บทที่ 6
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาแนวโน้มคุณภาพของน้ำแป้งสุกที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ ที่ได้จากการทดลองที่สภาวะต่างๆ เช่น อุณหภูมิ, เวลา และปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อย พบว่า

6.1 อุณหภูมิในการย่อยแป้งที่เหมาะสม

จากการทำการทดลองย่อยแป้งที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 70, 80, 90 องศาเซลเซียส โดยใช้ปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยคงที่ คือ 9.6 ไมโครลิตรต่อ 1 กรัมแป้ง พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการย่อยแป้งแนวโน้มของค่าความหนืดจะสูงขึ้น หรือ มีความหนืดมากขึ้น การทดลองย่อยแป้งด้วยเวลา 10,20 และ 30 นาทีให้แนวโน้มเช่นเดียวกัน โดยค่าความหนืดที่ได้จากการย่อยที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสนั้น มีค่าอยู่ใช่ช่วง 25-30 cps และเมื่อนำน้ำแป้งที่ได้จากการย่อยที่สภาวะต่างๆมาทำการเคลือบผิวพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการย่อยสูงขึ้นค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษจะสูงขึ้น โดยการย่อยแป้งด้วยอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เกิดความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษสูงที่สุด คือ ประมาณ 90-100 เมตร/นาที เนื่องมาจากอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์เท่ากับ 70 และ 80 องศาเซลเซียส การตัดพันธะของแป้งจึงเกิดได้น้อยกว่า พันธะไม่ถูกตัดมากเกินไปจนหมดความแข็งแรง ซึ่งเมื่อเทียบการเทียบความแข็งแรงของผิวหน้ากับกระดาษที่ไม่ผ่านเคลือบผิวพบว่าการเคลือบผิวหน้ากระดาษด้วยน้ำแป้งที่มีความหนืดประมาณ 25- 30 cps นั้น จะทำให้เกิดความแข็งแรงมากขึ้นถึง 3 เท่า (ค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว ประมาณ 30 เมตร/วินาที)

6.2 เวลาในการย่อยแป้งที่เหมาะสม

จากการทำการทดลองย่อยแป้งที่เวลาต่างๆ คือ 10, 20, 30 นาที โดยใช้ปริมาณเอนไซม์คงที่ คือ 9.65 ไมโครลิตรต่อ 1 กรัมแป้ง และอุณหภูมิในการย่อยคงที่ คือที่ 90 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อใช้เวลาในการย่อยมากขึ้น ค่าความหนืดจะลงลด และเมื่อนำน้ำแป้งจากการย่อยที่เวลาต่างๆ ไปทำการวัดค่าความแข็งแรงที่ผิวหน้า พบว่า ที่การย่อยโดยใช้เวลา 20 นาที ให้ค่าความแข็งแรงที่ผิวหน้ามากที่สุด คือประมาณ 100 เมตร/นาที และนอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้เวลาในการย่อยเพิ่มขึ้นเป็น 30 นาที ความความแข็งแรงของผิวหน้าจะลดลงเป็นผลเนื่องมาจากพันธะของแป้งมีขนาดสั้นลงมีผลทำให้ลดความแข็งแรงลง

6.3 ปริมาณเอนไซม์ในการย่อยแป้งที่เหมาะสม

ปริมาณของเอนไซม์ที่ทำการศึกษา คือ 3.2, 9.6 และ 16 ไมโครลิตรต่อ 1 กรัมแป้ง ใช้อุณหภูมิในการย่อยที่ 90 °C เวลาในการย่อย 20 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์ในการย่อย แนวโน้มค่าความหนืดจะลดลง เนื่องมาจากการย่อยสูง ตัดพันธะของแป้งให้สั้นลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อทำการทดสอบค่าความแข็งแรงของผิวหน้าพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์ในการย่อย ความแข็งแรงของผิวหน้าจะสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่งแล้วจะลดลง โดยปริมาณเอนไซม์ที่ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของผิวหน้าสูงที่สุด คือ 3 มิลลิลิตร (0.1%) หรือ 9.6 ไมโครลิตรต่อ 1 กรัมแป้ง ส่งผลให้กระดาษมีค่าความแข็งแรงของผิวหน้าอยู่ที่ประมาณ 100 เมตร/นาที

6.4 ศึกษาลักษณะของน้ำแป้งสุกด้วยกล้องจุลทรรศน์

จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างของแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และใช้เอนไซม์ในการย่อย 9.6 ไมโครลิตรต่อ 1 กรัมแป้ง ที่เวลาต่างๆ พบว่า ที่เวลา 10 นาที น้ำแป้งยังถูกย่อยไม่สมบูรณ์ โดยจะสมารถเห็นอนุภาคของแป้งอยู่อย่างเห็นได้ชัด และที่เวลา 20 และ 30 นาที จะพบว่าแป้งถูกย่อยกลายเป็นน้ำแป้งสุกอย่างสมบูรณ์ ไม่เหลืออนุภาคของแป้ง การศึกษาโครงสร้างภายในของน้ำแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์จะทำให้ทราบว่าแป้งถูกย่อยกลายเป็นน้ำแป้งอย่างสมบูรณ์หรือไม่ ซึ่งถ้าการย่อยของแป้งไม่สมบูรณ์หลงเหลืออนุภาคของแป้งให้เห็นนั้นจะทำให้เกิดการคืนตัวของแป้งแป้งจะมีลักษณะเป็นเจลวุ้น ส่งผลให้ไม่สามารถนำน้ำแป้งไปฉาบที่ผิวหน้ากระดาษได้

6.5 ศึกษาผิวหน้ากระดาษด้วยการถ่ายภาพ SEM

จากการศึกษาผิวหน้ากระดาษด้วยการถ่ายภาพ SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่า ผิวหน้ากระดาษที่ไม่ผ่านการฉาบผิวด้วยน้ำแป้งนั้นจะเห็นลักษณะส้นใยอย่างชัดเจน เมื่อนำไปทดสอบความแข็งแรงด้วย IGT กระดาษจะมีค่าความแข็งแรงอยู่เพียง 30 เมตร/นาที และเมื่อนำกระดาษที่ผ่านการฉาบด้วยน้ำแป้งที่ย่อยด้วยสภาวะที่ดีที่สุดคือ ใช้อุณหภูมิในการย่อย 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ด้วยปริมาณเอนไซม์ 9.6 ไมโครลิตรต่อ 1 กรัมแป้ง พบว่าผิวหน้ากระดาษนั้นจะถูกปกคลุมด้วยน้ำแป้งอย่างสม่ำเสมอเห็นลักษณะของเส้นใยไม่ชัดเจน ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 100 เมตร/นาที ในขณะที่ถ้าทำการเคลือบด้วยน้ำแป้งที่ถูกย่อยมากเกินไปน้ำแป้งจะซึมเข้าไปข้างในชั้นเยื่อ ทำให้ความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษต่ำกว่าการเคลือบด้วยน้ำแป้งที่มีการย่อยที่เหมาะสม แต่อย่างไรก็ดีการถ่ายภาพผิวหน้ากระดาษด้วย SEM นั้นไม่สามารถเพิ่มกำลังขยายได้มากกว่านี้เนื่องจากในชั้นของเยื่อยังมีความชื้นอยู่ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ลำแสงของอิเล็กตรอนที่ส่องเข้ามาจะทำให้เยื่อแยกออกจากกัน

6.6 ศึกษาการหาปริมาณน้ำตาลริดิวซ์ในน้ำแป้งต้มสุกที่ได้จากสภาวะต่างๆด้วยวิธี DNS

จากการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำแป้งที่ผ่านการย่อยจากสภาวะต่างๆ และทำการเทียบกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำแป้งที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันทั้งที่ทำให้เกิดปัญหาถอนผิว และ ไม่ทำให้เกิดปัญหาถอนผิว ด้วยวิธี DNS นั้น พบว่า ในน้ำแป้งที่ใช้อยู่ในปัจจุบันโดยไม่ส่งให้เกิดปัญหาการถอนผิว และสภาวะย่อยแป้งที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ ไม่พบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เกิดขึ้น และเมื่อนำน้ำแป้งที่ส่งผลให้เกิดปัญหาถอนผิวมาทำการทดสอบจะพบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ประมาณ 1.7 เปอร์เซ็นต์ และเนื่องจากในทางปฏิบัติในการเตรียมแป้งเพื่อใช้งานจริงนั้น ไม่ได้ใช้ตลอดเวลา การเตรียมแป้ง 1 ครั้งจะเก็บไว้ใช้ได้นานถึง 8 ชั่วโมง จึงได้ทำการศึกษาต่อ โดยใช้เวลาในการย่อยแป้งให้นานขึ้นเป็น 2, 4, 6, 8 ชั่วโมงแล้ววิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้น พบว่า เมื่อเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้นจะพบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากขึ้น และที่เวลาในการย่อย 8 ชั่วโมง ค่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่วิเคราะห์ได้ยังไม่สูงเท่ากับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากน้ำแป้งที่ส่งผลให้เกิดปัญหาการถอนผิว

6.7 สรุปผลการศึกษาการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์เพื่อใช้ในการฉาบผิวกระดาษ

ตารางที่ 10 แสดงผลการทดลองทั้งหมดที่ทำการศึกษา โดยแต่ละสภาวะจะทำการทดลอง 3 ครั้ง แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์ผล ผลการทดลองที่ได้ บ่งชี้ว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการย่อยแป้งเพื่อใช้ในการฉาบผิวกระดาษเพื่อเพิ่มความแข็งแรงนั้น จะต้องใช้เอนไซม์ในการย่อย 3 มิลลิลิตร (9.6ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมแป้ง) ย่อยที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที ซึ่งจะทำให้ผิวหน้ากระดาษมีความแข็งแรงมากที่สุดและสภาวะดังกล่าวไม่พบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เกิดขึ้น

ตารางที่ 10 ผลสรุปการศึกษาการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์เพื่อใช้ในการฉาบผิวกระดาษ

สภาวะที่	ปริมาณเอนไซม์ (มิลลิลิตร)	เวลาในการต้ม (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าความหนืด (cps)	ค่าความแข็งแรง Dry pick (m/s)	% น้ำตาลรีดิวซ์
1	1	10	70	60.1	79.17	N/A
2	1	10	80	55.3	82.05	N/A
3	1	10	90	44.7	83.28	0
4	1	20	70	45.7	79.17	N/A
5	1	20	80	44.3	89.52	N/A
6	1	20	90	39.4	93.24	N/A
7	1	30	70	37.6	68.82	N/A
8	1	30	80	38.4	81.65	N/A
9	1	30	90	37.1	94.07	N/A

สภาวะที่	ปริมาณเอนไซม์ (มิลลิลิตร)	เวลาในการต้ม (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าความหนืด (cps)	ค่าความแข็งแรง Dry pick (m/s)	% น้ำตาลรีดิวซ์
10	3	10	70	25.5	77.1	N/A
11	3	10	80	24.8	85.38	N/A
12	3	10	90	30.8	94.07	N/A
13	3	20	70	18.3	77.1	N/A
14	3	20	80	21.7	87.28	N/A
15	3	20	90	27.4	105.25	0
16	3	30	70	16.3	76.68	N/A
17	3	30	80	21.3	87.03	N/A
18	3	30	90	27.1	101.72	N/A
19	5	10	70	17.7	94.33	N/A
20	5	10	80	20.4	89.52	N/A
21	5	10	90	20.5	101.94	N/A
22	5	20	70	16	88.69	N/A
23	5	20	80	17.3	93.24	N/A
24	5	20	90	19.2	108.15	N/A
25	5	30	70	15.4	90.76	N/A
26	5	30	80	16	98.63	N/A
27	5	30	90	18	103	0
28	5	120	90	16	79.54	0.15
29	5	240	90	15	77.89	0.77
30	5	360	90	14	74.11	1.20
31	5	480	90	13	73.56	1.50
Blank	-	-	-	-	31.7	0
น้ำแป้งที่ใช้ในปัจจุบัน	-	-	-	23	83.7	0
น้ำแป้งที่เกิดปัญหา	-	-	-	12	71.2	1.7

หมายเหตุ: N/A หมายถึง ไม่ได้ทำการทดสอบ

6.8 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทั้งหมดเป็นเพียงการทดลองที่ใช้ เอนไซม์ ที่ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิปานกลาง คือประมาณ 70-90 องศาเซลเซียส ในการศึกษาครั้งต่อไปจึงควรเลือกศึกษาการย่อยแป้งโดยใช้เอนไซม์กลุ่มที่ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิอื่นเพิ่มเติม หรืออาจจะทำการสร้างสมการการย่อยแป้งโดยใช้เอนไซม์ในแต่ละกลุ่ม เพื่อสะดวกต่อการเปลี่ยนชนิดของเอนไซม์ในการใช้งาน