ผลของโซดาไฟและบอแรกซ์ต่อสมบัติของกาวแป้งมันสำปะหลัง

ยุทนาพงศ์ แดงเพ็ง นักวิทยาศาสตร์ 5 กองการวิจัย
ธีระชัย รัตนโรจน์มงคล นักวิทยาศาสตร์ 5 กองการวิจัย
จิระศักดิ์ ชัยสนิท นักวิทยาศาสตร์ 4 กองการวิจัย

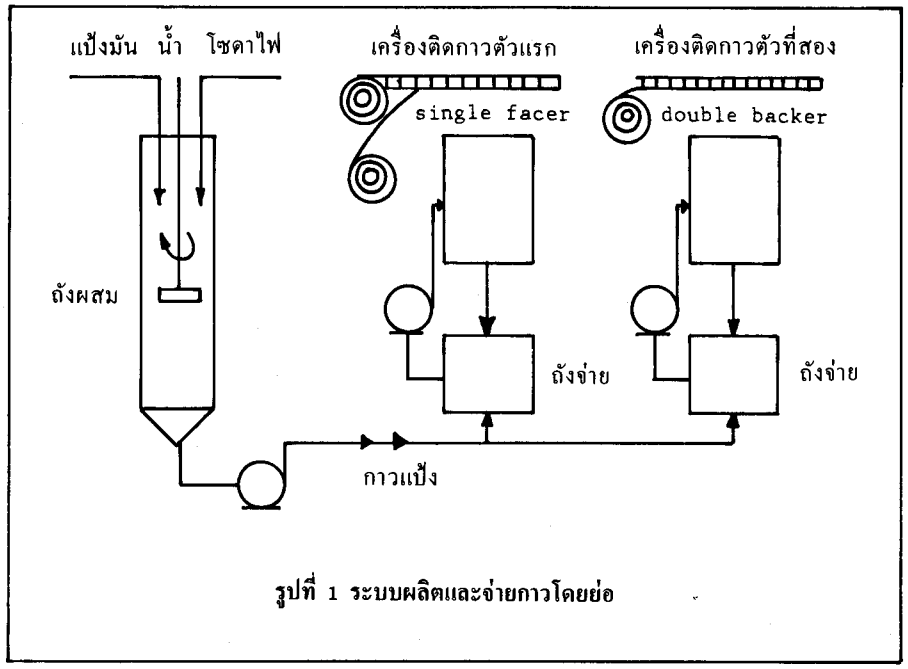
ข้อมูลเบื้องต้น กลุ่มวิจัยและพัฒนา 4 ได้รับคำขอจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกรายหนึ่ง ให้ศึกษาปัญหาที่เกิดในการใช้กาวแป้ง-มันสำปะหลังสำหรับทำกล่องกระดาษลูกฟูก เพื่อศึกษาข้อมูลต่าง ๆ แล้วสรุปได้ดังนี้

1. **ระบบผลิตกาวแป้ง** การผลิตกาวของโรงงานใช้ระบบที่อาจเรียกได้ว่าเป็น "ระบบแขวนลอยแป้งดิบด้วยแป้งสุก" หรือ carrier system แต่ใช้อุปกรณ์การผลิตแบบ no carrier system โดยทำให้แป้งดิบไม่นอนก้นด้วยการใช้โซดาไฟชนิดเม็ดในการทำให้แป้งบางส่วนสุกและมีความหนืดสูง ซึ่งทำให้แป้งส่วนที่ยังดิบแขวนลอยอยู่ได้นาน โรงงานนี้มีอุปกรณ์ผลิตกาวแป้งเพียงชุดเดียว แต่ต้องผลิตกาวที่มีอุณหภูมิที่แป้งสุก (gel temperature) สองระดับเพื่อใช้ที่เครื่องติดกาวตัวแรก (single facer) และตัวที่สอง (double backer) ดังนั้นจึงมีการเติมโซดาไฟที่ถังจ่ายกาวของเครื่องติดกาวชุดที่สองอีกครั้ง เพื่อลดอุณหภูมิที่แป้งสุก

2. **ปัญหา** ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับกาวหรือทั้งกาวและกระดาษมีหลายประการ เช่น

ก. กาวหลุดร่อนง่ายหลังจากแห้งแล้ว
ข. กาวหลุดร่อนง่ายหลังจากติดกับลูกฟูก
ค. กระดาษผิวกล่องไม่ติดกับลูกฟูก เนื่องจากไม่มีกาว

ปัญหาของข้อ ก. นั้นอาจเนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่น อุณหภูมิของ preheater ต่ำเกินไปหรือขาดการควบคุมที่ดี ทำให้อุณหภูมิกระดาษไม่สูงพอที่จะทำให้แป้งสุก หรือ gel temperature ของแป้งสูงเกินไปเนื่องจากปริมาณโซดาไฟไม่เหมาะสม ปัญหาข้อ ข. ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของการยึดเหนี่ยวขณะที่กาวยังไม่แห้ง (green bond) ซึ่งแปรตามความหนืดของแป้งสุก (gel viscosity) ส่วนข้อ ค. เป็นปัญหาในการปรับระดับกาวในเครื่อง การที่ท่อจ่ายกาวและท่อหมุนเวียนกาวมีขนาดเล็กหรือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเล็กลงมากเนื่องจากขาดการดูแลรักษา อาจทำให้เกิดปัญหาเรื่องระดับกาวในเครื่องติดกาวได้หากความหนืดของกาวแปรปรวนมาก



รูปที่ 1 ระบบผลิตและจ่ายกาวโดยย่อ

ข้อมูลดังกล่าวข้างต้น กลุ่มวิจัยและพัฒนา 4 มีความเห็นว่า ควรทำการศึกษาวิจัยเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกาว โดยคำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ ของโรงงาน โดยเฉพาะบุคลากรและอุปกรณ์การผลิตที่มีอยู่ในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษาทดลอง

1. ศึกษาผลของการใช้โซดาไฟและบอแรกซ์ต่อความหนืด (viscosity) ของกาวแป้งและอุณหภูมิที่แป้งสุก เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกาว-แป้ง ตัวแปรที่จะศึกษาได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ระยะเวลาก่อนเริ่มกวน ปริมาณโซดาไฟและบอแรกซ์

2. ปริมาณสารเคมีที่ใช้และสภาวะต่าง ๆ ในการทดลองจะกำหนดให้ใกล้เคียงกับระดับความแปรปรวนที่พบในการปฏิบัติงานของโรงงาน เช่น ปริมาณโซดาไฟ ความข้นของน้ำแป้งและความหนืดของกาว

ผลการทดลองและข้อวิจารณ์

1. อิทธิพลของความเข้มข้นของโซดาไฟและระยะเวลาก่อนการกวน

เป็นที่ทราบกันดีว่าการกวนหรือการผสมที่สมบูรณ์นั้นเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ โดยเฉพาะการผลิตขั้นอุตสาหกรรม ดังนั้นการทดลองนี้จึงใช้ระยะเวลาระหว่างการเติมสารละลายโซดาไฟและการเริ่มเดินเครื่องกวนเป็นตัวบ่งชี้ความสมบูรณ์ของการผสมแป้งมันและโซดาไฟ ผลการทดลองดังที่ปรากฏในตารางที่ 1 บ่งชี้ว่า interaction ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟและระยะเวลาก่อนกวน มีผลอย่างมากต่อความหนืดของกาวแต่มีผลเพียง

เล็กน้อยต่ออุณหภูมิที่แป้งสุก เมื่อใช้สารละลายโซดาไฟเจือจาง ระยะเวลาก่อนการกวนหรืออีกนัยหนึ่งความสมบูรณ์ของการผสมจะไม่มีผลต่อความหนืดของน้ำกาว แต่เมื่อใช้โซดาไฟเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 20 ความหนืดของกาวจะเพิ่มขึ้นเมื่อทิ้งระยะเวลาก่อนกวนให้นานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณแป้งที่ถูก gelatinized สูงมากขึ้น ดังนั้นการควบคุมความหนืดของกาวจึงจำเป็นต้องควบคุมการผสมให้ใกล้เคียงกันทุก batch ด้วย นอกเหนือไปจากควบคุมการใช้โซดาไฟ

2. อิทธิพลของปริมาณโซดาไฟและปริมาณบอแรกซ์ต่ออุณหภูมิที่แป้งสุกและความหนืดของกาว

จากการทดลองโดยใช้ 3^2 factorial design เพื่อศึกษาผลการใช้โซดาไฟและบอแรกซ์ในอัตราร้อยละ 1.5-2.5 และ 0-1.5 ของน้ำหนักแป้งอบแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 2) พบว่าการใช้โซดาไฟในอัตราร้อยละ 1.5-2.5 มีผลให้อุณหภูมิที่แป้งสุกลดลงจาก 70-72°ซ. (กรณีที่ไม่ใส่โซดาไฟ) ลงมาอยู่ในช่วง 55-65°ซ. ขึ้นอยู่กับปริมาณโซดาไฟและบอแรกซ์ โดยที่การใช้บอแรกซ์จะมีผลตรงข้ามกับโซดาไฟ ผลจากการวิเคราะห์ถดถอย (สมการที่ 1) บ่งชี้ว่าโซดาไฟมีผลต่ออุณหภูมิที่แป้งสุกมากกว่าบอแรกซ์

ในด้านความหนืดของกาว การเพิ่มปริมาณโซดาไฟร้อยละ 1.5-2.5 มีผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นถึง 4 เท่าในกรณีที่ไม่มีบอแรกซ์ และอาจเพิ่มขึ้นถึง 10 เท่าเมื่อใช้โซดาไฟและบอแรกซ์ในอัตราร้อยละ 2.5 และ 1.5 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การใช้บอแรกซ์จะมีผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นมากเฉพาะเมื่อใช้ในปริมาณสูงร่วมกับโซดาไฟเท่านั้น ผลจากการวิเคราะห์ถดถอย (สมการที่ 2) บ่งชี้ว่า โซดาไฟมีผลต่อการเพิ่มความหนืดของกาวมากกว่าบอแรกซ์ ประมาณ 8 เท่า

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซดาไฟ/บอแรกซ์กับอุณหภูมิที่แป้งสุกและความหนืดปรากฏในสมการถดถอยต่อไปนี้

$$\text{Gel temperature} = 60.67 - 3.50X_1 + 1.83X_2 + 0.50X_1X_2 + 0.50X_1^2 - 0.50X_2^2 \quad ---(1)$$

$r^2 = 0.95$

$X_1 = \dfrac{\text{ปริมาณโซดาไฟ} - 2.0,\ \%}{0.5}$

$X_2 = \dfrac{\text{ปริมาณบอแรกซ์} - 0.75,\ \%}{0.75}$

$$\ln \sqrt{v} = -0.584 + 0.8763X + 0.1125Y \quad ---(2)$$

$r^2 = 0.96$

X = ปริมาณโซดาไฟ, %

Y = ปริมาณบอแรกซ์, %

v = ความหนืด (วัดด้วยกรวยกรอง), วินาที (ดูวิธีทดลองข้อ 4.2)

3. อิทธิพลของปริมาณบอแรกซ์ต่อความหนืดของแป้งสุก

การเติมบอแรกซ์ในแป้งมันร้อยละ 0.25 มีผลให้ความหนืดของแป้งสุกเพิ่มขึ้นประมาณ 4 เท่า เมื่อกาวมีเนื้อแป้งร้อยละ 20 ซึ่งเป็นปริมาณแป้งที่ใช้ในโรงงานทั่วไป การเพิ่มความหนืดของแป้งสุกมีผลให้การติดแน่นของกระดาษขณะที่กาวยังไม่แห้งดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแรงที่ใช้ในการดึงแผ่นกระดาษให้แยกกันในแนวตั้งฉากกับระนาบกระดาษจะเป็นปฏิภาคตรงกับความหนืดของกาว การเติมบอแรกซ์จึงสามารถช่วยแก้ปัญหาการหลุดร่อนขณะกาวเปียกได้ (ผลการทดลองปรากฏในตารางที่ 3)

สรุปผลและข้อเสนอแนะ เมื่อพิจารณาผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นร่วมกับข้อมูลสภาวะการทำงาน (operating conditions) ของเครื่องจักรซึ่งให้ผลเป็นที่พอใจแล้ว ให้ข้อสรุปได้ดังนี้

1. กาวแป้งสำหรับ single facer ควรใช้โซดาไฟร้อยละ 2 และบอแรกซ์ (decahydrate) ร้อยละ 0.75 ของน้ำหนักแป้งอบแห้ง จะได้กาวที่มีอุณหภูมิที่แป้งสุก (gel temperature) ประมาณ 60°ซ. กาวที่ใช้กับ double backer ควรเพิ่มโซดาไฟอีกร้อยละ 0.5 เพื่อลดอุณหภูมิที่แป้งสุกลงเป็น 58°ซ. ปริมาณบอแรกซ์อาจลดลงได้อีก จึงอาจทดลองลดทีละน้อย แล้วสังเกตปัญหาควบคู่กันไป กราฟตามรูปที่ 2 ซึ่งได้จากสมการ 1 และ 2 จะเป็นประโยชน์ได้มากในการปรับส่วนผสมกาว

2. ความหนืดของน้ำกาวแป้ง และอุณหภูมิที่แป้งสุก ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4 ความเข้าใจถึงอิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้จะช่วยให้โรงงานสามารถปรับส่วนผสมของกาวให้เหมาะกับสภาวะการใช้งานจริง

3. ควรจัดให้มีการตรวจสอบความหนืดและอุณหภูมิที่แป้งสุกของน้ำกาวแป้งทุกครั้งที่ผลิต สำหรับความหนืด ควรตรวจสอบที่เครื่องติดกาวหลังการใช้งานตามเวลาที่เหมาะสมอีกด้วย เนื่องจากเครื่องวัดความหนืดชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ เช่น Brookfield viscometer มีราคาแพงและไม่เหมาะกับสภาพของโรงงาน จึงควรใช้อุปกรณ์ง่าย ๆ เช่น กรวยกรองตามที่ปรากฏในรายงานนี้ ผลการวัดความหนืดด้วยกรวยกรองและ Brookfield viscometer มีสหสัมพันธ์เป็นอย่างสูงในเชิงเส้นตรง (รูปที่ 3)

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาผลของความเข้มข้นของโซดาไฟและระยะเวลาระหว่างการเติมโซดาไฟและการเริ่มต้นกวนน้ำแป้ง

1.1 ปริมาณแป้ง 100 กรัม ในน้ำ 500 มิลลิลิตร

1.2 ปริมาณโซดาไฟ 2 กรัม (คิดเป็นร้อยละ 2 ของน้ำหนักแป้งที่ใช้)

1.3 ระยะเวลาระหว่างการเติมโซดาไฟและการเริ่มต้นกวน 0, 6, 12 และ 18 นาที

1.4 ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟก่อนเติมลงในน้ำแป้ง ร้อยละ 5, 20, 35 และ 50 แต่ละระดับจะใช้โซดาไฟ 2 กรัม

1.5 กวนน้ำแป้งในน้ำ โดยใช้เครื่องกวนที่มีความเร็วของรอบใบพัด 500 จนกระทั่งน้ำและแป้งกวนเข้ากันดี แล้วหยุดเครื่อง ใส่สารละลายของโซดาไฟที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5, 20, 35 และ 50 ตามข้อ 1.4 แล้วจับเวลาระหว่างการเติมโซดาไฟและการเริ่มต้นกวน 0, 6, 12 และ 18 นาที ตามข้อ 1.3 หลังจากนั้นเปิดเครื่องกวนต่อไปอีก 15 นาที จึงนำน้ำแป้งที่ได้ไปวัดค่าความหนืดและอุณหภูมิที่แป้งสุก ดังตารางที่ 2

2. ศึกษาผลของปริมาณโซดาไฟและปริมาณบอแรกซ์ต่อค่าความหนืดและอุณหภูมิที่แป้งสุก

2.1 ปริมาณแป้ง 100 กรัม ในน้ำ 500 มิลลิลิตร

2.2 ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ร้อยละ 50

2.3 ใช้ระยะเวลาระหว่างการเติมโซดาไฟและการเริ่มต้นกวน (time lag) เป็น 12 นาที

2.4 โดยกำหนดร้อยละของปริมาณโซดาไฟและปริมาณบอแรกซ์ ต่อน้ำหนักแป้งที่

ตารางที่ 1 ผลของความเข้มข้นของโซดาไฟและระยะเวลาระหว่างการเติมโซดาไฟ และการเริ่มต้นกวนต่อค่าความหนืด และอุณหภูมิที่แป้งสุก

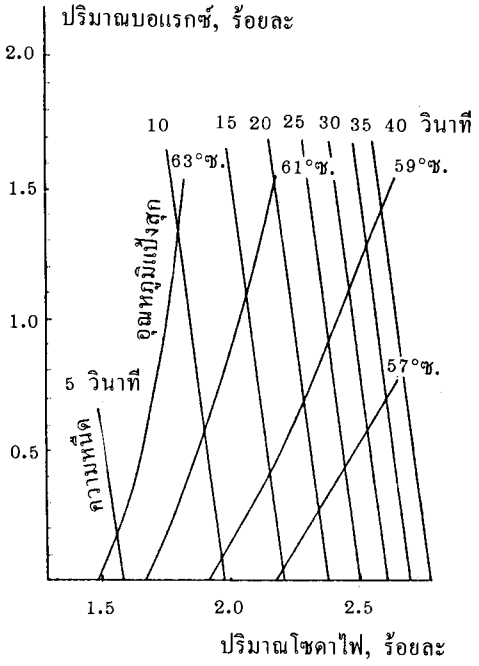
เวลา, นาที	ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ, ร้อยละ	ความหนืด		อุณหภูมิที่แป้งสุก, °
		วินาที (กรวย)	centipoise (Brookfield)	
0	50	2.5	160	63
	35	2.5	160	61
	20	2.5	160	61
	5	2.5	160	62
6	50	9.0	1 960	61
	35	6.0	1 240	60
	20	4.5	800	59
	5	2.5	160	61
12	50	9.0	1 930	61
	35	7.5	1 480	60
	20	5.0	960	60
	5	2.5	160	61
18	50	9.0	1 920	59
	35	9.0	1 840	58
	20	7.5	1 680	59
	5	2.5	160	61

หมายเหตุ 1. ความข้นของน้ำแป้ง ร้อยละ 20
2. ปริมาณโซดาไฟ ร้อยละ 2 ของน้ำหนักแป้ง
3. การวัดค่าความหนืดด้วย Brookfield viscometer ใช้ spindle no.2 speed 50 rpm

ตารางที่ 4 ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดและอุณหภูมิที่แป้งสุก

ปัจจัย (เพิ่ม)	อุณหภูมิที่แป้งสุก	ความหนืด	
		น้ำกาวแป้ง	แป้งสุก
ปริมาณโซดาไฟ	ลดต่ำลง	เพิ่ม	–
ความเข้มข้นของโซดาไฟ	ไม่มีผล	เพิ่ม	–
ปริมาณบอแรกซ์	เพิ่มสูงขึ้น	เพิ่ม	เพิ่ม
ระยะเวลาระหว่างการเติมโซดาไฟและการกวน	ลดต่ำลง	เพิ่ม	–

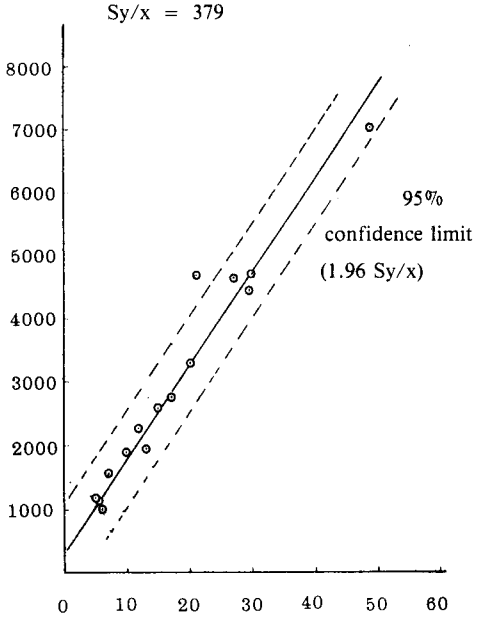
รูปที่ 2
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซดาไฟ และปริมาณบอแรกซ์ต่อความหนืด และอุณหภูมิที่แป้งสุก



รูปที่ 3
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืด ที่วัดด้วย Brookfield viscometer และกรวยแก้ว

$Y = 515.26 + 140.51 X \quad r^2 = 0.95$

$Sy/x = 379$



ใช้ดังต่อไปนี้

ร้อยละของ ปริมาณโซดาไฟ	ร้อยละของ ปริมาณบอแรกซ์
1.5	0 0.75 1.0 1.5
2.0	0 0.75 1.0 1.5
2.5	0 0.75 1.0 1.5

2.5 ในการกวนน้ำแป้งกระทำขั้นตอนเหมือนข้อ 1.5 แล้ววัดค่าความหนืดและอุณหภูมิที่แป้งสุก

3. ศึกษาผลของปริมาณบอแรกซ์ต่อความหนืดของแป้งสุก (gel viscosity)

3.1 ปริมาณแป้ง 100 กรัม ในน้ำ 500 มิลลิลิตร

3.2 ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ร้อยละ 50

3.3 ใช้ระยะเวลาระหว่างการเติมโซดาไฟและการเริ่มต้นกวนเป็น 12 นาที

3.4 ใช้ปริมาณของโซดาไฟร้อยละ 2 ของน้ำหนักแป้งที่ใช้

3.5 กำหนดปริมาณของบอแรกซ์ร้อยละ 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5 และ 2.0 ต่อน้ำหนักแป้งที่ใช้

3.6 ในการกวนน้ำแป้งกระทำเหมือนข้อ 1.5

3.7 จากนั้นทำแป้งให้สุก ที่อุณหภูมิ 70°ซ. แล้ววัดความหนืดของแป้งสุก

3.8 ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.1-3.7 แต่ใช้ปริมาณแป้ง 50 กรัม ในน้ำ 500 มิลลิลิตร

4. การวัดค่าความหนืด และอุณหภูมิที่แป้งสุกของกาวแป้ง

4.1 วัดค่าความหนืดในหน่วย centipoise ด้วย Brookfield viscometer

4.2 วัดค่าความหนืดในหน่วย วินาที ด้วยกรวยกรอง ปากกรวยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 ซม. วัดอัตราการไหลของกาวแป้งปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยเริ่มจับเวลาเมื่อกาวแป้งไหลลงมาจากขอบบนเป็นระยะทาง 3.0 ซม. ตามแนวดิ่ง

4.3 วัดอุณหภูมิของแป้งสุก ตามวิธีใน "Preparation of Corrugating Adhesines" TAPPI Press, 1977, p. 51-54

ตารางที่ 2 ผลของปริมาณโซดาไฟและปริมาณบอแรกซ์ต่อค่าความหนืดและอุณหภูมิที่แป้งสุก

ปริมาณโซดาไฟ ร้อยละ	ปริมาณบอแรกซ์, ร้อยละ	ความหนืด		อุณหภูมิที่แป้งสุก
		วินาที (กรวย)	Centipoise (Brookfield)	
1.5	0	5.5	1 160	63
2.0	0	10.0	2 280	58
2.5	0	21.0	4 680	55
1.5	0.75	5.5	1 000	65
2.0	0.75	12.0	2 280	60
2.5	0.75	27.0	4 640	58
1.5	1.0	5.0	960	65
2.0	1.0	12.5	1 960	60
2.5	1.0	29.5	4 440	58
1.5	1.5	5.5	800	65
2.0	1.5	14.0	2 000	65
2.3	1.5	49.0	7 046	59

หมายเหตุ 1. การวัดค่าความหนืดด้วย Brookfield viscometer ใช้ spindle no.2, speed 50 rpm
2. ระยะเวลาระหว่างการเติมโซดาไฟและการเริ่มต้นกวน เป็น 12 นาที

ตารางที่ 3 ผลของปริมาณบอแรกซ์ต่อความหนืดของแป้งสุก (ปริมาณโซดาไฟ ร้อยละ 2 ของน้ำหนักแป้ง)

ปริมาณบอแรกซ์, ร้อยละ	ความหนืดของแป้งสุกที่ 70°ซ.	
	ปริมาณแป้ง, ร้อยละ 20	ปริมาณแป้ง ร้อยละ 10
2	> 40,000	24,800
1.5	> 40,000	10,400
1.0	> 40,000	7,200
0.75	> 40,000	6,400
0.50	> 40,000	4,800
0.25	38,000	3,400
0	9,400	2,800