3. <u>การเปรียบเทียบสมบัติของแป้งดัดแปรด้วยโอโซนกับแป้งออกซิไดซ์ทางการค้า</u>

แป้งออกซิไดซ์เป็นแป้งที่มีการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม โดยส่วนใหญ่นิยมผลิตโดยใช้กระบวนการดัดแปรทางเคมี เมื่อนำแป้งออกซิไดซ์ทางการค้ามาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของแป้ง พบว่า ค่าความเป็นกรดของแป้งออกซิไดซ์ทางการค้า มีค่าต่ำกว่าค่าความเป็นกรดของแป้งที่ผ่านการให้โอโซน (ค่าความเป็นกรดของแป้งออกซิไดซ์ทางการค้า และแป้งที่ผ่านการให้โอโซน เท่ากับ 0.01 – 0.02 และ 0.03 – 0.18 meq/g ตามลำดับ) ดังตารางที่ 13

<u>ตารางที่ 13</u> เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของแป้งหลังจากการให้โอโซนในระดับต่างๆ กับแป้งออกซิไดซ์ทางการค้า

ชนิดของแป้ง	สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้ง			
	ความเป็นกรด (meq/g)	หมู่คาร์บอนิล (ร้อยละ)	หมู่คาร์บอกซิล (ร้อยละ)	สัดส่วนระหว่างหมู่คาร์บอกซิลต่อหมู่คาร์บอนิล
แป้งมันสำปะหลังดิบ	0.01	0.10	0.06	0.60
แป้งออกซิไดซ์ A	0.02	0.14	0.38	2.71
แป้งออกซิไดซ์ B	0.02	0.14	0.44	3.14
ปริมาณโอโซน ($mg\ O_3/g$ starch)	ความเป็นกรด (meq/g)	หมู่คาร์บอนิล (%)	หมู่คาร์บอกซิล (%)	สัดส่วนระหว่างหมู่คาร์บอกซิลต่อหมู่คาร์บอนิล
0 – 5	0.03	0.01	0.02 – 0.03	2.0 – 3.0
5 – 30	0.03 – 0.08	0.01 – 0.03	0.03 – 0.05	3.0 – 1.6
30 – 90	0.08 – 0.18	0.03 – 0.10	0.05 – 0.09	1.6 – 0.9

<u>หมายเหตุ</u> แป้งมันสำปะหลังดิบ และ แป้งออกซิไดซ์ A และ B เป็นแป้งทางการค้า

จากการวิเคราะห์ปริมาณหมู่คาร์บอกนิลและคาร์บอซิล ดังตารางที่ 13 พบว่าแป้งออกซิไดซ์ทางการค้ามีปริมาณหมู่คาร์บอนิลและคาร์บอกซิล เท่ากับร้อยละ 0.14 และ 0.38 – 0.44 ตามลำดับ เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณหมู่คาร์บอนิลและคาร์บอกซิลของแป้งดิบทางการค้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.10 และ 0.06 ตามลำดับ ซึ่งเป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่พบเช่นเดียวกับแป้งที่ผ่านการให้โอโซน โดยปริมาณหมู่คาร์บอนิลและคาร์บอกซิลของแป้งที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้นช่วง 30 – 90 mg O_3/g starch มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.03 – 0.10 และ 0.05 – 0.09 ตามลำดับ เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณหมู่คาร์บอนิลและคาร์บอกซิลของแป้งที่ไม่ผ่านการให้โอโซน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.01และ 0.02 – 0.03 ตามลำดับ อย่างไรก็ดี ปริมาณหมู่คาร์บอกซิลของแป้งออกซิไดซ์ทางการค้า จะมีมากกว่าปริมาณหมุ่คาร์บอกซิลของแป้งที่ผ่านการให้โอโซน แสดงให้เห็นว่าระดับการดัดแปรของแป้งที่ผ่านการให้โอโซนและแป้งออกซิไดซ์ทางการค้ามีความแตกต่างกัน นอกจากนี้สัดส่วนระหว่างปริมาณหมู่คาร์บอกซิลต่อปริมาณหมู่คาร์บอนิล ของแป้งออกซิไดซ์ทางการค้า และแป้งที่ผ่านการให้โอโซน มีค่าแตกต่างกันด้วย โดยสัดส่วนระหว่างปริมาณหมู่คาร์บอกซิลต่อหมู่ปริมาณหมู่คาร์บอนิลของแป้งออกซิไดซ์ทางการค้ามีค่าเท่ากับ 2.71 – 3.14 โดยมีค่าแตกต่างจากสัดส่วนระหว่างปริมาณหมู่คาร์บอกซิลต่อปริมาณหมู่คาร์บอนิลของแป้งที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้นช่วง 30 – 90 mg O_3/g starch ซึ่งเท่ากับ 1.6 – 0.9 ซึ่งบ่งชี้ว่ากลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแป้งที่ผ่านการให้โอโซนและแป้งออกซิไดซ์ทางการค้าอาจแตกต่างกันด้วย

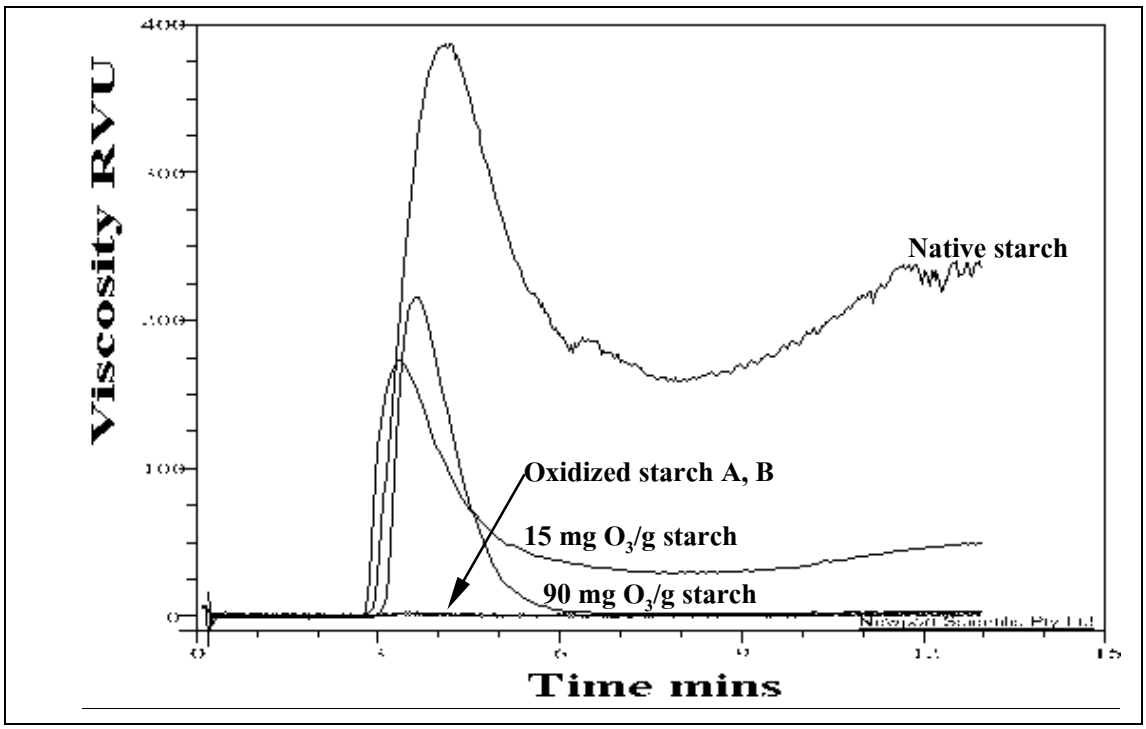
จากผลการทดลอง ดังตารางที่ 14 พบว่าแป้งออกซิไดซ์ทางการค้าและแป้งที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้นช่วง 30 – 90 mg O_3/g starch มีค่าความขาวใกล้เคียงกัน ซึ่งเท่ากับ 98 – 99 และ 97 – 98 Kett scale ตามลำดับ โดยแป้งทั้งสองชนิดมีความขาวเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบความขาวของแป้งมันสำปะหลังดิบทางการค้า ซึ่งมีค่าความขาวเท่ากับ 93 Kett scale เนื่องจากโอโซนมีสมบัติเป็นสารฟอกขาวเช่นเดียวกับสารเคมีที่ใช้เป็นสารออกซิไดซ์ทางการค้า ส่วนความโปร่งใสของแป้งเปียกของแป้งออกซิไดซ์ทางการค้าและแป้งที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้นช่วง 30 – 90 mg O_3/g starch ซึ่งวิเคราะห์เป็นร้อยละแสงส่องผ่านพบว่ามีค่าเท่ากับร้อยละ 98 และ 95 – 98 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดียวกันกับในกรณีความขาวของแป้ง

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของแป้งหลังจากการให้โอโซนในระดับต่างๆ กับแป้งออกซิไดซ์ทางการค้า

ชนิดของแป้ง	สมบัติทางกายภาพของแป้ง	
	ความขาว (Kett scale)	ความโปร่งใส (% $T_{650\ nm}$)
แป้งมันสำปะหลังดิบ	94	58.8
แป้งออกซิไดซ์ A	99	97.8
แป้งออกซิไดซ์ B	98	98.2
ปริมาณโอโซน (mg O_3/g starch)	ความขาว (Kett scale)	ความโปร่งใส (% $T_{650\ nm}$)
0 – 5	93 – 95	60 – 70
5 – 30	95 – 97	70 – 95
30 – 90	97 – 98	95 – 98

หมายเหตุ แป้งมันสำปะหลังดิบ และ แป้งออกซิไดซ์ A และ B เป็นแป้งทางการค้า

แป้งออกซิไดซ์ทางการค้าโดยทั่วไปจะมีความหนืดลดลง และเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับความหนืดของแป้งมันสำปะหลังดิบ สำหรับสมบัติทางความหนืดของแป้งที่ผ่านการให้โอโซนที่ได้ พบว่า ความหนืดมีลักษณะเช่นเดียวกับแป้งออกซิไดซ์ทางการค้า เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังดิบ คือมีความหนืดลดลง และเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่แป้งออกซิไดซ์ทางการค้าเนื่องจากแป้งออกซิไดซ์ทางการค้าจะไม่ให้ความหนืด ซึ่งจากภาพที่ 30 จะเห็นรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งออกซิไดซ์จะมีค่าความหนืดต่ำมากประมาณ 4 – 5 RVU ส่วนรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งที่ผ่านการให้โอโซนพบว่ายังสามารถให้ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) อ่านค่าความหนืดได้ประมาณ 150 – 220 RVU ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้ เมื่อเม็ดแป้งแตกหมด และอุณหภูมิลดลง พบว่าแป้งที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้นช่วง 45 – 90 mg O_3/g starch จะไม่ให้ความหนืด ซึ่งจะมีลักษณะเช่นเดียวกับแป้งออกซิไดซ์ทางการค้า แต่สามารถเกิดเป็นเจลแข็งลักษณะคล้ายกับเจลแป้งที่ดัดแปรด้วยกรด เมื่อทิ้งไว้หลังจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ซึ่งแตกต่างจากแป้งออกซิไดซ์ทางการค้าซึ่งจะไม่เกิดเป็นเจล แต่จะเป็นสารละลายใส แม้ว่าทิ้งไว้เป็นเวลานานก็ตาม



ภาพที่ 30 เปรียบเทียบสมบัติทางความหนืดของแป้งมันสำปะหลังดิบทางการค้ากับแป้งออกซิไดซ์ที่เตรียมในห้องปฏิบัติการและแป้งออกซิไดซ์ทางการค้า

หมายเหตุ แป้งมันสำปะหลังดิบ และแป้งออกซิไดซ์ A และ B เป็นแป้งทางการค้า

สรุปผลการทดลอง

1. การให้โอโซนกับแป้งมันสำปะหลัง มีผลทำให้สมบัติทางเคมีและกายภาพ องค์ประกอบและลักษณะทางความหนืดของแป้งเปลี่ยนแปลงไป โดยพบว่า แป้งที่ผ่านการให้โอโซน จะมีค่าความเป็นกรด ปริมาณหมู่คาร์บอนิลและหมู่คาร์บอกซิล ความขาวและความโปร่งใสของแป้งเปียกเพิ่มขึ้น มีความยาวของสายอะมิโลส ความหนืด และ การเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังดิบ ทั้งนี้ระดับการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้ด้วย โดยแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้น 90 mg O_3/g starch แป้งที่ได้จะมีค่าความเป็นกรด 0.18 meq/g ปริมาณหมู่คาร์บอกซิลและคาร์บอนิล เท่ากับร้อยละ 0.095 และ 0.087 ตามลำดับ ความขาวเท่ากับ 98.00 Kett scale และความโปร่งใสของแป้งเปียก (ร้อยละแสงส่องผ่านที่ 650 นาโนเมตร) เท่ากับร้อยละ 97.45 ซึ่งเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับแป้งมันสำปะหลังดิบที่มีค่าความเป็นกรด 0.03 meq/g ปริมาณหมู่คาร์บอกซิลและคาร์บอนิล เท่ากับร้อยละ 0.03 และ 0.02 ตามลำดับ ความขาวเท่ากับ 93.2 Kett scale และความโปร่งใสของแป้งเปียก (ร้อยละแสงส่องผ่านที่ 650 นาโนเมตร) เท่ากับร้อยละ 58.50 โครงสร้างภายในโมเลกุลเม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลง โดยพันธะไกลโคซิดิกถูกทำลายทำให้เกิดเป็นสายอะมิโลสที่สั้นลง ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติทางความหนืดของแป้ง โดยแป้งที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้น 90 mg O_3/g starch มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เท่ากับ 225 RVU ลดลงจากความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของแป้งมันสำปะหลังดิบซึ่งเท่ากับ 370 RVU และการที่มีปริมาณหมู่คาร์บอกซิลเพิ่มขึ้นจะช่วยลดการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของแป้งด้วย

2. สมบัติของแป้งมันสำปะหลังที่เปลี่ยนแปลงโดยการให้โอโซน จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังที่เป็นวัตถุดิบด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในแป้งเนื่องมาจากขั้นตอนการสกัดแป้ง ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในแป้ง และระดับความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้ พบว่าปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในแป้ง จะมีอิทธิพลร่วมกับโอโซน ส่งผลกระทบต่อความขาว ความโปร่งใสของแป้งเปียก (ร้อยละแสงส่องผ่านที่ 650 นาโนเมตร) และสมบัติทางความหนืดของแป้ง โดยแป้งที่มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในแป้งในปริมาณสูง (200 พีพีเอ็ม) และผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (15 mg O_3/g starch) จะมีระดับการเปลี่ยนแปลงความขาว ความโปร่งใสของแป้งเปียก (ร้อยละแสงส่องผ่านที่ 650 นาโนเมตร) และสมบัติทางความหนืดของแป้ง ต่ำกว่าของแป้งที่ไม่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในแป้ง (0 พีพีเอ็ม) ที่ผ่านการให้โอโซนที่ระดับความเข้มข้นเท่ากัน ทั้งนี้เป็นเพราะซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ซึ่งเป็นสารรีดิวซ์ ส่วนโอโซนเป็นสารออกซิไดซ์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในแป้ง ทำให้ประสิทธิภาพของโอโซนในการเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับแป้งลดลง แต่ในกรณีที่ใช้โอโซนที่ระดับความเข้มข้นสูง (90 mg O_3/g starch) โอโซนที่มีปริมาณมากเกินพอจึงไม่เห็นความแตกต่างกันเมื่อใช้แป้งที่มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างที่ต่างกัน

3. แป้งที่ผ่านการให้โอโซนมีสมบัติทางเคมีและกายภาพคล้ายคลึงกับแป้งออกซิไดซ์ทางการค้าที่ดัดแปรด้วยวิธีทางเคมี คือ มีความขาว ปริมาณหมู่คาร์บอกซิลและหมู่คาร์บอนิล มากกว่าแป้งมันสำปะหลังดิบ และมีความหนืดลดลง แต่มีระดับการเปลี่ยนแปลงต่างกัน แป้งออกซิไดซ์ทางการค้าจะมีปริมาณหมู่คาร์บอกซิลมากกว่าแป้งดัดแปรด้วยโอโซน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ กลไกการเกิดปฏิกิริยาและระดับการดัดแปรของแป้งที่ผ่านการให้โอโซนกับแป้งออกซิไดซ์ทางการค้ามีความแตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

ในการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังด้วยโอโซน อาจมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อระดับการดัดแปร เช่น ความเข้มข้นของน้ำแป้ง pH อุณหภูมิ และสารเคมีชนิดอื่น ซึ่งอาจส่งผลต่อสมบัติของแป้งที่ได้ ดังนั้นเพื่อให้ได้แป้งดัดแปรด้วยโอโซนที่มีสมบัติทางเคมีกายภาพและความหนืด เหมือนกับแป้งออกซิไดซ์ทางการค้า จึงควรศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเพิ่มเติมต่อไป