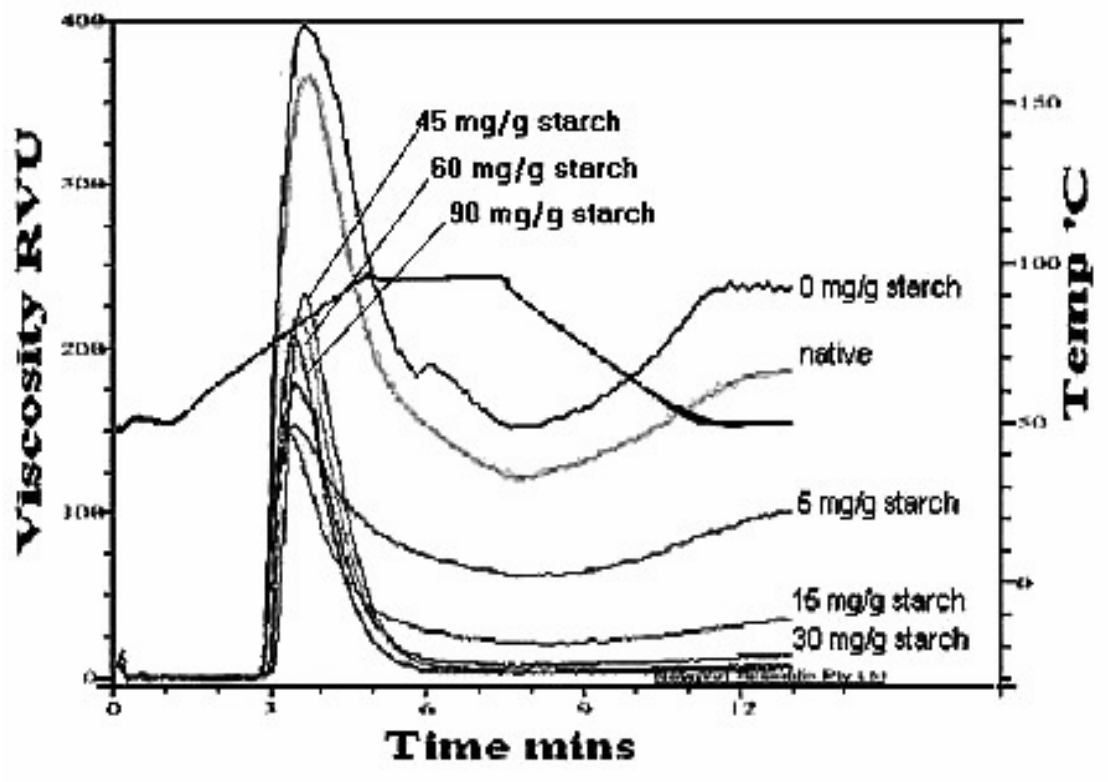
1.4 สมบัติทางความหนืดของแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการให้โอโซน

ความหนืดจัดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแป้งในสภาวะที่มีน้ำและมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยการให้ความร้อนและการทำให้เย็น การวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) จะแสดงผลการวิเคราะห์ความหนืดเป็นกราฟและแสดงค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity), ความหนืดต่ำสุด (trough), ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ดังภาพที่ 15 และตารางที่ 5



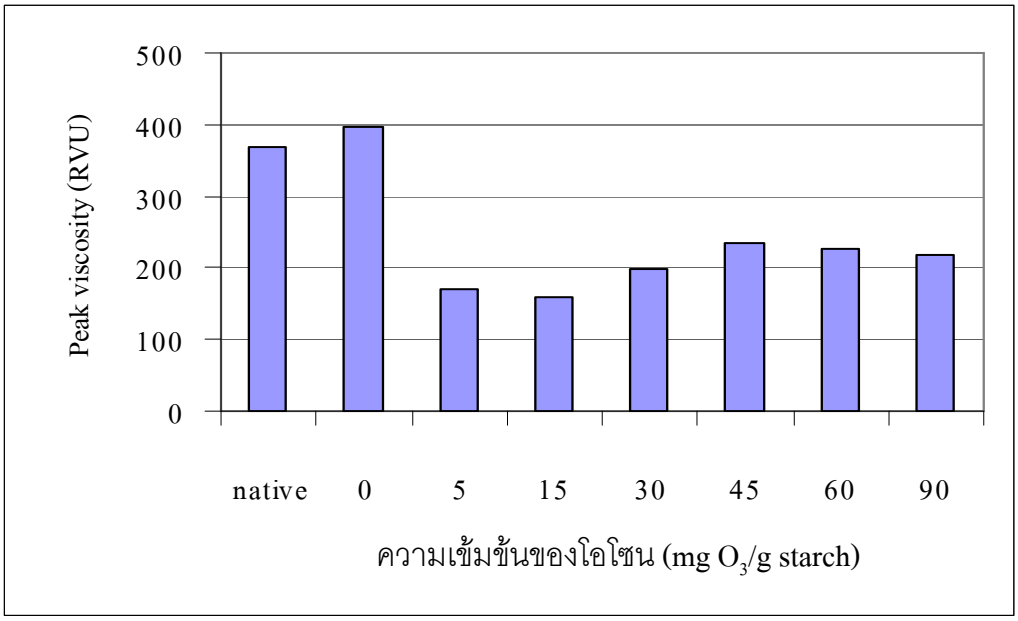
ภาพที่15 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับเข้มข้นต่างๆ กัน

ตารางที่ 5 สมบัติทางความหนืดของแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับเข้มข้นต่างๆ กัน เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

ปริมาณโอโซน	สมบัติทางความหนืดของแป้ง			
(mg O_3 /g starch)	Peak viscosity (RVU)	Trough (RVU)	Final viscosity (RVU)	Pasting Temperature (°C)
0	398 [a]	154 [a]	239 [a]	71.2 [b]
5	151 [d]	60 [b]	100 [b]	71.1 [b]
15	148 [d]	20 [c]	35 [c]	71.2 [b]
30	178 [c]	6 [d]	12 [d]	72.8 [a]
45	220 [b]	3 [d]	6 [ef]	72.8 [a]
60	213 [b]	3 [d]	7 [e]	73.5 [a]
90	225 [b]	2 [d]	4 [f]	73.9 [a]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

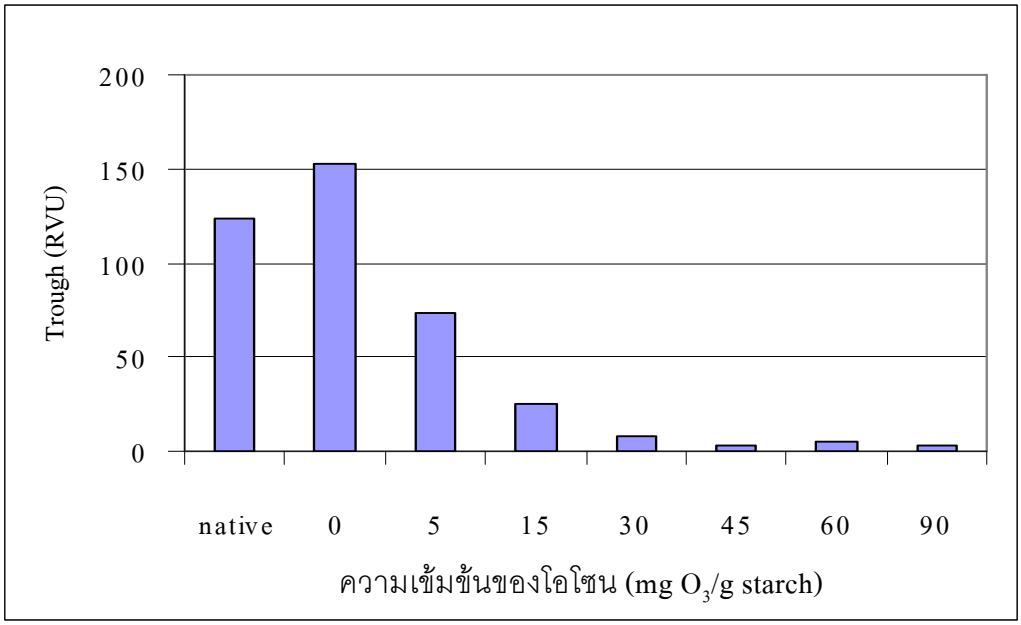
จากผลการทดลองลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งที่ผ่านการให้โอโซนและแป้งควบคุม พบว่าแป้งควบคุม มีค่าความหนืดสูงสุดมากที่สุด คือ 398 RVU ส่วนแป้งที่มีการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 15 mg O_3/g starch พบว่าค่าความหนืดสูงสุดลดลงเป็น 151 และ 148 RVU ตามลำดับ เมื่อมีการให้โอโซนที่มากขึ้นเป็น 30 และ 45 mg O_3/g starch ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 178 และ 220 RVU ตามลำดับ แป้งที่มีการให้โอโซนมากกว่า 45 mg O_3/g starch ค่าความหนืดสูงสุดที่วัดได้จะเริ่มคงที่อยู่ในช่วง 213 – 225 RVU ดังตารางที่ 5



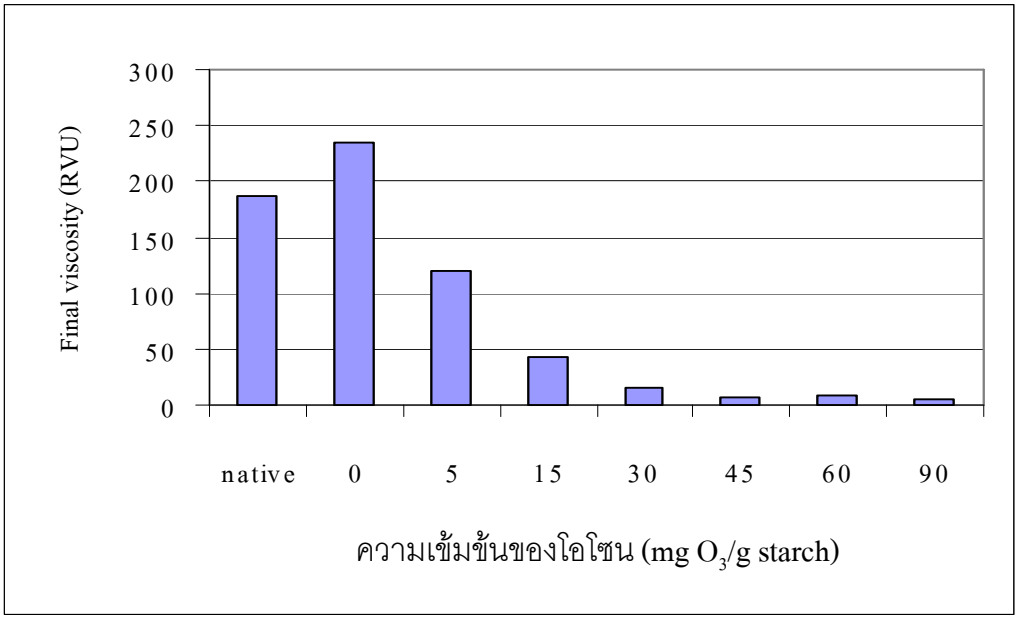
ภาพที่ 16 ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

จากภาพที่ 16 พบว่าความหนืดสูงสุดของแป้งที่มีการให้โอโซนจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับแป้งควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งทำให้เกิดการตัดพันธะไกลโคซิดิกของโมเลกุลแป้ง โครงสร้างเม็ดแป้งจึงอ่อนแอลง เม็ดแป้งที่พองตัวจนเต็มที่จะแตกออกได้ง่ายขึ้น ทำให้ความหนืดเมื่อสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเมื่อแป้งผ่านการให้โอโซน (Wurzburg, 1986) แต่เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของโอโซน พบว่าแป้งมีความหนืดเมื่อสูงสุดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแป้งที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 15 mg O_3/g starch ทั้งนี้เป็นเพราะสมบัติความชอบน้ำของหมู่คาร์บอกซิลที่มีมากขึ้น ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้มากขึ้นเล็กน้อย เป็นผลให้ความหนืดเมื่อแป้งพองตัวสุงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับแป้งที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 15 mg O_3/g starch

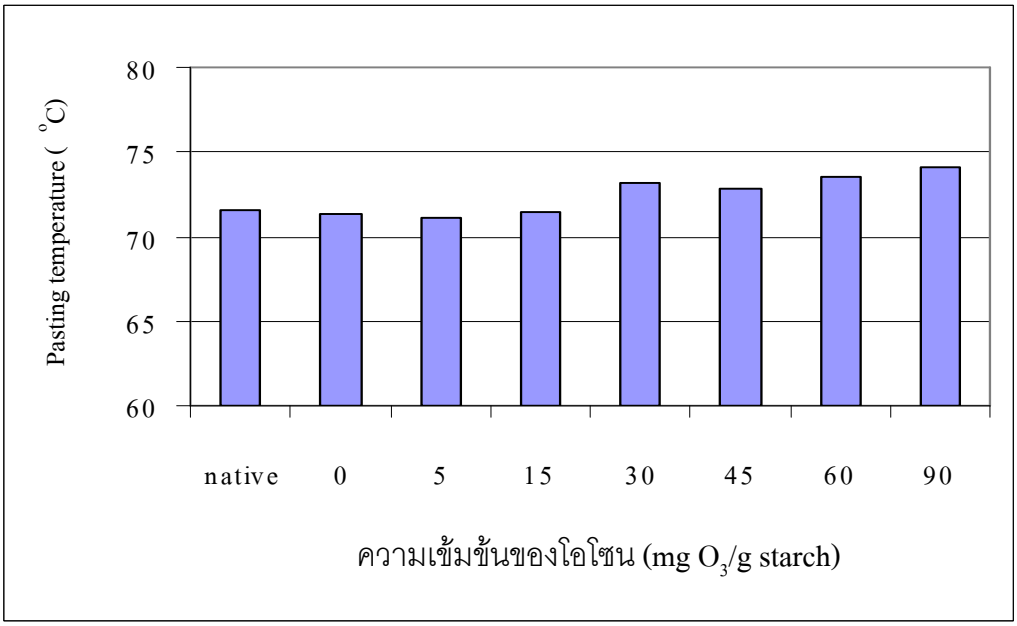
เมื่อแป้งได้รับความร้อนและเม็ดสูงสุดแล้วเม็ดแป้งยังคงได้รับความร้อนและแรงกล เม็ดแป้งจะแตกออกส่งผลให้ความหนืดลดลง เมื่อพิจารณาค่าความหนืดเมื่อต่ำสุด (trough) พบว่า แป้งที่มีการให้โอโซนจะมีค่าความหนืดต่ำสุดน้อยกว่าแป้งควบคุม และเมื่อมีการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นค่าความหนืดเมื่อต่ำสุดจะมีแนวโน้มลดลง และจะไม่ให้ความหนืดเลยเมื่อให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้นมากกว่า 45 mg O_3/g starch (ค่าความหนืดเมื่อต่ำสุดของแป้งควบคุมเท่ากับ 154 RVU และแป้งที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้น 5, 15, 30, 45, 60 และ 90 mg O_3/g starch มีค่าความหนืดเมื่อต่ำสุดเท่ากับ 60, 20, 6, 3, 3 และ 2 RVU ตามลำดับ) ดังตารางที่ 5 และภาพที่ 17 ทั้งนี้เป็นแพราะโมเลกุลของแป้งที่ผ่านการให้โอโซนจะเกิดการตัดพันธะไกลโคซิดิกด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้โมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินขนาดเล็กลง ละลายน้ำได้ดี ความหนืดต่ำสุดของแป้งจึงลดลงเมื่อเทียบกับแป้งควบคุม



ภาพที่ 17 ความหนืดต่ำสุด (trough) ของแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน



ภาพที่ 18 ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ของแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน



ภาพที่ 19 อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ของแป้งที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน

ในการตรวจสอบสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง หลังจากลดอุณหภูมิให้น้ำแป้งเย็นลง โมเลกุลของเม็ดแป้งจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ ส่งผลให้น้ำแป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้น และสามารถเกิดเป็นโครงสร้าง ในขณะเดียวกันโมเลกุลของน้ำจะถูกบีบออกมา (syneresis) ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการเกิดรีโทรเกรเดชัน(retrogradation)

ส่วนค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ดังตารางที่ 5 และภาพที่18 จะมีค่าลดลงในแป้งที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น แล้วจะให้ค่าน้อยที่สุดเมื่อให้โอโซนในปริมาณ 45 mg O_3/g starch ขึ้นไป (ค่าความหนืดเมื่อสุดท้ายของแป้งควบคุมเท่ากับ 239 RVU และแป้งที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้น 5, 15, 30, 45, 60 และ 90 mg O_3 /g starch มีค่าความหนืดต่ำสุดเท่ากับ 100, 35, 12, 6, 7 และ 4 RVU ตามลำดับ) เนื่องจากแป้งที่ผ่านการให้โอโซนจะมีหมู่คาร์บอกซิลเกิดขึ้นซึ่งจะพบอยู่บนของโมเลกุลแป้ง ซึ่งหมู่คาร์บอกซิลจะมีสมบัติเป็นประจุลบ ทำให้เกิดแรงผลักกันระหว่างโมเลกุลแป้ง ทำให้ความสามารถเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ลดลง ทำให้การเกิดรีโทรเกรเดชั่นลดลง (Kuakpetoon and Wang, 2001)

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติดังตารางที่ 5 และภาพที่ 19 พบว่าค่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดในแป้งควบคุม และแป้งที่ได้รับโอโซนความเข้มข้น 5 – 15 mg O_3/g starch วัดค่าได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อแป้งได้รับโอโซนเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดเพิ่มขึ้น (ค่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งควบคุมเท่ากับ 71.2 องศาเซลเซียส และแป้งที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้น 5, 15, 30, 45, 60 และ 90 mg O_3 /g starch ค่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดเท่ากับ 71.1, 71.2, 72.8, 72.8, 73.5 และ 73.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) ทั้งนี้เป็นเพราะแป้งที่ผ่านการให้โอโซนจะต้องใช้พลังงานความร้อนมากขึ้นเพื่อทำให้เม็ดแป้งพองตัวเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด