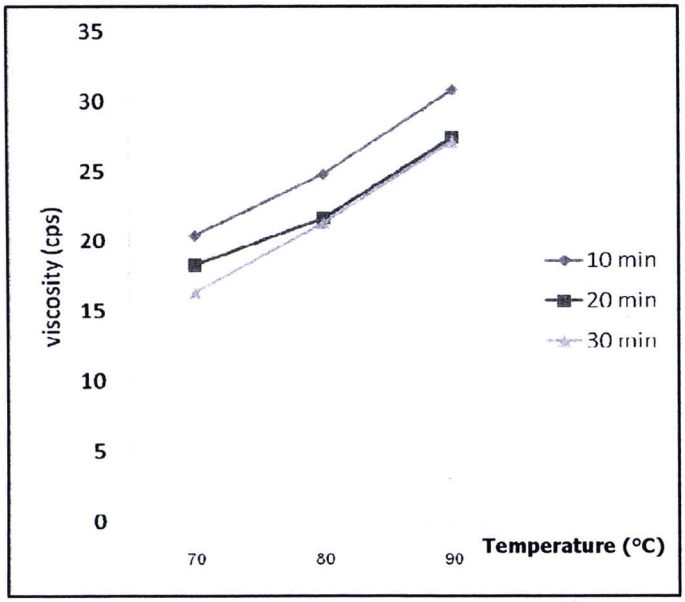
บทที่ 5
ผลการทดลอง

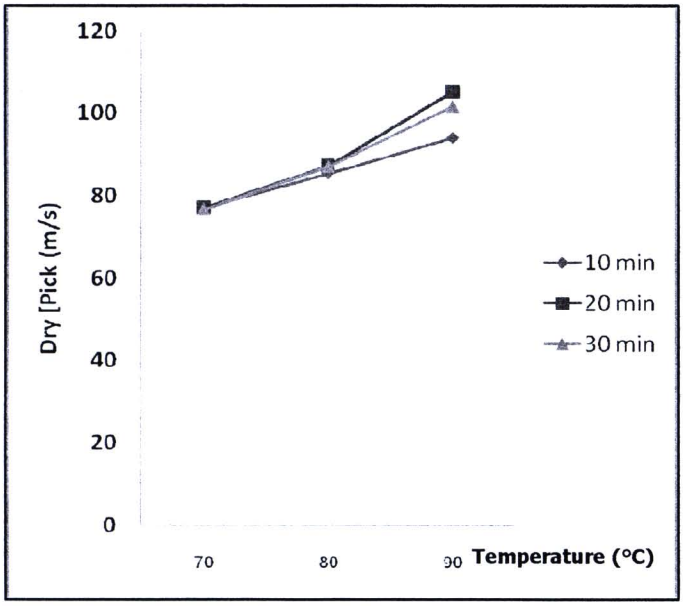
จากการศึกษาการย่อยแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้น 7% (w/w) ที่สภาวะในการย่อยต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ความแข็งแรงที่ผิวหน้ากระดาษสูงที่สุด ได้ผลการทดลองดังนี้

5.1 อุณหภูมิในการย่อยแป้งที่เหมาะสม

อุณหภูมิที่ทำการศึกษา คือ 70,80 และ 90°C ใช้แป้งในการทดลอง 31.1 กรัม โดยใช้เอนไซม์ในการย่อย 3 มิลลิลิตร (activity ของเอนไซม์ประมาณ 240 NAU/g) เวลาในการย่อย 10,20 และ 30 นาที แนวโน้มของค่าความหนืดพบว่าที่ อุณหภูมิในการย่อย 70°C ค่าความหนืดจะอยู่ในช่วง 15-20 cps และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการย่อยให้สูงขึ้นเป็น 80 °C ค่าความหนืดจะสูงขึ้นอยู่ในช่วง 20-25 cps และที่อุณหภูมิในการย่อย 90°C ค่าความหนืดจะอยู่ในช่วง 25-30 cps แนวโน้มค่าความหนืด แสดงดังรูปที่ 26 และเมื่อนำน้ำแป้งสุกที่ได้จากการทดลองที่สภาวะต่างๆ ไปทำการทดสอบค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษด้วยเครื่อง IGT ตามสภาวะข้างต้นพบว่า ที่อุณหภูมิในการย่อย 70°C ค่าความแข็งแรงที่ผิวหน้ากระดาษมีค่าประมาณ 77 m/s และที่อุณหภูมิในการย่อย 80°C ค่าความแข็งแรงที่ผิวหน้ากระดาษมีค่าประมาณ 85 m/s ส่วนที่อุณหภูมิในการย่อย 90°C มีแนวโน้มให้ค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษสูงที่สุด โดยมีค่าอยู่ที่ ประมาณ 90-100 m/s แนวโน้มของค่าความแข็งแรง ดังแสดงในรูปที่ 27



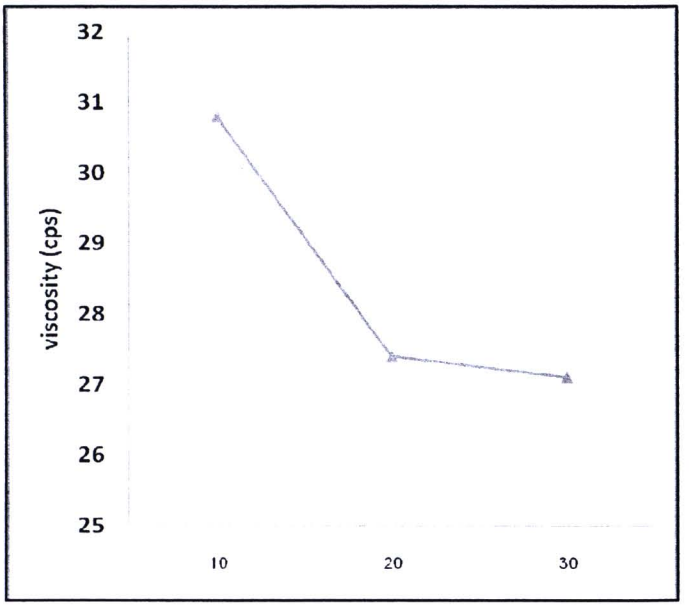
รูปที่ 26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืด และอุณหภูมิในการย่อยที่อุณหภูมิ 70,80 และ 90 °C ที่เวลา 10,20 และ 30นาที



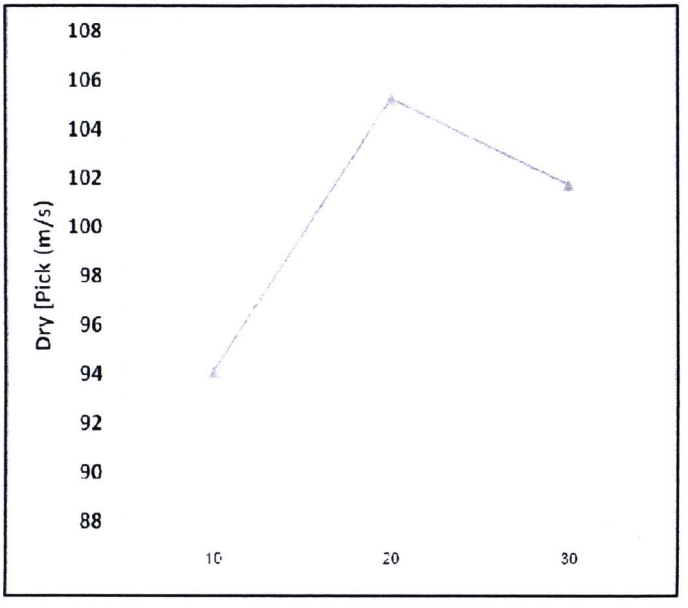
รูปที่ 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ และอุณหภูมิในการย่อยที่อุณหภูมิ 70,80 และ 90 °C ที่เวลา 10,20 และ 30นาที

5.2 เวลาในการย่อยแป้งที่เหมาะสม

เวลาที่ทำการศึกษา คือ 10,20 และ 30 นาที ใช้แป้งในการทดลอง 31.1 กรัม โดยใช้เอนไซม์ในการย่อย 3 มิลลิลิตร(activity ของเอนไซม์ประมาณ 240 NAU/g) ใช้อุณหภูมิในการย่อยที่ 90 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ส่งผลให้เกิดความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษมากที่สุด แนวโน้มของค่าความหนืดพบว่าที่ 10 นาที ค่าความหนืดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.8 cps, 20 นาที มีค่าความหนืดเฉลี่ยอยู่ที่ 27.4 cps และที่ 30 นาที มีค่าความหนืดเฉลี่ยอยู่ที่ 27.1 cps แนวโน้มของค่าความหนืดดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 28 และเมื่อทำการทดสอบค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษตามสภาวะข้างต้นพบว่า ที่เวลาในการย่อย 10 นาที ค่าความแข็งแรงที่ผิวหน้ากระดาษ 94 m/s, ที่เวลาในการย่อย 20 นาที มีค่าความแข็งแรงที่ผิวหน้ากระดาษประมาณ 104 m/s และที่เวลาในการย่อย 30 นาที มีค่าความแข็งแรงที่ผิวหน้ากระดาษ ประมาณ 101 m/s แนวโน้มของค่าความแข็งแรง ดังแสดงในรูปที่ 29



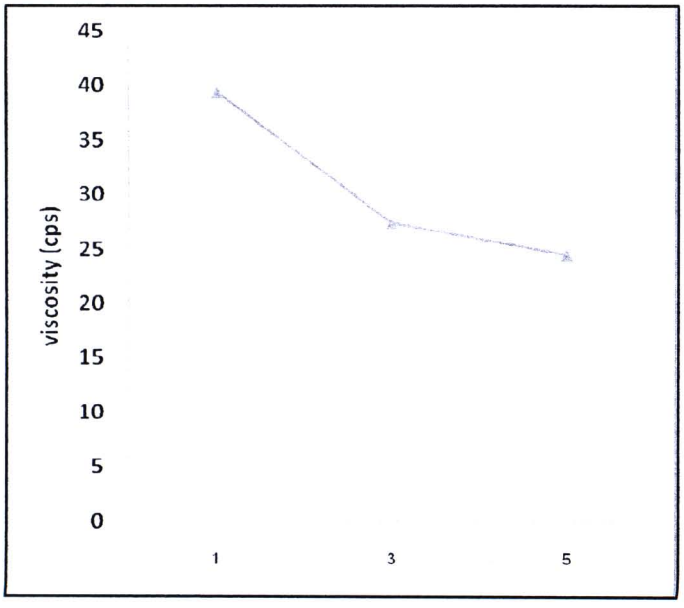
รูปที่ 28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืด และอุณหภูมิในการย่อยที่อุณหภูมิ 90 °C ที่เวลา 10,20 และ 30นาที



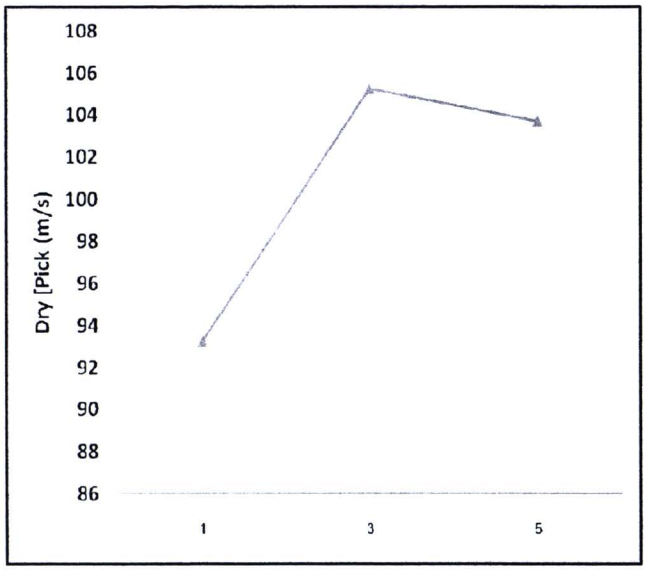
รูปที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ และอุณหภูมิในการย่อยที่อุณหภูมิ 90 °C ที่เวลา 10,20 และ 30นาที

5.3 ปริมาณเอนไซม์ในการย่อยแป้งที่เหมาะสม

เอนไซม์ที่ทำการศึกษา เตรียมโดยการเจือจางเอนไซม์เป็น 0.1% (v/v) และใช้ทดลองในปริมาณ 3.2, 9.6, 16 ไมโครลิตรต่อ 1 กรัมแป้ง ซึ่งในการทำการวิจัยครั้งนี้ศึกษาแป้งในปริมาณ 31.1 กรัม จึงใช้เอนไซม์อยู่ที่ 1,3,5 มิลลิลิตร ใช้อุณหภูมิในการย่อยที่ 90 °C เวลาในการย่อย 20 นาที แนวโน้มของค่าความหนืดพบว่าที่ การใช้เอนไซม์ 1 มิลลิลิตร ค่าความหนืดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 40 cps, 3 มิลลิลิตร มีค่าความหนืดเฉลี่ยอยู่ที่ 27.4 cps และที่ 5 มิลลิลิตร มีค่าความหนืดเฉลี่ยอยู่ที่ 24.5 cps ดังแสดงในรูปที่ 30 และเมื่อทำการทดสอบค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษตามสภาวะข้างต้นพบว่า การใช้เอนไซม์ในการย่อย 1 มิลลิลิตร ค่าความแข็งแรงที่ผิวหน้ากระดาษ 94 m/s, ที่ปริมาณเอนไซม์ 3 มิลลิลิตร มีค่าความแข็งแรงที่ผิวหน้ากระดาษ ประมาณ 105 m/s และที่ปริมาณเอนไซม์ 5 มิลลิลิตร มีค่าความแข็งแรงที่ผิวหน้ากระดาษ ประมาณ 103 m/s ดังแสดงในรูปที่ 31



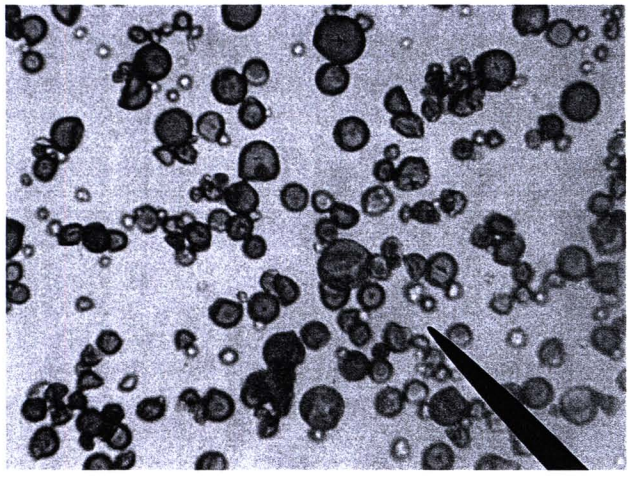
รูปที่ 30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืด กับ ปริมาณเอนไซม์ 1, 3 และ 5 ml อุณหภูมิในการย่อยที่อุณหภูมิ 90 °C และเวลาในการย่อย 20 นาที



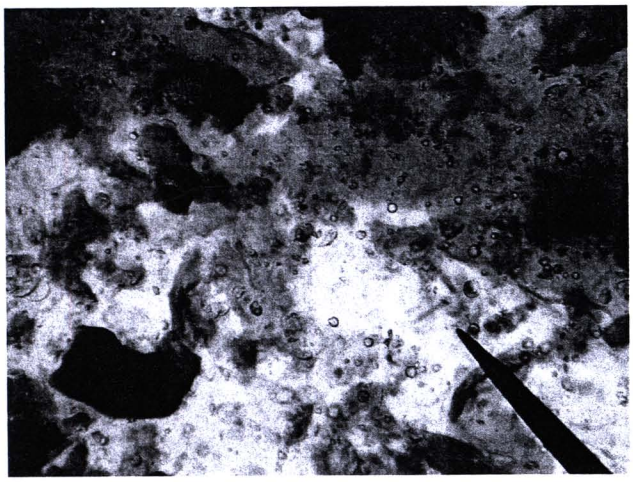
รูปที่ 31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของผิวหน้ากระดาษ กับ ปริมาณเอนไซม์ 1, 3 และ 5 ml อุณหภูมิในการย่อยที่อุณหภูมิ 90 °C และเวลาในการย่อย 20 นาที

5.4 ศึกษาลักษณะของน้ำแป้งสุกด้วยกล้องจุลทรรศน์

ศึกษาโครงสร้างภายในของน้ำแป้งต้มสุกโดยใช้อุณหภูมิในการย่อย 90 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10, 20 และ 30 นาที ใช้เอนไซม์ 9.6 ไมโครลิตร เปรียบเทียบกับแป้งที่ยังไม่ผ่านการย่อยเพื่อดูลักษณะภายในของแป้ง จากผลการทดลองพบว่า แป้งที่ยังไม่ผ่านการย่อยจะมีลักษณะเป็นเม็ดกลมที่มีขนาดต่างๆกัน ดังรูปที่ 32 และเมื่อทำการย่อยที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 10 นาที พบว่าเม็ดแป้งจะเกิดการแตกตัวแต่ยังไม่สมบูรณ์เนื่องจากยังพบเม็ดแป้งอยู่เป็นจำนวนมาก ดังรูปที่ 33 ที่เวลาในการย่อย 20 นาที แป้งสุกจนไม่เห็นแป้งที่มีลักษณะเป็นเม็ดหลงเหลืออยู่ ดังรูปที่ 34 และที่เวลาในการย่อย 30 นาที โครงสร้างภายในของแป้งมีลักษณะดังรูปที่ 35 ซึ่งจะพบว่าโครงสร้างมีลักษณะเช่นเดียวกับรูปที่ 34



รูปที่ 32 แสดงโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่ยังไม่ผ่านการย่อย



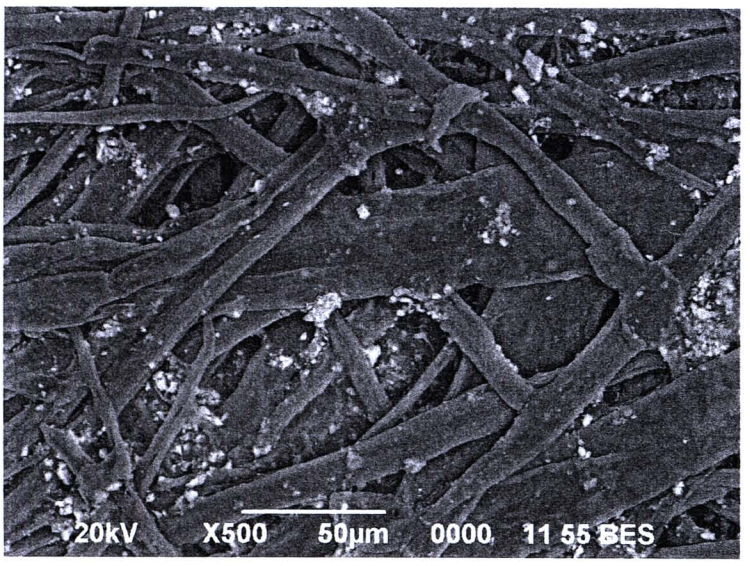
รูปที่ 33 แสดงโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่ทำการย่อยที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 10 นาที

รูปที่ 34 แสดงโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่ทำการย่อยที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 20 นาที

รูปที่ 35 แสดงโครงสร้างภายในของน้ำแป้งที่ทำการย่อยที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 นาที

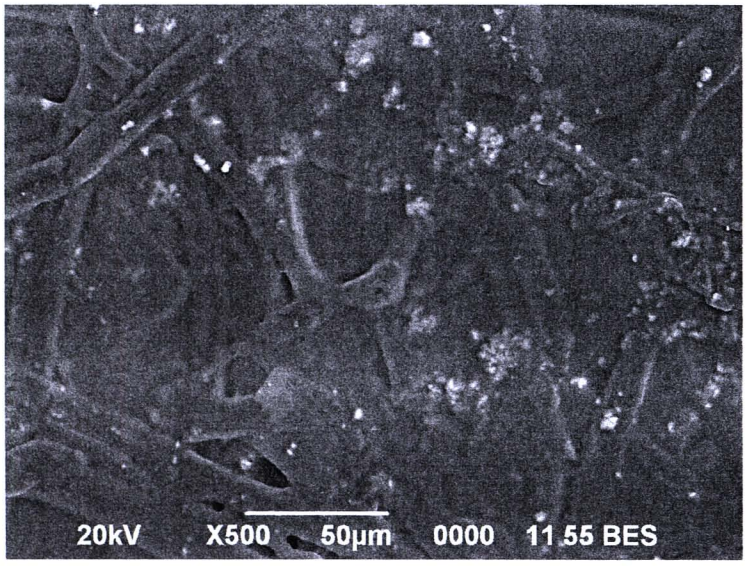
5.5 ศึกษาผิวหน้ากระดาษด้วยการถ่ายภาพ SEM

จากการฉาบน้ำแป้งต้มสุกที่ผ่านการย่อยด้วยสภาวะต่างๆนั้น พบว่า สภาวะที่ดีที่สุดที่ทำให้ผิวหน้ากระดาษแข็งแรง คือ การย่อยที่ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการย่อย 20 นาทีและ ปริมาณเอนไซม์ที่ใช้คือ 3 มิลลิลิตร หรือประมาณ 9.6 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมแป้ง จากนั้นได้นำกระดาษที่ผ่านการฉาบผิวด้วยน้ำแป้งที่ผ่านการย่อยด้วยสภาวะดังกล่าว ถ่ายภาพด้วย SEM ที่กำลังขยายประมาณ 500 เท่า เทียบกับกระดาษที่ไม่ผ่านการฉาบน้ำแป้ง พบว่า ผิวหน้าของกระดาษที่ไม่ได้ฉาบจะเห็นเป็นเส้นใยเรียงตัวขัดกันอย่างชัดเจน และมีแคลเซียมคาร์บอเนตแทรกอยู่ระหว่างการเรียงตัวของเยื่อดังจะเห็นจากรูปที่ 36 ส่วนผิวหน้ากระดาษที่ผ่านการฉาบผิวด้วยน้ำแป้งที่ถูกย่อยด้วยสภาวะที่ดีที่สุด(ค่าความหนืดมีค่าประมาณ 25-30 cps) นั้น จะเห็นว่ามีฟิล์มบางๆปกคลุมด้านบนของเยื่อและแคลเซียมคาร์บอเนต ดังรูปที่ 37 ซึ่งถ้าน้ำแป้งมีความหนืดต่ำเกินไป (ค่าความหนืดมีค่าต่ำกว่า 20 cps) จะทำให้น้ำแป้งซึมลงสู่ชั้นเยื่อไม่เกิดการปกคลุมอยู่ด้านบน และไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงให้ผิวหน้ากระดาษได้ ดังแสดงในรูปที่ 38

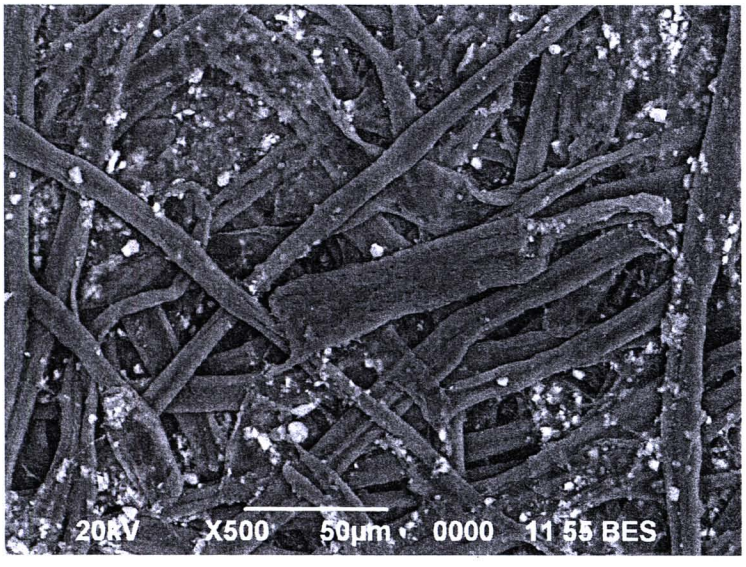


สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 36 แสดงภาพถ่ายจาก SEM ของผิวหน้ากระดาษที่ไม่ได้รับการฉาบผิวด้วยน้ำแป้งต้มสุก



รูปที่ 37 แสดงผิวหน้ากระดาษที่ผ่านการฉาบด้วยน้ำแป้งต้มสุกที่ถูกย่อยด้วยอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ด้วยปริมาณเอนไซม์ 9.6 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมแป้ง



รูปที่ 38 แสดงผิวหน้ากระดาษที่ผ่านการฉาบด้วยน้ำแป้งต้มสุกที่มีค่าความหนืดต่ำกว่า 20 cps

5.6 ศึกษาการหาปริมาณน้ำตาลริดิวซ์ในน้ำแป้งต้มสุกที่ได้จากสภาวะต่าง ๆด้วยวิธี DNS

จากการศึกษาการหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำแป้งสุกที่สภาวะที่ทำให้เกิดความแข็งแรงที่ผิวหน้า 3 ระดับ (1 : เอนไซม์ 1 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที, 2: เอนไซม์ 3 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 20, 3: เอนไซม์ 5 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที นาที) เปรียบเทียบกับน้ำแป้งต้มสุกที่สภาวะการย่อยปัจจุบัน, แป้งที่ยังไม่ถูกย่อย และ แป้งที่ย่อยเป็นเวลา 2,4,6,8 ชั่วโมง ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำตาล reduce ที่เกิดขึ้นจะบอกถึงการย่อยของแป้งไปเป็นน้ำตาล ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่อยากให้เกิดขึ้นกระบวนการฉาบผิวหน้ากระดาษ เปอร์เซ็นต์น้ำตาลที่เกิดขึ้นแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดง ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากน้ำแป้งต้มสุกที่ทำการศึกษา

สภาวะที่	ปริมาณเอนไซม์ (มิลลิลิตร)	เวลาในการต้ม (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	% น้ำตาลรีดิวซ์
Blank	-	-	-	0
น้ำแป้งที่ใช้ในปัจจุบัน	-	-	-	0
น้ำแป้งที่ทำให้เกิดปัญหา	-	-	-	1.7
1	1	10	90	0
2	3	20	90	0
3	5	30	90	0
4	5	120	90	0.15
5	5	240	90	0.77
6	5	360	90	1.20
7	5	480	90	1.50