

สารบัญ

สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูปภาพ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง	3
2.2 โครงสร้างของแป้ง	4
2.3 แป้งมันสำปะหลัง	6
2.4 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	8
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	13
3.1 การเตรียมตัวอย่าง	13
3.2 การวิเคราะห์คุณภาพของแป้งที่ได้	15
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	17
4.1 ค่า pH ของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์และของผสมของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับแป้ง	17
4.2 ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อความขาวของแป้งมันสำปะหลังหมาด	20
4.3 ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อความสามารถในการละลายและการพองตัวของแป้งหมาด	22
4.4 ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อความหนืดของแป้งหมาด	24

4.5 ผลของความเข้มข้นของซิลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อสมบัติทางความร้อนของแป้งหมัก	27
บทที่ 5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	30
5.1 ข้อเสนอแนะ	30
เอกสารอ้างอิง	31

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 ค่า pH ของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อนทำการผสมกับแป้งมันและสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ผสมกับแป้ง	18
ตารางที่ 4.2 ปริมาณของซัลเฟอร์ที่ตกค้างในแป้งหมวดที่ผสมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นและเวลาสัมผัสต่างกันหลังกระบวนการล้าง	19
ตารางที่ 4.3 ความขาวของแป้งมันสำปะหลังหมวดที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ	20
ตารางที่ 4.4 ค่าความสามารถในการละลายของแป้งหมวดที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างและระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ	23
ตารางที่ 4.5 ค่าความสามารถในการพองตัวของแป้งหมวดที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างและระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ	23
ตารางที่ 4.6 Peak viscosity ของตัวอย่างแป้งหมวดที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นและเวลาสัมผัสต่าง ๆ	26

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1	อนุภาคแป้ง	4
รูปที่ 2.2	เม็ดแป้ง	5
รูปที่ 2.3	แบบจำลองพื้นผิวของเม็ดแป้ง 6	
รูปที่ 2.4	สมมูลมวลในกระบวนการผลิตแป้งของโรงงานแป้ง; ปริมาณในวงเล็บเป็นหน่วย 10 ตัน/วัน	10
รูปที่ 2.5	สมมูลมวลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตแป้งของโรงงานแป้ง; ปริมาณในวงเล็บเป็นหน่วย กิโลกรัม/วัน	11
รูปที่ 3.1	วิธีการเตรียมตัวอย่างแป้งแห้ง	14
รูปที่ 3.2	วิธีการเตรียมตัวอย่างแป้งหมาด	15
รูปที่ 4.1	ค่า pH ของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อนทำการผสมกับแป้งมัน และสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ผสมกับแป้ง	17
รูปที่ 4.2	ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อความขาวของแป้งมันสำปะหลังหมาด	20
รูปที่ 4.3	ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อความสามารถในการละลาย (a) และการพองตัว (b) ของแป้งมันสำปะหลังที่ 85 °C	22
รูปที่ 4.4	Visco-Amylograph ของแป้งมันที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ระยะเวลาสัมผัส 15 นาที; a: temperature profile b: 100 ppm c: 200 ppm d: 300 ppm f: 500 ppm	25
รูปที่ 4.5	ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อความหนืดของแป้งหมาด	25
รูปที่ 4.6	Typical DSC thermogram ของแป้งมันสำปะหลังหมาดที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นและเวลาสัมผัสต่าง ๆ	27
รูปที่ 4.7	ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อสมบัติทางความร้อนของแป้งหมาด; a: gelatinization onset temperature b: enthalpy ของ gelatinization ทำการทดลองหนึ่งซ้ำ (n = 1)	28

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

แป้งมันสำปะหลังนับเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญทางการค้าของประเทศไทย ในปี 2009 พบว่ามูลค่าการส่งออกแป้งมันสำปะหลังของประเทศไทยมีมูลค่าประมาณ 30 ล้านบาท (Thai Tapioca Development Institute, 2010) ทั้งนี้มูลค่าการส่งออกแป้งมันสำปะหลังยังคงสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี แป้งมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมยา และอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะที่สำคัญ ได้แก่ มีความหนืดสูง ความสามารถในการพองตัวสูง และมีความใส (Balagopalan และคณะ, 1988; Glicksman, 1969)

ระบบของประเทศไทยจะเริ่มต้นด้วยการกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังในระดับอุตสาหกรรมซื้อหัวมันสำปะหลังสดจากเกษตรกร หลังจากนั้นนำหัวมันสำปะหลังสดไปร่อนเอาทรายและสิ่งสกปรกออก ล้าง ปอกเปลือกและตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ก่อนจะส่งขึ้นมันสำปะหลังที่ได้เข้าสู่กระบวนการหมักเปียก สกัดและแยกเพื่อให้ได้แต่เฉพาะน้ำแป้ง เหวี่ยงแยกเอาน้ำออกแล้วจึงนำแป้งหมักที่ได้ไปทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (Thai Tapioca Development Institute, 2010) ทั้งนี้ ถึงแม้ว่ากระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องแต่ยังคงพบปัญหาเรื่องความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพของแป้งที่ได้ ทั้งนี้งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังที่ได้นั้นขึ้นกับสารเคมีที่นำมาใช้ในขั้นตอนการสกัดด้วย ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ Sandhu (2008) พบว่าโซเดียมไฮโปคลอไรท์มีผลทำให้สมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวโพดเปลี่ยนไปเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้สารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือน้ำซัลเฟอร์ก็เป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่มีนำมาใช้ในขั้นตอนการสกัดแป้ง (Wanlapatit, 1998) อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังมีงานวิจัยน้อยมากที่ศึกษาถึงผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในกระบวนการสกัดต่อคุณภาพของแป้งมันสำปะหลัง ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ศึกษาว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีบทบาทสำคัญในการฟอกสีแป้ง ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในแป้ง และป้องกันการเกิดฟิล์มบางที่ทำให้เกิดการอุดตันในขั้นตอนการกรอง (Ough, 1993) โดยปกติในกระบวนการผลิตแป้งมักเติมน้ำซัลเฟอร์ในขั้นตอนการสกัดละเอียด นอกจากนี้เม็ดแป้งยังเกิดการสัมผัสกับโมเลกุลซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในขั้นตอนการล้างอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากการนำน้ำจากขั้นตอนการแยกและการสกัดกลับมาใช้ใหม่ (Wanlapatit, 1998) ทั้งนี้การสัมผัสระหว่างเม็ดแป้งกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์อาจเกิดขึ้นต่อเนื่องมาจนถึงขั้นตอนการแยกน้ำออก อีกทั้งโมเลกุลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังอาจตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์แป้งอีกด้วย งานวิจัยที่ผ่านมารายงานว่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมในประเทศในอยู่ในช่วง 0-500 ppm (Wanlapatit, 1998; Sriroth และคณะ, 1998) ระยะเวลาการสัมผัสระหว่างแป้งและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตลอดกระบวนการผลิตแป้งอยู่ที่ประมาณ 35-40 นาที ข้อมูลจากการสำรวจ (จากโรงงาน

ที่ผ่านมามีงานวิจัยน้อยมากที่ทำการศึกษาค้นคว้าถึงผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างในเม็ดแป้งที่มีต่อคุณภาพของแป้ง ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ศึกษาว่าการเพิ่มขึ้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างส่งผลให้ความหนืดของแป้งลดลง (Wanlapatit, 1998; Sriroth และคณะ, 1998) ความสามารถในการพองตัวและ

ความสามารถในการละลายที่ 85 °C ลดลง (Wanlapatit, 1998) แต่กลับมีผลให้ความขาวเพิ่มขึ้น (Wanlapatit, 1998; Sae-evo, 2004) ทั้งนี้เป็นเพราะซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (Singh และคณะ, 2007; Sajeev และคณะ, 2003) สามารถเข้าไปสัมผัสกับอะมิโนสในส่วนของสัณฐานได้ง่าย (Whistler และ Danial, 1984) ส่งผลให้อะมิโนสเสียสภาพความเป็นโพลิเมอร์จากโมเลกุลแบ่งเนื่องจากพันธะ glycosidic linkages ถูกทำลาย (Richardson และ Gorton, 2003) แต่อย่างไรก็ตามพบว่ายังไม่มีงานวิจัยที่รายงานถึงผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังในระหว่างกระบวนการผลิตแป้ง ซึ่งในขั้นตอนการสกัดแป้งนั้นเม็ดแป้งจะสัมผัสกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ปริมาณสูงเป็นเวลาค่อนข้างนานดังกล่าวข้างต้น ซึ่งในระหว่างขั้นตอนการสกัดนั้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์อาจทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้งซึ่งส่งผลต่อสมบัติของแป้งมันสำปะหลังได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีสมมุติฐานว่า การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังนั้นนอกจากจะมีผลมาจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างแล้วยังมีผลมาจากระยะเวลาการสัมผัสระหว่างเม็ดแป้งและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในขั้นตอนการสกัดอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเวลาสัมผัสที่มีต่อสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- แป้งมันสำปะหลังจากจังหวัดชลบุรีที่ผลิตจากหัวมันสำปะหลังอายุการเก็บเกี่ยว 10 เดือน
- ศึกษาผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 0, 100, 200, 300 และ 500 ppm ต่อสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง
- ศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่ 15, 30, 45, 60 และ 120 นาที ต่อสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง ซึ่งจัดว่าเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของมนุษย์ จากคุณสมบัติเฉพาะด้านความชื้นหนืด ความคงตัว และคุณสมบัติในการเกิดเจลของแป้ง จึงนิยมนำแป้งมาใช้ประโยชน์ในการผลิตและปรับปรุงคุณภาพอาหาร รวมถึงการปรับแต่งเนื้อสัมผัสของอาหาร ในปัจจุบันการผลิตแป้งสามารถผลิตได้จากพืชหลายชนิด เช่น ข้าวชนิดต่าง ๆ ข้าวโพด ถั่ว และพืชหัวได้แก่ มันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งแป้งที่ผลิตจากพืชต่างชนิดกันจะมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ขนาด รูปร่างของเม็ดแป้ง และคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

แป้งเกิดจากการรวมตัวเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต มีสูตรทางเคมี $(C_6H_{10}O_5)_n$ ซึ่งองค์ประกอบแต่ละชนิดภายในเม็ดแป้งจะมีปริมาณและบทบาทหน้าที่ที่แตกต่างกันออกไป ทำให้แป้งแสดงสมบัติที่หลากหลาย เหมาะแก่การนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน โดยองค์ประกอบภายในเม็ดแป้งสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิดหลัก ๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1.1 อะมิโลส (amylose)

อะมิโลสจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นของกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - 1,4 - glucosidic linkage และอาจมีส่วนของพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคสรวมอยู่ด้วยเล็กน้อย โดยสายอะมิโลสจะมีการบิดตัวเป็นเกลียว และสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนได้เป็นสีน้ำเงิน เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายอะมิโลสแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นแผ่นแข็งได้ดี

2.1.2 อะมิโลเพกติน (amylopectin)

อะมิโลเพกตินเป็นองค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ซึ่งจัดว่าเป็นสารจำพวกคาร์โบไฮเดรต เช่นเดียวกับอะมิโลส แต่จะเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคสที่มีขนาดใหญ่กว่าอะมิโลสมาก โดยสายอะมิโลเพกตินเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุลของกลูโคสเป็นเส้นยาวด้วยพันธะ α - 1,4 - glucosidic linkage และแตกกิ่งสาขาของกลูโคสออกไปประมาณร้อยละ 4 - 6 ของพันธะทั้งหมดภายในโมเลกุล ด้วยการเชื่อมต่อดัวยพันธะ α - 1,6 - glucosidic linkage ทำให้อะมิโลเพกตินมีกิ่งสาขามากกว่า 20,000 กิ่งในหนึ่งโมเลกุล โดยอะมิโลเพกตินแต่ละโมเลกุลจะเชื่อมต่อกันและบิดตัวเป็นเกลียวคู่ (double helix) ด้วยพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาล แล้วเรียงตัวซ้อนกันเป็นชั้นภายในเม็ดแป้ง เมื่ออะมิโลเพกตินทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนจะเกิดสีแดงม่วง และไม่เกิดเป็นแผ่นแข็งเมื่อให้ความร้อน (Sriroth, 1998)

2.1.3 สารตัวกลาง

สารตัวกลางเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีเพียงเล็กน้อยในเม็ดแป้ง โดยส่วนใหญ่จะเป็นอะมิโลเพกตินที่เจริญไม่เต็มที่ โดยมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 500,000 - 10,000,000 ซึ่งน้อยกว่าน้ำหนักโมเลกุลของอะมิโลเพกติน แต่มากกว่าน้ำหนักโมเลกุลของอะมิโลส (Sriroth, 1998)

2.1.4 องค์ประกอบอื่น ๆ

องค์ประกอบในส่วนนี้ไม่ได้เป็นสารจำพวกคาร์โบไฮเดรต และมีเพียงเล็กน้อยในเม็ดแป้ง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

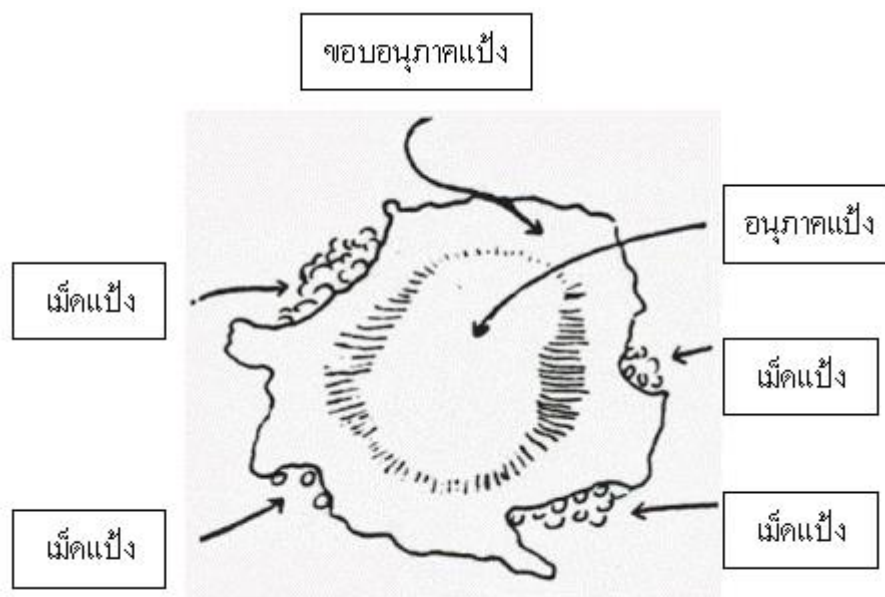
2.1.4.1 ส่วนที่แยกได้จากแป้ง (particular material) ได้แก่ โปรตีนที่สามารถละลายได้ในน้ำเกลือ และส่วนของผนังเม็ดแป้ง (Sriroth, 1998)

2.1.4.2 ส่วนที่ติดกับผิวเม็ดแป้ง (surface material) ซึ่งสามารถสกัดออกจากเม็ดแป้งได้โดยไม่ต้องทำลายเม็ดแป้ง เช่น เยื่อหุ้มอะมิโลพลาสต์ (Sriroth, 1998)

2.1.4.3 ส่วนประกอบภายในเม็ดแป้ง (internal components) ได้แก่ ส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง ซึ่งสามารถแยกออกจากเม็ดแป้งได้ด้วยการทำลายเม็ดแป้ง เช่น ไขมัน หมู่ฟอสเฟต และสารประกอบไนโตรเจน (Sriroth, 1998)

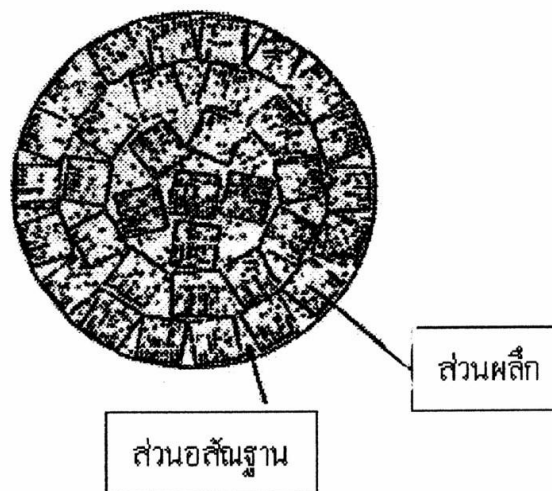
2.2 โครงสร้างของแป้ง

โดยปกติเมื่อทำการสกัดแป้งออกจากพืชแล้ว เม็ดแป้ง (starch granule) จะไม่แยกออกจากกันโดยเด็ดขาด แต่จะยังคงเกาะกลุ่มรวมตัวกันเป็นอนุภาคแป้ง (starch particle) โดยการเชื่อมต่อระหว่างสายอะมิโลสและอะมิโลเพกตินจากเม็ดแป้งแต่ละเม็ด ดังรูปที่ 9.1 ซึ่งขนาดของอนุภาคแป้งจะขึ้นอยู่กับการใช้และการสกัดและวิธีการในการสกัดแป้งออกจากพืช (Kerr และคณะ, 2000)



รูปที่ 2.1 อนุภาคแป้ง
(ที่มา : ดัดแปลงจาก Jones, 1940)

เมื่อแยกเม็ดแป้งแต่ละเม็ดออกจากกัน จะพบว่าเม็ดแป้งจากแป้งแต่ละชนิดจะมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป เช่น แป้งข้าวเจ้าจะมีรูปร่างทรงเหลี่ยมขนาดเล็ก แป้งมันฝรั่งจะมีรูปร่างเป็นก้อนหอยขนาดใหญ่ เป็นต้น โดยโครงสร้างของเม็ดแป้งจะมีลักษณะเป็นแบบ birefringence ทำให้เห็นเป็นลักษณะคล้ายกากบาทบนเม็ดแป้ง ซึ่งภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งสามารถได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นผลึก (crystallite areas) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous areas) ส่วนที่เป็นผลึกเกิดจากการเรียงตัวขนานกันของอะมิโลเพกติน โดยการเชื่อมต่อด้วยพันธะไฮโดรเจน หรือเกิดการรวมตัวกับน้ำ (hydrate bridge) ทำให้เกิดเป็นรูปร่างสามมิติคล้ายทรงแปดเหลี่ยม (parallel hexagonal) ที่แข็งแรง โดยมีสายของอะมิโลสแทรกอยู่ระหว่างชั้นของอะมิโลเพกติน สำหรับส่วนที่เป็น อสัณฐานประกอบด้วยส่วนที่เป็นจุดเชื่อมต่อของกิ่งอะมิโลเพกติน และอาจมีอะมิโลสแทรกอยู่เล็กน้อย ซึ่งอะมิโลสบางเส้นจะมีไขมันแทรกอยู่บริเวณแกนกลางที่บิดเป็นเกลียว เกิดเป็นสารเชิงซ้อนของอะมิโลสกับไขมัน (amylose – lipid complex) ทำให้ส่วนที่เป็นอสัณฐานมีโครงสร้างคล้ายเจลอย่างอ่อน และมีรูปร่างไม่แน่นอน โดยส่วนที่เป็นอสัณฐานนี้จะกลายเป็นส่วนของพื้นผิวเม็ดแป้งและแทรกอยู่ระหว่างส่วนที่เป็นผลึก มีการจัดเรียงตัวซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ดังรูปที่ 9.2 (Sriroth, 1998) ซึ่งเมื่อนำเม็ดแป้งมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นการเรียงตัวเป็นชั้นนี้มีลวดลายคล้ายเนื้อไม้ ซึ่งเรียกว่า growth rings ซึ่งชี้ให้เห็นว่าส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานของเม็ดแป้งจะมีการเจริญเติบโตเป็นช่วง ๆ ระหว่างพืชทำการสังเคราะห์เม็ดแป้ง

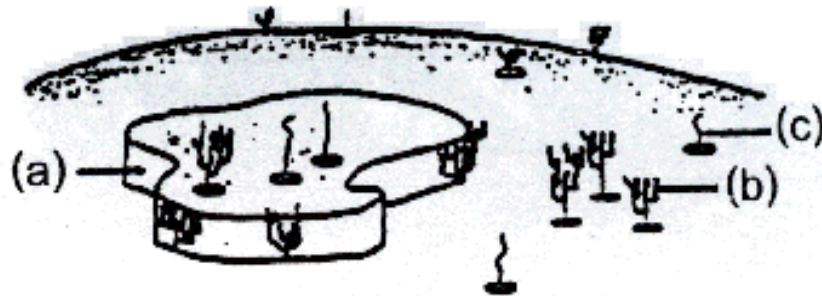


รูปที่ 2.2 เม็ดแป้ง

(ที่มา : ดัดแปลงจาก French, 1975)

เมื่อพิจารณาส่วนของพื้นผิวเม็ดแป้ง พบว่าผิวของเม็ดแป้งจะไม่เรียบ เนื่องจากมีส่วนปลายของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินยื่นออกมา ซึ่งส่วนนี้เองที่จะเป็นจุดเชื่อมต่อกันระหว่างเม็ดแป้ง เกิดเป็นอนุภาคแป้งขนาดใหญ่ และเป็นจุดเริ่มต้นของการเจริญของเม็ดแป้งในขั้นต่อไป ซึ่ง Stark และ Lynn (1992) ได้สร้างแบบจำลองของพื้นผิวเม็ดแป้งไว้ ดังรูปที่ 9.3 เมื่อ (a) คือ ส่วน

พื้นผิวใหม่ของเม็ดแป้ง (b) คือ กลุ่มอะมิโลเพกตินที่ยื่นออกมา และ (c) คือ ส่วนปลายของอะมิโลส



รูปที่ 2.3 แบบจำลองพื้นผิวของเม็ดแป้ง
(ที่มา : Stark และ Lynn, 1992)

2.3 แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งชนิดหนึ่งที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเป็นแป้งที่มีความหนืดสูง ไม่มีกลิ่นหรือรสรุนแรง สามารถย่อยสลายได้ง่าย ราคาถูก และสามารถสกัดแป้งได้ในปริมาณสูง โดยลักษณะของแป้งมันสำปะหลังตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 274-2521 กำหนดไว้ว่า แป้งมันสำปะหลังต้องเป็นผงละเอียดมีสีขาวหรือครีมอ่อน ไม่เกิดการหมัก ไม่เหม็นอับ หรือไม่มีกลิ่นน่ารังเกียจ ไม่มีแมลง สารแปลกปลอมอื่นๆ ปะปน และยังต้องมีลักษณะต่างๆ ตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังกำหนด

2.3.1 การผลิตแป้งมันสำปะหลัง

โดยทั่วไปการผลิตที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันคือกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบสไลต์แห้ง ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตดังนี้ (Wanlapatit, 1998)

1. ชั่งน้ำหนักและวัดเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลัง โดยใช้เครื่องวัดแบบ Raimann's scale
2. ส่งเข้าเครื่องร่อนดินทราย
3. ส่งเข้าเครื่องปอกเปลือกและล้างหัวมันในเครื่องเดียวกัน
4. นำหัวมันสดที่ล้างสะอาดแล้วเข้าเครื่องโมลละเอียด แล้วเข้าเครื่องสกัดแป้ง (extractor) แยกเอากากและน้ำแป้งออกจากกัน ส่วนของกากมันจะถูกส่งไปยังลานตากแดด เพื่อขายเป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์ หรือนำไปผสมกับมันเส้นเพื่อทำมันอัดเม็ด
5. ส่วนของน้ำแป้งจะทำให้บริสุทธิ์ด้วยเครื่องแยกแป้ง (separator) เพื่อแยกแป้งออกจากน้ำแป้ง ทำให้น้ำแป้งที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น
6. แยกน้ำแป้งออกจากแป้งโดยใช้เครื่องสไลต์แห้ง (centrifugal) เพื่อเหวี่ยงแยกน้ำออกจากแป้ง แป้งที่ได้จะมีความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 40 ถึง 50 มาตรฐานแห้ง

7. อบแป้งให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม โดยอุณหภูมิในการอบแห้งจะอยู่ในช่วง 120 ถึง 200 องศาเซลเซียส ความเร็วลมร้อนประมาณ 20 ถึง 40 เมตรต่อวินาที

8. แป้งที่อบแห้งแล้วจะผ่านเข้าเครื่องร่อนแป้ง (siever) เพื่อแยกแป้งหยาบซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 150 ไมครอนออก แป้งหยาบจะถูกส่งไปละลายน้ำและส่งกลับเข้าสู่ขั้นตอนการสกัดอีกครั้งหนึ่ง

9. ส่วนแป้งที่ละเอียดจะบรรจุลงถุงเพื่อจัดจำหน่ายต่อไป

2.3.2 สมบัติของแป้งมันสำปะหลัง

แป้งมีสมบัติเฉพาะที่ส่งผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตได้หลายประการ เช่น ความหนืด คุณสมบัติในการเกิดเจลลิตในเซชัน เป็นต้น ซึ่งสมบัติแต่ละประการจะเกิดขึ้นแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้งและสภาวะในการแปรรูป เช่น อุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน เป็นต้น ในปัจจุบันจึงมีการศึกษาคุณสมบัติของแป้งที่หลากหลายนี้ เพื่อคัดเลือกแป้งที่มีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน และทำให้สามารถควบคุมสภาวะการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากแป้ง โดยให้แป้งเกิดสมบัติตามที่ต้องการได้ ซึ่งสมบัติเฉพาะของแป้งที่แสดงออกมาและมีการนำไปใช้ประโยชน์แบ่งได้เป็น 5 ประการ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.3.2.1 การดูดซับน้ำ การพองตัว และการละลาย

การดูดซับน้ำ การพองตัว และการละลาย เป็นสมบัติที่พบได้ทั่วไปในแป้งทุกชนิด เกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง ซึ่งโดยปกติแล้วอะมิโลเพกตินซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้งจะจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และเม็ดแป้งจะมีความชื้นสมดุลกับบรรยากาศภายนอก ทำให้แป้งดิบไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายน้ำแป้งให้สูงขึ้นกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชัน พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของอะมิโลเพกตินจะถูกทำลาย โมเลกุลน้ำจึงสามารถเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระได้ ทำให้เม็ดแป้งเกิดความสามารถในการดูดซับน้ำ จนเกิดการพองตัว ส่วนที่เป็นผลึกในเม็ดแป้งเริ่มหลอมละลาย โครงสร้างแบบ birefringence ของเม็ดแป้งจะหายไป และอะมิโลสที่อยู่ในเม็ดแป้งเริ่มละลายออกมากับน้ำ ทำให้สารละลายน้ำแป้งมีความหนืดและใสมากขึ้น (Sriroth, 1998) ซึ่งการละลายน้ำของอะมิโลสนี้ บางครั้งอาจเกิดก่อนที่อุณหภูมิของสารละลายจะถึงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชัน เนื่องจากอะมิโลสมีความสามารถในการละลายน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ และเมื่อสัดส่วนระหว่างอะมิโลสและอะมิโลเพกตินภายในเม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง อะมิโลสมีปริมาณลดลง จะเป็นการช่วยเร่งให้เม็ดแป้งมีการพองตัวเพิ่มขึ้นจากเดิม

2.3.2.2 ความหนืด (viscosity)

ความหนืดเป็นคุณสมบัติที่เกิดต่อเนื่องจากคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ การพองตัว และการละลายของแป้ง เนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งเกิดการดูดซับน้ำและพองตัว น้ำบริเวณรอบ ๆ เม็ดแป้งจะเหลือน้อยลง ประกอบกับมีอะมิโลสละลายออกมาในน้ำ ทำให้สารละลายน้ำแป้งเข้มข้นขึ้น เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก จึงเกิดความหนืดขึ้น (Sriroth, 1998) โดย Hsu และคณะ (2000) ซึ่งศึกษาความหนืดของสารละลายน้ำแป้งข้าวเจ้าเข้มข้นร้อยละ 25 พบว่าความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มอย่างชัดเจนเมื่อแป้งเกิดการเจลลิตในเซชัน และความหนืดจะมีค่าสูงสุดเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวอย่างเต็มที่แล้ว

2.3.2.3 การเกิดเจลลิตในเซชัน (gelatinization)

การเกิดเจลลาติในเซชันเป็นคุณสมบัติเฉพาะของแป้งที่รวมคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ การพองตัว การละลาย และความหนืดของแป้งไว้ด้วยกัน โดยเป็นสมบัติที่มีการนำไปใช้ในการผลิตอาหารมากที่สุด ซึ่งสมบัติในการเกิดเจลลาติในเซชันนี้จะเกิดระหว่างการให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง และสามารถแบ่งได้เป็น 4 ระยะ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ระยะที่ 1 ก่อนถึงอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติในเซชัน เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำได้อย่างจำกัด และเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากเม็ดแป้งมีลักษณะเป็นร่างแหไมเซล (micelle) ซึ่งยึดหยุ่นได้อย่างจำกัด ทำให้ไม่สามารถดูดซับน้ำได้มาก โดยในระยะนี้เม็ดแป้งจะยังคงมีรูปร่างและโครงสร้างเหมือนเป็นแป้งดิบ ความหนืดจะไม่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (Sriroth, 1998)

ระยะที่ 2 เมื่ออุณหภูมิสูงถึงอุณหภูมิเจลลาติในเซชัน ในระยะนี้เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความร้อนเข้าไปทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดแป้ง ซึ่งการพองตัวแบบนี้จะเป็นการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เนื่องจากโครงสร้างของอะมิโลเพกตินภายในเม็ดแป้งถูกทำลายไปแล้ว อะมิโลสจะละลายออกมานอกเม็ดแป้ง ทำให้ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นสารละลายน้ำแป้งที่มีความข้นหนืดซึ่งเรียกว่า sol (BeMiller, 1992) ซึ่งอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติในเซชันจะแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง เช่น แป้งข้าวเจ้าจะเกิดการเจลลาติในเซชันที่อุณหภูมิ 68-72 องศาเซลเซียส แป้งสาลีจะเกิดการเจลลาติในเซชันที่อุณหภูมิ 63-64 องศาเซลเซียส เป็นต้น

ระยะที่ 3 เมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติในเซชัน ความร้อนส่วนเกินจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของเม็ดแป้งที่พองตัว ทำให้ความหนืดของ sol ในระยะนี้ค่อย ๆ ลดลง

ระยะที่ 4 เมื่อลดอุณหภูมิของ sol ลงจนถึงอุณหภูมิต่ำ อามิโลสที่ละลายออกมาจะเริ่มกลับมาจับตัวกันล้อมรอบเม็ดแป้งที่พองตัว เกิดเป็นโครงสร้างสามมิติของแป้งเปียกหรือเจลแป้ง โดยลักษณะของ sol ในระยะนี้จะเรียกว่า sol to gel

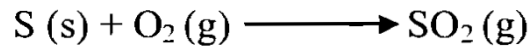
2.3.2.4 ความขาวของแป้งมันสำปะหลัง

โดยปกติแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นผงละเอียดและไม่มีสี นอกจากนี้ยังมีลักษณะสำคัญคือมีความบริสุทธิ์สูงและมีสิ่งเจือปนน้อยมาก สำหรับแป้งมันสำปะหลังที่มีคุณภาพสูงนั้นความขาวของแป้งจัดเป็นสมบัติที่สำคัญเนื่องจากส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ (Sriroth and Piyachomkwan, 2007) โดยปกติโรงงานมักวัดความขาวโดยใช้ Whiteness Tester KETT ซึ่งดัชนีความขาวที่ได้ควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 85% สำหรับแป้งมันสำปะหลังที่มีคุณภาพสูง (Thai Industrial Standards, 2521) ทั้งนี้ความขาวของแป้งมันสำปะหลังนั้นขึ้นกับกระบวนการผลิตแป้ง Balagopalan และคณะ (1998) รายงานว่าแป้งที่ผลิตจากหัวมันสำปะหลังให้ความขาวที่ดีเมื่อทำการกำจัดเปลือกออกก่อนทำการโม่ Sriroth และ Piyachomkwan (2007) พบว่า การล้างโดยใช้น้ำปริมาณมากส่งผลให้แป้งที่ได้มีความขาวมากขึ้น แป้งมันสำปะหลังมีระดับความขาวต่ำกว่า (87%) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันฝรั่ง (95%) ในขณะที่แป้งข้าวโพดมีความขาวที่สูงมาก (99%)

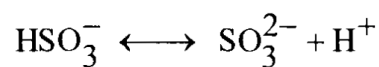
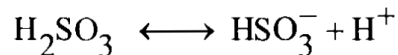
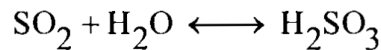
2.4 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

2.4.1 ลักษณะทั่วไปของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นฉุน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะอยู่ในสถานะของเหลวเมื่ออยู่ภายใต้ความดัน เป็นสารที่ละลายน้ำได้ง่าย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถเตรียมได้โดยการเผาธาตุซัลเฟอร์ดังปฏิกิริยาที่แสดง



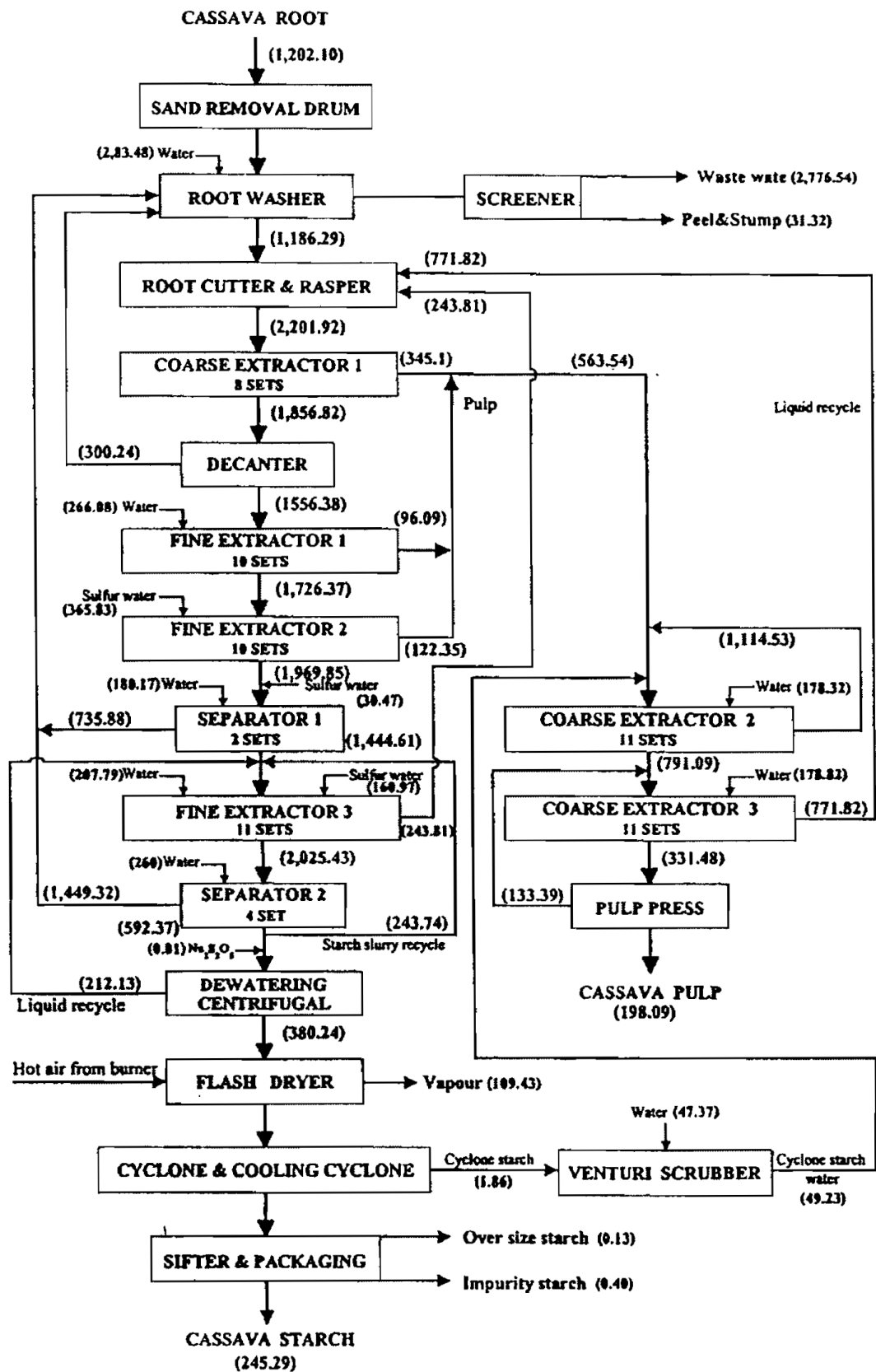
ไดออกไซด์เตรียมได้โดยทำการสเปรย์น้ำผ่านควันของซัลเฟอร์ที่ได้จากสารละลายซัลเฟอร์ การเผาธาตุซัลเฟอร์อย่างไรก็ตามสารละลายซัลเฟอร์ที่ได้จะอยู่ในรูปของสารละลายกรดซัลเฟอร์ริก ซึ่งไม่มีความคงตัว ดังนั้นความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เตรียมได้จากวิธีนี้จึงค่อนข้างควบคุมได้ยาก (Sae-evo, 2004) ทั้งนี้สมดุลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในน้ำสามารถแสดงได้ดังนี้

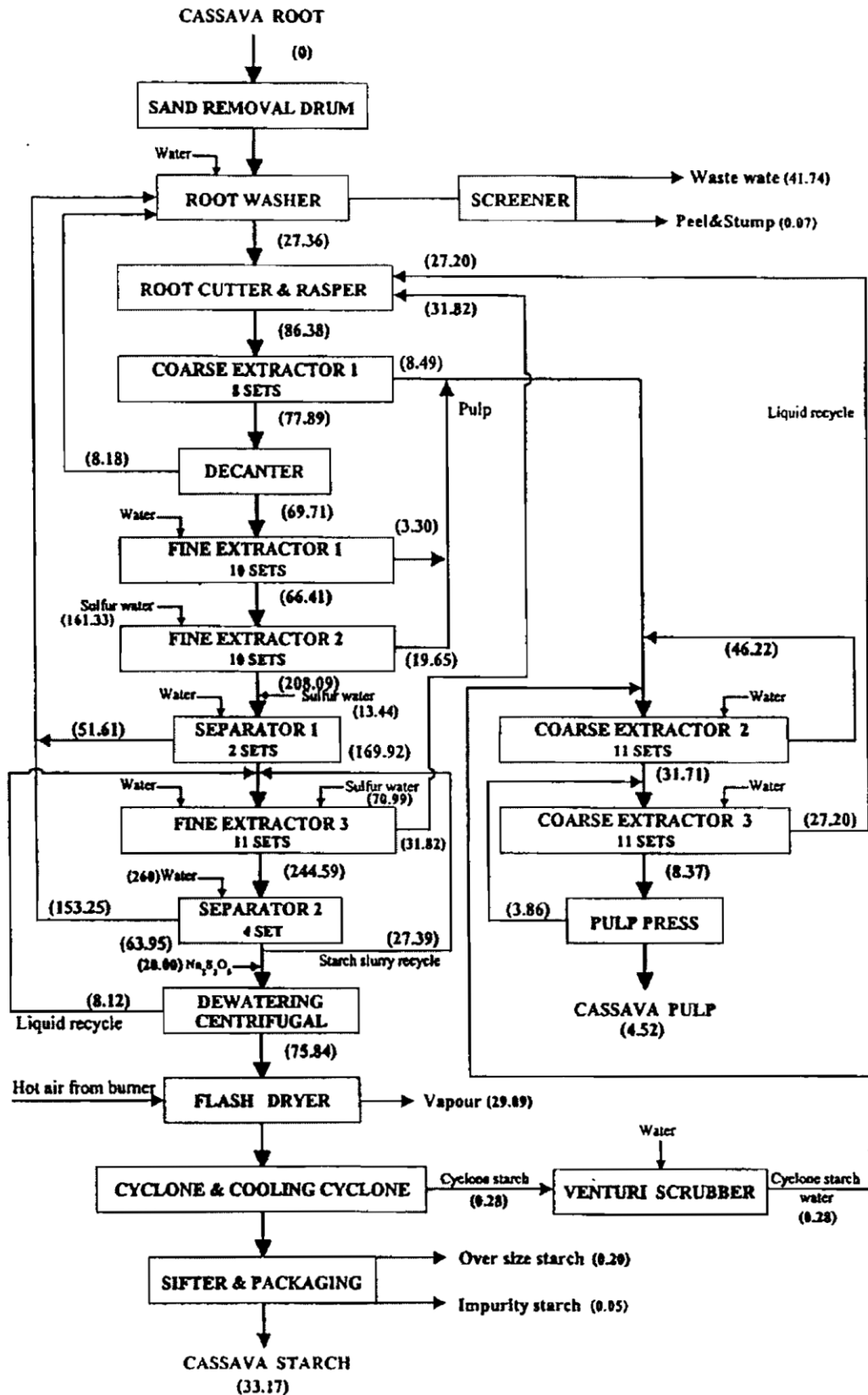


2.4.2 การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตแป้ง

ในกระบวนการแปรรูปอาหารมักใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อกันเชื้อรา ยืดอายุการเก็บรักษา และเพื่อการฟอกสี (Henderson and Winemaker, 2008) ในกระบวนการผลิตแป้งซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นมีความสำคัญมากกับขั้นตอนการสกัดแป้ง โดยนำสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาใช้ในเครื่องสกัดละเอียดเพื่อป้องกันการเกิดฟิล์มบางที่จะทำให้อุดตันผ้ากรอง เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียของแป้งเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ และช่วยในการฟอกสีแป้ง (Sriroth, 1998; Thai Tapioca Starch Association) ซึ่งปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้นั้นส่งผลต่อคุณภาพของแป้งที่ได้ (Thai Tapioca Development Institute, 2010)

โดยปกติโรงงานแป้งมันสำปะหลังจะควบคุมค่า pH ของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อนเติมในกระบวนการผลิตที่ประมาณ 2 (Sae-evo, 2004) ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือน้ำซัลเฟอร์ที่ใช้มีค่าประมาณ 0-40 g SO₂ ต่อ kg root หรือ 0-500 ppm (Wanlapatit, 1998; Sriroth และคณะ, 1998) โดยปกติจะเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในขั้นตอนการสกัดละเอียด อย่างไรก็ตามปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นอาจเจือจางลงเนื่องจากการเติมน้ำในกระบวนการสกัด ซึ่งทำให้ค่า pH ของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 5 นอกจากนี้โดยทั่วไปในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีการนำน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตกับมาใช้ใหม่เพื่อลดต้นทุนการผลิต น้ำที่ได้จากขั้นตอนการสกัดละเอียด 3 จะถูกนำมาใช้ในขั้นตอนการล้างใหม่อีกครั้งดังแสดงในรูปที่ 2.4 และ 2.5 (Wanlapatit, 1998) จะเห็นได้ว่าน้ำดังกล่าวยังคงมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ปริมาณหนึ่ง ดังนั้นแสดงว่าการสัมผัสกันของแป้งและซัลเฟอร์ไดออกไซด์เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการล้างจนกระทั่งถึงขั้นตอนการกำจัดน้ำ ทั้งนี้จากการสำรวจจากโรงงานผลิตแป้งพบว่าระยะเวลาการสัมผัสของแป้งและซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากกระบวนการล้างจนกระทั่งกำจัดน้ำใช้เวลาประมาณ 35-40 นาที





รูปที่ 2.5 สมดุลมวลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตแป้งของโรงงานแป้ง; ปริมาณใน
วงเล็บเป็นหน่วย กิโลกรัม/วัน (Wanlapatit, 1998)

2.4.2.1 ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อจุลินทรีย์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปที่ไม่มีไอออน ได้แก่ (SO_2) และกรดซัลเฟอร์รัส (H_2SO_3) เป็นรูปแบบที่ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด (Ough, 1993) ในขณะที่ไบซัลไฟท์ไอออน (HSO_3^-) ก็สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าสองแบบแรก ส่วนซัลไฟท์ไอออน (SO_3^{2-}) ไม่สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ ทั้งนี้ Hailer (1911) รายงานว่าแบคทีเรียมีความไวต่อซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากกว่ายีสต์และโมลต์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้โดยยับยั้งกระบวนการไกลโคไลซิส ทำลายสารอาหาร รวมทั้งยับยั้งกระบวนการเมตาบอลิซึมของเชื้อจุลินทรีย์ (Ough, 1993)

2.4.2.2 ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อสีของแป้งมันสำปะหลัง

ความขาวของแป้งนับเป็นคุณภาพที่สำคัญเนื่องจากส่งผลถึงคุณภาพสุดท้ายของผลิตภัณฑ์จากแป้ง ความขาวของแป้งขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตแป้ง (Sriroth และ Piyachomkwan, 2007) สำหรับอุตสาหกรรมแป้งได้นำสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาใช้เป็นสารฟอกสีในกระบวนการสกัดแป้ง (Wanlapatit, 1998; Ough, 1993) งานวิจัยของ Sae-evo (2004) ชี้ให้เห็นว่าความขาวของแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของน้ำซัลเฟอร์ต่อปริมาณหัวมันในขั้นตอนการล้างเพิ่มขึ้น

2.4.2.3 ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด

สารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลทำให้สามารถแยกแป้งออกจากสิ่งไม่บริสุทธิ์ได้มากขึ้น (Sae-evo, 2004) และยังสามารถป้องกันการเกิดฟิล์มบางที่เป็นสาเหตุของการอุดตันในขั้นตอนการกรองได้อีกด้วย (Sriroth, 1998) ซึ่งเป็นผลมาจากการเสียสภาพของโปรตีน เมื่อโปรตีนในฟิล์มบางสัมผัสกับสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด โปรตีนจะคลายตัวออก เนื่องจากพันธะในโครงสร้าง (เสียสภาพ) tertiary และ quaternary ถูกทำลาย (Fennema, 2008) ด้วยเหตุนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดให้ดียิ่งขึ้น

2.4.2.4 ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อคุณภาพของแป้งมันสำปะหลัง

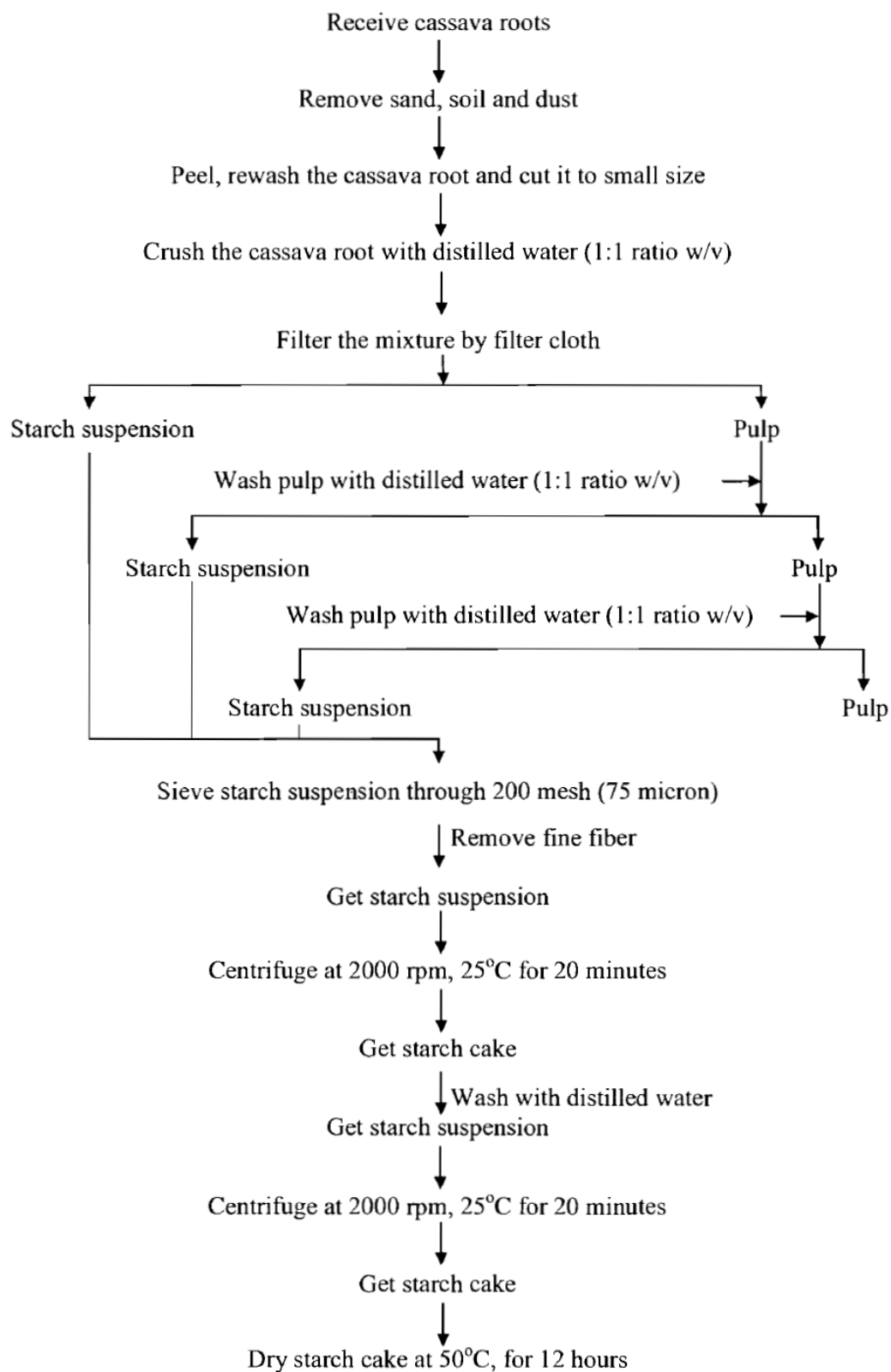
การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตแป้งส่งผลให้เกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างนี้ส่งผลให้คุณภาพของแป้งเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ ความขาว ความสามารถในการพองตัว การละลาย สมบัติทางความร้อน และ ความหนืด (Sae-evo, 2004; Wanlapatit, 1998 และ Sriroth และ คณะ, 1998)

ดังที่ได้กล่าวไปในข้างต้น สมมุติฐานของงานวิจัยนี้คือ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังนั้นนอกจากจะมีผลมาจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ตกค้างแล้วยังมีผลมาจากระยะเวลาการสัมผัสระหว่างเม็ดแป้งและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในขั้นตอนการสกัดอีกด้วย อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเวลาสัมผัสที่มีต่อคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังในระหว่างกระบวนการผลิตแป้ง

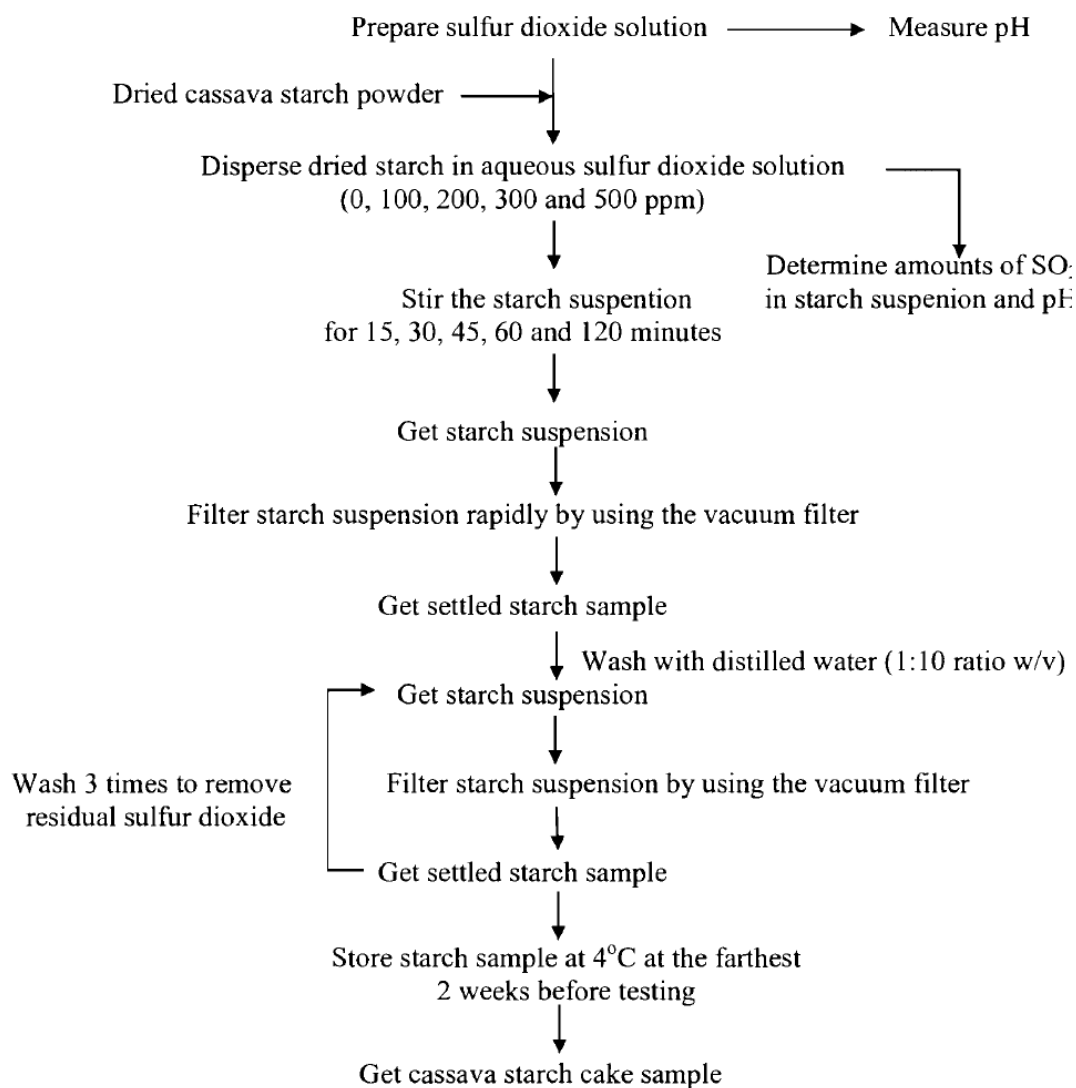
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างแบ่งที่ใช้ในการทดลองนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ส่วนแรกได้แก่การเตรียมแบ่งแห้งโดยดัดแปลงจากวิธีของ Sae-evo (2004) Wanlapatit (1998) และ Sriroth และคณะ (1998) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ส่วนที่ 2 ได้แก่การเตรียมตัวอย่างแบ่งหมักที่ผ่านซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยหลังจากการเตรียมแบ่งแห้งแล้วนำแบ่งที่ได้มาผสมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0, 100, 200, 300 และ 500 ppm ที่เวลาสัมผัส 15, 30, 45, 60 และ 120 นาที วิธีการเตรียมตัวอย่างในส่วนนี้ดัดแปลงมาจากวิธีของ Sae-evo (2004) Wanlapatit (1998) และ Sriroth และคณะ (1999) ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างแป้งแห้ง



รูปที่ 3.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างแป้งหมัก

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพของแป้งที่ได้

3.2.1 การวัดค่า pH ของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์และของผสมระหว่างแป้งและซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ค่า pH วัดโดยใช้ pH meter

3.2.2 การวัดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในตัวอย่าง

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวอย่างวัดโดยวิธีการ Iodometric Titration Method (Cassava and Starch Technology research Unit, 2000)

3.2.3 การวัดความขาวของแป้ง

ทำการวัดความขาวของแป้งในหน่วย $L^* a^* b^*$ โดยใช้ Color Spectrophotometer Ultrascan

3.2.4 การวัดความสามารถในการละลายและการพองตัวของแป้ง

การวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้ใช้วิธีของ Peterson และคณะ (1995) โดยคำนวณการละลายและการพองตัวได้จากสมการ

$$\text{Solubility index (SI)} = \left[\frac{W_2}{W_1} \right] \times 100$$

$$\text{Swelling power (SP)} = \left[\frac{W_3}{W_1(100\% - SI)} \right] \times 100$$

3.2.5 การวัดค่าความหนืดของแป้ง

การวัดความหนืดทำโดยใช้ Rapid Visco Analyzer (RVA) ตามวิธีการของ Newport Scientific (1998)

3.2.6 การวัดสมบัติทางความร้อนของแป้ง

สมบัติทางความร้อนของแป้งวัดโดยใช้ Perkin-Elmer Differential Scanning Calorimeter ตามวิธีการของ Sajeev และคณะ (2003)

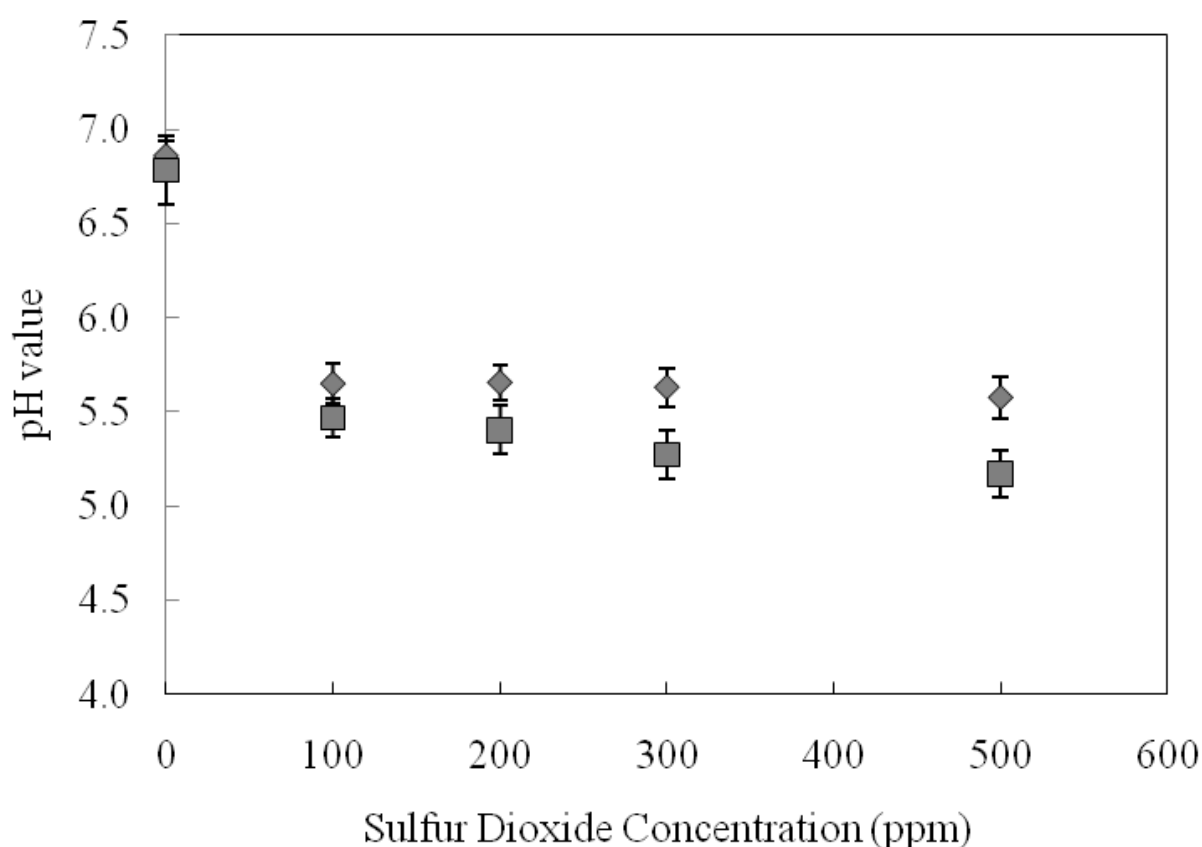
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเวลาสัมผัสที่มีต่อสมบัติของแป้งมัน การทดลองนี้ทำโดยนำตัวอย่างแป้งมันผสมกับสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์-- ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (0 ,100 ,200 ,300 and 500 ppm) เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน (15 ,30 ,45 ,60 and 120 นาที) จากนั้นนำไปล้างเพื่อกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้าง สมบัติที่ (ทำการศึกษาได้แก่ ความขาว ความสามารถในการละลาย การพองตัว ความหนืด และสมบัติด้านความร้อน ทั้งนี้ ในขั้นแรกคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค่า pH ของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์และของผสมของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับแป้ง

ค่า pH ของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อนทำการผสมกับแป้งมัน และสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ผสมกับแป้ง และการศึกษาปริมาณของซัลเฟอร์ที่ตกค้างในแป้งหมักที่ผสมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นและเวลาสัมผัสต่างกันหลังกระบวนการล้าง แสดงได้ดังต่อไปนี้

4.1 ค่า pH ของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์และของผสมของสารละลายซัลเฟอร์

ไดออกไซด์กับแป้ง



รูปที่ 4.1 ค่า pH ของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อนทำการผสมกับแป้งมัน และ (■)

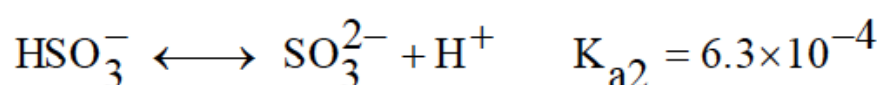
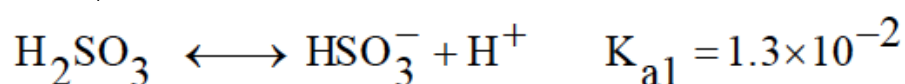
(◆) สารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ผสมกับแป้ง

ตารางที่ 4.1 ค่า pHของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อนทำการผสมกับแป้งมันและสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ผสมกับแป้ง

Sulfur dioxide concentration (ppm)	pH values	
	Sulfur dioxide solution before treatment	Sulfur dioxide solution with starch during treatment
0	6.78 ^a	6.86 ^a
100	5.47 ^b	5.65 ^b
200	5.40 ^{bc}	5.65 ^b
300	5.27 ^{bc}	5.63 ^b
500	5.17 ^c	5.57 ^b

Different letters in the same column indicate that average values are significantly different ($p < 0.05$, $n = 4$). Same letters in the same column indicate that average values are not significantly different ($p \geq 0.05$, $n = 4$).

รูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 แสดงค่า pHของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อนทำการผสมแป้งและสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พบว่าค่า pH ของน้ำซัลเฟอร์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นโดยการเติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ในน้ำ ($p > 0.05$, $n = 4$) ในทางตรงกันข้ามค่า pHของของผสมระหว่างสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับแป้งมัน ที่ความเข้มข้น 100- 500ppm นั้นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ค่า pHของสารละลายโซเดียมไดออกไซด์ 100 -500 ppm) ก่อนการผสมมีค่าในช่วง 5.17 – 5.47 ในขณะที่ค่า pH ของของผสมระหว่างสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับแป้ง มีค่า 5.57 – 5.65 ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับงานวิจัย ของ Sajeev (2003) ซึ่งพบว่ามีค่าในช่วง 5.1-6.0 เมื่อซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีความเข้มข้น 200-1000 ppm ผลการทดลองดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า H^+ หรือกรดในสารละลายอาจทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้งเมื่อโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ละลายน้ำจะเกิด โปรตอนหรือ H^+ ขึ้นในสารละลาย ทั้งนี้ความสภาวะสมดุลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในน้ำแสดงได้ดังนี้



นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังสามารถทำให้เกิด sulfurous acid, bisulfite and sulfite ion ซึ่งขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย (Ough, 1993) แต่ในงานวิจัยนี้ซึ่งมีค่า pH ในช่วง 5.17-6.86 นั้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะทำให้เกิด bisulfite และ sulfite เท่านั้น ซึ่ง สารประกอบทั้งสองอยู่ในรูป Ionized form ของ sulfurous acid สารประกอบทั้งสองชนิดนี้สามารถวัดได้จากปริมาณ โซเดียมไดออกไซด์ทั้งหมด อย่างไรก็ตามทั้ง bisulfite และ sulfite อาจทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้งโดยการ ออกซิเดชั่น Sajeev และคณะ (2003) ศึกษาผลของสารเคมีซึ่งรวมถึงโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ต่อสมบัติทางความร้อนและสมบัติความยืดหยุ่นของแป้งมันพบว่า อุณหภูมิเจลลิตไนซ์และสมบัติความยืดหยุ่นของแป้งมันที่ผสมกับกรดไฮโดรคลอริกที่ระดับความเข้มข้นและ pH ต่าง ๆ นั้นไม่มีความแตกต่างกัน ในช่วง pH 3.7 – 5.5 แต่พบความแตกต่างเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นและ pH ลดลง ในงานวิจัยนี้ค่า pH ของสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์และของผสมระหว่างแป้งและสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ในช่วง 5.17 – 6.86 ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าโปรตอนไม่มีผลต่อสมบัติของแป้งมันในงานวิจัยนี้

2.3.2 ปริมาณของซัลเฟอร์ที่ตกค้างในแป้งมหาดที่ผสมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นและเวลาสัมผัสต่างกันหลังกระบวนการล้าง

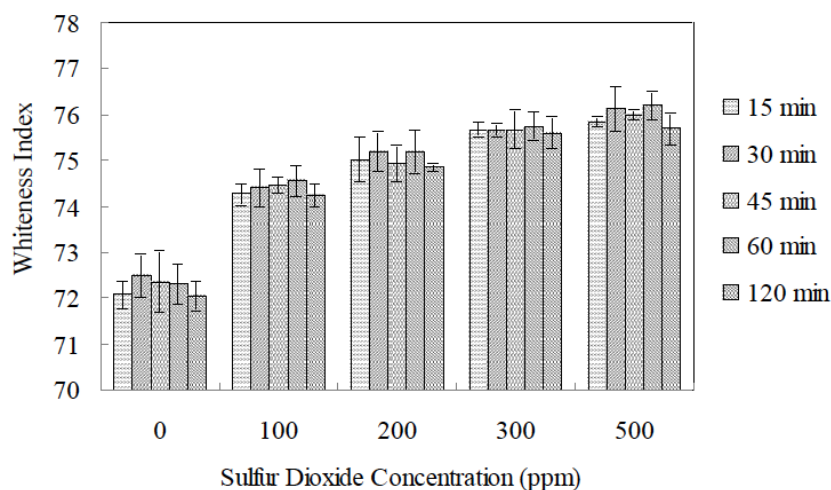
ตารางที่ 4.2 ปริมาณของซัลเฟอร์ที่ตกค้างในแป้งมหาดที่ผสมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นและเวลาสัมผัสต่างกันหลังกระบวนการล้าง

SO ₂ concentration (ppm)	Contact time ^{ns} (min)				
	15	30	45	60	120
0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0
300	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0

ns is indicated that values in the same column are not significantly different ($p \geq 0.05$, $n=4$).

ตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างแป้งมหาดที่ทำการผสมกับสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์และล้างออกนั้นไม่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในทุกตัวอย่าง งานวิจัยก่อนหน้านี้รายงานว่าการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตแป้งมันส่งผลให้เกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในแป้งมัน และส่งผลให้แป้งมีสมบัติที่แตกต่างไป (Sae-evo, 2004, Wanlapatit, 1998 และ Sriroth และคณะ, 1998) ดังนั้นผลการทดลองนี้จึงช่วยยืนยันได้ว่าการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงหน้าที่และความร้อนของแป้งมันในงานวิจัยนี้ไม่ได้เป็นผลมาจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของสมบัติของแป้งอาจเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับเม็ดแป้งระหว่างการนำแป้งมาผสมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์

4.2 ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อ ความขาวของแป้งมันสำปะหลังหาคัด



รูปที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อความขาวของแป้งมันสำปะหลังหาคัด

ตารางที่ 4.3 ความขาวของแป้งมันสำปะหลังหาคัดที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

SO ₂ concentration (ppm)	Contact time (min)					Average
	15	30	45	60	120	
0	72.07	72.48	72.35	72.31	72.05	72.25 ^e
100	74.27	74.40	74.46	74.55	74.24	74.38 ^d
200	75.02	75.20	74.92	75.18	74.86	75.03 ^c
300	75.68	75.66	75.68	75.75	75.59	75.67 ^b
500	75.84	76.13	75.99	76.21	75.68	75.97 ^a
Average	74.57 ^{ns}	74.77 ^{ns}	74.68 ^{ns}	74.80 ^{ns}	74.48 ^{ns}	

ns is indicated that the average values in the same roll are not significantly different ($p \geq 0.05$, $n=4$).

Different letters in the same column indicate that average values are significantly different ($p < 0.05$, $n=4$).

รูป 4.2 และตารางที่ 4.3 แสดงผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อความขาวของแป้งมันสำปะหลังหาคัด ความขาวของแป้งมันสำปะหลังมีค่าในช่วง 72.25 – 75.97 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างควบคุมซึ่งไม่ผ่านการใช้สารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีดัชนีความขาวต่ำที่สุด ดัชนีความขาวโดยเฉลี่ยของแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 4.3 ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ

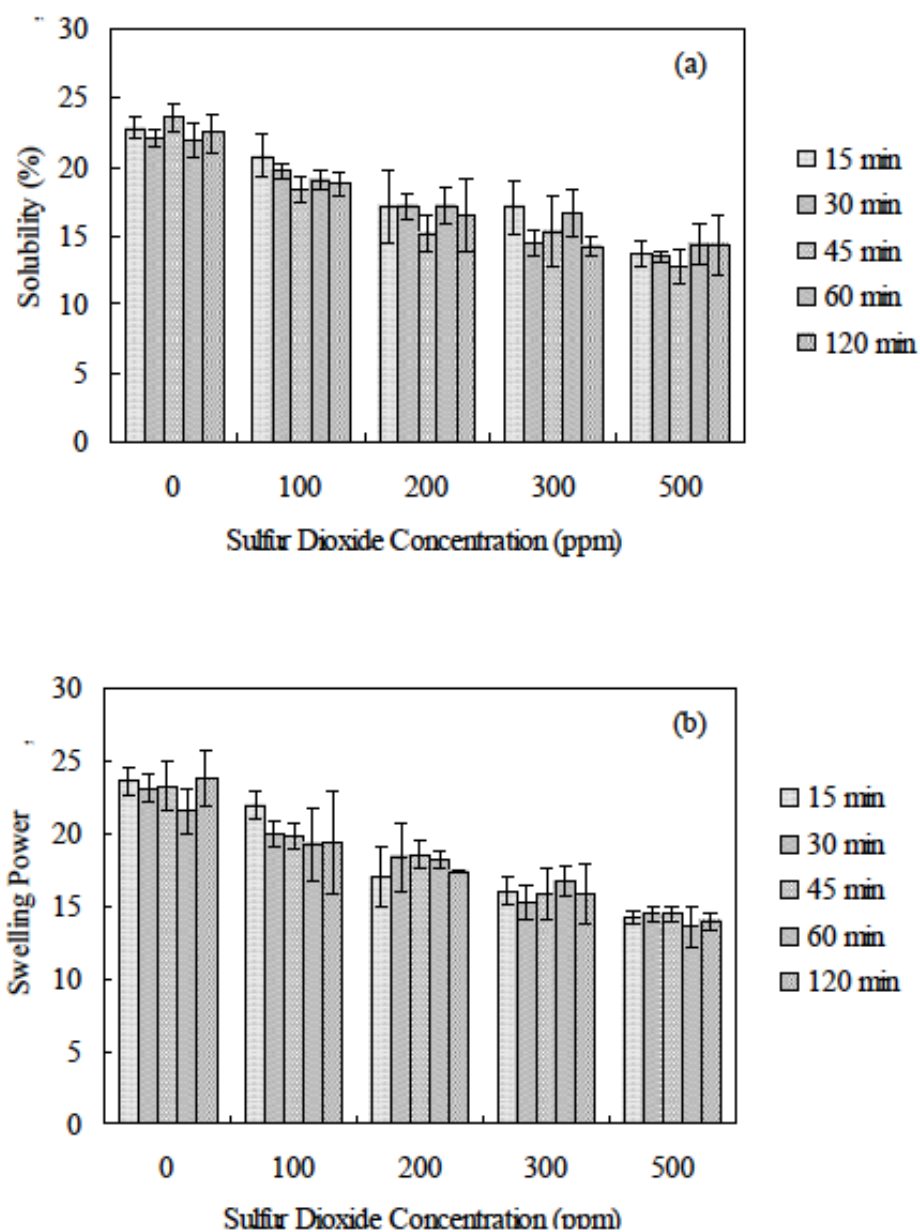
งานวิจัยของ Wanlapatit (1998) และ Sae-ove และคณะ (2004) ทั้งนี้เป็นเพราะซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำหน้าที่เหมือนสารฟอกขาว โดยทำลายพันธะทางเคมีใน chromophore หรือ pigment ที่ผิวและล้างไฟเบอร์ที่หุ้มเม็ดแป้งซึ่งกำจัดไม่หมดก่อนการสกัด (Sriroth และ Piyachomkwan, 2007; Asato, 2011) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถจับกับแอนโทไซยานินในไวน์และส่งผลให้เกิดการซีดจางของสี (Ough, 1993) อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาถึงการเกิดสารประกอบให้สี กระบวนการเกิดสี หรือเม็ดสีในแป้งมัน และการเปลี่ยนแปลงไปตามอายุของหัวมัน หรือสายพันธุ์ที่พบในประเทศไทย (Sriroth และ Piyachomkwan, 2007)

ที่ระดับความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์หนึ่ง ๆ พบว่า ค่าเฉลี่ยของความขาวของแป้งหมัดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการสัมผัสนานขึ้น (15 – 120 นาที) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ทั้งนี้เป็นเพราะปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเม็ดแป้งเกิดขึ้นเร็วมาก (ก่อน 15 นาที)

Wanlapatit (1998) รายงานค่าเฉลี่ยของความขาวของแป้งมันสำปะหลังอยู่ในช่วง 96.6 – 99.3 เมื่อใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 0-135 ppm ทั้งนี้สามารถเห็นได้ชัดเจนว่าค่าที่ได้นั้นสูงกว่าค่าที่ได้จากงานวิจัยนี้ เป็นเพราะวิธีการเตรียมการวิเคราะห์ตัวอย่างแป้งแตกต่างกันและค่าความขาวของแป้งเริ่มต้นต่างกัน Sae-evo (2004) พบว่าความขาวของแป้งหมัดที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 290 ppm แล้วล้างด้วยน้ำนั้นมีค่าในช่วง 72.41 – 83.81 แต่ค่าที่ได้จากงานวิจัยนี้น้อยกว่าค่าที่ได้จากงานวิจัยดังกล่าวเนื่องจากความแตกต่างของกระบวนการล้างแป้ง กล่าวคือ หากใช้น้ำปริมาณมากกว่าในการล้างก็จะสามารถกำจัดสิ่งเจือปนได้มากกว่า

ค่ามาตรฐานของความขาวควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 85 สำหรับแป้งมันสำปะหลังคุณภาพสูงโดยวัดจาก Whiteness Tester KETT (Thai Industrial Standards, 2521) อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ความขาวของตัวอย่างแป้งหมัดนั้นวัดโดยใช้ Hunter LAB

4.3 ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อ ความสามารถในการละลายและการพองตัวของแป้งหมาก



รูปที่ 4.3 ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อ
ความสามารถในการละลาย (a) และการพองตัว (b) ของแป้งมันสำปะหลังที่ 85 °C

ตารางที่ 4.4 ค่าความสามารถในการละลายของแป้งหมัดที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างและระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

SO ₂ Concentration (ppm)	Contact Time (min)					Average
	15	30	45	60	120	
0	22.83	22.10	23.52	22.03	22.46	22.59 ^a
100	20.82	19.67	18.34	19.01	18.70	19.31 ^b
200	17.17	17.17	15.15	17.20	16.49	16.64 ^c
300	17.09	14.43	15.28	16.65	14.18	15.53 ^d
500	13.65	13.48	12.79	14.31	14.28	13.70 ^e
Average	18.31 ^{ns}	17.37 ^{ns}	17.02 ^{ns}	17.84 ^{ns}	17.22 ^{ns}	%

ns is indicated that the average values in the same roll are not significantly different ($p \geq 0.05$, $n=4$).

Different letters in the same column indicate that average values are significantly different ($p < 0.05$, $n=4$).

ตารางที่ 4.5 ค่าความสามารถในการฟองตัวของแป้งหมัดที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างและระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ

SO ₂ Concentration (ppm)	Contact Time (min)					Average
	15	30	45	60	120	
0	23.58	23.08	23.21	21.52	23.81	23.04 ^a
100	21.94	19.92	19.74	19.29	19.35	20.05 ^b
200	16.96	18.31	18.54	18.13	17.29	17.85 ^c
300	16.01	15.24	15.88	16.71	15.81	15.93 ^d
500	14.20	14.47	14.44	13.54	13.95	14.12 ^e
Average	18.54 ^{ns}	18.20 ^{ns}	18.36 ^{ns}	17.84 ^{ns}	18.04 ^{ns}	

ns is indicated that the average values in the same roll are not significantly different ($p \geq 0.05$, $n=4$).

Different letters in the same column indicate that average values are significantly different ($p < 0.05$, $n=4$).

รูป 4.3 แสดงผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อความสามารถในการละลาย (a) และการฟองตัว (b) ของแป้งมันสำปะหลังที่ 85 °C ค่าความสามารถในการละลายและการฟองตัวของแป้งหมัดที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (0 – 500 ppm) ที่ 85 °C อยู่ในช่วง 13.7 – 22.59% และ 14.12 – 23.04 ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5 นอกจากนี้พบว่าความสามารถในการละลายและการฟองตัวที่ 85 °C ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (0 – 500 ppm)

ความสามารถในการละลายและการฟองตัวของแป้งหมัดที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เวลาสัมผัสต่าง ๆ กัน (15 – 120 นาที) ที่ 85 °C อยู่ในช่วง 17.02 – 18.31% และ 17.84 – 18.54 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5 อย่างไรก็ตามความสามารถในการฟองตัวและการละลายของแป้งหมัดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เมื่อเวลาในการสัมผัสเพิ่มขึ้น

Wanlapatit (1998) ศึกษาความสามารถในการละลายและการฟองตัวของแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (0 – 135 ppm) ที่ 85 °C พบว่าความสามารถในการละลายและการฟองตัวที่ได้แตกต่างจากงานวิจัยนี้ (ความสามารถในการละลาย 13.7 – 22.59% และ

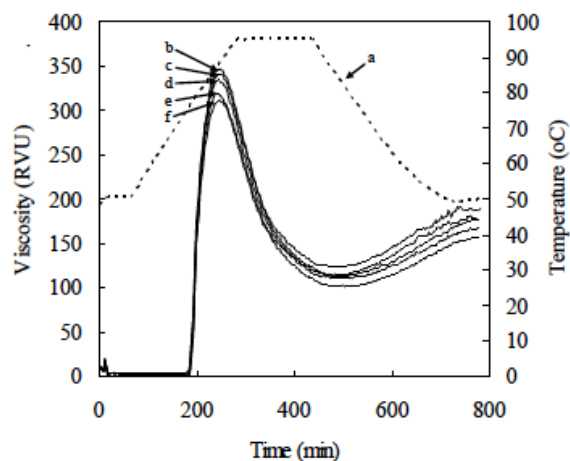
ความสามารถในการพองตัว 14.12 – 23.04) เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างและกระบวนการวิเคราะห์ต่างกัน การใช้ระยะเวลาในการกวนแป้งและความเร็วในการกวนแป้งแตกต่างกันระหว่างให้ความร้อนที่ 85 °C อาจมีผลต่อความสามารถในการละลายและการพองตัวของแป้ง ซึ่งงานวิจัยของ Wanlapatit (1998) ใช้ระยะเวลาในการกวนแป้งนานกว่างานวิจัยนี้ Sae-ove (2003) ศึกษาความสามารถในการละลายและการพองตัวที่ 85 °C ของแป้งหมัดที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 290 ppm โดยแปรปริมาณ washing starch slurry กับน้ำกลั่น พบว่าความสามารถในการละลายและการพองตัวแตกต่างจากค่าที่ได้จากงานวิจัยนี้เนื่องจากความแตกต่างของสายพอลิเมอร์สำปะหลัง อายุของหัวมัน การเตรียมตัวอย่าง วิธีการวัดค่าและปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในตัวอย่าง นอกจากนี้กระบวนการล้างยังส่งผลให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในตัวอย่างลดลงซึ่งส่งผลให้มวลโมเลกุลของ starch polysaccharide ลดลง ทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นและแป้งที่มีมวลโมเลกุลต่ำอาจไปเคลือบเม็ดแป้งทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำและการพองตัวลดลง

งานวิจัยนี้พบว่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ส่งผลต่อความสามารถในการละลายและการพองตัวโดยไม่ขึ้นกับระยะเวลาในการสัมผัส ในทางตรงข้าม ที่ระดับความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์หนึ่ง ๆ ระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเม็ดแป้งไม่ส่งผลต่อสมบัติทั้งสองของแป้ง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเม็ดแป้งเกิดขึ้นเร็วมาก (ก่อน 15 นาที) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์อาจจับกับเม็ดแป้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างหรือองค์ประกอบของแป้งก่อนที่จะล้างซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกไป การลดลงอย่างมีนัยสำคัญของความสามารถในการพองตัวของแป้งหมัดเป็นเพราะการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน amorphous region ในเม็ดแป้ง ส่งผลให้เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้จำกัดจึงพองตัวได้น้อย การลดลงของความสามารถในการละลายอาจมาจากการจัดเรียงตัวของ amylose ที่หลุดออกมาจากเม็ดแป้งขณะให้ความร้อนเกิดเจลหลังจากทำให้แป้งเย็นลงก่อนนำไปเหวี่ยงแยก

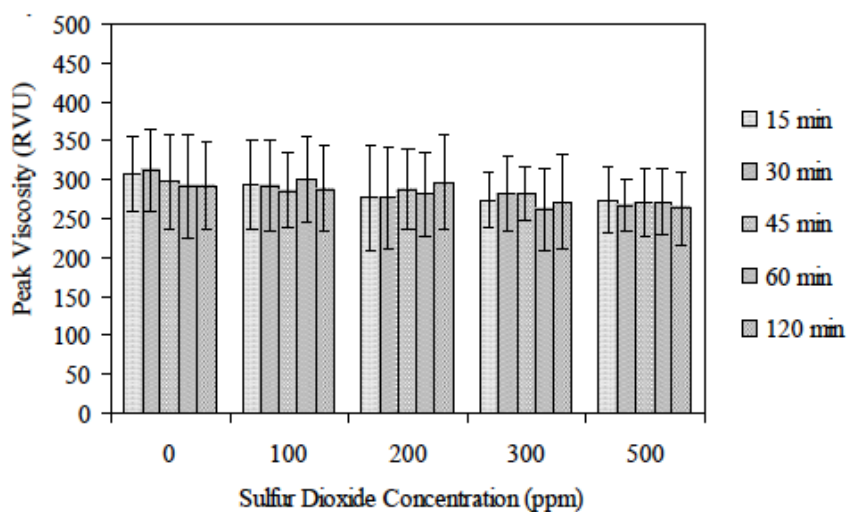
4.4 ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อ

ความหนืดของแป้งหมัด

Peak viscosity หมายถึง ความสามารถในการจับน้ำของแป้ง สมบัตินี้สัมพันธ์กับคุณภาพสุดท้ายของแป้งและมีความสำคัญทางการค้าอีกด้วย โรงงานผลิตแป้งมักต้องการแป้งที่มีคุณภาพดีที่มี peak viscosity สูง (Sriroth และ Piyachomkwan, 2007) นอกจากนี้ peak viscosity ยังแสดงถึงการสลายตัวของโมเลกุลแป้งอีกด้วย (Dias และคณะ, 2011) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาเฉพาะ peak viscosity



รูปที่ 4.4 Visco-Amylograph ของแป้งมันที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ระยะเวลาสัมผัส 15 นาที; a: temperature profile b: 100 ppm c: 200 ppm d: 300 ppm e: 400 ppm f: 500 ppm



รูปที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อความหนืดของแป้งหมาก

ตารางที่ 4.6 Peak viscosity ของตัวอย่างแป้งหมากที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นและเวลาสัมผัสต่าง ๆ

SO ₂ Concentration (ppm)	Contact Time (min)					Average
	15	30	45	60	120	
0	306	313	297	292	293	300 ^a
100	293	292	286	300	288	292 ^{ab}
200	277	277	288	280	297	284 ^{bc}
300	273	280	282	262	271	274 ^d
500	273	267	271	271	264	269 ^d
Average	284 ^{ns}	286 ^{ns}	285 ^{ns}	281 ^{ns}	282 ^{ns}	RVU

ns is indicated that the average values in the same roll are not significantly different ($p \geq 0.05$, $n=4$).

Different letters in the same column indicate that average values are significantly different ($p < 0.05$, $n=4$).

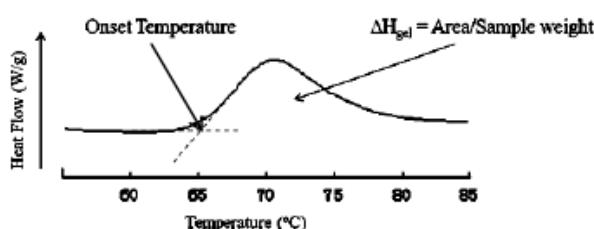
รูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.6 แสดงผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อ peak viscosity ของตัวอย่างแป้ง ค่าเฉลี่ยของ peak viscosity ของแป้งหมากที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (0 - 500 ppm) อยู่ในช่วง 269 - 300 RVU ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า peak viscosity ลดลงเมื่อความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นในช่วง 0 - 500 ppm ($p < 0.05$) ดังแสดงในตัวอย่าง Visco-amylograph ในรูปที่ 4.4 นอกจากนี้ peak viscosity ของตัวอย่างแป้งหมากนั้นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เมื่อเวลาในการสัมผัส (15 - 120 นาที) เพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ส่งผลต่อ peak viscosity ของแป้งในขณะที่ยะเวลากการสัมผัสไม่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sajeev และคณะ (2002) ซึ่งศึกษาผลของการเติมสารเคมี ได้แก่ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ต่อสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง พบว่า peak viscosity อยู่ในช่วง 1969 - 2613 mPas หรือประมาณ 164 - 218 RVU นอกจากนี้ยังพบว่า peak viscosity ของแป้งค้อย ๆ ลดลงเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เพิ่มขึ้น (0 - 1,000 ppm ซัลเฟอร์ไดออกไซด์) ความแตกต่างของ peak viscosity ในงานวิจัยดังกล่าวกับงานวิจัยนี้เป็นเพราะความแตกต่างของสายพันธุ์และสภาวะแวดล้อมในการปลูกมันสำปะหลัง นอกจากนั้น Wanlapatit (1998) แสดงให้เห็นว่า peak viscosity ลดลงเมื่อความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้น (0 - 135 ppm) peak viscosity ของงานวิจัยนี้ (269 - 300 RVU) ต่างจากที่รายงานในงานวิจัยของ Wanlapatit (374 - 436 RVU) ซึ่งอาจเป็นเพราะความแตกต่างของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และขั้นตอนการเตรียมแป้ง peak viscosity ของแป้งมันมีค่าอยู่ในช่วงที่กว้าง (256 - 512 RVU) ซึ่งขึ้นกับ mechanical shear stress รวมทั้งโปรแกรมการวัดค่า สายพันธุ์ของมันสำปะหลัง การใช้สารเคมีปริมาณ amylose - amylopectin การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเข้มข้นของ starch suspension (Siroth และ Piyachomkwan, 2007; Singh และคณะ, 2003; Nural และคณะ, 1999)

จากผลการทดลองที่ได้นั้นเป็นไปได้ว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำลายพันธะ glycosidic linkage บางส่วนของโมเลกุล amylose ในส่วน amorphous region (Richardson และ Gorton, 2003) การที่โครงสร้างบางส่วนถูกทำลายนั้นทำให้ไม่สามารถทนต่อแรงเฉือนและไม่สามารถรักษาความสมบูรณ์

ของเม็ดแป้งไว้ได้จึงทำให้ความหนืดลดลง (Morton และ Solarek, 1984) ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งนั้นสัมพันธ์กับ pasting behavior ผลการทดลองในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการลดลงของความหนืดสัมพันธ์กับผลเรื่องการพองตัวของเม็ดแป้งขนาดที่ 85 °C กล่าวคือ การพองตัวลดลงเมื่อความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.3a ทั้งนี้เป็นเพราะระหว่าง การให้ความร้อนในน้ำเม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้ amylose หลุดออกมา เม็ดแป้งที่พองตัวทำให้ความหนืดใน Rapid Visco Analyser (RVA) เพิ่มขึ้น (Ham และ Hamaker, 2001) ความสูงของพีคที่ความเข้มข้นแป้งหนึ่ง ๆ นั้นแสดงถึงความสามารถของเม็ดแป้งในการพองตัวได้อย่างอิสระก่อนที่จะเกิดการเสียหายทางกายภาพ (Singh และคณะ, 2003)

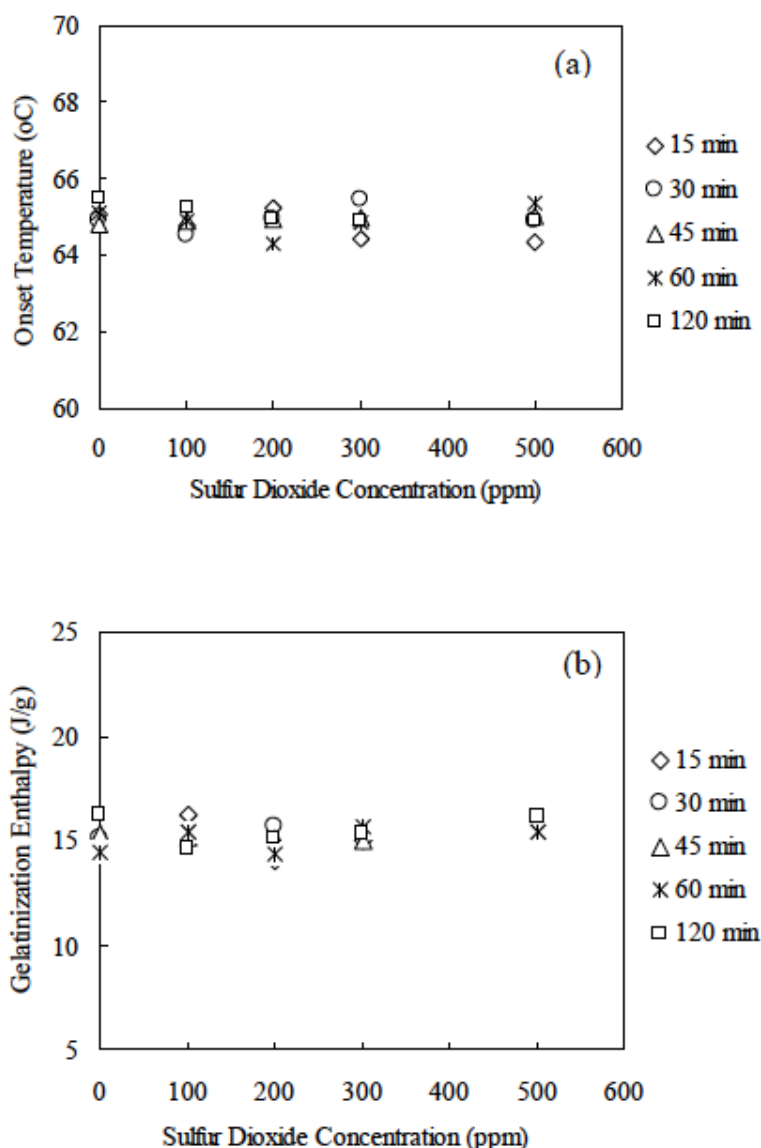
4.5 ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อ

สมบัติทางความร้อนของแป้งขนาด



รูปที่ 4.6 Typical DSC thermogram ของแป้งมันสำปะหลังขนาดที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นและเวลาสัมผัสต่าง ๆ

รูปที่ 4.6 แสดง Typical DSC thermogram ของแป้งมันสำปะหลัง ในการศึกษา granule integrity นั้นต้องทำการวัดค่า gelatinization onset temperature (T_0) และ enthalpy ของ gelatinization (ΔH_{gel}) เนื่องจาก T_0 แสดงถึงอุณหภูมิที่โครงสร้าง amylopectin ใน crystalline region เริ่มละลาย ส่วน ΔH_{gel} เกี่ยวข้องกับการวัดปริมาณ amylopectin และความสมบูรณ์ของการจัดเรียง amylopectin (Sriroth และ Piyachomkwan, 2007)



รูปที่ 4.7 ผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อสมบัติทางความร้อนของแป้งหมาก; a: gelatinization onset temperature b: enthalpy ของ gelatinization ทำการทดลองหนึ่งซ้ำ (n = 1)

รูป 4.7a และ 4.7b แสดงถึงผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อ T_o และ ΔH_{gel} ของแป้งหมากตามลำดับ T_o และ ΔH_{gel} ของแป้งที่ผ่านการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ (0 – 500 ppm) และเวลาสัมผัสต่าง ๆ (15 – 120 นาที) ไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งค่า T_o และ ΔH_{gel} เกือบจะเท่ากันสำหรับทุกความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และทุกเวลาสัมผัสที่ใช้ในการทดลอง โดย T_o มีค่า 64.28 – 65.49 °C และ ΔH_{gel} มีค่า 14.03 – 16.26 J/g ทั้งนี้ ค่า T_o และ ΔH_{gel} นั้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sajeew และคณะ (2003) และ Wanlapatit (1998) Sajeew และคณะ (2003) ศึกษาการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ระหว่างการศึกษาศสมบัติทางความร้อนของแป้งมันสำปะหลังพบว่าความเข้มข้นของโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ (0

– 1000 ppm) ไม่มีผลต่อ T_o (66 – 67 °C) และ ΔH_{gel} (15.3 – 15.6 J/g) ของแป้งมันสำปะหลัง Wanlapatit (1998) รายงานว่า T_o และ ΔH_{gel} มีค่าในช่วง 62.8 – 63.8 °C และ 15.2 – 16.2 J/g ตามลำดับ

ในงานวิจัยนี้ ทั้ง T_o และ ΔH_{gel} นั้นไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (0 – 500 ppm) และเวลาในการสัมผัส (15 – 120 นาที) ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า amylose อาจทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งเป็น oxidizing agent เฉพาะใน amorphous region ส่วน amylopectin ใน crystalline region ไม่ถูกทำลาย (Schmorak และ Lewin, 1963; Kuakpetoon และ Wang, 2001)

บทที่ 5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และระยะเวลาในการสัมผัสที่มีต่อสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง การทดลองทำโดยนำแป้งมันสำปะหลังมาผสมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ (0 100 200 300 และ 500 ppm) และระยะเวลาสัมผัสต่าง ๆ (15 30 45 60 และ 120 นาที) แป้งมันสำปะหลังที่ผสมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะต้องนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นจนกว่าจะไม่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ความขาว ความสามารถในการพองตัวและการละลาย ความหนืด และสมบัติทางความร้อน ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าการเปลี่ยนแปลงของสมบัติของแป้งนั้นไม่ได้เป็นผลมาจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในผลิตภัณฑ์สุดท้าย

ความขาวของแป้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นในช่วง 0 – 500 ppm ($p < 0.05$) โดยไม่ขึ้นกับเวลาในการสัมผัส (15 – 120 นาที) ดังนั้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถปรับปรุงความขาวของแป้งได้โดยทำหน้าที่เป็นเหมือนสารฟอกขาว

ความสามารถในการพองตัวและการละลายที่ 85 °C ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในช่วง 0 – 500 ppm ($p < 0.05$) โดยไม่ขึ้นกับเวลาในการสัมผัส peak viscosity ของแป้งลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในช่วง 0 – 500 ppm ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม ที่เวลาสัมผัสต่าง ๆ กันนั้น (15 – 120 นาที) พบว่าผลการทดลองแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ในทางตรงข้าม ค่า T_0 และ ΔH_{gel} ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่าง ๆ และเวลาสัมผัสต่าง ๆ

ในสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (0 – 500 ppm) มีค่า pH ในช่วง 5.17 – 5.47 เมื่อโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ละลายน้ำแล้วผลิตโปรตอน (H^+) ไบซัลไฟต์และซัลไฟต์ไอออน ซึ่งทุกฟอร์มนี้สามารถทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้ง อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มีสมมุติฐานว่าไม่มีผลกระทบของความเป็นกรดหรือโปรตอนต่อคุณภาพของแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากความเป็นกรดหรือโปรตอนอาจมีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่และ gelatinization ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปของไบซัลไฟต์ หรือซัลไฟต์อาจทำลายพันธะคู่ใน pigment ที่ผิว และทำให้ไฟเบอร์ที่ปกคลุมเม็ดแป้งอยู่นั้นหลุดออกไป ส่งผลให้ความขาวของแป้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังสามารถทำลายพันธะ glycosidic linkage ของโมเลกุล amylose ในส่วน amorphous region อีกด้วย ส่งผลให้ความสามารถในการละลายและพองตัว และสมบัติด้านpasting ลดลง อย่างไรก็ตาม ซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นจะไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุล amylose หรือ amylopectin ในส่วน crystalline region ส่งผลให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของgelatinization thermal properties

5.1 ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองนี้ทำในระดับห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ตามควรมีการปรับปรุงเพื่อนำไปใช้กับการเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างการสกัดในอุตสาหกรรมจริง
2. การควบคุมความเข้มข้นของน้ำซัลเฟอร์ที่เตรียมในโรงงานนั้นทำได้ยาก ดังนั้นจึงควรทำการควบคุมน้ำหนักหัวมันเริ่มต้นเพื่อจะควบคุมความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในกระบวนการสกัดและเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแป้งมันที่ได้
3. ควรทำการวัดค่าสมบัติทางความร้อนอย่างน้อย 2 ชั่วโมง

เอกสารอ้างอิง

Balagopalan, C., Padmaja, G., Nanda, S.K., and Moorthy, S.N., 1998, **Cassava in Food, Feed and Industry**, CRC press, Florida, 205p.

Cassava and Starch Technology Research Unit (CSTRU), 2000, "The Measurement of Sulfur Dioxide in Starch by Iodometric Titration Method", In **Academic Seminar of Project Promotion and Dissemination of Quality Control in Production of Tapioca Starch on 29-30 June 2000**, Kasetsart University.

Fennema, O.R., Damodaran, S., and Perkin, K.L., 2008, In **Food Chemistry 4th ed.**, Taylor and Francis Group, New York, 1144p.

Glicksman, M., 1969, "Starches", In **Gum Technology in the Food Industry**, M. Glicksman (Ed.), New York, Academic press, 278p.

Henderson, P. and Winemaker, S., 2008, **Sulfur Dioxide: Science behind this Antimicrobial, Antioxidant, Wine Additive**, Kenwood Vineyards, Kenwood, CA, 6p.

Jones, C.R., 1940, "The production of mechanically damaged starch in milling as a governing factor in the diastatic activity of flour", **Cereal chemistry**, Vol. 17, No. 2, pp. 74-90.

Kerr, W.L., Ward, C.D.W., McWatters, K.H. and Resurreccion, A.V.A., 2000, "Effect of milling and particle size on functionality and physicochemical properties of cowpea flour", **Cereal chemistry**, vol 77, No 2, pp. 213-219.

Ough, C.S., 1993, "Sulfur Dioxide and Sulfites", In **Antimicrobials in Foods, 2nd ed.**, Davidson, P.M. and Larry, A.(Eds), Marcel Dekker, New York, pp.137-190.

Richardson, S. and Gorton, L., 2003, "Characterisation of the Substituent Distribution in Starch and Cellulose Derivatives", **Analytical Chemical Acta**, Vol. 497, pp.27-65.

Sae-Evo, S., 2004, Effect of Sulfur Dioxide Residue on Physicochemical Properties of Cassava Starch, Master of Engineering Thesis, Food Engineering Program, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 96 p.

Sajeev, M.S., Moorthy, S.N., Kailappan, R., and Rani, V.S., 2003, "Gelatinization

Characteristics of Cassava Starch Settled in the Presence of Different Chemicals", **Starch/Stärke**, Vol. 55, pp.213-221.

Sandhu, K.S., Kaur, M., Singh, N. and Lim, S.T., 2008, "A Comparison of Native and Oxidized Normal and Waxy Corn Starches: Physicochemical, Thermal, Morphological and Pasting Properties", **LWT-Food Science and Technology**, Vol. 41, pp.1000-1010.

Singh, J., Kaur, L. and McCarthy, O.J., 2007, "Factors Influencing the Physico-Chemical, Morphological, Thermal and Rheological Properties of Some Chemically Modified Starches for Food Applications. A Review", **Food Hydrocolloids**, Vol. 21, pp.1-22.

Sriroth, K. and Piyachomkwan, K., 2007, **Starch Technology**, 4nd ed., Kasetsart University Press, Bangkok, p. 292.

Sriroth, K., Wanlapatit, S., Piyachomkwan, K. and Oates, C.G., 1998, "Improved Cassava Starch Granule Stability in the Sulphur Dioxide", **Starch/Stärke**, Vol. 50, No. 11-12, pp.466-473.

Thai Tapioca Development Institute, 2010, Statistics (online), Available: <http://www.tapiocathai.org>. (2011, December 1).

Wanlapatit, S. 1998. **Studies on Improvement of Plant Efficiency and Quality Control in Cassava Starch Manufacturing by Controlling of Sulphur Dioxide Treatment**. Master of Science Thesis, Bio Technology Program. Faculty of Science. Kasetsart University. 183 p.

Whistler, R.L. and Danial, J.R., 1984, "Molecular Structure of Starch" In **Starch: Chemistry and Technology**, Whistler, R.L., Bemiller, J.N. and Paschall, E.F. (eds.), pp.153-183