลองพบว่า แรงตัดขาดของแป้งชุปทอดสูตร F มีค่าสูงมากกว่า 100 นิวตัน ซึ่งเครื่องไม่สามารถวัดได้ ส่วนในกลุ่มแป้งชุปทอดซึ่งใช้แป้งผสมทั้ง 5 สูตร พบว่า ค่าแรงตัดขาดของแป้งชุปทอดสูตร B1 มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ สูตร A1 E1 และ C1 กับ D1 ตามลำดับ สำหรับการบองตัวของผลิตภัณฑ์ซึ่งพิจารณาจากค่า bulk density พบว่า ค่า bulk density ของสูตร F มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ สูตร A1 กับ B1 E1 และ C1 กับ D1 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 40

ตารางที่ 40 ลักษณะทางกายภาพของแป้งชุปทอด ซึ่งใช้แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเป็นส่วนผสม

แป้งชุปทอด	ค่าเฉลี่ยแรงตัดขาด ¹ (นิวตัน)	ค่าเฉลี่ย BULK DENSITY (กรัม/100 มิลลิลิตร)
สูตร A1	51.20 ^c	33.65 ^e
สูตร B1	53.55 ^d	34.60 ^f
สูตร C1	47.30 ^b	29.20 ^a
สูตร D1	46.55 ^a	29.30 ^a
สูตร E1	49.25 ^b	31.25 ^b
สูตร F	>100	57.25 ^d

¹ วัดด้วยเครื่อง Texturometer

² ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.4.2.2.2 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของแป้งชุปทอด

จากการทดลอง พบว่า แป้งชุปทอดสูตร A1 และ B1 ได้รับคะแนนการยอมรับด้านสี สูงกว่าทุกสูตร และสูตร C1 D1 กับ E1 มีค่าต่ำที่สุด ส่วนคะแนนด้านความกรอบ พบว่า สูตร A1 C1 D1 และ E1 ได้คะแนนสูงโดยไม่แตกต่างกันทางสถิติ รองลงมาคือสูตร B1 และ F ตามลำดับ สำหรับการยอมรับน้ำมัน พบว่า คะแนนของสูตร A1 B1 E1 และ F ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าสูงกว่าสูตร C1 กับ D1 แต่การยอมรับรวม พบว่า สูตร A1 B1 กับ E1 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และมีคะแนนสูงที่สุด รองลงมาคือ สูตร C1 กับ D1 และ สูตร F ได้คะแนนต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ 41

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 41 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของแป้งชูบทอด ซึ่งใช้แป้งข้าวเจ้าแปรสภาพเป็นส่วนผสม

สมบัติ	คะแนนเฉลี่ยของแป้งชูบทอดสูตรต่างกัน					
	A1	B1	C1	D1	E1	F
สี	4.30 ^c	4.75 ^c	2.20 ^a	2.20 ^a	2.42 ^a	3.50 ^b
ความกรอบ	4.12 ^c	3.50 ^b	4.35 ^c	4.35 ^c	4.05 ^c	2.20 ^a
การอมน้ำมัน	4.05 ^b	4.25 ^b	3.50 ^a	3.30 ^a	3.95 ^b	4.15 ^b
การยอมรับรวม	4.60 ^c	3.85 ^c	3.15 ^b	3.20 ^b	4.25 ^c	1.25 ^a

¹ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ระดับคะแนนที่ใช้ในการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัส

สี	ความกรอบ	การอมน้ำมัน	การยอมรับรวม
5-น้ำตาลทอง	5-กรอบเบา เนื้อเปราะ	5-ไม่อมน้ำมัน	5-ชอบมาก
4-เหลืองอ่อน	4-กรอบร่วน เนื้อแน่น	4-อมน้ำมันน้อย	4-ชอบ
3-เหลืองซีด	3-กรอบกระต้าง	3-อมน้ำมันปานกลาง	3-เฉยๆ
2-น้ำตาลเข้ม	2-ไม่กรอบ แข็งกระต้าง	2-อมน้ำมันมาก	2-ไม่ชอบ
1-น้ำตาลไหม้	1-นิ่ม เหนียว	1-อมน้ำมันมากที่สุด	1-ไม่ชอบมาก